

# Aguas Subterráneas en Colombia

## Una Visión General


Nelson Omar Vargas Martínez

Ana Karina Campillo Pérez

Martha García Herrán

Omar Jaramillo Rodríguez



IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales

MinAmbiente Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible

PROSPERIDAD PARA TODOS

JUAN MANUEL SANTOS CALDERÓN
Presidente de la República de Colombia

LUZ HELENA SARMIENTO VILLAMIZAR
Ministra de Ambiente y Desarrollo Sostenible

PABLO ABBA VIEIRA SAMPER
Viceministro de Ambiente

OMAR FRANCO TORRES
Director General - IDEAM
Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM

NELSON OMAR VARGAS
Subdirector de Hidrología – IDEAM

EDITORES
Nelson Omar Vargas Martínez
Ana Karina Campillo Pérez
Martha García Herrán
Omar Jaramillo Rodríguez
Subdirección de Hidrología – IDEAM

CORRECCIÓN DE ESTILO
Imprenta Nacional de Colombia

DISEÑO DE LA CARÁTULA
Bibiana Lissette Sandoval Báez
Grupo de Comunicaciones – IDEAM

DISEÑO Y DIAGRAMACIÓN
Imprenta Nacional de Colombia

FOTOGRAFÍA DE LA CARÁTULA
Grupo de Aguas de la Subdirección de Gestión Ambiental de CARSUCRE", 2013, Proyecto de Protección Integral de Aguas Subterráneas, PPIAS

CARTOGRAFÍA
Institutos de Investigación del SINA: IDEAM, SGC, AA y ANH

REPRODUCCIÓN, IMPRESIÓN Y EMPAQUE
Imprenta Nacional de Colombia

CÍTESE COMO
IDEAM. Aguas Subterráneas en Colombia: una Visión General. Bogotá D. C., 2013. 284 págs.

Publicación aprobada por el Comité de Comunicaciones
y Publicaciones del IDEAM, junio de 2013, Bogotá D. C., Colombia.

ISBN: 978-958-8067-60-5
- Distribución Gratuita

2013, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM. Todos los derechos reservados.
Los textos pueden ser usados parcial o totalmente citando la fuente. Su reproducción total o parcial debe
ser autorizada por el IDEAM.

Impreso en Colombia – Printed in Colombia

**Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible**
**Instituto de Hidrología, Metereología**
**y Estudios Ambientales – IDEAM**

OMAR FRANCO TORRES
Director General - IDEAM
CLEMENTINA DEL PILAR GONZÁLEZ PULIDO
Secretaria General – IDEAM

## CONSEJO DIRECTIVO

LUZ HELENA SARMIENTO VILLAMIZAR
Ministra de Ambiente y Desarrollo Sostenible
CECILIA ÁLVAREZ CORREA-GLEN
Ministra de Transporte
TATIANA OROZCO DE LA CRUZ
Directora General
Departamento Nacional de Planeación- DNP
JORGE RAÚL BUSTAMANTE ROLDÁN
Director General
Departamento Nacional de Estadísticas-DANE
JUAN PABLO RUIZ SOTO
Delegado
Presidencia de la República
RAMÓN LEAL LEAL
Director Ejecutivo
Asociación de Corporaciones Autónomas Regionales
y de Desarrollo Sostenible –ASOCARS
PAULA MARCELA ARIAS PULGARIN
Directora General
Departamento Administrativo de Ciencia Tecnología e Innovación- COLCIENCIAS
CLEMENTINA DEL PILAR GONZÁLEZ PULIDO
Secretaria Técnica del Consejo

## DIRECTIVAS

JOSÉ ALAIN HOYOS HERNANDEZ
Subdirector de Estudios Ambientales
MARÍA SARALUX VALBUENA LÓPEZ
Subdirectora de Ecosistemas e Información Ambiental
NELSON ÓMAR VARGAS MARTÍNEZ
Subdirector de Hidrología
MARÍA TERESA MARTÍNEZ GÓMEZ
Subdirectora de Meteorología
CHRISTIAN EUSCÁTEGUI COLLAZOS
Jefe Oficina Pronósticos y Alertas
FAVIANA ESTHER FAJARDO FERREIRA
Jefe (E) Oficina Asesora de Planeación
JUAN JOSÉ POSADA URIBE
Coordinador Grupo de Comunicaciones
LEONARDO CÁRDENAS CHITIVA
Jefe Oficina de Informática
ADRIANA PORTILLO TRUJILLO
Jefe Oficina Asesora Jurídica
MARÍA EUGENIA PATIÑO JURADO
Jefe Oficina Control Interno

**Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas – SINCHI**

LUZ MARINA MANTILLA CÁRDENAS
Directora General
ROSARIO PIÑERES VERGARA
Subdirectora Administrativa y Financiera
CATALINA CHICA VARGAS
WILLIAM CASTRO PULIDO
Oficina Asesora de Planeación

**Instituto de Investigación de Recursos Biológicos "Alexander von Humboldt" – IavH**

BRIGITTE LG BAPTISTE BALLERA
Directora General
JERÓNIMO RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ
Subdirector Científico

**Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico Jhon Von Neuman – IIAP**

WILLIAM KLINGER BRAHAN
Director General
SATÚ DEL PILAR LOZANO MAYA
Secretaria General y Jurídica
JAIRO MIGUEL GUERRA GUTIÉRREZ
Subdirector de Investigaciones

**Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras "José Benito Vives de Andréis" – INVEMAR**

FRANCISCO ARMANDO ARIAS ISAZA
Director General
JESÚS ANTONIO GARAY TINOCO
Subdirector de Coordinación de Investigaciones
SANDRA RINCÓN CABAL
Subdirector Recursos y Apoyo a la Investigación

**Autores y colaboradores.**

**Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales- IDEAM**

Nelson Ómar Vargas Martínez
Ana Karina Campillo Pérez
Martha García Herrán
Ómar Jaramillo Rodríguez
Subdirección de Hidrología – IDEAM

**Colaboradores:**

Teresita Betancur-Universidad de Antioquia
Sully Gómez-Universidad Industrial de Santander
Héctor Mario Herrera-Carsucre
Leonel Inciarte-Corpoguajira
Vanessa Paredes-Corpourabá
Pedro Villegas-Corpourabá
Carlos Arturo Orrego-Corpourabá
Tomás Guerrero-Coralina
Rómulo Camacho-CAR
Nhora Giraldo-Carder
Hugo Cañas-Servicio Geológico Colombiano
Jackson Camargo-ECCI
Érika Atehortúa-ECCI
Jhoanna Giraldo-ECCI
Estudiantes y docentes del programa de Ingeniería Ambiental
y Sanitaria de la Universidad de la Salle

**FOTOGRAFÍA:**

Andrés Herreño
Germán Sopó
Claudia Garzón Morales
Claudia Contreras
Leonel Inciarte
Matha García
Romulo Camacho
Gloria Paéz
Pedro Villegas
Héctor Mario Herrera

# Contenido


INTRODUCCIÓN 14



**CAPÍTULO 1. MARCO CONCEPTUAL** 17

1.1. Conceptos básicos de aguas subterráneas 18
1.2. Modelo hidrogeológico conceptual (MHC) 26
1.3. Provincias Hidrogeológicas y Sistemas Acuíferos 29
1.4. Clasificación de provincias hidrogeológicas 31
1.5. Mapas hidrogeológicos 34

**CAPÍTULO 2. ALCANCE Y ENFOQUE METODOLÓGICO** 39

2.1. Procedimiento general para la determinación y caracterización de Sistemas Acuíferos 40
2.2. Zonificación de Provincias Hidrogeológicas y Sistemas Acuíferos 42
2.2.1. Sistemas Acuíferos de Provincias Montanas e intramontanas 43
2.2.2. Sistemas Acuíferos de Provincias Pericratónicas 46
2.2.3. Sistemas Acuíferos de Provincias Costeras e Insulares 47



**CAPÍTULO 3. COLOMBIA Y SU CONTEXTO HIDROCLIMÁTICO E HIDROGEOLÓGICO** 51

3.1. Fisiografía y Geomorfología 54
3.1.1. Sistema Andino 54
3.1.2. Sistema Montañoso Aislado 55
3.1.3. Sistema Depresiones tectónicas 55
3.1.4. Litorales 56
3.1.5. Dominio Amazónico 56
3.1.6. Dominio Orinoqués 57
3.1.6.1. Altillanura 57
3.1.6.2. Llanura eólica heredada 58
3.1.6.3. Llanura de desborde heredada 58
3.1.6.4. Llanuras aluviales 58
3.1.6.5. Llanura aluvial actual 59
3.1.7. Sistemas insulares 59
3.1.7.1. Isla de San Andrés 60
3.1.7.2. Islas de Providencia y Santa Catalina 60
3.1.7.3. Islas de Gorgona, Gorgonilla y Malpelo 61
3.2. Hidrografía e hidrología 61
3.3. Características Hidrometeorológicas 63
3.3.1. Precipitación 63

| | | |
|---|---|---|
| 3.3.2. | Evapotranspiración | 66 |
| 3.3.3. | Escorrentía superficial y rendimientos | 67 |
| 3.3.4. | Agua subterránea | 70 |





**CAPÍTULO 4. PROVINCIAS HIDROGEOLÓGICAS Y SISTEMAS ACUÍFEROS DE COLOMBIA** 83

| | | |
|---|---|---|
| 4.1. | Nivel de conocimiento de los Sistemas Acuíferos de Colombia | 87 |
| 4.2. | Provincias hidrogeológicas montanas e intramontanas PM | 94 |
| 4.2.1. | Provincia hidrogeológica Cordillera Oriental PM4 | 94 |
| 4.2.1.1. | Sistema Acuífero San Gil-Barichara SAM4.1 | 98 |
| 4.2.1.2. | Sistema Acuífero Bucaramanga-Piedecuesta SAM4.2 | 101 |
| 4.2.1.3. | Sistema Acuífero Tunja SAM4.3 | 102 |
| 4.2.1.4. | Sistema Acuífero Duitama-Sogamoso SMA4.4 | 104 |
| 4.2.1.5. | Sistema Acuífero Ubaté-Chiquinquirá SAM4.5 | 105 |
| 4.2.1.6. | Sistema Acuífero Sabana de Bogotá SAM4.6 | 106 |
| 4.2.2. | Provincia hidrogeológica Catatumbo PM5 | 112 |
| 4.2.2.1. | Sistema Acuífero Cúcuta-Villa del Rosario SAM5.1 | 115 |
| 4.2.3. | Provincia hidrogeológica Cauca-Patía PM3 | 118 |
| 4.2.3.1. | Sistema Acuífero del Valle del Cauca SAM3.1 | 122 |
| 4.2.3.2. | Sistema Acuífero Patía SAM3.2 | 127 |
| 4.2.4. | Provincia hidrogeológica Valle Alto del Magdalena PM2 | 128 |
| 4.2.4.1. | Sistema Acuífero Ibagué SAM2.1 | 133 |
| 4.2.4.2. | Sistema Acuífero Purificación-Saldaña SAM2.2. | 134 |
| 4.2.4.3. | Sistema Acuífero Neiva-Tatacoa SAM2.3. | 137 |
| 4.2.5. | Provincia hidrogeológica Valle medio del Magdalena PM1 | 138 |
| 4.2.5.1. | Sistema Acuífero Nare-Berrío-Yondó SAM1.1 | 142 |
| 4.2.5.2. | Sistema Acuífero Mariquita-Dorada-Salgar SAM1.2 | 143 |
| 4.2.5.3. | Sistema Acuífero Simití SAM1.3 | 144 |
| 4.2.6. | Otros sistemas acuíferos en Región Cordillera Occidental-Central PM6 | 144 |
| 4.2.6.1. | Sistema Acuífero Glacis del Quindío SAM6.1 | 144 |
| 4.2.6.2. | Sistema Acuífero Santagueda SAM6.2 | 147 |
| 4.2.6.3. | Sistema Acuífero Valle de Aburrá SAM6.3 | 150 |
| 4.2.6.4. | Sistema Acuífero Santa Fé de Antioquia SAM6.4 | 152 |
| 4.2.6.5. | Sistema Acuífero Bajo Cauca antioqueño SAM6.5 | 152 |
| 4.2.6.6. | Sistema Acuífero Altiplano Nariñense SAM6.6 | 157 |
| 4.3. | Provincias hidrogeológicas pericratónicas PP | 158 |
| 4.3.1. | Provincia hidrogeológica Caguán Putumayo PP1 | 159 |
| 4.3.1.1. | Valles aluviales y terrazas de grandes ríos SAP1.1 | 164 |
| 4.3.2. | Provincia hidrogeológica Vaupés amazonas PP2 | 164 |
| 4.3.2.1. | Valles aluviales y terrazas de grandes ríos SAP2.1 | 167 |
| 4.3.3. | Provincia hidrogeológica Llanos Orientales PP3 | 167 |
| 4.3.3.1. | Sistema Acuífero Villavicencio-Granada-Puerto López SAP3.1 | 174 |

| | | |
|---|---|---|
| 4.3.3.2. | Sistema Acuífero Yopal Tauramena SAP3.2 | 176 |
| 4.3.3.3. | Sistema Acuífero Arauca-Arauquita SAP3.3 | 177 |
| 4.4. | Provincias hidrogeológicas costeras e insulares PC | 177 |
| 4.4.1. | Provincia hidrogeológica Sinú-San Jacinto PC1 | 178 |
| 4.4.1.1. | Sistema Acuífero Morroa-Sincelejo SAC1.1 | 184 |
| 4.4.1.2. | Sistema Acuífero Golfo de Morrosquillo SAC1.2 | 189 |
| 4.4.1.3. | Sistema Acuífero Arroyo Grande SAC1.3 | 192 |
| 4.4.1.4. | Sistema Acuífero Turbaco SAC1.4 | 194 |
| 4.4.1.5. | Sistema Acuífero Barranquilla-Sabanalarga SAC1.5 | 196 |
| 4.4.1.6. | Sistema Acuífero Zona Bananera de Santa Marta SAC1.6 | 198 |
| 4.4.1.7. | Sistema Acuífero Montería-Ciénaga de Oro SAC1.7 | 199 |
| 4.4.2. | Provincia hidrogeológica Bajo Magdalena PC2 | 199 |
| 4.4.2.1. | Sistema Acuífero Banco-Mompós SAC2.1 | 204 |
| 4.4.2.2. | Sistema Acuífero Mojana SAC2.2 | 205 |
| 4.4.3. | Provincia hidrogeológica de La Guajira PC3 | 205 |
| 4.4.3.1. | Sistema Acuífero de Maicao SAC3.1 | 209 |
| 4.4.3.2. | Sistema Acuífero de Riohacha – Manaure SAC3.2 | 211 |
| 4.4.3.3. | Sistema Acuífero de la Alta Guajira SAC3.3 | 211 |
| 4.4.4. | Provincia hidrogeológica Cesar-Ranchería PC4 | 211 |
| 4.4.4.1. | Sistema Acuífero de Cesar SAC4.1 | 215 |
| 4.4.4.2. | Sistema Acuífero Ranchería SAC4.2 | 218 |
| 4.4.5. | Provincia hidrogeológica Urabá PC5 | 223 |
| 4.4.5.1. | Sistema Acuífero Golfo de Urabá SAC5.1 | 230 |
| 4.4.6. | Provincia hidrogeológica Chocó PC6 | 235 |
| 4.4.6.1. | Valles Aluviales | 238 |
| 4.4.7. | Provincia hidrogeológica Tumaco PC7 | 238 |
| 4.4.8. | Provincia hidrogeológica San Andrés PC8 | 240 |
| 4.4.8.1. | Sistema Acuífero Isla de San Andrés SAI1 | 244 |



**CAPÍTULO 5. AGUAS SUBTERRÁNEAS FRENTE A AFECTACIONES ANTRÓPICAS Y VARIABILIDAD CLIMÁTICA** 249

| | | |
|---|---|---|
| 5.1. | Contexto | 250 |
| 5.2. | Enfoque metodológico | 251 |
| 5.3. | Análisis comparativo de indicadores hídricos superficiales y afectaciones por variabilidad y cambio climático frente a Sistemas Acuíferos | 256 |
| | Consideraciones finales | 271 |

**Bibliografia** 273

## LISTA DE FIGURAS


Figura 1.1. Ciclo hidrológico 18
Figura 1. 2. Esquema de circulación permanente de aguas subterráneas 19
Figura 1. 3. Distribución de agua en el subsuelo. 19
Figura 1. 4. Modificación del flujo de aguas subterráneas por efecto de captaciones 20
Figura 1. 5. Relación entre textura y porosidad. 21
Figura 1. 6. Acuíferos libres, confinados y semiconfinados 24
Figura 1. 7. Relaciones posibles entre río-acuífero 25
Figura 1. 8. Construcción de un modelo hidrogeológico conceptual de la Sabana de Bogotá a partir de información geográfica, geológica, hidrodinámica e hidrológica 26
Figura 1. 9. Divergencia de límites hidrográficos e hidrogeológicos 27
Figura 1. 10. Sistemas de flujo de aguas subterráneas 27
Figura 1. 11. Modelo hidrogeológico conceptual 28
Figura 1. 12. Sistemas Acuíferos transfronterizos de las Américas 32
Figura 1. 13. Esquema Lógico para la elaboración de mapas hidrogeológicos 35
Figura 2. 1. Flujograma de procedimiento y fuentes de información 40
Figura 2. 2. Clasificación de Provincias Hidrogeológicas de Colombia 43
Figura 2. 3. Sistemas Acuíferos de las Provincias Hidrogeológicas montanas e intramontanas de Colombia 44
Figura 2. 4. Sistemas Acuíferos de las Provincias Hidrogeológicas Pericratónicas de Colombia 47
Figura 2. 5. Sistemas Acuíferos de las Provincias Hidrogeológicas Costeras e Insulares de Colombia 48
Figura 3. 1. Mapa de división política y relieve de Colombia 53
Figura 3. 2. Áreas Hidrográficas de Colombia 62
Figura 3. 3. Distribución de caudales ($m^3/s$) por áreas hidrográficas 68
Figura 3. 4. Escorrentía promedio anual para condiciones de año medio y año seco 69
Figura 3. 5. Provincias hidrogeológicas de Colombia 72
Figura 3. 6. Distribución de las reservas de agua subterránea por provincia hidrogeológica 77
Figura 3. 7. Demanda hídrica sectorial nacional agregada (2008) 81
Figura 4. 1. Provincias hidrogeológicas de Colombia 84
Figura 4. 2. Sistemas acuíferos de Colombia 85
Figura 4. 3. Ubicación de la Provincia Hidrogeológica Cordillera Oriental 95
Figura 4. 4. Corte Hidrogeológico para la Provincia Hidrogeológica Cordillera Oriental 96
Figura 4. 5. Columna estratigráfica para la Provincia Hidrogeológica Cordillera Oriental 97
Figura 4. 6. Corte Hidrogeológico del Sistema Acuífero San Gil-Barichara 99
Figura 4. 7. Corte Hidrogeológico del Sistema Acuífero de Tunja 103
Figura 4. 8. Corte geológico de la Sabana de Bogotá 109
Figura 4. 9. Pozos profundos de Bavaria en el municipio de Tocancipá 110
Figura 4. 10. Ubicación de la provincia hidrogeológica de Catatumbo 113
Figura 4. 11. Corte hidrogeológico básico de la provincia Catatumbo 113
Figura 4. 12. Columna estratigráfica generalizada de la provincia Catatumbo 114
Figura 4. 13. Ubicación de la provincia hidrogeológica de Cauca-Patía 119
Figura 4. 14. Corte hidrogeológico básico de la provincia Cauca-Patía 120

Figura 4. 15. Columna estratigráfica generalizada de la provincia Cauca-Patía 121
Figura 4. 16. Modelo hidrogeológico Conceptual para el Acuífero del Valle del Cauca 124
Figura 4. 17. Pozo Vce 56 para uso agrícola con un caudal 200 lps. Hacienda Samaria Cerrito-Valle del Cauca 126
Figura 4. 18. Ubicación de la provincia hidrogeológica de Valle Alto del Magdalena 130
Figura 4. 19. Corte hidrogeológico básico de la provincia Valle Alto del Magdalena 131
Figura 4. 20. Columna estratigráfica generalizada de la provincia Valle Alto del Magdalena 132
Figura 4. 21. Corte hidrogeológico básico del Sistema Acuífero Purificación-Saldaña 135
Figura 4. 22. Ubicación de la provincia hidrogeológica de Valle Medio del Magdalena 139
Figura 4. 23. Corte hidrogeológico básico de la provincia Valle Medio del Magdalena 140
Figura 4. 24. Columna estratigráfica generalizada de la provincia Valle Medio del Magdalena 141
Figura 4. 25. Localización del Sistema Acuífero Santagueda 148
Figura 4. 26. Localización del Sistema Acuífero del Bajo Cauca 153
Figura 4. 27. Vulnerabilidad intrínseca para el acuífero del Bajo Cauca Antioqueño 156
Figura 4. 28. Ubicación de la provincia hidrogeológica de Caguán-Putumayo 159
Figura 4. 29. Corte hidrogeológico básico de la provincia Caguán-Putumayo 161
Figura 4. 30. Columna estratigráfica generalizada de la provincia Caguán-Putumayo 163
Figura 4. 31. Ubicación de la provincia hidrogeológica de Vaupés-Amazonas 164
Figura 4. 32. Corte hidrogeológico básico de la provincia Vaupés-Amazonas 165
Figura 4. 33. Columna estratigráfica generalizada de la provincia Vaupés-Amazonas 166
Figura 4. 35. Ubicación de la provincia Llanos Orientales 168
Figura 4. 35. Corte hidrogeológico básico de la provincia Llanos Orientales 169
Figura 4. 36. Columna estratigráfica generalizada de la provincia Llanos Orientales 173
Figura 4. 37. Ubicación de la provincia hidrogeológica de Sinú-San Jacinto 179
Figura 4. 38. Corte hidrogeológico básico de la provincia Sinú-San Jacinto 180
Figura 4. 39. Columna estratigráfica generalizada de la provincia Sinú-San Jacinto 183
Figura 4. 40. Localización del Sistema Acuífero de Morroa 184
Figura 4. 41. Niveles acuíferos A, B, C, D y E 186
Figura 4. 42. Modelo hidrogeológico conceptual y modelo sísmico regional para el Sistema Acuífero de Morroa 187
Figura 4. 43. Modelo hidrogeológico conceptual Acuífero Morrosquillo 190
Figura 4. 44. Medición de nivel piezométrico en Tolú, Sucre 192
Figura 4. 45. Localización del Sistema Acuífero en Turbaco 194
Figura 4. 46. Ubicación de la provincia hidrogeológica de Valle Bajo del Magdalena 200
Figura 4. 47. Corte hidrogeológico básico de la provincia Valle Bajo del Magdalena 201
Figura 4. 48. Columna estratigráfica generalizada de la provincia Valle Bajo del Magdalena. 202
Figura 4. 49. Corte hidrogeológico básico de los Sistemas Acuíferos Banco Mompós y La Mojana 204
Figura 4. 50. Ubicación de la provincia hidrogeológica de La Guajira 205
Figura 4. 51. Corte hidrogeológico básico de la provincia La Guajira 206
Figura 4. 52. Columna estratigráfica generalizada de la provincia La Guajira 207
Figura 4. 53. Bloquediagrama sistema hidrogeológico Maicao 210

Figura 4. 54. Ubicación de la provincia hidrogeológica de Cesar-Ranchería 212
Figura 4. 55. Corte hidrogeológico básico de la provincia Cesar-Ranchería 213
Figura 4. 56. Columna estratigráfica generalizada de la provincia Cesar-Ranchería 214
Figura 4. 57. Localización del Sistema Acuífero del César 215
Figura 4. 58. Formaciones hidrogeológicas del Sistema Acuífero Ranchería 220
Figura 4. 59. Ubicación de la provincia hidrogeológica de Urabá 224
Figura 4. 60. Corte hidrogeológico básico de la provincia Urabá 226
Figura 4. 61. Columna estratigráfica generalizada de la provincia Urabá 227
Figura 4. 62. Localización del Sistema Acuífero Golfo de Urabá Urabá 230
Figura 4. 63. Corte geológico del Sistema Acuífero del Golfo de Urabá 232
Figura 4. 64. Piezómetro saltante en el Sistema Acuífero del Golfo de Urabá 234
Figura 4. 65. Ubicación de la provincia hidrogeológica de Chocó 236
Figura 4. 66. Corte hidrogeológico básico de la provincia Chocó 237
Figura 4. 67. Ubicación de la provincia hidrogeológica de Tumaco 238
Figura 4. 68. Corte hidrogeológico básico de la provincia Tumaco 239
Figura 4. 69. Ubicación de la provincia hidrogeológica de Isla de San Andrés y Providencia 240
Figura 4. 70. Corte hidrogeológico básico de la provincia de San Andrés y Cayos 242
Figura 4. 71. Columna estratigráfica generalizada de San Andrés 242
Figura 4. 72. Mapa geológico de la Isla de San Andrés 245
Figura 4. 73. Modelo hidrogeológico Conceptual acuífero de la isla de San Andrés 246

## LISTA DE TABLAS


| | | |
|---|---|---|
| Tabla 1. 1. | Valores de Porosidad de rocas y sedimentos | 21 |
| Tabla 1. 2. | Valores de permeabilidad | 22 |
| Tabla 1. 3. | Valores de transmisividad para diferentes tipos de materiales | 23 |
| Tabla 1. 4. | Valores de coeficiente de almacenamiento | 23 |
| Tabla 3. 1. | Características y reservas de las provincias hidrogeológicas | 74 |
| Tabla 3. 2. | Uso del agua subterránea según jurisdicción de la autoridad ambiental | 78 |
| Tabla 3. 3. | Distribución del uso de aguas subterráneas por provincia hidrogeológica | 80 |
| Tabla 3. 4. | Demanda hídrica nacional | 80 |
| Tabla 4.1. | Áreas de los Sistemas Acuíferos identificados (medido con herramientas de SIG) | 86 |
| Tabla 4. 2 | Criterios de calificación de nivel de conocimiento de Sistemas Acuíferos de Colombia | 90 |
| Tabla 4. 3. | Nivel de conocimiento de los Sistemas Acuíferos de Colombia | 91 |
| Tabla 4. 4. | Unidades cronoestratigráficas, litoestratigráficas y litológicas | 115 |
| Tabla 4. 5. | Inventario de pozos según su uso y caudal | 125 |
| Tabla 4. 6. | Unidades geológicas identificadas en Villavicencio | 174 |
| Tabla 4. 7. | Unidades hidroestratigráficas de Villavicencio | 175 |
| Tabla 4. 8. | Resumen de las principales características hidrogeológicas de los niveles del Sistema Acuífero Morroa | 186 |
| Tabla 4. 9. | Unidades geológicas que afloran en el Sistema Acuífero Turbaco | 195 |
| Tabla 4. 10. | Unidades Hidrogeológicas en los departamentos de Atlántico y Bolívar al norte del Canal del Dique | 197 |
| Tabla 4. 11. | Condiciones hidráulicas de los principales acuíferos del Cesar | 217 |
| Tabla 4. 12. | Tipos de rocas presentes en la cuenca del río Ranchería | 219 |
| Tabla 4. 13. | Distribución del número de pozos por uso en los municipios del Golfo del Urabá | 234 |
| Tabla 5. 1. | Calificación de los rangos de valores del IRH | 252 |
| Tabla 5. 2. | Rangos y categorías del Índice de Uso del Agua, IUA | 253 |
| Tabla 5. 3. | Matriz de relación para categorizar el Índice de vulnerabilidad al desabastecimiento, IVH | 253 |
| Tabla 5. 4. | Categoría y descriptor del IACAL | 254 |
| Tabla 5. 5. | Rangos de interpretación de los resultados para afectación de la escorrentía en el territorio nacional bajo escenarios de cambio climático | 255 |
| Tabla 5. 6. | Porcentaje de variación trimestral de la escorrentía años 2008, 2009 y 2010 con respecto a la media 1974 – 2007 | 257 |
| Tabla 5. 7. | Indicadores hídricos críticos en subzonas hidrográficas frente a Sistemas Acuíferos asociados | 264 |
| Tabla 5. 8. | Indicadores hídricos crítico en cuencas abastecedoras de acueductos de cabeceras municipales y frente a Sistemas Acuíferos | 267 |

# Introducción

El agua del planeta Tierra se presenta en diferentes fases y en diferentes condiciones físicas y químicas en virtud de un ciclo hidrológico que se perpetúa y hace posible las diversas formas de vida. El sol es el motor de este ciclo y la hidrósfera o parte del planeta que tiene agua es el espacio donde se producen las interacciones entre atmósfera, litósfera y biósfera y donde interactúan los flujos del agua, energía e interdependencias con la química del sistema.

De esta manera, se identifican procesos en el ciclo que parten de la precipitación del agua en estado líquido y eventualmente sólido por circulación atmosférica. El agua que cae luego de complejas reacciones físicas y químicas se distribuye en agua superficial que fluye por los cauces de ríos y quebradas o se almacena en cuerpos de agua, otra parte se evapora o se incorpora al ciclo de vida de los seres vivos como transpiración y parte de ella se infiltra para incorporarse al subsuelo y fluir por la compleja trama de la litósfera que la almacena en poros, fracturas o cavernas formadas por disolución hasta encontrar su salida en manantiales, alimentar el caudal de los ríos, interactuando como flujo que hace posible que estos conserven su caudal en épocas secas o salir directamente al mar.

Estas interacciones están mediatizadas por las condiciones geológicas y geoquímicas de unidades de roca o sedimento que por almacenar y trasmitir el agua se denominan acuíferos o por su carácter semipermeable o impermeable pueden ser acuitardos o acuífugos que inhiben de manera lenta o definitiva el paso de fluidos. De esta manera, es posible con el conocimiento geológico determinar la posibilidad de ocurrencia de aguas subterráneas a partir de la geometría y el tipo de roca que se encuentra en el subsuelo aplicando técnicas directas de observación en afloramientos y el acceso al subsuelo con perforaciones o por métodos indirectos que aprovechan propiedades de las rocas para brindar información geofísica como la geoeléctrica, la sísmica y otras técnicas desarrolladas por el hombre para mirar más allá de la superficie sin penetrar en el sustrato rocoso. Sin embargo, la ocurrencia de agua en el subsuelo también está determinada por la disponibilidad natural de agua atmosférica o superficial que se recarga por los poros de las rocas o sedimentos y por fracturas que se originan como respuesta a los esfuerzos y dinámica del planeta en el permanente movimiento de la tectónica de placas.

El objeto de este libro, desarrollado en la Subdirección de Hidrología del IDEAM, es difundir el conocimiento científico de estas complejas relaciones litosfera-atmósfera-hidrosfera en manos de personas que no están relacionadas con la profundidad de las ciencias geológicas, hidrogeológicas e hidrológicas pero también a tomadores de decisiones que puedan reconocer la distribución de las aguas subterráneas en las diferentes regiones de Colombia.

En términos generales, el 74% del territorio colombiano tiene posibilidades de aprovechamiento de aguas subterráneas y su territorio se ha dividido en 16 provincias hidrogeológicas limitadas por grandes fallas de carácter regional. En estas provincias se han identificado 44 Sistemas Acuíferos de los cuales 18 tienen grado de conocimiento hidrogeológico significativo y el resto aún queda por explorar para conocer sus características hidráulicas e hidrogeoquímicas.

En atención a lo expuesto se ha estructurado este libro ilustrando un marco conceptual de partida para precisar algunos términos que se utilizarán a lo largo del texto, una descripción física del territorio, un marco metodológico que ilustra la forma de abordaje del documento y las técnicas utilizadas para su construcción, una clasificación de unidades hidrogeológicas homogéneas y la descripción de las provincias hidrogeológicas y Sistemas Acuíferos asociados principales y prioritarios.

La información sintetizada es secundaria y no tiene pretensiones de ampliar fronteras del conocimiento científico sino de divulgación al público en general. Su enfoque está dado hacia el aprovechamiento que es el aspecto que tradicionalmente se le ha reconocido a las aguas subterráneas en el país aun cuando participa en fenómenos de remoción en masa, erosión y otras dinámicas que afectan el bienestar de las comunidades y la infraestructura. Tampoco se aborda el papel de las aguas subterráneas en procesos de dinámica ecosistémica, pero debe decirse que la existencia y preservación de los mismos tiene que ver en gran parte con la distribución de flujos de agua en el subsuelo.

Finalmente, se aborda el tema de las aguas subterráneas frente a las condiciones de afectación antrópica de aguas superficiales y suelos expresada en la espacialización de indicadores hídricos del Estudio Nacional del Agua 2010 (IDEAM, 2010a) y su posible alteración por variabilidad y cambio climático, así como su papel como medida de adaptación para suplir demandas en épocas secas o en regiones que son afectadas de manera crítica por escenarios de cambio climático de acuerdo con los resultados del mismo estudio.

De esta manera, se presentan en el documento los aportes de diferentes instituciones que han desarrollado estudios e investigaciones en el marco de sus funciones y competencias con el propósito de ilustrar a un público no especializado, pero que requiere la divulgación de este conocimiento general de los Sistemas Acuíferos de Colombia para profundizar sus análisis ambientales e incorporarlo en sus temáticas de interés.

En esta presentación cabe un reconocimiento especial al Servicio Geológico Colombiano, la Agencia Nacional de Hidrocarburos, Autoridades Ambientales, Universidades, entre otros, que han facilitado la información básica del texto que se pone en circulación. Así mismo, el aporte del IDEAM a través del Estudio Nacional del Agua 2010 que dio un impulso a la zonificación hidrogeológica del territorio para articular los escenarios de planificación de la Política Nacional para la Gestión Integrada del Recurso Hídrico.





# Capítulo I
## Marco Conceptual

## 1.1. Conceptos básicos de aguas subterráneas

El ciclo hidrológico de la Tierra es el mecanismo global que hace posible la transferencia de agua desde los océanos a la superficie y desde la superficie, o subsuperficie al subsuelo y a la atmósfera que envuelve nuestro planeta. Las principales variables naturales de los procesos del ciclo hidrológico son: precipitación, infiltración, escorrentía, evaporación y transpiración (Figura 1.1). Las actividades humanas (asentamientos, industria y desarrollos agrícolas) pueden alterar los componentes del ciclo natural mediante afectaciones del uso del suelo y a través de la utilización, reutilización y vertido de residuos en los recorridos naturales de los recursos hídricos superficiales y subterráneos (UNESCO, 2006).

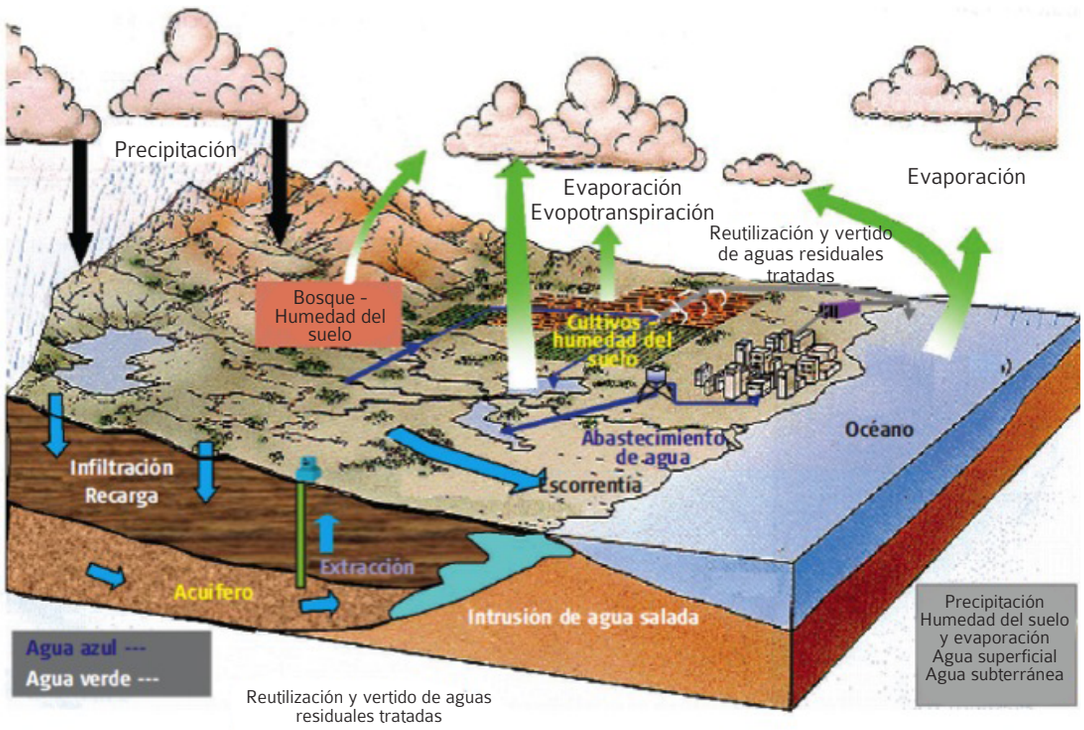



**Figura 1.1.** Ciclo hidrológico (UNESCO, 2006).

El agua subterránea tiene su origen en la lluvia, parte de la cual se infiltra directamente a través del suelo, o desde ríos y lagos, por grietas y poros de las unidades roca-sedimento, hasta alcanzar un nivel impermeable que no la deja descender más.

En el subsuelo se encuentran formaciones geológicas consistentes en unidades roca-sedimento porosas (arenas, gravas, etc.), o fracturadas (calizas, areniscas, lavas, etc.) las cuales pueden contener agua en sus intersticios. Esta agua se denomina agua subterránea y los terrenos que la contienen y la pueden ceder se denominan acuíferos. Estos acuíferos pueden tener extensiones laterales de cientos a millones de metros constituyendo acuíferos locales en el primer caso y regionales en el segundo (ITGE, 1987).

Allí se va acumulando con los años, llenando los acuíferos, y poco a poco circula a favor del gradiente, hasta encontrar un nivel de salida a la superficie en puntos definidos que se convierten en

manantiales o fuentes, o de forma difusa, en áreas tales como los lechos de los ríos, cuyo caudal es mantenido por las aguas subterráneas especialmente en los estiajes (Figura 1. 2 y Figura 1. 3).

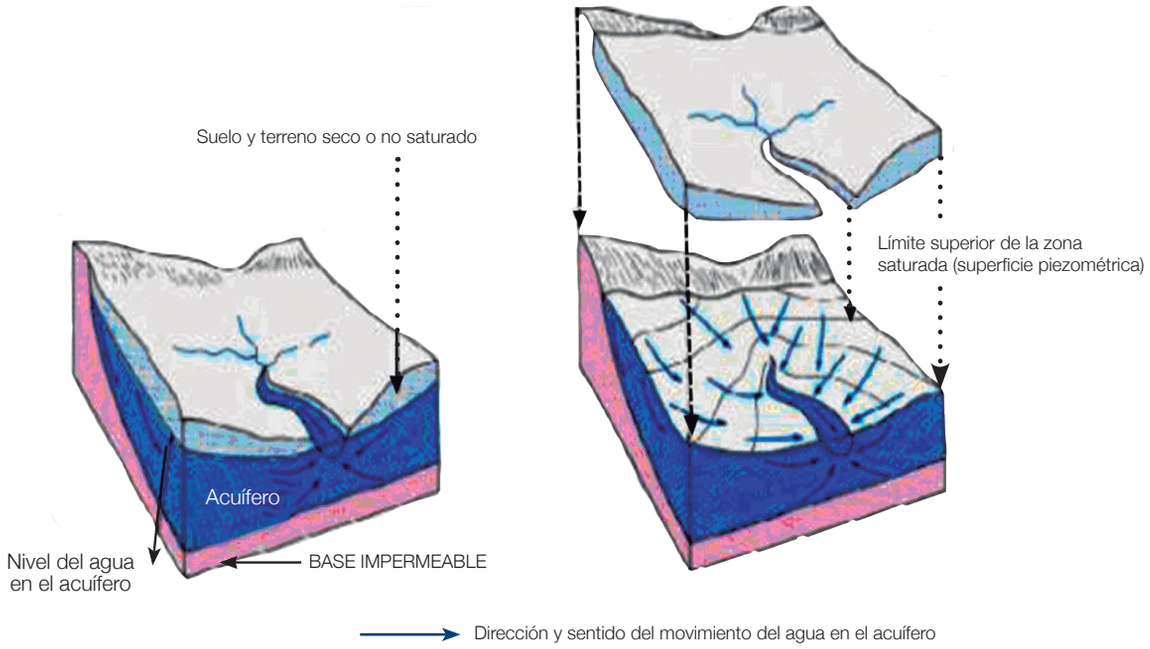



**Figura 1. 2.** Esquema de circulación permanente de aguas subterráneas (ITGE, 1987).

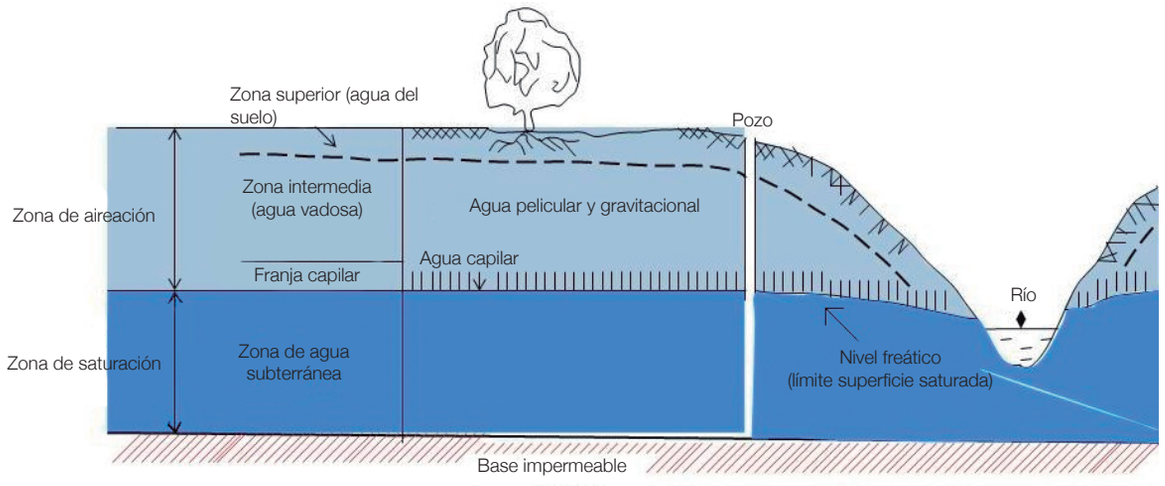



**Figura 1. 3.** Distribución de agua en el subsuelo (ITGE, 1987).

Cuando se hace una perforación que atraviesa los acuíferos, el agua contenida en los poros o grietas pasa al pozo llenándolo hasta un cierto nivel llamado nivel del agua subterránea o nivel piezométrico. Si con una bomba u otro mecanismo se extrae el agua de forma más o menos continua se tiene lo que se denomina una captación de aguas subterráneas (Figura 1. 4). La cantidad de agua que puede captarse de un acuífero, a corto plazo, depende principalmente del volumen de poros y

grietas de la roca que contiene el agua y de la diferencia de niveles entre el agua en la captación y en la roca encajante. Sin embargo, a largo plazo, la cantidad de agua que puede captarse depende del volumen total del agua almacenada en el acuífero y del ritmo de reposición de esta agua almacenada a partir de las lluvias o de masas de agua superficiales. Hay pues en cada captación dos parámetros condicionantes de la cantidad de agua utilizable: uno es el caudal instantáneo que puede dar la captación, otro es el volumen global que la formación acuífera puede ceder a la captación a lo largo de un ciclo hidrológico (anual). *(Ibíd.).*

Las masas de agua subterránea acumuladas en acuíferos suelen moverse muy despacio, hasta el punto que, desde el momento en que se infiltran hasta la fecha en que, más abajo, afloran nuevamente en superficie, pueden transcurrir miles de años. Ello significa que hay depósitos subterráneos que han necesitado centenares de siglos para formarse. Por tanto, no deben en general agotarse por un uso abusivo o desordenado en un corto tiempo, sin fuertes razones que lo justifiquen. También han de cuidarse con especial atención esos depósitos subterráneos para no deteriorar la calidad de las aguas que contienen, contaminándolas de forma irreversible *(Ibíd.).*

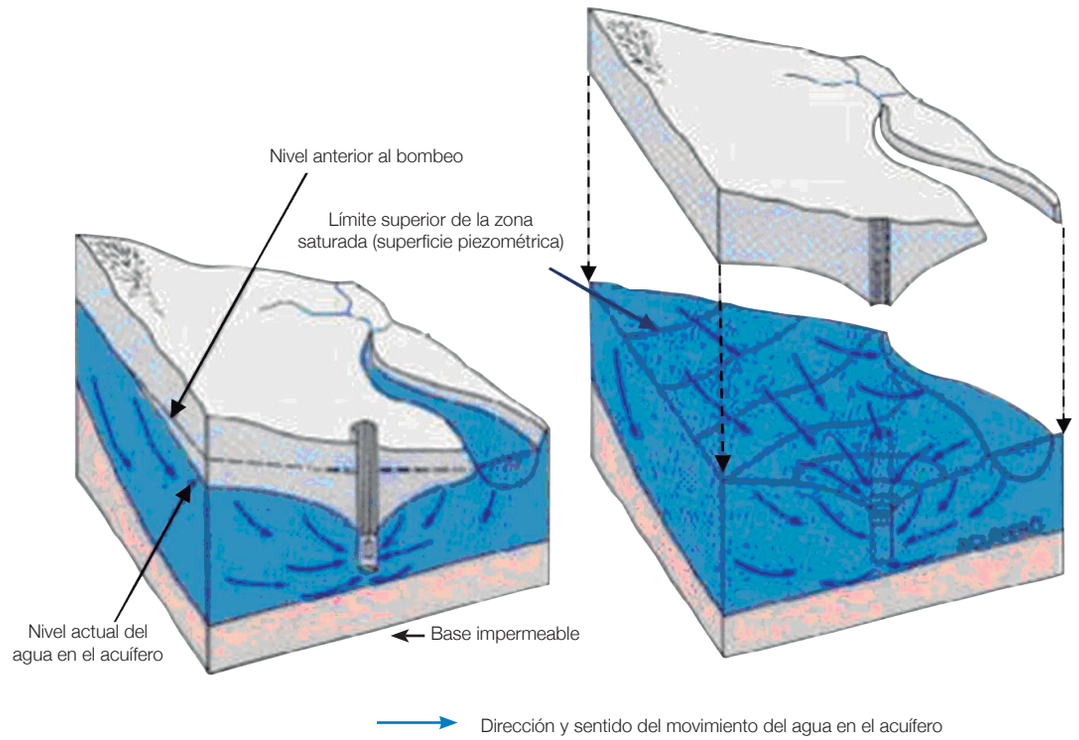



**Figura 1. 4.** Modificación del flujo de aguas subterráneas por efecto de captaciones (ITGE, 1987)

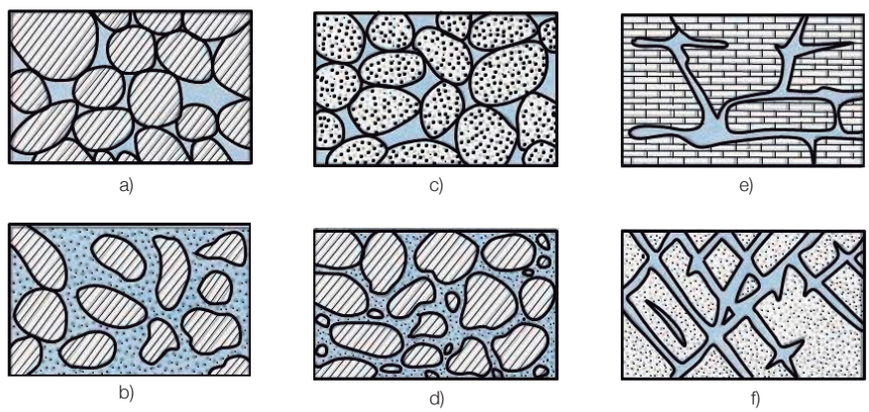
Como se comenzó a describir más arriba, un acuífero es un conjunto de rocas que contienen y pueden proporcionar agua bajo ciertas condiciones. La propiedad de una roca que la hace poder contener agua se define técnicamente como *porosidad*, o porcentaje de intersticios existentes en los sólidos discontinuos en relación con el volumen total de la unidad roca-sedimento. Sin embargo, para ser verdaderamente acuífera, la roca, además de contener agua, necesita poder cederla, cualidad que se denomina *permeabilidad* o *conductividad hidráulica*. Hay arcillas que pueden absorber cantidades

notables de agua, pero bajo condiciones naturales no la ceden, sino que la retienen en su masa (*Ibíd.)*. Esas rocas o sedimentos no son acuíferas. La permeabilidad, en un sentido amplio, mide tanto la posibilidad de poder extraer, drenar o bombear agua como la posibilidad de introducir, infiltrar o recibir agua en un acuífero (Tabla 1. 1, Tabla 1. 2 y Figura 1. 5).

**Tabla 1. 1.** Valores de Porosidad de rocas y sedimentos.

| Valores de porosidad (Freeze and Cherry, 1979) | |
|---|---|
| **Materiales** | **n (%)** |
| Depósitos no consolidados | |
| Gravas | 25-40 |
| Arenas | 25-50 |
| Limos | 35-50 |
| Arcillas | 40-70 |
| Rocas | |
| Basalto fracturado | 5-50 |
| Calizas Kársticas | 5-50 |
| Areniscas | 5-30 |
| Caliza dolomita | 0-20 |
| Pizarra | 0-10 |
| Rocas cristalinas fracturadas | 0-10 |
| Rocas cristalinas compactas | 0-5 |

Fuente: Freeze y Cherry, 1979.




a) Sedimiento bien clasificado con alta porosidad
b) Sedimiento mal clasificado con baja porosidad
c) Sedimiento bien clasificado de materiales a su vez porosos dando un conjunto de alta porosidad
d) Sedimiento bien clasificado con baja porosidad por relleno de los intersticios
e) Roca porosa por disolución
f) Roca porosa por fracturación

**Figura 1. 5.** Relación entre textura y porosidad (Meinzer, 1923).

**Tabla 1. 2.** Valores de permeabilidad.

| Valores de permeabilidad (K) | | |
|---|---|---|
| (Adaptado de Villanueva e Iglesias, 1984) | | |
| **K (m/día)** | **Calificación estimativa** | **Posibilidades del acuífero** |
| $K<10^{-2}$ | Muy baja | Pozos de menos de 1 l/s con 10 m de depresión teórica |
| $10^{-2}<K<1$ | Baja | Pozos entre 1 y 10 l/s con 10 m de depresión teórica |
| $1<K<10$ | Media | Pozos entre 10 y 50 l/s con 10 m de depresión teórica |
| $10<K<100$ | Alta | Pozos entre 50 y 100 l/s con 10 m de depresión teórica |
| $100<K$ | Muy alta | Pozos con más de 100 l/s con 10 m de depresión teórica |

Fuente: (ITGE, 1987).

En general, permeabilidad y porosidad son parámetros que definen las características hidráulicas de un acuífero. La *transmisividad* (Tabla 1. 3) es el producto de la permeabilidad del acuífero por su espesor saturado. La transmisividad se define también como el caudal de agua que proporciona una sección de ancho unidad de frente acuífero sometida a un gradiente del 100% (*Ibíd*.).

Para que el agua se mueva en un acuífero, es necesario que de un punto a otro de éste exista una diferencia de presión o de altura. En el laboratorio se emplea algún tipo de manómetro para medir esa diferencia de presión. En el campo, sobre el terreno, se mide como diferencia de altura de agua en dos piezómetros, nivelados topográficamente. Un piezómetro no es más que un pozo o sondeo abierto en su parte superior a la atmósfera y, en su parte inferior, al acuífero a medir.

Controlando así el nivel de agua en los acuíferos, con los datos obtenidos se establecen los mapas piezométricos que indican las zonas del acuífero con mayor o menor altura de presión (nivel referido a cota absoluta). Basándose en mapas piezométricos puede determinarse la dirección del movimiento del agua subterránea y su pendiente. Al bombear un acuífero, el agua procede no solamente del vaciado de sus poros y fisuras saturadas, sino también de la disminución de huecos producida por la distensión elástica de los mismos (carga hidráulica). Es este un fenómeno complejo que tiene por consecuencia que materiales en apariencia parecidos no produzcan a veces los mismos volúmenes de agua (*Ibíd.*). El conjunto de cualidades que condicionan el volumen de agua producida se cuantifica mediante lo que se denomina *coeficiente de almacenamiento*, que es la cantidad de agua cedida por un prisma de acuífero de un metro cuadrado de sección y altura la del acuífero, cuando el nivel piezométrico baja un metro (Tabla 1. 4). El producto de la superficie de un acuífero por su espesor saturado de agua y por su coeficiente de almacenamiento es, en teoría, una medida del volumen de agua utilizable almacenada en dicho acuífero. Tal volumen se denomina también capacidad del acuífero, almacenamiento o reservas (*Ibíd.)* a las que nos referiremos más adelante.

**Tabla 1. 3.** Valores de transmisividad para diferentes tipos de materiales.

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

Fuente: (ITGE, 1987).

**Tabla 1. 4.** Valores de coeficiente de almacenamiento.

| Valores del coeficiente de almacenamiento (S) (Villanueva e Iglesias, 1984) | | |
|---|---|---|
| **Tipo de material permeable** | **Forma de funcionamiento del acuífero** | **Valores de S (medio)** |
| Kárstico: | | |
| Calizas y dolomitas jurásicas | Libre | $2 X 10^{-2}$ |
| | Semiconfinado | $5 X 10^{-4}$ |
| | Confinado | $5 X 10^{-5}$ |
| Calizas y dolomitas cretácicas y terciarias | Libre | $2 X 10^{-2} - 6 X 10^{-2}$ |
| | Semiconfinado | $10^{-3} - 5 X 10^{-4}$ |
| | Confinado | $10^{-4} - 5 X 10^{-5}$ |
| Poroso integranular: | | |
| Gravas y arenas | Libre | $5 X 10^{-2} - 15 X 10^{-2}$ |
| | Semiconfinado | $10^{-3}$ |
| | Confinado | $10^{-4}$ |
| Kársticos y porosos: | | |
| Calcarenitas marinas terciarias | Libre | $15 X 10^{-2} - 18 X 10^{-2}$ |

Fuente: (ITGE, 1987)

Los acuíferos se recargan o llenan de agua de forma natural por infiltración del agua de lluvia que cae sobre ellos, de los ríos o lagos que los atraviesan o limitan, o del excedente de agua empleada en regar cultivos asentados sobre ellos (excedente respecto al agua consumida por el propio cultivo y por la evaporación). Este volumen de agua que se llama también aportación, recarga o entrada al acuífero es variable a lo largo del tiempo, mayor en unas épocas, menor o inexistente en otras. Se suelen establecer valores medios en períodos dilatados de tiempo, por ejemplo, a lo largo de series de años. En condiciones naturales, se establece una especie de equilibrio entre el agua que entra y el agua que sale por algún lugar (*Ibíd.)*. Los lugares de salida son los manantiales. Otros puntos de descarga son los pozos o aljibes de donde artificial o naturalmente sale agua.

Los acuíferos, según la estructura geológica de los materiales que los forman y las condiciones hidráulicas del agua que contienen pueden ser *(Ibíd.):*

- Acuíferos libres: Corresponden al esquema más simple: Una zona impermeable sirve de base a una zona permeable saturada de agua; más arriba, existe una franja permeable, sin saturar. Al perforar pozos, el agua en ellos se sitúa al ras de la zona saturada, marcando el nivel freático, que en este caso es también el nivel piezométrico. Desde un punto de vista hidráulico se dice que la presión (en la superficie del agua en el pozo o en las fisuras) es exactamente la atmosférica. De una forma simplificada, se asimilan estos acuíferos a lagos o embalses subterráneos. En ocasiones, la descarga de estos acuíferos a través de manantiales se produce a considerable altura sobre el nivel de base de los cauces de los ríos; se dice entonces que el acuífero está colgado (Ibíd.) (Figura 1. 6).

- Acuíferos confinados: La roca permeable, queda encajada por encima y por debajo en terrenos impermeables; todo el espesor del acuífero está saturado de agua y la presión de agua en los poros o fisuras es mayor que la atmosférica. Cuando se perfora un pozo en ellos, es decir, cuando el acuífero se pone en contacto con la atmósfera, el agua sube, por la perforación o pozo, quedando el nivel del agua por encima del punto en que el pozo alcanzó al acuífero. El nivel a que queda el agua en un sondeo en tales acuíferos se denomina nivel piezométrico del acuífero en ese punto (Ibíd.): En ocasiones (menos numerosas de lo que parece) el nivel del agua supera el de la superficie y el agua desborda por la boca y se dice entonces que los pozos son surgentes o saltantes.

- Acuíferos semiconfinados. En sentido estricto, no existen materiales absolutamente impermeables. En caso de acuíferos semiconfinados, una de las rocas encajantes no es totalmente impermeable y permite cierta transmisión de agua a través de ella. El acuífero, de algún modo, tiene unas características intermedias entre el libre y el confinado.

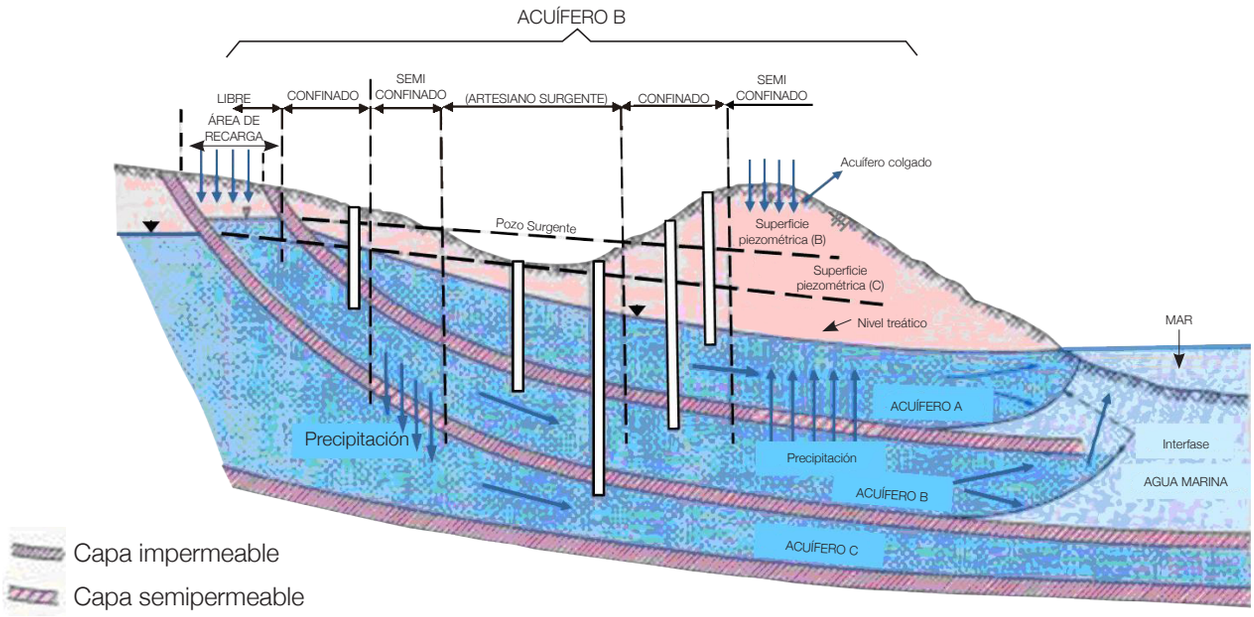



**Figura 1. 6.** Acuíferos libres, confinados y semiconfinados. (ITGE, 1987).

La Figura 1. 7 ilustra la posible relación o conexión hidráulica entre las aguas superficiales y las aguas subterráneas.

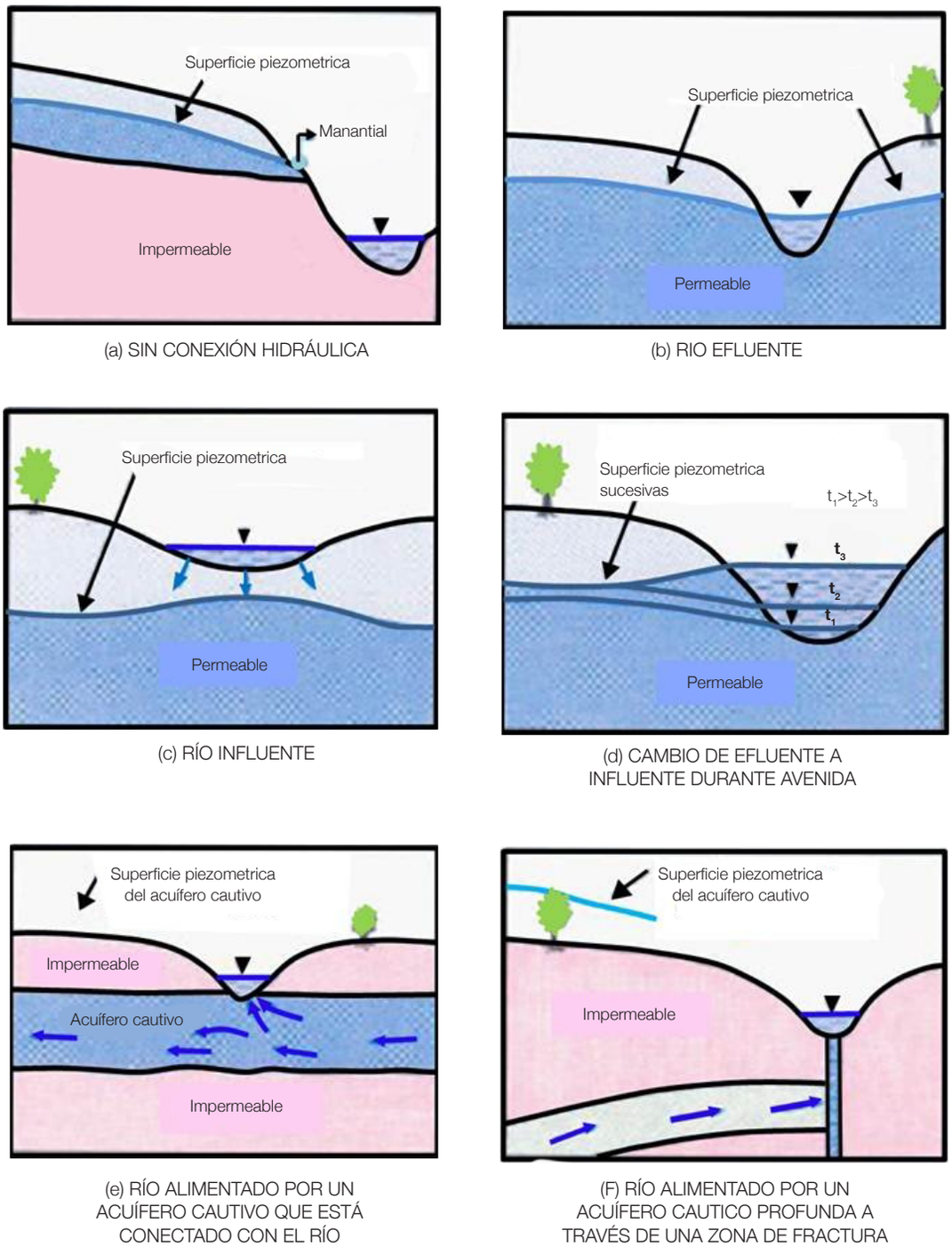



**Figura 1. 7.** Relaciones posibles entre río-acuífero. Custodio, Llamas. 1976. (ITGE, 1987)

## 1.2. Modelo hidrogeológico conceptual (MHC)

La gestión de las aguas subterráneas debe articularse al modelo de Gestión Integral del Recurso Hídrico (GIRH) de tal manera que el agua se pueda entender en su contexto del ciclo hidrológico aún cuando el subsistema de aguas subterráneas tiene condiciones dinámicas e hidroquímicas particulares que deben entenderse. En este sentido, la gestión parte de un conocimiento de los acuíferos que debe ser representado en un Modelo Hidrogeológico Conceptual (MHC).

El MHC integra la información geológica, hidrológica, hidrodinámica, hidráulica, hidroquímica e isotópica para ilustrar los procesos y flujos que ocurren en las dimensiones espaciales de su dominio (Figura 1. 8).

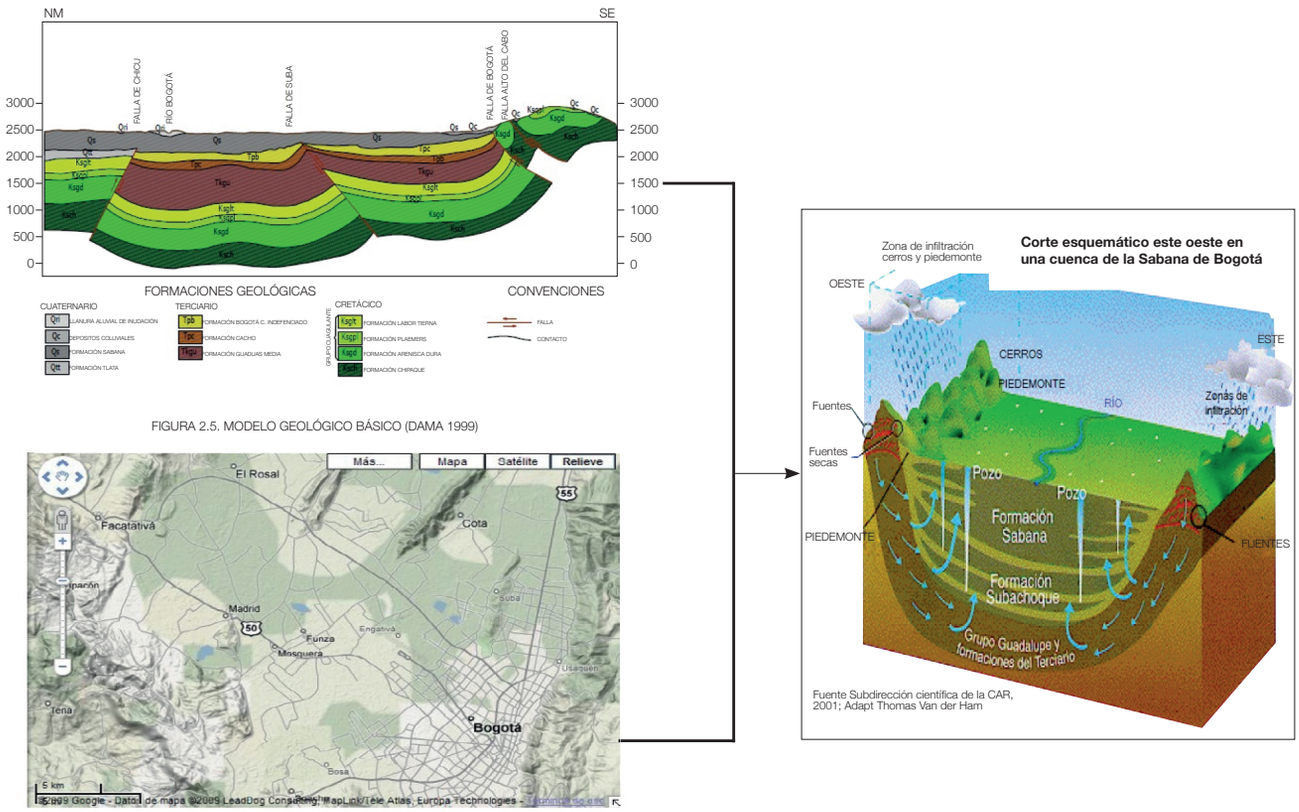



FIGURA 2.5. MODELO GEOLÓGICO BÁSICO (DAMA 1999)

**Figura 1. 8.** Construcción de un modelo hidrogeológico conceptual de la Sabana de Bogotá a partir de información geográfica, geológica, hidrodinámica e hidrológica.

El MHC es dinámico en la medida en que se actualice la información de las variables hidrogeológicas de cantidad y calidad y las estadísticas de extracción y recarga (natural e inducida) a partir de un monitoreo permanente y sistemático que de cuenta de la dinámica e interrelaciones con el medio físico.

En este punto, debe aclararse que no hay coincidencia entre los límites de las divisorias de unidades hidrográficas y las unidades de análisis hidrogeológicas por lo cual es imperativo desarrollar estrategias y técnicas para involucrar el subsistema hídrico subterráneo en la GIRH (Figura 1. 9).

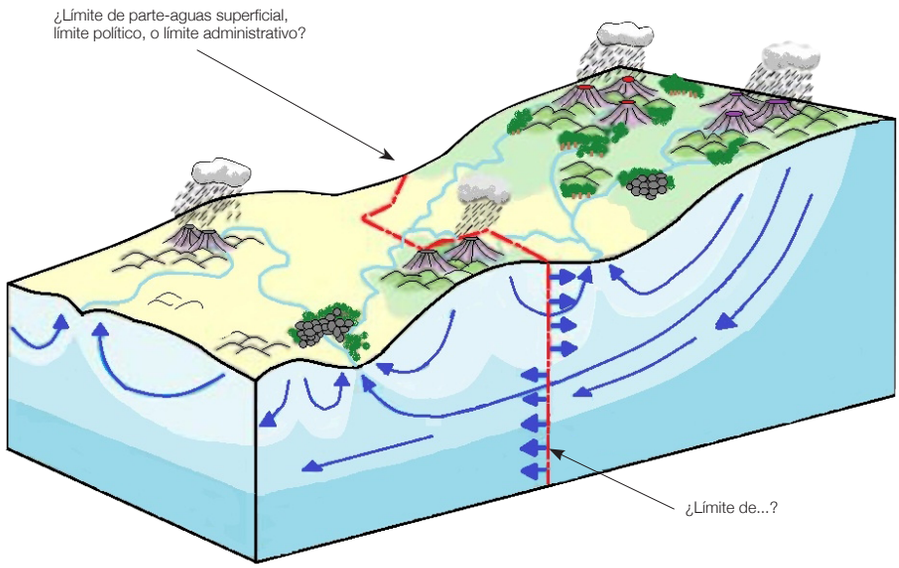



**Figura 1. 9.** Divergencia de límites hidrográficos e hidrogeológicos (Carrillo *et al.*, 2007)

Por otro lado, es importante entender que los sistemas hidrogeológicos determinan flujos de carácter regional, intermedio y local que deben ser considerados para entender dinámicas ecosistémicas al formular medidas de protección, manejo y adaptación (Figura 1. 10).

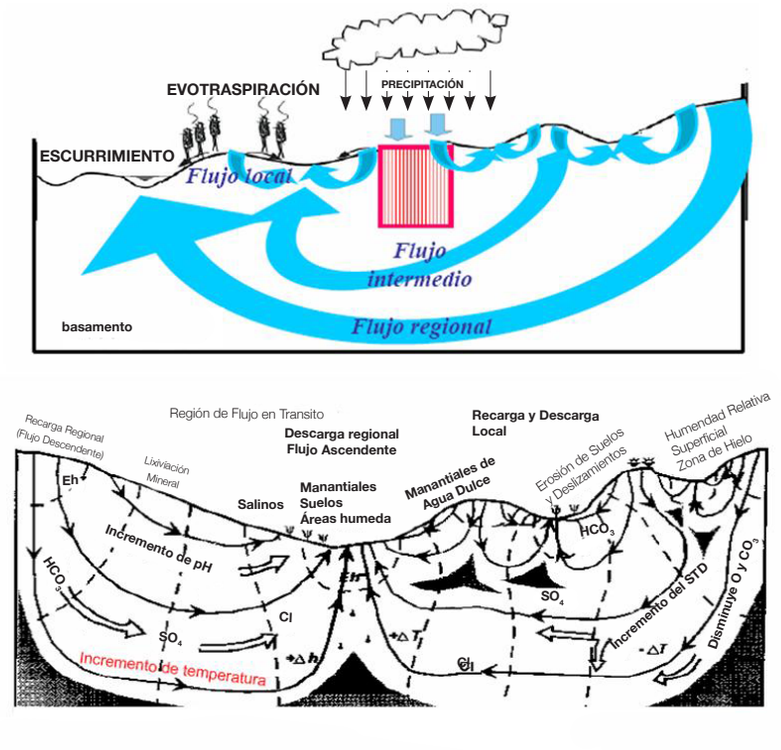



**Figura 1. 10.** Sistemas de flujo de aguas subterráneas (Tóth, 1995)

Además, es necesario reconocer que las velocidades de flujo de las aguas subterráneas son menores en varios órdenes de magnitud a las velocidades de tránsito de las aguas superficiales. Mientras las primeras se desplazan en las unidades acuíferas con orden de m/día, las segundas alcanzan velocidades del orden de los m/s. Esta diferencia trae entre otras consecuencias la atenuación de la contaminación pero a la vez la dificultad de descontaminar, una vez el acuífero ha sido afectado por actividad antrópica en su calidad.

Las unidades hidrogeológicas ocurren en ambientes geológicos que permiten almacenar y transmitir agua en cantidades apreciables o significativas. Estas unidades no necesariamente están conectadas regionalmente y sus características hidráulicas cambian tanto en la dimensión horizontal como en la vertical por la heterogeneidad, anisotropía y discontinuidad de las unidades de roca - sedimento que configuran acuíferos en el subsuelo. Los acuíferos se presentan como sistemas heterogéneos, complejos, segmentados y frecuentemente multicapas que pueden estar interconectados o no.

Los Sistemas Acuíferos se caracterizan a partir del conocimiento de su modelo hidrogeológico conceptual MHC que en términos general se construye atendiendo los dominios, parámetros y variables que se ilustran en la Figura 1. 11.

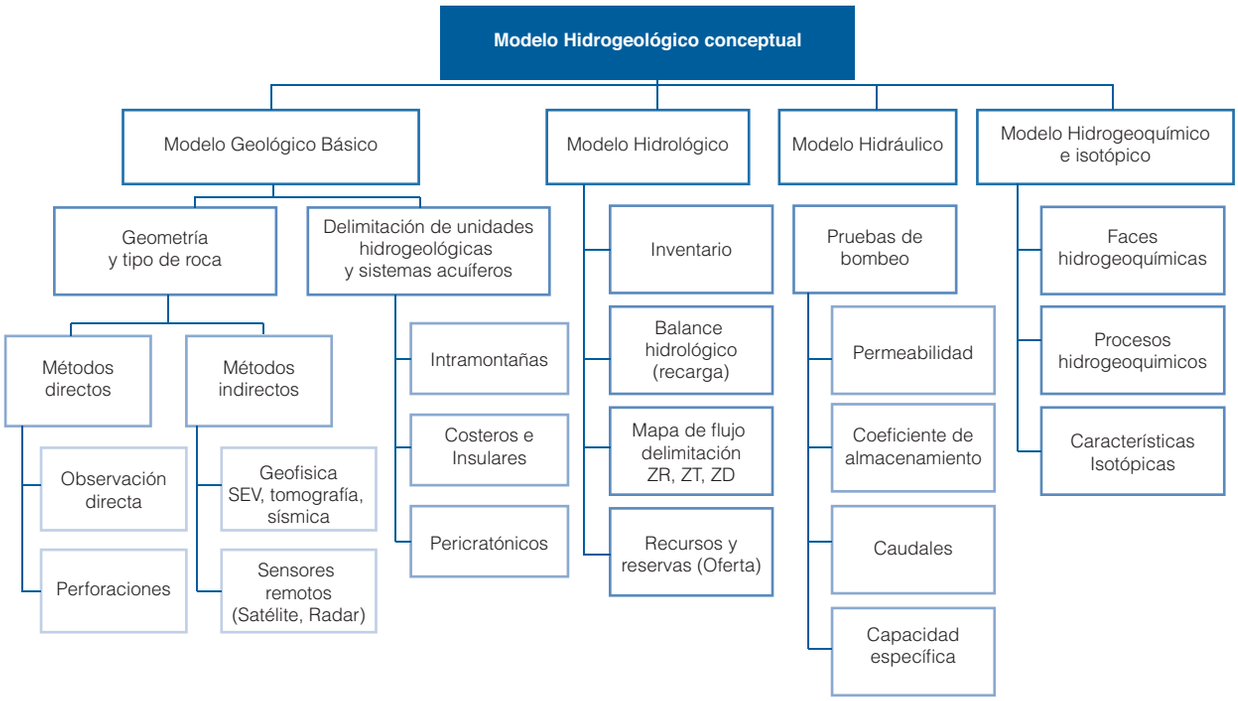



**Figura 1. 11.** Modelo hidrogeológico conceptual. (IDEAM, 2013)

***El Modelo Hidrogeológico Conceptual MHC*** integra la evaluación geológica-geofísica, la evaluación hidrológica, evaluación hidrogeoquímica y evaluación hidráulica e hidrodinámica. (IDEAM, 2013)

- **La evaluación geológica-geofísica**, a la escala apropiada para fines hidrogeológicos, debe componerse combinando métodos directos que comprenden observaciones de afloramientos, levantamiento de columnas estratigráficas, correlaciones estratigráficas, elaboración de secciones geológico-geofísicas, análisis de registros de perforaciones exploratorias, procesamiento de imágenes de satélite, radar, fotografías aéreas e interpretación geofísica de Sondeos Eléctricos Verticales SEVs y registros provenientes de exploraciones sísmicas, tomográficas, magnetométricas, o de perfilaje o registro geofísico de pozos.

- **La evaluación hidrológica** permite reconocer la distribución espacio temporal de la recarga, dinámica de flujo (zonas de recargas, tránsito y descarga) representada por mapas de isopiezas (que requieren nivelación topográfica de pozos), balance hídrico y flujos base, relaciones cuantitativas con susbsistemas de agua superficial. El modelo hidrológico se construye a partir de información hidroclimática, uso de trazadores e inventarios de puntos de agua (pozos, aljibes y manantiales). Los inventarios se realizan mediante campañas que permiten recolectar información de usos y usuarios, tendencias de la demanda, estado sanitario de captaciones, parámetros de diseño de las captaciones, características hidráulicos de pozos, condiciones y cuantificación de aprovechamientos, parámetros de calidad físico química de las aguas captadas y otras variables que contempla el Formulario Único nacional para Inventario de Aguas Subterráneas FUNIAS y que deben ser incorporadas al Sistema de Información de Recurso Hídrico SIRH para generar productos de valor agregado representados en estadísticas, espacialización de variables e indicadores de estado.

- **La evaluación hidrogeoquímica** e isotópica complementa y es parte estructural del MHC. Permite reconocer facies hidrogeoquímicas, separar y reconocer sistemas de flujos, precisar edad y origen de las aguas subterráneas y reconocer afectaciones por actividad antrópica. Se construye a partir del seguimiento en redes de monitoreo y se complementa con información proveniente de inventarios de puntos de agua.

- **El modelo hidráulico e hidrodinámico** permite reconocer tipos de acuíferos (libre, confinado, semiconfinado), espacializar variables hidráulicas (permeabilidad, capacidad específica, caudales de explotación, rendimientos o productividad), reconocer superposición y extensión de conos de abatimiento, etc. Parte de la interpretación y extrapolación de resultados de pruebas de bombeo (a caudal constante, escalonadas, slug test, etc.) que dan información de captaciones y del acuífero.

## 1.3. Provincias Hidrogeológicas y Sistemas Acuíferos

"La caracterización y cuantificación de la oferta y el uso del recurso hídrico subterráneo se realizó a escala nacional, con el propósito de calcular las reservas de agua subterránea existentes en Colombia. Dicha cuantificación se hizo para unidades de análisis regional, seleccionadas a partir de la identificación y delimitación de provincias hidrogeológicas" (IDEAM, 2010a).

"Las Provincias Hidrogeológicas corresponden a unidades mayores referidas a escalas menores (entre 1:10.000.000 y 1:500.000), definidas con base en unidades tectonoestratigráficas separadas

entre sí por rasgos estructurales regionales, que coinciden con límites de cuencas geológicas mayores y que, desde el punto de vista hidrogeológico, corresponden a barreras impermeables representadas por fallas regionales y *altos estructurales*. Adicionalmente, se caracterizan por su homogeneidad geomorfológica" (*Ibíd.*). "Estas unidades de análisis requieren de un nivel de información bajo (datos escasos y heterogéneos de varias fuentes), se representan en mapas hidrogeológicos generales y son útiles para reconocimiento nacional, pues representan grandes áreas con parámetros estáticos, sin dependencia del tiempo" (*Ibíd.*).

La delimitación en provincias se elaboró a partir de la cobertura de Unidades Tectónicas y cuencas sedimentarias de la Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH) (Barrero, Pardo, Vargas, & Martínez, 2007). Estos límites estructurales han sido reconocidos mediante métodos de observación geológica directos (observación de afloramientos y perforaciones) e indirectos (sensores remotos, prospección sísmica, magnetometría, gravimetría, etc.) y están ampliamente documentados en la literatura geológica nacional (Barrero et ál., 2007; ECOPETROL, 2000; INGEOMINAS, 2000).

Las provincias hidrogeológicas coinciden con las cuencas sedimentarias por sus potencialidades de flujo (asociadas a ambientes y condiciones de depositación) y geometría (determinada por conspicuos rasgos tectónicos y estratigráficos resultantes de los eventos históricos). Las barreras impermeables pueden corresponder, principalmente, a macizos de rocas cristalinas (ígneas, volcánicas), a altos estructurales o a sistemas de fallas que afectan la continuidad de las unidades regionales. En este sentido, las barreras impermeables corresponden a los macizos de rocas cristalinas o volcánicas, altos estructurales y los principales sistemas de fallas que atraviesan el país.

El Sistema Acuífero contenido en una provincia hidrogeológica corresponde a un "dominio espacial, limitado en superficie y en profundidad, en el que existen uno o varios acuíferos, relacionados o no entre sí, pero que constituyen una unidad práctica para la investigación o explotación"(ITGE, 1971, 1987). Esta definición necesariamente amplia y no restrictiva reconoce que el sistema es dinámico, ya que las unidades prácticas cambian en el tiempo al haber avances en la investigación; no es de extrañar, por tanto, que puedan existir críticas a cualquier clasificación rígida de los materiales permeables en Sistemas Acuíferos (*Ibíd.*). Estos Sistemas Acuíferos son susceptibles de subdivisiones en unidades menores que pueden denominarse subsistemas o acuíferos. También podrían, agruparse en unidades mayores o cuencas hidrogeológicas. Al respecto el glosario hidrológico internacional de la Organización Mundial de Meteorología define al Sistema Acuífero como acuíferos formados por materiales porosos de diversas permeabilidades que pueden constituir una fuente de recursos hídricos de ámbito regional. (WMO, 2012).

La delimitación de Sistemas Acuíferos parte de un conocimiento geológico del área de jurisdicción. Implica reconocimientos y representaciones a escalas mayores a 1:100.000 representadas en cartografía geológica-estructural, columnas estratigráficas, secciones geológicas y determinación de características hidrogeológicas generales asociadas con el conocimiento de las condiciones de porosidad y permeabilidad, cuando menos, de las unidades litoestratigráficas. De gran utilidad resulta la cartografía geológica e hidrogeológica desarrollada por el Servicio Geológico Colombiano a diferentes

escalas y estudios geológicos, geofísicos e hidrogeológicos y análisis de registros de perforaciones de mayor detalle adelantadas en las áreas objeto de estudio.

## 1.4. Clasificación de provincias hidrogeológicas

Se ilustra en la figura anterior una clasificación de los Sistemas Acuíferos en Costeros e insulares, intramontanos, y pericratónicas en razón a que su gestión tiene particularidades que orientan el propósito de los Planes de Manejo Ambiental de Acuíferos a los que se refiere la Política nacional para la Gestión Integrada de recursos Hídricos PNGIRH en general y las medidas de protección y manejo en particular. En este sentido, en los acuíferos costeros es pertinente la vigilancia permanente de la intrusión marina y la dinámica de las aguas entre ambientes marinos, transicionales y continentales. El acuífero insular de San Andrés y Providencia comporta particularidades que tienen que ver con su alta dependencia del recurso hídrico subterráneo, el control de la cuña salina y la gestión de la demanda y uso de las fuentes subterráneas. Los acuíferos transfronterizos implican gestión con países vecinos y al respecto el programa UNESCO/OEA ISARM Américas es una iniciativa regional lanzada en 2002, en el Congreso de IAH-ALHSUD en Mar del Plata, Argentina. Resultó de los esfuerzos conjuntos de PHI-UNESCO y la OEA para implementar el Programa ISARM en el hemisferio occidental. El programa abarca tres actividades principales de carácter regional, los cuales corresponden a tres fases (Figura 1. 12):

- El inventario exhaustivo de los acuíferos transfronterizos de las Américas, incluyendo la recopilación de datos relativos a sus características hidrogeológicas y la utilización actual de sus aguas subterráneas.

- El inventario de los marcos jurídicos e institucionales en los países de la región, en el contexto de los acuíferos transfronterizos.

- Inventario y análisis de los aspectos socioeconómicos de los acuíferos transfronterizos de la región y de su gestión transfronteriza.

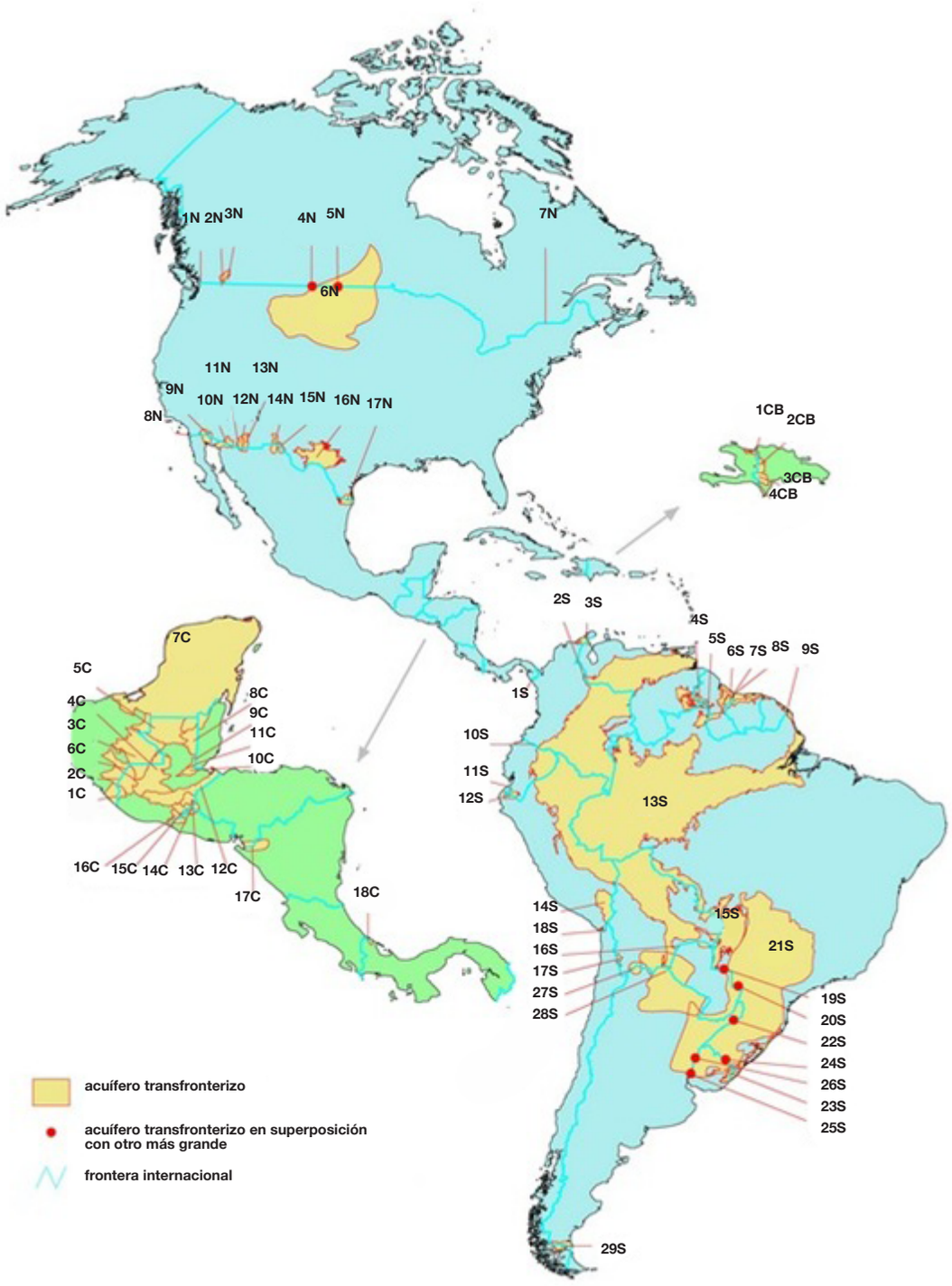



**Figura 1. 12.** Sistemas Acuíferos Transfronterizos de las Américas. (IGRAC, s.f)



El Programa es coordinado por un grupo de expertos de la OEA y UNESCO-PHI y a nivel nacional es implementado por representantes nacionales designados por los Comités Nacionales del PHI. Uno de los pasos iniciales más importantes del programa fue la creación de una red de coordinadores nacionales, la cual representa actualmente 25 países. Los coordinadores participan en los talleres anuales organizados por ISARM Américas; se responsabilizan de la respuesta adecuada por parte de sus países a los cuestionarios acordados; colaboran - frecuentemente apoyados por colegas nacionales - en la interpretación de la información; y pueden participar en cualquiera otra actividad del programa ISARM Américas. Al final, se busca definir lineamientos para el manejo de acuíferos transfronterizos que puedan orientar los marcos nacionales en cuanto a la comprensión y mejores prácticas de gestión de estos acuíferos compartidos. Las publicaciones y resultados de esta iniciativa se pueden consultar en la página web http://www.isarm.org/publications/303.

## 1.5. Mapas hidrogeológicos

Los mapas hidrogeológicos son una representación sinóptica de todos los datos relacionados con el sistema agua-tierra que alcanzan la más extrema importancia, puesto que son particularmente herramientas usadas en la descripción de situaciones estáticas y procesos dinámicos en el subsuelo en lo relacionado con el agua (Struckmeir y Marat, 1995). Los mapas hidrogeológicos son parte del sistema integral de representación gráfica usada en las ciencias de la tierra. Las representaciones gráficas más comunes corresponden a columnas y correlaciones estratigráficas, mapas, bloquediagramas y secciones geológicas. Los mapas y secciones verticales “son representaciones, normalmente a escala y sobre un medio plano, de una selección de aspectos materiales o abstratos, sobre o en relación a, la superficie o subsuperficie, de la tierra”(Anón, 1977, 1983). Sobre los mapas hidrogeológicos, en sentido amplio, estos aspectos representan datos e información acerca del agua subterránea y las rocas, o información derivada. En cualquier caso, sobre los mapas hidrogeológicos coloreados, el color debe estar atribuido a verdadera información hidrogeológica así como a la estratigrafía o unidades del tipo de roca. Un plano hidrogeológico deberá contener una sección transversal o corte, para revelar la estructura en el plano vertical.

La información obtenida de un mapa geológico para propósitos de cartografía hidrogeológica generalmente comprende dos aspectos (Figura 1. 13).

- La conversión de unidades litoestratigráficas en unidades hidrolitológicas.

- La identificación y selección de información estructural necesaria para describir y comprender la dinámica de flujo de acuíferos y aguas subterráneas, así como los tipos y condiciones de los límites controlados por la geología y la estructura.

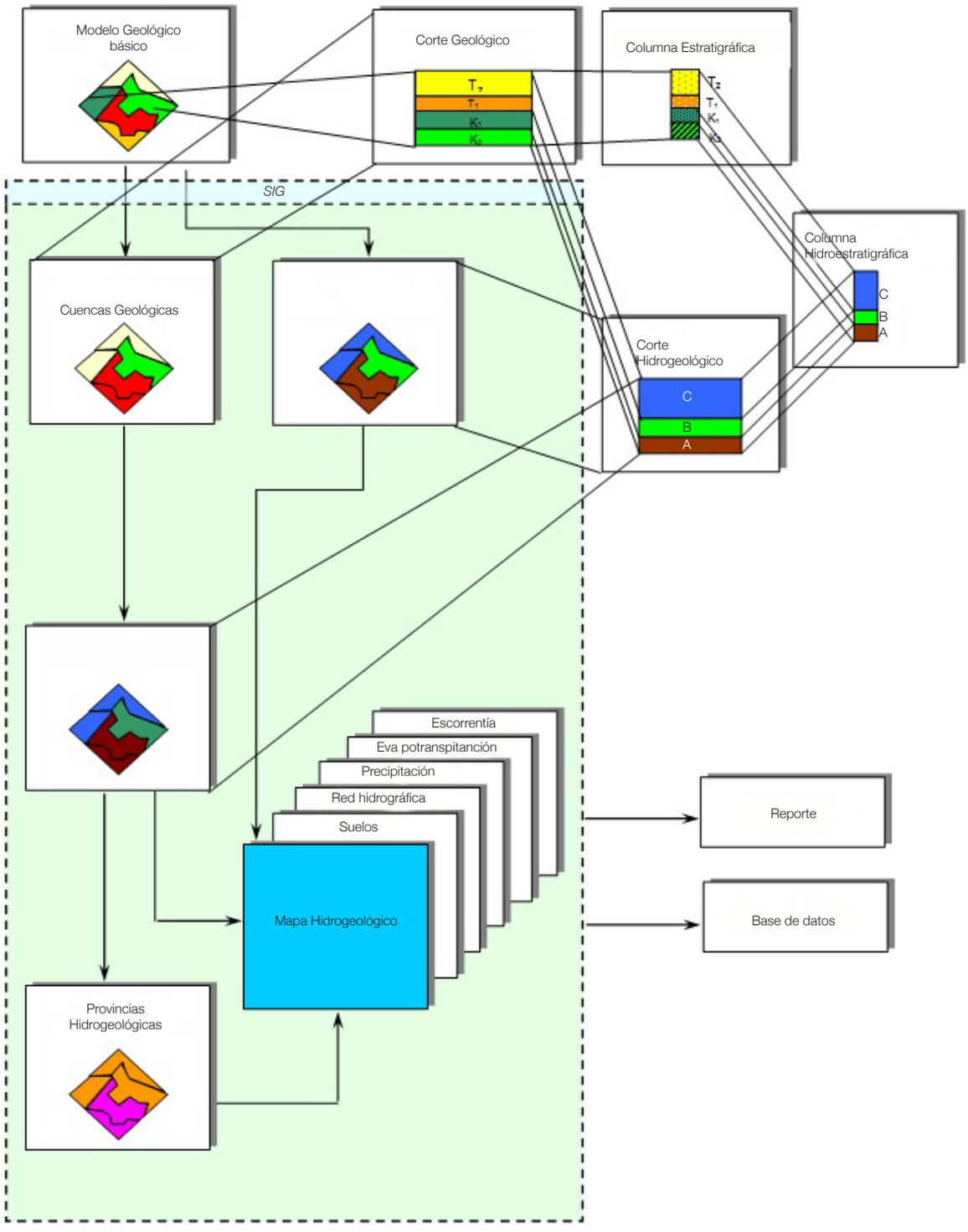



**Figura 1. 13.** Esquema Lógico para la elaboración de mapas hidrogeológicos (en Vargas, N.O. 2001).

La clasificación de rocas infrayacentes y su caracterización hidrogeológica (su capacidad de trasmitir y almacenar agua) es usualmente el paso esencial en la conversión de un mapa geológico en uno hidrogeológico. Esta es una función de la descripción de facies litológicas sobre un mapa geológico, lo cual algunas veces no está disponible en detalle, especialmente si las unidades del mapa son solamente clasificadas por su edad estratigráfica. Los mapas geológicos que muestran unidades roca/tiempo son más apropiadas para interpretación hidrolitológica (Ibíd.). La conversión hidrolitológica de un mapa geológico puede realizarse diferentes niveles:

- La distinción entre rocas consolidadas y no consolidadas, permeables e impermeables se hace sobre bases crudas y cualitativas. Los cuerpos de roca considerados permeables son entonces clasificados como:

  - Continuos o discontinuos de acuerdo con la naturaleza de los cuerpos de agua subterránea contenidos.
  - Poroso/intergranular o fisurada de acuerdo a las características de flujo dominantes.

Esto lleva a una clasificación en tres diferentes categorías (poroso, fisurado, carstificado) posiblemente complementado por clases intermedias. Muchos cuerpos de roca pueden ser diferenciados fácilmente siguiendo esta clasificación basada en datos hidrogeológicos de campo limitados.

- La clasificación de rocas puede ser refinada sobre la base de consideraciones de permeabilidad a menudo derivadas de analogía pura entre geología (tipo litológico de roca) e hidrogeología (valores de conductividad hidráulica K). Sin embargo, debe recordarse que los valores de K varían ampliamente en áreas con litologías uniformes. Esta clasificación semicuantitativa usualmente agrupa las unidades hidrogeológicas en:

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

  La información estructural derivada del modelo geológico básico por su parte permite:

  - Definir la geometría de los acuíferos
  - Determinar los límites de los Sistemas Acuíferos los cuales son a menudo definidos por las estructuras geológicas.

A nivel de la información hidrogeológica, en los mapas generales y de propósitos específicos, el principio general es representar los acuíferos, sus características hidrogeológicas y el contenido de aguas subterráneas. Para el efecto se utilizan los colores azul, verde y marrón de la escala (ITC, 1983). Los acuíferos en los cuales el flujo es principalmente intergranular (particularmente materiales inconsolidados) se representan con color azul. Acuíferos fisurados, cársticos y en general desarrollados en rocas consolidadas se colorean con verde. En cada caso, el tono oscuro del color indica un recurso

de agua subterránea extensivo con alta productividad del acuífero, mientras que un tono claro indica que el recurso es local y de baja productividad. Las formaciones o unidades de roca que contienen recursos de agua subterránea local y limitada se colorean de marrón claro y las que no almacenan el recurso se colorean con marrón oscuro.

De esta manera, es posible modelar espacialmente los componentes hidrogeológicos de los Sistemas Acuíferos y asociarlos con las 16 provincias hidrogeológicas en que se ha dividido el país (IDEAM, 2010a).





# Capítulo II
## Alcance y enfoque metodológico

Desde el punto de visto metodológico se deben realizar precisiones que definen el alcance de este documento y las limitaciones para su construcción. Básicamente se trata de una síntesis hidrogeológica que utiliza fuentes secundarias de información de diferentes entidades y las integra espacialmente utilizando técnicas de SIG con base en la zonificación hidrogeológica que el IDEAM publicó en el Estudio Nacional del Agua 2010 (IDEAM, 2010a). El capítulo 5 se elabora a partir de los resultados del ENA 2010 mediante cruce información disponible en los productos del SIG y bases de datos asociadas. En este capítulo se resumen los principales aspectos metodológicos.

## 2.1. Procedimiento general para la determinación y caracterización de Sistemas Acuíferos

La delimitación y caracterización de Sistemas Acuíferos supone un procedimiento expedito que se ilustra en la Figura 2. 1. En esta misma gráfica se han relacionado las principales fuentes de información utilizadas.

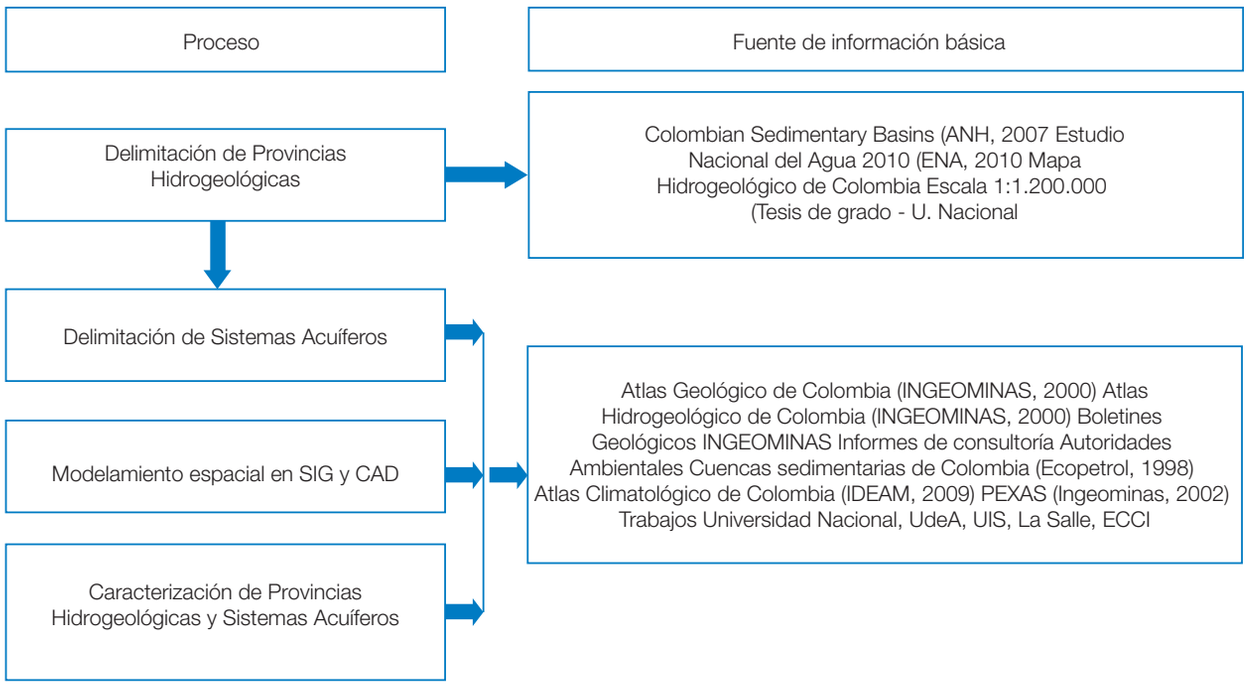



**Figura 2. 1.** Flujograma de procedimiento y fuentes de información.

Tal como se observa la propuesta tiene que ver con el hecho incontrovertible de que la geología controla la presencia y distribución del agua en las rocas y por lo tanto se debe establecer una caracterización de las unidades hidrogeológicas con base en un modelo geológico regional que representa el medio físico sobre el cual se desarrolla la dinámica del ciclo hidrológico en su componente subterráneo de acuerdo con la capacidad de las rocas para almacenar y transmitir el fluido.

En este orden de ideas, sobre el mapa geológico base se han delimitado cuencas sedimentarias y unidades tectónicas en una propuesta unificada que integra las clasificaciones de Geotec (1988), Mapa de

Terrenos de Colombia (Etayo et al., 1983) y ECOPETROL (1998). Estas unidades tectono-estratigráficas corresponden a eventos geológicos únicos cuyos límites físicos están marcados por megafracturas de orden regional ampliamente documentadas en los estudios geológicos del país. Las unidades geológicas delimitadas se han convertido en provincias hidrogeológicas de acuerdo con las posibilidades de las rocas de almacenar y permitir el paso del agua (porosidad y permeabilidad).

En las provincias hidrogeológicas las unidades hidroestratigráficas (derivadas de las unidades litoestratigráficas de acuerdo con la naturaleza de los intersticios del sistema roca-sedimento) se comportan como acuíferos (rocas permeables que permiten el paso relativamente fácil de agua bajo condiciones naturales de campo), acuitardos (permiten el paso lento del agua por sus condiciones semipermeables), acuicludos (rocas impermeables que pueden contener agua pero no permiten su flujo) o acuífugas (no contienen, ni transmiten agua). Los acuíferos a su vez pueden ser libres, semiconfinados o confinados de acuerdo con la ubicación estratigráfica de las rocas encajantes y la posición de la tabla de agua. Su caracterización se resume en la leyenda que se ha adaptado de la IAH (Struckmeier y Marat. 1995).

En este trabajo se propone una división del país por provincias definidas de acuerdo con la similaridad con el modelo geológico básico, las características geomórfológicas y las condiciones hidrogeológicas de las unidades constituyentes. Para ello, se agrupan las *cuencas hidrogeológicas* en *Provincias Hidrogeológicas* cuyos límites se ilustran en cortes o secciones hidrogeológicas a las que se asocian columnas hidroestratigráficas que permiten reconocer la litología y ubicación geológica de las diferentes formaciones geológicas (aceptadas formalmente en el Léxico Estratigráfico Internacional), sus características hidrogeológicas y el tipo de acuífero que forman de acuerdo con su porosidad y permeabilidad.

Se han cumplido tres etapas básicas de trabajo que se relacionan a continuación con sus actividades conexas y a la vez se ilustran en la figura anterior, donde se presenta el esquema lógico seguido para elaborar el trabajo, las relaciones establecidas entre las diferentes representaciones gráficas presentadas, las etapas de preparación y las responsabilidades compartidas con quienes prestaron su apoyo y colaboración para culminar este proceso.

- *Etapa 1. Diseño del proyecto:* En esta etapa se elabora el marco conceptual para la delimitación de Provincias Hidrogeológicas y Sistemas Acuíferos definiendo su propósito, alcance, escala, contenido y formas de representación. Para tal fin se adelantaron las actividades que se relacionan enseguida:

1. Formulación y diseño del marco conceptual
2. Selección del Mapa geológico base
3. Selección de elementos documentales y cartográficos que serán utilizados como básicos para la elaboración del mapa de unidades hidrogeológicas.
4. Recopilación bibliográfica y cartográfica de información geográfica, geomorfológica, hidroclimatológica, geológica e hidrogeológica.

- *Etapa 2. Análisis e integración de la información:* De acuerdo con el marco conceptual y la información disponible se procede a integrar de manera sistemática los diferentes componentes del modelo atendiendo a la secuencia de actividades que se mencionan a continuación:

1. Integración de cortes geológicos
2. Definición y representación en SIG de cuencas sedimentarias y unidades tectónicas
3. Definición y representación en SIG de provincias hidrogeológicas
4. Definición y representación en SIG de Sistemas Acuíferos
5. Elaboración de cortes hidrogeológicos por provincia hidrogeológica en Autocad
6. Elaboración de columnas hidroestratigráficas a partir de correlaciones de columnas litoestratigráficas generalizadas.

- *Etapa 3. Desarrollo de mapas*: La integración sistemática de los componentes anteriores permiten elaborar mapas Hidrogeológicos utilizando un Sistema de Información Geográfica, el cual almacena los datos espaciales del mundo real en bases de datos y coberturas dirigidas que pueden ser manipulados por herramientas de software para interpretar el mundo real tan bien como sea posible.

  En esta etapa se cubrieron las actividades siguientes:

1. Definición de la leyenda del mapa de unidades hidroestratigráficas siguiendo los criterios, normas y estándares de la IAH.
2. Elaboración de manuscritos, textos explicativos y soporte finales.

## 2.2. Zonificación de Provincias Hidrogeológicas y Sistemas Acuíferos

Una vez realizada la división en provincias hidrogeológicas a partir de los criterios técnicos ya mencionados, se observa que estas unidades hidrogeológicas pueden agruparse en tres grupos de acuerdo con su posición geográfica (Figura 2. 2):

- Provincias hidrogeológicas costeras e insulares (PC): Corresponden a ocho provincias que comparten ambientes costeros y litorales. De estas cinco corresponden a la costa Caribe, dos al Pacífico y San Andrés Islas se clasifica como provincia insular.
- Provincias hidrogeológicas montanas e intramontanas (PM). En esta categoría se encuentran cinco provincias que se localizan en la zona andina y sus valles intramontanos.
- Provincias hidrogeológicas pericratónicas (PP): Agrupa tres provincias que se localizan entre el piedemonte de la cordillera Oriental y el Escudo de la Guyana, localizado en la parte más oriental del territorio colombiano y que corresponde a una zona estable, peniplanizada donde se alojan las rocas más antiguas del país. En términos generales, estas provincias abarcan la Orinoquía y Amazonía colombiana y constituyen el Sistema Acuífero transfronterizo del Amazonas.

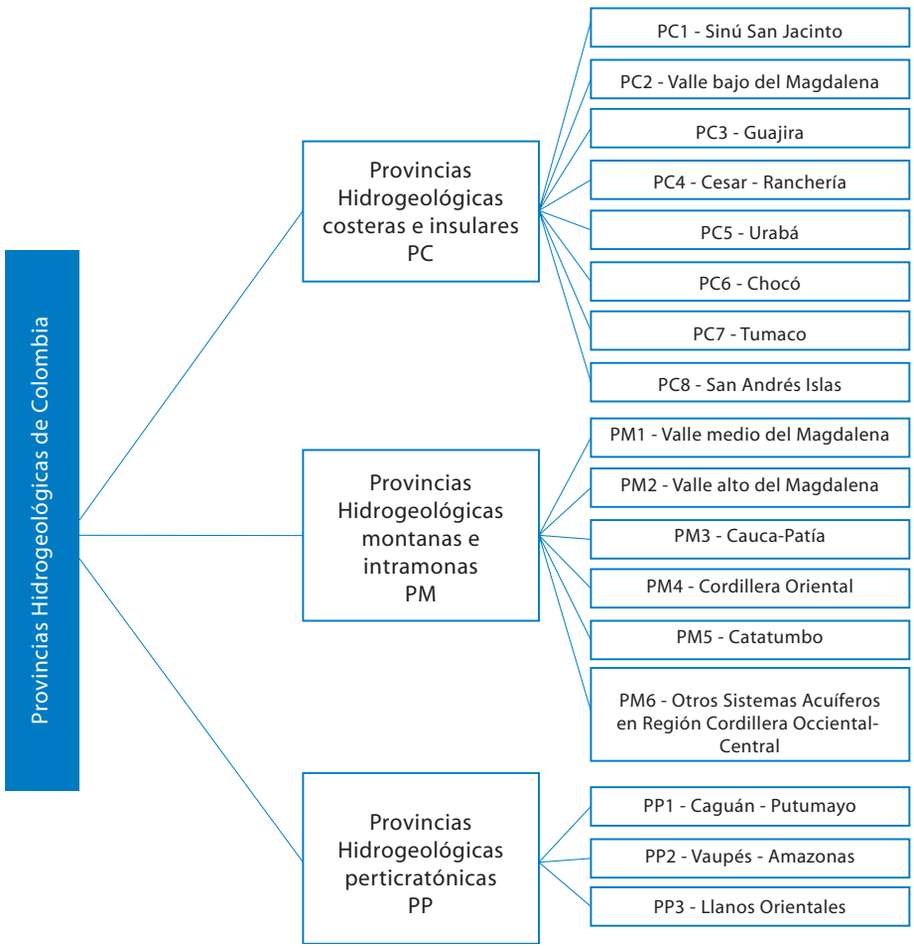



**Figura 2. 2.** Clasificación de Provincias Hidrogeológicas de Colombia

### *2.2.1. Sistema Acuíferos de Provincias Montanas e intramontanas*

Con base en la división en provincias y utilizando cartografía geológica e información más detallada (Mapas geológicos del Servicio Geológico escalas 1:100.000- 1:250.000, imágenes Landsat y Modelos Digitales de Terreno 90X90 y Modelo de Sombras); información proveniente de informes técnicos de la Autoridades Ambientales y de universidades (Universidad Nacional, Universidad de Antioquia, Universidad Industrial de Santander), se han delimitado los Sistemas Acuíferos. La codificación se asocia al tipo de provincia, de tal manera que un SAM4.1 corresponde a un Sistema Acuífero Montano (SAM) de la Provincia Hidrogeológica PM4. El último digito es un consecutivo. De esta manera, se cuenta con una propuesta de clasificación y codificación de Sistemas Acuíferos amarradas a provincias hidrogeológicas que no cambiaran de denominación y cuyos límites son aceptados por la comunidad geológica por tratarse de megafracturas de fácil reconocimiento en imágenes y cartografía. La afinación de límites de los Sistemas Acuíferos, la integración de acuíferos a un Sistema Acuífero o su desagregación corresponde a ejercicios que tendrán que desarrollarse a futuro como parte del conocimiento hidrogeológico del país.

Para el caso particular de los Sistemas Acuíferos Montanos e Intramontanos, estos se agrupan en cinco provincias de las cuales una es transfronteriza y se encuentra identificada en la base de datos del proyecto ISARM-Américas. Se trata de la Provincia Hidrogeológica del Catatumbo PM5 (SAT 2S Táchira-Pamplonita del inventario de ISARM-Américas) que compartimos con Venezuela (Figura 2. 3).

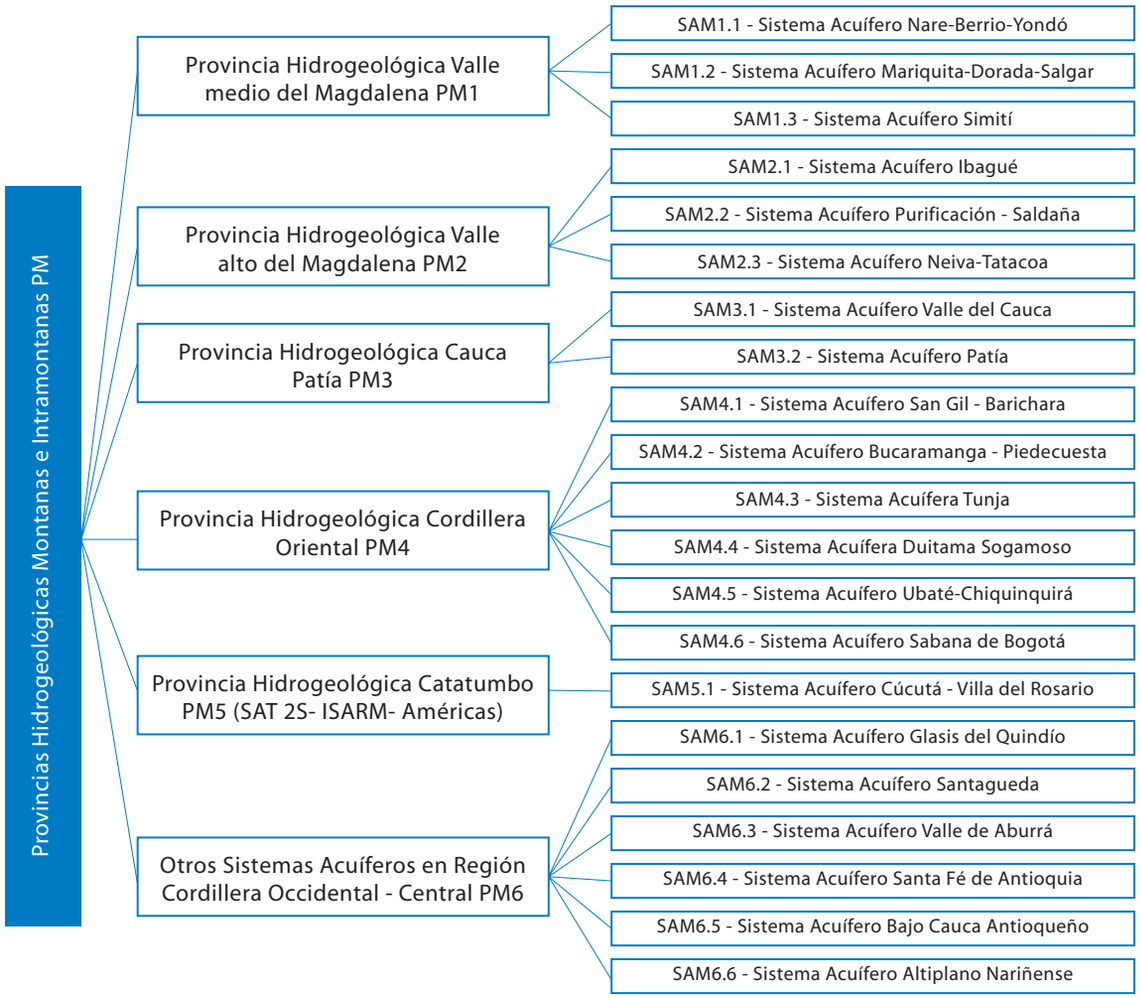



**Figura 2. 3.** Sistemas Acuíferos de las Provincias Hidrogeológicas montanas e intramontanas de Colombia.

Seis Sistemas Acuíferos montanos e intramontanos se localizan en la Cordillera Oriental siendo los más conocidos los Sistemas Acuíferos de la Sabana de Bogotá (SAM4.6) y Tunja (SAM4.3) que corresponden a acuíferos clásticos desarrollados en rocas sedimentarias con buenas posibilidades en las secuencias cretácicas, Paleógeno- Neógeno y sedimentos recientes del cuaternario. Así mismo, se cuentan con estudios y modelo hidrogeológico conceptual del Sistema Acuífero San Gil-Barichara (SAM4.1) que se desarrolla en ambientes cársticos de rocas carbonatadas cretácicas.

En el valle del Cauca se identifica el Sistema Acuífero más conocido del país (SAM3.1) y adecuadamente manejado por la CVC cuya sostenibilidad es estratégica para el desarrollo del Valle del



Cauca pues de él depende la agroindustria, principal renglón de la economía de esta región. Este Sistema Acuífero se desarrolla en secuencias de sedimentos clásticos interconectados del valle estructural del río Cauca que son recargados desde la cordillera Central.

Bajo el Valle Alto del río Magdalena y asociados a depósitos aluviales, terrazas y secuencias sedimentarias silisiclásticas del Paleógeno- Neógeno principalmente se identifican y conocen los Sistemas Acuíferos de Ibagué, Purificación- Saldaña y Neiva-Tatacoa (SAM2.1, SAM2.2, SAM2.3) que se utilizan para agricultura, abastecimiento doméstico e industria petrolera principalmente.

En el Valle Medio del río Magdalena se encuentran los Sistemas Acuíferos de Mariquita-Dorada-Salgar, Nare-Berrio-Yondó y Simití (SAM1.1, SAM1.2, SAM1.3) constituidos por sedimentos aluviales, terrazas y secuencia de areniscas y conglomerados del Paleógeno Neógeno que presentan variaciones de facies y poca continuidad lateral. Estos Sistemas Acuíferos se utilizan para actividades agropecuarias, uso doméstico y desarrollos de hidrocarburos.

En la región Andina se reconocen adicionalmente Sistemas Acuíferos que no están asociados a las Provincias Hidrogeológicas por constituir coberteras que suprayacen ambientes ígneos y metamórficos de las cordilleras Central y Occidental. El Sistema Acuífero del Glacis del Quindío se ubica en el piedemonte de la Cordillera Central en vecindades de los departamentos de Quindío y Risaralda. Este Sistema Acuífero (SM6.1) se desarrolla a partir de secuencias de flujos de piroclastos y lavas que provienen de la actividad volcánica de la Cordillera Central y depósitos aluviales que conforman acuíferos discontinuos de moderada productividad los cuales son usados en la región para fines recreativos, abastecimiento público y doméstico y la agricultura. De características similares es el Sistema Acuífero de Santagueda que es aprovechado para satisfacer necesidades recreativas y que está constituido por sedimentos recientes y del Paleógeno- Neógeno conformando acuíferos de poca continuidad y rápidos cambios laterales de facies litológicas. En ambientes restringidos y suprayaciendo rocas cristalinas se reconocen los Sistemas Acuíferos del Bajo Cauca antioqueño y Santa Fé de Antioquia (SAM6.5 y SAM 6.4) que se desarrollan en depósitos aluviales principalmente. Restringido al Valle de Aburrá se encuentra el Sistema Acuífero del Valle de Aburrá (SAM6.3) que es aprovechado en vecindades de Medellín para uso doméstico e industrial principalmente y sobre el altiplano nariñense se aprovechan acuíferos desarrollados en flujos piroclásticos provenientes de la cordillera Occidental (SAM6.6).

### *2.2.2. Sistemas Acuíferos de Provincias Pericratónicas*

En la Orinoquía y Amazonía colombianas se identifican los Sistemas Acuíferos asociados a Provincias Hidrogeológicas Pericratónicas (Figura 2.4). Estos Sistemas Acuíferos son extensos, continuos y están asociados a depósitos aluviales de gran extensión, terrazas de piedemonte de grandes ríos, depósitos clásticos de altillanura y secuencias detríticas del Paleógeno Neógeno que se adelgazan hacia el oriente. Se han identificado y estudiado en la Orinoquía los Sistemas Acuíferos de Villavicencio- Granada –Puerto López (SAP3.1) y Yopal-Tauramena (SAP3.2) localizados en abánicos aluviales de origen torrencial y terrazas hacia el piedemonte de la cordillera Oriental. En menor grado se conoce el Sistema Acuífero Arauca-Arauquita del cual se abastecen comunidades rurales y urbanas aprovechando espesos depósitos aluviales del río Arauca y tributarios. Hacia la Amazonía colombiana se encuentran Sistemas Acuíferos asociados a valles aluviales de grandes ríos con régimen torrencial

hacia el piedemonte de la Cordillera Oriental y caprichosos patrones anastomosados a medida que avanzan hacia el oriente. Estos acuíferos son extensos pero discontinuos con frecuentes variaciones laterales de facies y se explotan hacia el piedemonte putumayense y en vecindades de asentamientos de la Amazonía incluyendo el casco urbano de Leticia. Estos Sistemas Acuíferos corresponde al SAT 13S del proyecto ISARM-Américas que se comparte con Brasil, Venezuela, Ecuador, Bolivia y Perú.

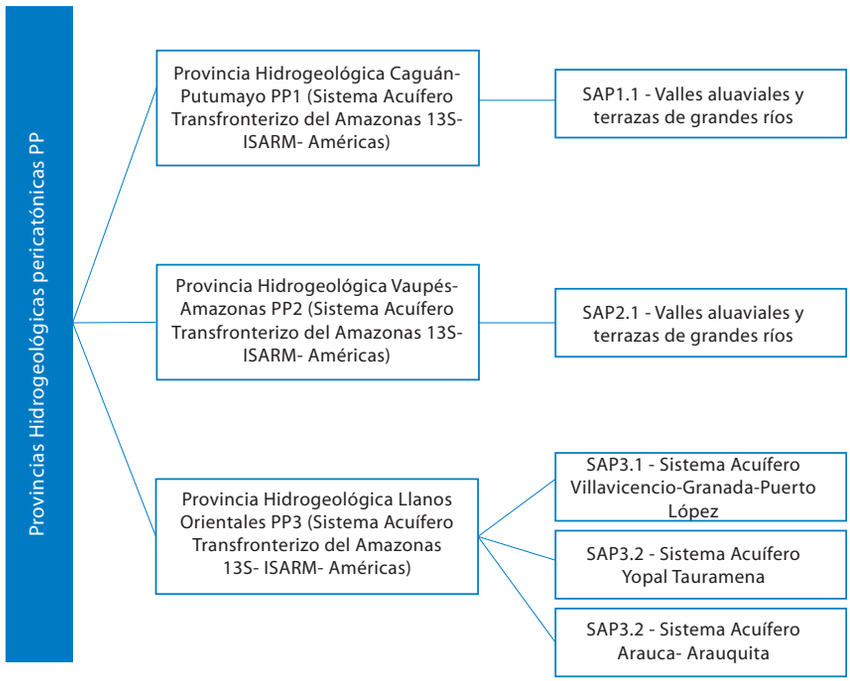



**Figura 2. 4.** Sistemas Acuíferos de las Provincias Hidrogeológicas Pericratónicas de Colombia

### *2.2.3. Sistemas Acuíferos de Provincias Costeras e Insulares*

En la Figura 2.5 se identifican los Sistemas Acuíferos asociados a Provincias Hidrogeológicas Costeras e insulares. De estos los más conocidos son los Sistemas Acuíferos de Maicao, Morroa, Golfo de Morrosquillo, Cesar, Ranchería, Golfo de Urabá y San Andrés Islas (SAC3.1, SAC1.1, SAC1.2, SAC4.1, SAC4.2 SAC5.1 SAL1) que explotan secuencias detríticas cuaternarias y del Paleógeno-Neógeno que suprayacen espesas secuencias de rocas sedimentarias cretácicas que conforman el subsuelo de la costa Caribe y el valle inferior del Magdalena. Estos Sistemas Acuíferos son estratégicos pues abastecen poblaciones con poca disponibilidad de recurso hídrico principalmente en La Guajira y Sucre. En el Urabá antioqueño su uso es fundamental para el desarrollo del sector bananero de la región. Los Sistemas Acuíferos de Barranquilla-Sabanalarga, Arroyogrande, Ciénaga de Oro, Turbaco, Santa Marta, Mompox han sido objeto de estudios hidrogeológicos por parte de INGEOMINAS cuyos resultados se encuentran consignados en boletines geológicos de los años 80-90 sin que sean aprovechados de manera intensiva y más bien se aprovechan marginalmente por lugareños para suplir necesidades de abastecimiento doméstico principalmente. En La Guajira se explotan acuíferos someros asociados a depósitos recientes y ocasionalmente a sedimentos y rocas conglomeráticas y arenáceas del Paleógeno-Neógeno. La principal recarga de estos sistemas acuíferos es la Falla de Oca al sur del

departamento de la Guajira. Es común la explotación con molinos de viento para abastecer rancherías de comunidades indígenas en Uribía, Manaure, Fonseca, Albania y asentamientos en la alta Guajira. Así mismo, se abastecen centros urbanos como Riohacha, Fonseca y Maicao. Las aguas disponibles presentan problemas por influencia marina que incrementa su salinidad. Estos Sistemas Acuíferos se han identificado como SAT 3S compartido con Venezuela por ISARM-Américas en inmediaciones de la franja Maicao-Paraguachón.

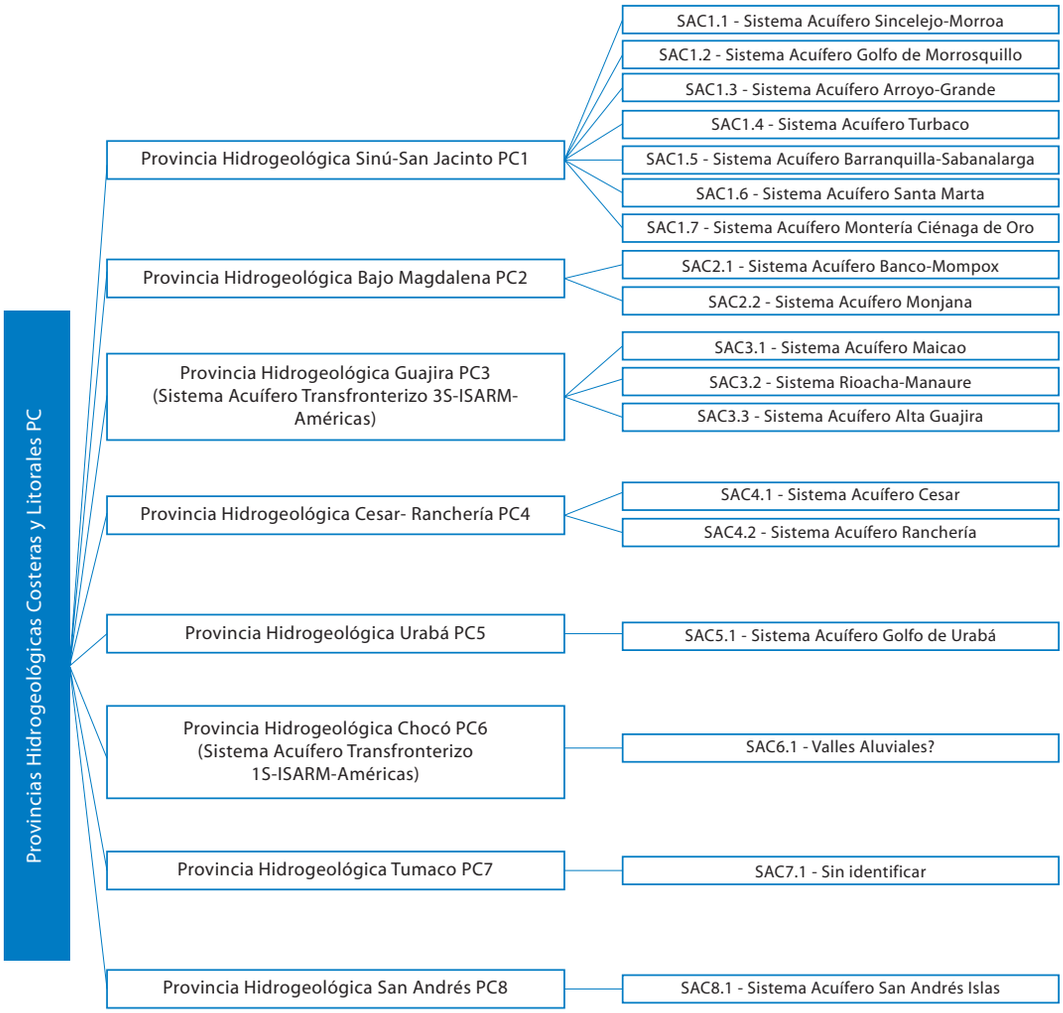



**Figura 2. 5.** Sistemas Acuíferos de las Provincias Hidrogeológicas Costeras e Insulares de Colombia

El Sistema Acuífero del Valle del Río Cesar (SAC4.1) está conformado por los depósitos aluviales del río Cesar y secuencias detríticas del Paleógeno-Neógeno. Se trata de una estructura alargada restringida al valle del río Cesar donde se aprovecha el agua subterránea para uso doméstico, agropecuario y en la explotación del carbón a cielo abierto por mediana y gran minería.

En la costa Pacífica se han identificado acuíferos asociados a los valles aluviales de grandes ríos que divagan por las llanuras aluviales y costeras que se forman al occidente de la Cordillera Occidental.

Sin embargo éstos acuíferos son discontinuos y se desarrollan en sedimentos clásticos recientes y del Paleógeno-Neógeno. El uso de agua subterránea en la región pacífica realmente es marginal y de insignificante valor a nivel de estadísticas nacionales. En la frontera con Panamá, ISARM-Américas identifica el Sistema Acuífero transfronterizo SAT 2S-Chocó Darién y alude en sus documentos la falta de información sobre el sistema.

Finalmente, se identifica el Sistema Acuífero Insular de San Andrés del cual se abastece más del 90% de la población isleña por la ausencia de agua superficial pues corresponde a un ambiente coralino de rocas y sedimentos carbonatados arrecifales que actúan como una esponja para el agua precipitada impidiendo la formación de almacenamientos y corrientes superficiales.





# Capítulo III

## Colombia y su contexto hidroclimático e hidrogeológico

Colombia se localiza en la esquina noroccidental de Sudamérica y forma parte de un área de subducción activa de la placa oceánica bajo una litosfera continental. Su territorio alcanza un área de 1.141.748 km² en el continente y un área similar reconocida por tratados internacionales en la plataforma continental sobre el mar Caribe y el Océano Pacífico.

Desde el punto de vista fisiográfico se divide en una zona montañosa que forma parte de la Cordillera de los Andes (la cual al sur del país, entre el Nudo de los Pastos y el Macizo Colombiano, se divide en tres cordilleras denominadas Occidental, Central y Oriental) y una zona plana correspondiente a los Llanos Orientales, sabanas de la Orinoquía y dominio Amazónico. Adicionalmente se presentan elevaciones aparentemente aisladas del sistema montañoso principal (como la Sierra Nevada de Santa Marta, las serranías de La Guajira, la Serranía del Darién y la Serranía del Baudó), las llanuras costeras y los sistemas insulares (Figura 3. 1).

Estas unidades agrupan variadas unidades de paisaje que reflejan diferentes ambientes geológicos y en las cuales se reconocen características hidrometeorológicas, y de drenaje cuya descripción se presenta en el desarrollo de este capítulo.




**Figura 3. 1.** Mapa de división política y relieve de Colombia.

## 3.1. Fisiografía y Geomorfología

En términos del tiempo geológico, el territorio colombiano se considera de formación reciente y en proceso de respuesta a los eventos estructurales y a las modificaciones bioclimáticas generadas y aún en proceso de desarrollo. Esta característica se evidencia en la diversidad de geoformas identificadas en el territorio nacional, las cuales pueden agruparse en los sistemas regionales que se describen a continuación (Adaptado de "Medio Ambiente en Colombia", IDEAM. 1998):

### *3.1.1. Sistema Andino*

Bajo esta expresión se agrupan entidades geomorfológicas del sistema cordillerano andino que coinciden con las áreas de mayor levantamiento orogénico y por lo tanto de mayor energía disponible responsable de la transferencia de materiales hacia las áreas bajas, medias y periféricas (*Ibíd*).

La Cordillera Occidental se desprende en el Nudo de Los Pastos donde toma una dirección Norte-Sur con una altura media de 2700 m.s.n.m. y en su límite norte se trifurca para terminar en las llanuras costeras del Mar Caribe. Está separada de la Cordillera Central por el valle tectónico del Cauca.

La Cordillera Central está constituida por un núcleo de rocas polimetamórficas, intruidas por plutones y batolitos en cuyas cumbres resaltan los nevados del Huila, Quindío, Santa Isabel y el Ruiz, entre otros, y vestigios de la actividad volcánica de edad reciente. En su vertiente oriental se destaca el Glacis del Quindío constituido por aglomerados volcánicos recubiertos por capas de cenizas volcánicas y el Valle de Aburrá de origen tectónico. En su vertiente occidental se encuentra el Valle del Magdalena que la separa de la Cordillera Oriental (*Ibíd.*).

La Cordillera Oriental nace en el Macizo Colombiano y se extiende hasta la Península de la Guajira. En su mayor parte está constituida por rocas marinas de edad cretácica, que rodean macizos ígneo-metamórficos mucho más antiguos (macizos de Garzón, Quetame, y Floresta) (*Ibíd.*).

El sistema andino, en general, se caracteriza por:

- Corresponder con la mayor extensión de bloques levantados, fallados y con un control estructural notorio del drenaje.
- Integrar macizos antiguos, coberturas volcánicas y sedimentarias y complejos metasedimentario-volcánicos.
- Contener áreas depresionales de origen tectónico, hoy planas, conocidas como altiplanos.
- Formar grandes disecciones en la parte alta de las cordilleras como resultado de la ramificación de las cuencas hidrográficas.

La característica esencial de las partes bajas de las cordilleras es su correspondencia, en general, con los escarpes tectónicos de las fallas fundamentales de carácter inverso que separan las cordilleras de las depresiones tectónicas laterales.

### 3.1.2. Sistema Montañoso Aislado

Este sistema está conformado por la cordillera de la costa (más conocida como Serranía del Baudó-Darién) y algunas de las serranías bajas de La Guajira.

El núcleo de la llamada Serranía del Baudó-Darién está compuesto por corteza oceánica obducida cubierta parcialmente por rocas sedimentarias del Paleógeno-Neógeno levantado, junto con todo el sistema andino, durante la orogenia del Plioceno y se enmarca dentro de la zona de subducción del Pacífico y la depresión del Atrato-San Juan (*Ibíd*.).

Las montañas bajas de La Guajira están constituidas por macizos antiguos y formaciones sedimentarias plegadas y falladas del Cretáceo. En ambos casos, estos relieves estuvieron emergidos durante el Paleógeno-Neógeno. Este Macizo geográficamente incluye las serranías de Macuira, Jarara, Simarua, Cosinas y los cerros Parash. (*Ibíd.*).

### 3.1.3. Sistema Depresiones tectónicas

Las Depresiones Tectónicas intramontanas son una geoforma estructural resultante del levantamiento diferencial del sistema cordillerano andino. La orogenia levantó las cordilleras a la posición actual, mientras que las depresiones fueron levantadas a una altitud menor. Las estructuras adquirieron su actual configuración con la orogenia andina del Plioceno. El límite entre las cordilleras y las depresiones ocurre a lo largo de líneas estructurales, generalmente fallas inversas. Se destacan las depresiones tectónicas del Valle del Cauca y el Valle del Magdalena (INGEOMINAS, 1988a).

Poco antes del levantamiento mayor, en el sistema andino emergían parcialmente las cordilleras y algunas serranías, mientras que mares interiores (mediterráneos), ciénagas y pantanos ocupaban las depresiones que hoy conocemos como Magdalena-Cesar, Cauca-Patía, Atrato-San Juan y la Llanura de la Costa. En estos espacios se sedimentaron materiales procedentes de los relieves emergidos con distancias cortas de recorrido (formaciones epicontinentales). En estas formaciones dominan los sedimentos detríticos gruesos (gravillas, arenas) y otros más finos (limos y arcillas) (*Ibíd*.).

Las depresiones intramontanas bordean paralelamente al sistema montañoso andino, son áreas sedimentarias donde se acumula gran parte de los materiales traídos por los ríos desde los relieves más altos. La sedimentación ha sido un proceso continuo, pero con intensidades diferentes, desde la conformación del sistema andino en el que se identifica, a nivel macro, un sistema de transferencia compuesto por las cordilleras que aportan los sedimentos, la red de drenaje (generalmente encañonada) que los transfiere y las áreas bajas donde se depositan (áreas de agradación) (*Ibíd*.).

Las llanuras inundables en las depresiones tectónicas son comunes en el Bajo Magdalena y en las llanuras aluviales de los ríos San Juan, Atrato, Sinú, San Jorge y Cauca. La espesa capa de sedimentos está compuesta de fracciones finas, limos principalmente, seguidos por la fracción arena y arcilla.

### *3.1.4. Litorales*

La interacción de los procesos de la dinámica marina y continental hace de los litorales un espacio particularmente dinámico de respuesta a los cambios globales, locales y regionales. Tanto el litoral Pacífico como el Caribe, se clasifican como "marginales convergentes" por su ubicación próxima y paralela a los límites de placas litosféricas, hecho que implica movilidad tectónica. (*Ibíd.*).

En los litorales se recibe en gran parte el efecto del transporte de materiales de la montaña, por lo tanto es un espacio en proceso de acreción por sedimentación. Sin embargo, en los litorales en proceso de levantamiento las acumulaciones de sedimento es escasa y dominan los acantilados bajo procesos de abrasión marina (IDEAM, 1998).

Durante el período Paleógeno-Neógeno superior, la mayor parte del occidente colombiano, lo que posteriormente serían las cuencas del Atrato -San Juan- Patía estuvieron cubiertas por el mar y allí se sedimentaron materiales epicontinentales, generalmente fluviomarinos.

### *3.1.5. Dominio Amazónico*

En esta unidad se registran valores de precipitación entre 3000 a 4000 mm anuales y una temperatura ligeramente superior a los 25 °C. Estas condiciones climáticas han permitido el desarrollo de una cobertura vegetal densa (entre los ríos Amazonas y Apaporis) y con una variación hacia una selva rala intercalada con sabanas (entre los ríos Apaporis y Vichada) al noreste del dominio considerado. (IDEAM, 2010b).

En términos estructurales, la Amazonía puede dividirse en dos grandes unidades: el Escudo Guayanés con sus afloramientos rocosos hacia el oriente y la prolongación del escudo hacia el occidente cubierto por secuencias sedimentarias que constituyen una plataforma. (*Ibíd.*).

Se distinguen, además mesetas levantadas definidas estructuralmente por partes de la plataforma paleozoica de la Amazonía levantada por eventos tectónicos. Las formas resultantes tienen inclinación general suave (2 a 4° y en algunos casos hasta 10°) hacia el occidente (excepto La serranía de la Macarena que se inclina hacia el oriente). Estas estructuras levantadas están delimitadas por flancos abruptos (verticales y subverticales) con algunos límites controlados por lineamientos (*Ibíd.*).

La Serranía de la Macarena, estructuralmente y como macroforma corresponde a un bloque levantado constituido por capas tabulares de areniscas inclinadas hacia el oriente (a diferencia de las mesas de Araracuara donde la inclinación es débil).

Lo que ha sido definido como los sedimentos del mar del Paleógeno-Neógeno inferior que ocupaba el borde occidental del Escudo Guayanés (PRORADAM, 1979) son arcillas azules poco consolidadas.

Los sedimentos arcillosos presentan, en parte, un plegamiento suave, pero conservan en general la estructura tabular horizontal o subhorizontal.

Los sedimentos del Paleógeno-Neógeno Superior que cubren una gran parte de la Amazonía, son de origen continental con facies fluviales. La estructura de la formación es tabular por lo que el aspecto general de los paisajes es plano, con una profundidad de disección menor en relación con la disección que funciona en la plataforma del Paleógeno-Neógeno inferior y un drenaje dendrítico menos desarrollado (INGEOMINAS, 1988a).

### 3.1.6. Dominio Orinoqués

Como Dominio Orinoqués se entiende al espacio comprendido entre los ríos Orinoco (oriente), Arauca-Meta (norte), el piedemonte de la Cordillera Oriental (occidente), río Guaviare (suroccidente) y la divisoria de aguas entre los ríos Guaviare y Vichada (sur). (IDEAM, 2010b).

Climáticamente existen diferencias básicas con el dominio amazónico: la precipitación anual varía entre 1500 y 2500mm, pero su distribución (régimen monomodal) está concentrado en 7 u 8 meses, hecho que implica un régimen contrastado con déficit hídrico marcado durante 4 o 5 meses. (*Ibíd.*).

Para el caso específico de los Llanos Orientales, la diferenciación de las unidades geomorfológicas, está influenciada por la morfodinámica de la cordillera Oriental con una red de drenaje de tipo torrencial y un transporte importante de sedimentos, que si bien en el presente sólo afecta los Llanos Orientales, en el pasado también afectó gran parte de la altillanura del Vichada-Meta (*Ibíd*.).

El Escudo de la Guayana también está presente en el dominio Orinoqués y, en general, muestra sistemas similares a los de la Amazonia según los procesos morfogénicos, pero diferenciados por la intensidad de los mismos.

En el extremo oriental del Departamento del Vichada, los afloramientos rocosos del Escudo de la Guayana, al igual que en el Dominio Amazónico, tienen una composición dominantemente granítica y son formas residuales (inselbergs) de procesos de aplanamiento ocurridos en el Paleógeno-Neógeno Inferior y también en el Pleistoceno, bajo condiciones bioclimáticas de características desérticas. (*Ibíd.*).

#### 3.1.6.1. Altillanura

La altillanura con su altitud entre 90 y 120m y una inclinación muy suave hacia el oriente, se ha interpretado como una llanura de desborde de los ríos procedentes de la cordillera Oriental, antes de la separación hidrográfica por el río Meta. Este sistema se caracteriza por la presencia de formas heredadas como son los diques aluviales, cubetas de inundación y ejes de drenaje parcialmente colmatados y conocidos como “esteros” (*Ibíd.*).

Las acciones eólicas dejaron modelados testigos de su acción en la altillanura plana. En las márgenes de los ríos Meta y Tomo aparecen las dunas parabólicas de dirección noreste-suroeste

relacionadas con los vientos Alisios del noreste. Están compuestas por arenas cuarzosas finas a medias de color rojo amarillento y con espesores hasta de 8m. (IDEAM, 2010b).

#### *3.1.6.2. Llanura eólica heredada*

Esta unidad geomorfológica está cartografiada como una paleollanura aluvial de desborde cubierta por limos y arenas finas de origen. También se incluyen en esta unidad las dunas sobresalientes de la llanura y parcialmente cubiertas en su base por arenas y limos de inundación en eventos posteriores a la fase desértica.

El modelado típico eólico residual se encuentra principalmente en los Departamentos de Arauca y Casanare, aunque también se encuentran dunas en la altillanura del Vichada y un área muy definida en la cuenca del río Manacacías. Las dunas, de longitudes kilométricas, son de los tipos longitudinales y parabólicas, con alturas relativas que no sobrepasan los 50metros (*Ibíd.*).

#### *3.1.6.3. Llanura de desborde heredada*

La llanura de desborde, es el área ubicada a continuación de los cauces mayores de los ríos actuales y de sus terrazas y abajo de los conos piedemontanos. La unidad muestra, en general, una topografía plana con pendientes medias inferiores a 1°, donde se diferencian paleoformas aluviales. (*Ibíd.*).

En este sistema se reconoce el modelado aluvial subreciente: diques, cauces abandonados, cubetas (bajos), meandros (en vías de colmatación o colmatados). Como modelados menores, sobresalen los “zurales” ubicados principalmente en los bajos. Los zurales o conjuntos de montículos separados por canales de drenaje menores generados por disección reticular cuando el nivel de la inundación disminuye, tienen funcionamiento similar a los de la Altillanura del Vichada. Los montículos (zuros) tienen alturas inferiores a 1.5m y los canales (zanjas) entre uno y otro pueden alcanzar 2m. Los fondos (bajos) inundables se caracterizan por la presencia de arcillas caoliníticas (*Ibíd*).

#### *3.1.6.4. Llanuras aluviales*

Con excepción de los modelados eólicos heredados, las geoformas y procesos morfogénicos en los Llanos Orientales están principalmente relacionados con la dinámica fluvial. La diferenciación en subunidades se puede hacer así:

##### *Terrazas medias y altas*

Varios autores reconocen el efecto de la neotectónica del contacto Cordillera Oriente-piedemonte en el basculamiento y disección de los depósitos aluviales y aluvio-torrenciales reconocidos en el área. Otros efectos del levantamiento se registran en la formación de varios niveles de terrazas difícilmente correlacionables. Las terrazas referidas se ubican cerca a la cordillera con alturas relativas que alcanzan hasta 30 o 50 m y entre ellas corren ríos trenzados (*Ibíd*).

### *Terrazas bajas*

Las terrazas bajas no superan, en general, los 5 m de altura en relación con los cauces menores de los ríos principales, aunque en algunos casos se aproximan a los 10 m.

Estas terrazas se consideran de edad holocénica y en ellas aún se reconocen los canales anastomosados amplios (hasta 100m de ancho) de los ríos que les dieron origen. Algunos de estos cauces funcionan como drenajes esporádicos. A diferencia de las terrazas medias y altas, la cobertura de materiales finos de inundación es más continua (*Ibíd*).

### *3.1.6.5. Llanura aluvial actual*

Este sistema morfogénico se refiere a los valles mayores de los ríos que procedentes de la montaña atraviesan los conos del piedemonte. Estos valles incluyen el cauce menor, los diques, las cubetas inundables o vegas, los bancos móviles y meandros abandonados (*Ibíd*).

Los ríos anastomosados (trenzados) coinciden, en general, con los conos de deyección aluviotorrencial del piedemonte, por lo que su límite altitudinal inferior está por los 200 a 300m. La característica esencial de los cauces anastomosados es la formación de bancos móviles y las posibilidades de difluencias o desbordes.

Más abajo, hacia el río Meta, en la llanura aluvial los ríos, con mucha menos carga, divagan más por la disminución de la pendiente y se tornan meándricos en un lecho mayor más amplio. Los materiales dominantes son cantos redondeados, gravillas y arenas (*Ibíd*).

Las llanuras aluviales, abajo del piedemonte, se caracterizan por pendientes casi planas con ríos de poca carga y competencia. Los procesos dominantes son la divagación con formación de meandros y depositan aluviones finos (limo-arcillosos) en las cubetas.

### *3.1.7. Sistemas insulares*

Los sistemas morfogénicos insulares comparten una dinámica similar con la de los sistemas litorales, excepto en que no tienen una comunicación directa con los espacios continentales.

El sistema insular colombiano está compuesto por una serie de islas y cayos de diferente composición y origen sobre el océano Pacífico y sobre el mar Caribe.

Las islas colombianas se subdividen en sistemas diferenciados según los procesos morfogénicos; procesos que responden a las condiciones litológicas, bioclimáticas, de pendiente y formas de uso. Los procesos comunes se relacionan con las acciones marinas (oleaje, mareas, marejadas), tales como la abrasión y los depósitos litorales; así como son comunes las formas tales como los acantilados con afloramientos rocosos, playas, terrazas de abrasión y marismas. (IDEAM, 2010b).

Sin embargo, existen diferencias en función de la estructura y del clima. Los modelados de las islas resultantes de intrusiones (Providencia, Santa Catalina, Gorgona, Gorgonilla, Malpelo) son más abruptos y con menos playas que las demás de origen sedimentario (secuencias calcáreas dominantemente). Estructuralmente, todas las islas se encuentran cerca de zonas de subducción activas (Pacífico y Caribe) lo que implica la ocurrencia de cambios de nivel y forma, incluso rápidos, relacionados con la tectónica (*Ibíd*).

Los sistemas insulares pueden subdividirse en los siguientes geosistemas:

#### *3.1.7.1. Isla de San Andrés*

Se localiza al noroccidente del territorio continental colombiano y tienen una extensión de 25 Km². La isla de San Andrés es una formación calcárea originada en la acumulación de corales desde el Eoceno hasta el presente, cuya formación es favorecida por temperaturas medias marinas que oscilan entre 25 °C y 31 °C óptimas para el crecimiento de corales (Geister, 1975).

La mayor parte continental de la isla corresponde a colinas originadas en el suave levantamiento de depósitos fosilíferos de hasta 100 m de profundidad; la acción de la lluvia y la gravedad ha dado lugar a un modelado con vertientes suaves, exceptuando el sector occidental donde dominan vertientes abruptas, que en algunos casos terminan en acantilados erodados continuamente por la abrasión marina; la altura máxima es de 85 msnm y la presencia de suelos es muy limitada, con alta pedregosidad y de escaso espesor (*Ibíd*).

Otras áreas importantes de la isla corresponden a abanicos y conos originados en la acumulación de detritos provenientes de las colinas; en la parte inferior la acción marina facilita la formación de marismas con predominio de vegetación de mangle.

#### *3.1.7.2. Islas de Providencia y Santa Catalina*

Son islas volcánicas del Mioceno originadas en intrusiones solevantadas en el Pleistoceno que dio lugar a la plataforma insular y el crecimiento de corales que se han acumulado conformando los arrecifes que se extienden hacia el noreste de la parte emergida.

La parte emergida de origen intrusivo es una serie de colinas de dirección S-N alcanzando una elevación máxima de 350msnm con fuerte pendiente y afloramientos rocosos que en pequeños sectores del oriente isleño terminan en acantilados. Al pie de las colinas se han originado pequeños depósitos de detritos rocosos. El litoral lo conforman playas de arenas finas con aporte limitado de detritos calcáreos, las playas son de escasa amplitud; la dinámica del mar también da lugar a marismas donde domina la vegetación de mangle (INGEOMINAS, 1988a).

Las formaciones coralinas se extienden hacia el NE hasta Jamaica y de ella hacen parte los cayos de Roncador, Quitasueño, Serrana y Serranilla.

### *3.1.7.3. Islas de Gorgona, Gorgonilla y Malpelo*

Islas localizadas entre los 2°47' y 3° 6' latitud norte y 78° 18' y 78° 18' longitud occidental, tiene una altura máxima de 330msnm. La isla corresponde a un bloque intrusivo obducido por lo que predominan el gabro y la peridotita así como algunos sedimentos del Paleógeno-Neógeno y Cuaternario. La mayor parte de Gorgona y Gorgonilla corresponde a colinas abruptas con pendientes superiores a los 12°, sobre material intrusivo que en gran parte del litoral termina con acantilados de hasta 270 m sometidos al oleaje intenso del mar. Otras unidades geomorfológicas corresponden a pequeños depósitos de pie de vertiente y delgadas franjas de playas con dominancia de fragmentos rocosos con material heterométrico y anguloso. (IDEAM, 2010b).

La Isla de Malpelo localizada a 3° 51' 07" N y 81° 35' 40" W, se compone de un conjunto de peñascos e islotes dispersos hacia el sur y el norte de la isla central de Malpelo la cual alcanza una altura máxima de 376 msnm. La isla corresponde a la cima de una cordillera submarina de más de 4000 m de altura formada aproximadamente 20 millones de años atrás pero estabilizada desde el Mioceno. La litología dominante de la isla corresponde a rocas ígneas como el basalto, andesita, tobas y dacitas sometidas a severos procesos de abrasión marina que da origen a cavernas cuyo techo se desploma y conforma profundos acantilados de hasta 120 m de altura. (*Ibíd*).

## 3.2. Hidrografía e hidrología

"La ubicación geográfica, la variada topografía y el régimen climático que caracterizan el territorio colombiano han determinado que el mismo posea una de las mayores ofertas hídricas del planeta. Sin embargo, esta oferta no está distribuida homogéneamente entre las diferentes regiones del país y adicionalmente está sometida a variaciones temporales y alteraciones en su calidad que determinan la disponibilidad del recurso hídrico" (IDEAM, 1998).

Si bien se reconoce la riqueza hídrica nacional, tanto en la distribución espacial como temporal, este enorme potencial se restringe en su aprovechamiento por la confluencia de múltiples factores antrópicos que han generado efectos en los componentes del ciclo hidrológico y, en especial, sobre la calidad del agua por la incorporación de residuos a las fuentes abastecedoras. También lo afectan en buena medida los patrones de aprovechamiento, caracterizados por mecanismos de uso poco eficientes del recurso hídrico.

En la tarea de conocer la oferta del recurso hídrico, reconocido como insumo esencial para el desarrollo de las diversas actividades socioeconómicas, es indispensable contar con información que permita conocer la disponibilidad de agua tanto espacial como temporalmente.

La zonificación hidrográfica actual del territorio nacional corresponde a cinco áreas hidrográficas que se ilustran en la Figura 3. 2 (Magdalena-Cauca, Caribe, Orinoco, Pacífico y Amazonía), 41 zonas hidrográficas y 309 subzonas hidrográficas que se reconocen en la Política Nacional para la Gestión Integrada del Recurso Hídrico como unidades de análisis para la planificación de cuencas a diferentes niveles (MAVDT, 2010).




**Figura 3. 2.** Áreas Hidrográficas de Colombia (Tomado de página web del IDEAM).

## 3.3. Características Hidrometeorológicas

### *3.3.1. Precipitación*

El régimen normal de la precipitación está determinado por la situación geográfica y por la influencia de algunos factores importantes, tales como la circulación atmosférica, el relieve, la integración entre la tierra y el mar, la influencia de áreas selváticas o boscosas. (IDEAM, 2005).

La posición geográfica de Colombia en la zona ecuatorial la sitúa bajo la influencia de los vientos Alisios del noreste y sureste. Estas corrientes de aire cálido y húmedo proveniente de latitudes subtropicales de los dos hemisferios, confluyen en una franja denominada Zona de Confluencia Intertropical (ZCIT). (*Ibíd*.)

La zona de confluencia intertropical, favorece el desarrollo de nubosidad y de lluvias, se mueve latitudinalmente siguiendo el desplazamiento aparente del sol con respecto a la Tierra, con un retraso aproximado de dos meses. Con este desplazamiento, la ZCIT pasa sobre el territorio colombiano en dos ocasiones cada año. El desplazamiento de la ZCIT y la acción de factores físico-geográficos regionales como la orografía, determinan el régimen de lluvias en las regiones de Colombia. (IDEAM, 2005).

El relieve juega también un papel importante en la distribución de la precipitación y los efectos más sobresalientes son (IDEAM, 2005):

- A lo largo de la vertiente de la cordillera oriental se registran altas precipitaciones, debido a la formación de masas nubosas provocadas por el ascenso de las corrientes húmedas procedentes especialmente de la selva amazónica. Este mismo efecto se registra en la vertiente del Pacífico de la cordillera occidental, por las corrientes procedentes del océano.
- En las vertientes a sotavento, las precipitaciones son menores que en las de barlovento, debido a que durante el ascenso las masas nubosas han descargado gran parte del vapor de agua en forma de precipitación.
- En el país el efecto del relieve es muy notorio, especialmente en la vertiente oriental (sotavento) de la cordillera occidental, donde se registran entre 2.000 y 3.000 milímetros (mm) en 150 días al año aproximadamente, mientras que en la vertiente occidental sobre los departamentos Chocó, Valle y Cauca la lluvia oscila entre 8.000 y 9.000 mm, distribuidos entre 250 y 300 días al año. En la vertiente de la cordillera oriental, la precipitación anual es de 2.000 mm en 150 días a sotavento por 5.000 mm en 200 días a barlovento. Debido a este mismo aspecto se encuentran algunos valles y mesetas con precipitaciones relativamente bajas, como el valle del Magdalena y la Sabana de Bogotá.

La distribución de la precipitación en las diferentes regiones naturales del país se describe a continuación (IDEAM, 2005):

## Región Caribe

En la Alta Guajira la precipitación total anual es inferior a 500 mm y se va incrementando hacia la parte media y baja donde alcanza los 1.000 mm. La Sierra Nevada de Santa Marta conforma una zona meteorológica prácticamente desligada del comportamiento general de la región. En su parte norte se registran precipitaciones algo superiores a los 2.500 mm, mientras que en los sectores oriental y suroriental son menores, alrededor de 1.500 mm. En las llanuras del Caribe la precipitación aumenta del litoral hacia el interior. En Barranquilla y Cartagena se registran alrededor de 1.000 mm. En las llanuras de Córdoba, Sucre, Magdalena y el Cesar oscila entre 1.500 mm y 2500 mm. Hacia el litoral de Urabá se registran cantidades de ese mismo orden, mientras que en las estribaciones de las cordilleras Occidental y Central supera los 3.500 mm.

## Región Andina

En la montaña antioqueña también se presentan contrastes: en el Valle de Aburrá, caen entre 2.000 y 2.500 mm y en la parte norte y noreste del departamento se registran entre 3.500 y 4.000 mm anuales. En la parte media del Valle del río Cauca, desde Cartago hasta Puerto Tejada la precipitación no supera los 1.500 mm, con excepción del área de Cali, Jumbo, Cerrito y Candelaria donde oscilan alrededor de 1.000 mm. Hacia la parte alta en las vertientes, la precipitación es un poco mayor, alcanza valores cercanos a 2.000 mm. En la parte baja oscila entre 4.000 mm en las estribaciones de las cordilleras y 1.500 en la desembocadura del río. En el Nudo de los Pastos la precipitación varía entre 1.000 y 2.000 mm. Los valores más altos cerca de 6.000 mm, se registran hacia la vertiente oriental en las cabeceras del río Caquetá cerca a Mocoa. En la vertiente occidental oscilan entre 2.000 y 4.000 mm. Los registros más bajos entre 1.000 y 1.500 mm, se presentan en el sector sur.

En la parte alta del valle del río Magdalena, desde Pitalito hasta Ambalema inclusive, la precipitación no alcanza los 1.500 mm anuales. Desde Ambalema hasta Puerto Boyacá la lluvia crece hasta alcanzar los 3.000 mm. Desde este último municipio hasta Puerto Mosquito los registros oscilan entre 2.500 y 3.000 mm, decreciendo progresivamente hasta los 1.000 cerca de la desembocadura del río.

En el altiplano cundinamarqués-boyacense, la precipitación no alcanza los 1.000 mm, anuales. En esta región se presentan grandes contrastes; en áreas vecinas con distancias relativamente cortas, la cantidad de precipitación es muy diferente, como sucede en la Sabana de Bogotá, donde caen alrededor de 1.500 mm, en las estribaciones de los cerros surorientales, mientras que en el sector suroccidental caen cerca de 500 mm, menos. Sobre la vertiente occidental del altiplano las precipitaciones alcanzan los 2.500 mm. En la montaña santandereana la precipitación oscila en términos generales entre 1.500 y 2.000 mm, presentándose algunas particularidades, entre otras, las siguientes: dos máximos de precipitación, alrededor de 4.500 mm, localizados en cercanías de Oiba y Girardota al sur del Departamento de Santander el primero y en el área fronteriza de las cabeceras del río Margua (Arauca) al sur del departamento de Norte de Santander, el segundo; y un mínimo, menos de 1.000 mm, en Cúcuta y sus alrededores.

### Orinoquía

En las llanuras orientales, la precipitación decrece desde los 5.000mm en la ladera de la Cordillera Oriental, cerca a Villavicencio, hasta los 1.500mm o menos en el extremo este del departamento de Arauca. Hacia el sur, la precipitación oscila entre 2.500 y 3.500mm en gran parte de los departamentos del Meta, Vichada, Guainía y Guaviare.

### Amazonía

Las mayores cantidades de precipitación, entre 4.000 y 5.000 mm, se registran hacia el piedemonte de la Cordillera Oriental; en el resto de la región oscila entre 3.000 y 4.000 mm.

### Región Pacífica

La precipitación crece progresivamente desde 3.000 mm en el norte del departamento del Chocó hasta la parte media y sur del mismo, donde caen cerca de 8.000 mm y desde 2.000 mm en el sur del departamento de Nariño, hasta el noroccidente del departamento del Cauca donde se registran alrededor de 9.000 mm, hecho que las convierte en las zonas más lluviosas del país y de las de mayor precipitación en el mundo. Hacia la ladera de la Cordillera Occidental las lluvias oscilan entre 3.000 y 5.000 mm.

Como características predominantes de la distribución durante el año, se pueden citar las siguientes (IDEAM, 2005):

- Presentan régimen bimodal: la mayor parte de la región Andina y de la región Caribe, con excepción de la región del Bajo Nechí, parte de la cuenca del río Sinú y sectores de la vertiente oriental de la cordillera Central a la altura de Samaná (Caldas).

- Presentan régimen monomodal: la mayor parte de la Orinoquia y Amazonia colombiana y los sectores mencionados anteriormente como excepciones en la parte andina.

- La región Pacífica no presenta una tendencia definida y más bien tiende a mostrar escasa diferencia entre las cantidades aportadas por cada mes en particular.

- En los valles interandinos de la cuenca Magdalena-Cauca se aprecia que en sentido sur se hace más marcada la temporada seca de mitad de año y es más lluviosa la temporada seca de principios de año. Lo contrario sucede en sentido norte, al punto de que en el medio y bajo Cauca, la temporada seca de mitad de año casi tiende a desaparecer. En la cuenca Magdalena no es tan marcado este efecto latitudinal, pero se nota asimismo la importancia que adquiere la temporada seca de principio de año.

- Aproximadamente al sur de los 2° N, el régimen comienza a invertirse, hasta el punto de que en el extremo sur de Colombia la temporada menos lluviosa tiene lugar a mediados de año. Así mismo, observando la ocurrencia de los picos máximos, puede detectarse el efecto del movimiento de la zona de convergencia intertropical cuando durante el año atraviesa el país de sur a norte y viceversa.

### *3.3.2. Evapotranspiración*

En la Alta Guajira se registran los valores de ETP más altos del país, presentan totales anuales mayores a los 1.600 mm. En algunas ocasiones la ETP puede alcanzar hasta 2.000 mm. Hacia el Valle de la cuenca del río Cesar, la ETP fluctúa entre 1.600 y 1.800 mm. En las estribaciones de la Sierra Nevada de Santa Marta se presenta un régimen dominado por el efecto de la elevación. En este caso, los valores de ETP disminuyen desde 1.400, al pie de la Serranía, hasta menos de 800 mm, en elevaciones medias, y es de suponer que mucho menores al continuar ascendiendo (IDEAM, 2005).

En el litoral central, la ETP se mantiene uniforme en valores dentro del rango de 1.400 a 1.600 mm al año. En la zona del Bajo Magdalena se observan valores de 1.400 a 1.600 mm y sobre la cuenca del Sinú–San Jorge y regiones del Bajo Nechí y Urabá se registran los valores de ETP más bajos de la Región Caribe, los cuales oscilan entre 1.200 y 1.400 mm al año. Máximo principal: en marzo; secundario: en julio-agosto. Mínimo principal: en noviembre; secundario: en junio. Generalmente, los valores son mayores hacia el norte de la región. Los máximos oscilan alrededor de los 140 mm y los mínimos son cercanos a los 100 mm. (*Ibíd*.)

En la región del Pacífico norte y central están las zonas con menores valores de ETP en Colombia. En sectores de la franja costera, se registran entre 800 y 1.000 mm. En el resto de la región los totales anuales son ligeramente superiores a 1.000 mm. Hacia el Pacífico sur, los valores de ETP son en general menores de 1.200 mm y desciende hasta alrededor de 800 mm sobre la costa. De otra parte, sobre la Cuenca del alto Patía y debido al predominio de las altas temperaturas, predominan valores altos que incluso superan los 1.400 mm en algunos sectores. Mínimos: en diciembre-enero-febrero, con intensidades cercanas a los 80 mm/mes. Máximos: en agosto hacia el centro del Chocó y en marzo hacia el litoral, con valores cercanos a los 100 mm. (*Ibíd*.).

En la región andina, hacia la Montaña Nariñense, la ETP presenta valores relativamente bajos por el efecto de altura. En general, se encuentran en el rango de 800 a 1.000 mm. En la Cuenca del Cauca, en el extremo sur se registran los menores valores, especialmente en las partes altas de la cordillera, donde la ETP oscila alrededor de los 800 mm. En dirección norte, los totales anuales estimados aumentan paulatinamente hasta valores promedio de 1.200 a 1.400 mm e incluso ligeramente superiores en las partes bajas del Valle geográfico del río Cauca. Más al norte, en la cuenca del medio Cauca, los totales son relativamente bajos en vista de las altas humedades del aire. En general, oscilan entre 1.000 y 1.200 mm anuales, con algunos núcleos mayores en sectores de la parte baja de la cuenca y de valores menores al rango hacia las vertientes de la cordillera Occidental. En la Cuenca del Magdalena, en el fondo del valle del Alto Magdalena se observan las

mayores evapotranspiraciones, llegan a alcanzar valores cercanos a los 1.800 mm anuales en lugares como el norte del Huila y sur del Tolima. Hacia las estribaciones de las cordilleras, la magnitud de la ETP puede descender hasta 1.200 en elevaciones medias e incluso menos en elevaciones mayores a los 2.000m.s.n.m. En el medio Magdalena se registra una distribución uniforme de la ETP con valores entre 1.200 y 1.400 mm. Hacia el extremo norte, la ETP asciende rápidamente de 1.400 hasta valores cercanos a los 1.600 mm. El efecto de altura es menos marcado debido a las altas humedades del aire que caracterizan la zona. Particularmente en la Sabana de Bogotá, D. C. , los valores de ETP son relativamente bajos debido al efecto de la altura. En general se sitúan en el rango de 800 a 1.000 mm. A lo largo de la cuenca media y baja del río Bogotá, D. C. la ETP comienza a ascender hasta acercarse a los 1.400 mm en las partes bajas de la cuenca. El máximo principal se presenta en agosto, con más de 180 mm/mes, en el Alto Magdalena y menores en dirección norte. El secundario no es muy apreciable en el sur, pero hacia el extremo norte tiende a notarse en marzo. El mínimo principal es generalmente en noviembre, con magnitudes de aproximadamente 100 a 110 mm. (*Ibíd*.)

En la Orinoquia se dan grandes oscilaciones entre 1.400 a 1.600 mm en cercanías a Arauca y también sobre el extremo nororiental de Vichada, hasta 1.000 mm e incluso menos sobre el piedemonte de la cordillera Oriental. La distribución durante el año es aproximadamente monomodal, con un máximo en enero y un mínimo en mayo-junio. Los máximos valores llegan a 170 mm/mes, mientras que los mínimos están alrededor de 90 mm. (*Ibíd*.)

Gran parte de la región de la Amazonía muestra variaciones entre 1.000 y 1.200 mm, con excepción de sectores en el Trapecio Amazónico y parte del Guainía, en los cuales se incrementa ligeramente. Sobre el piedemonte amazónico, la ETP disminuye paulatinamente hasta alcanzar valores de 800mm sobre las estribaciones de la cordillera. Se presenta una distribución bastante uniforme durante el año, con un máximo principal en agosto y un mínimo en febrero. No existe mucha diferencia durante el año, oscila entre 90 y 120 mm/mes. (*Ibíd*.)

### *3.3.3. Escorrentía superficial y rendimientos*

Colombia se clasifica como uno de los países con mayor oferta hídrica natural del mundo. En el ENA 2010, se estima un rendimiento hídrico promedio de 63 l/s-km$^2$ que supera seis veces el rendimiento promedio mundial (10 l/s-km$^2$) y tres veces el rendimiento de Latinoamérica (21 l/s-km$^2$). (IDEAM, 2010a).

Del volumen total anual de precipitación en Colombia (3.700 km$^3$), el 61% se convierte en escorrentía superficial, equivalente a un caudal medio de 71.800 m$^3$/s, correspondiente a un volumen de 2.265 km$^3$ al año. Este caudal fluye por las cinco áreas hidrográficas en las que se ha dividido el territorio nacional continental (Figura 3. 3). La cuenca Magdalena-Cauca contribuye a este caudal total con el 13% (9.500 m$^3$/s), la Amazonía con 39% (27.830 m$^3$/s), la Orinoquía con 27% (19.230 m$^3$/s), el Caribe –incluida la cuenca del río Catatumbo– contribuye con el 8% y el Pacífico aporta el 13% (9.629 m$^3$/s). (*Ibíd.*) .

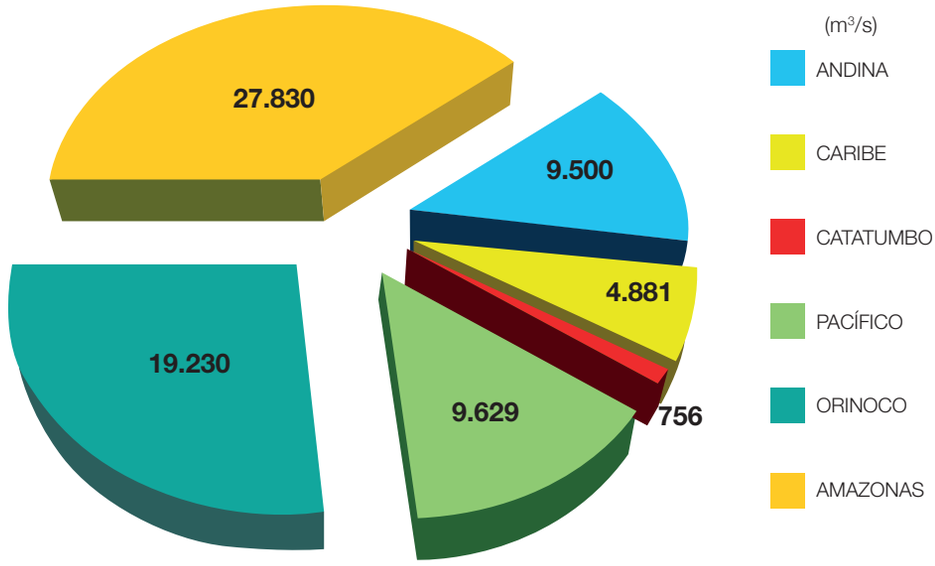



**Figura 3. 3.** Distribución de caudales ($m^3/s$) por áreas hidrográficas (IDEAM, 2010a).

En términos de cantidad de agua que fluye por unidad de área, el Pacifico cuenta con el mayor rendimiento hídrico del país, estimado en 124 l/s-km², la Amazonía presenta rendimientos promedio de 81 l/s-km², y el Orinoco y el Caribe, de 55 l/s-km². Las áreas hidrográficas de Catatumbo y Magdalena-Cauca tienen los rendimientos promedio más bajos del país, con 46 l/s-km² y 35 l/s-km², respectivamente; aún así, estas áreas hidrográficas duplican el rendimiento promedio de Latinoamérica estimado en 21 l/s-km². Así la oferta hídrica de escorrentía superficial per capita total es de 59000 $m^3$/hab/año; sin embargo la oferta per capita accesible anual, bajo condiciones naturales es de 12000 $m^3$/hab/año (Ibíd.).

El análisis comparativo entre la oferta hídrica per capita accesible anual con respecto a las ofertas limitantes al desarrollo muestran una significativa abundancia hídrica en Colombia, capaz de sustentar el desarrollo socio-económico a largo plazo. Empero, la capacidad de aprovechamiento de esta relativa abundancia hídrica está determinada por las limitaciones temporales y espaciales que presentan los diferentes regímenes hídricos del país (Ibíd.).

La Figura 3. 4 presenta la distribución de la escorrentía anual en mm. En ella se aprecian zonas altamente deficitarias en la alta Guajira y desierto La Tatacoa (5% de la superficie nacional), zonas de disponibilidad entre normal y deficitaria en las cuencas de los ríos Magdalena, Cauca, Tomo, Tuparro y Vichada (26% de la superficie del territorio nacional), zonas con disponibilidad normal en las cuencas de los ríos Nechí, Putumayo, río Meta y Sierra Nevada de Santa Marta (25% de la superficie del territorio nacional) y zonas con excedentes de agua en la costa Pacífica y los ríos de la Amazonía, como Caquetá, Vichada, Vaupés, Inírida y zona alta del río Cauca (44% de la superficie del territorio nacional).

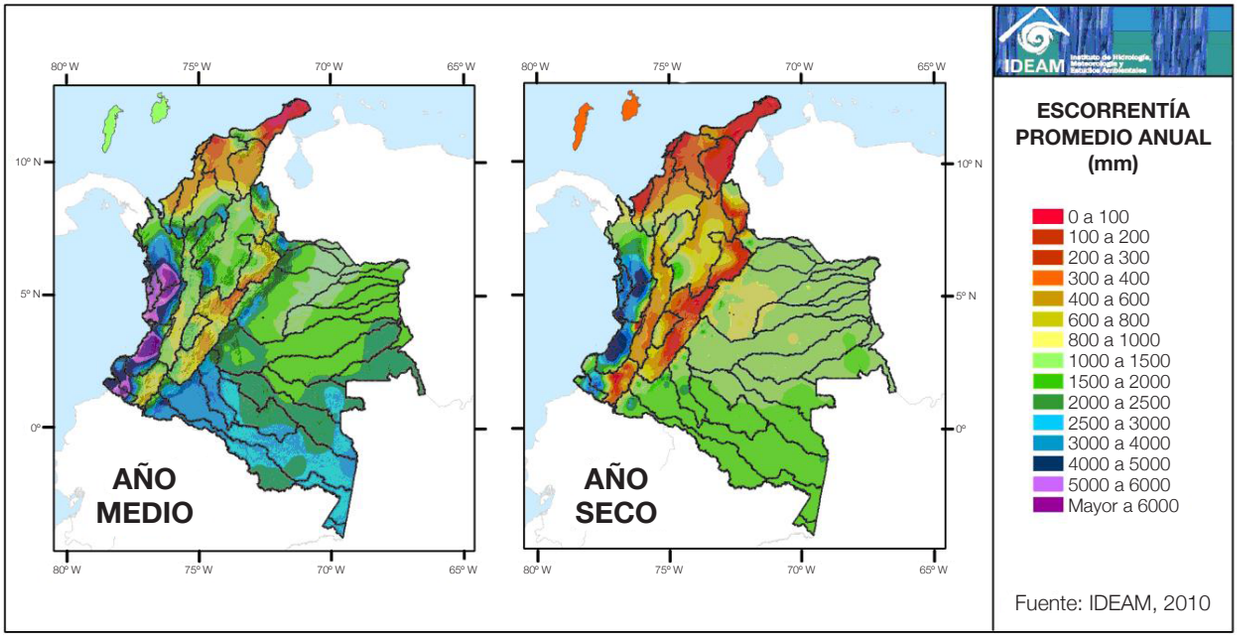



**Figura 3. 4.** Escorrentía promedio anual para condiciones de año medio y año seco (IDEAM, 2010a)

Los mayores volúmenes de agua drenados al área hidrográfica del Magdalena-Cauca son aportados por las cuencas de las zonas hidrográficas del Magdalena Medio (35%), Cauca (15%), el Bajo Magdalena y el San Jorge (15%). El área hidrográfica del Caribe recibe sus mayores aportes de la zona Atrato-Darién (76%). El Pacífico, a su vez, recoge el 64% de su oferta de las zonas Amarales-Dagua (36%) y San Juan (28%). Al Orinoco tributan el 56% de la oferta las zonas de Guaviare (26%) y Meta (20%). Por último, los ríos Caquetá, Putumayo y Apaporis contribuyen con el 66% de los volúmenes de agua que recibe el área hidrográfica del Amazonas, con aportes del 30%, 18% y 15%, respectivamente. La composición porcentual de los aportes no varía a nivel nacional en las condiciones de año medio y año seco. (*Ibíd*.).

El régimen hidrológico del país se caracteriza por tener una escorrentía promedio de 1.988 mm, con rangos que van desde una escorrentía media de 100mm al año en La Guajira hasta escorrentías mayores de 6.000 milímetros en el Pacífico. En el Caribe, con excepción de la Sierra Nevada de Santa Marta y la cuenca del río Atrato, tiene normas de escorrentía bajas, la mayoría menores de 400mm, mientras que regiones como el Pacífico, en particular la cuenca alta del río San Juan, presenta escorrentías muy altas, mayores de 5.000 mm. (IDEAM, 2010a). Se reconocen sectores dentro de la cuenca Magdalena-Cauca con valores bajos de escorrentía en los altiplanos Cundiboyacense, Nariñense y de Pubenza; el desierto de la Tatacoa, en el Huila; el cañón de la cuenca del río Chicamocha y la cuenca alta del Catatumbo. Sin embargo, para el resto de la cuenca, la escorrentía se considera moderada, con valores entre 1.500 mm y 2.500 mm. El piedemonte llanero, de donde se desprenden los ríos que drenan la zona del Orinoco, se caracteriza por tener una escorrentía media alta, valores mayores de 2.000 mm. (*Ibíd*.).

La comparación de escenarios de año medio y año seco permite observar reducciones significativas en el volumen de escorrentía. De esta manera, se infieren reducciones del orden de 35% en el área del Amazonas, de 43% en el área Caribe, de 55% en el Magdalena-Cauca, de 37% en el Orinoco y de 36% en el Pacífico.

### *3.3.4. Agua subterránea*

Los recursos de las aguas subterráneas del país no han sido completamente cuantificados pero debido a que las aguas subterráneas contribuyen a los flujos base, la oferta hídrica total incluye un componente subterráneo.

Tradicionalmente el agua superficial ha sido la fuente principal de abastecimiento. Sin embargo, desde hace pocos años las aguas subterráneas han sido consideradas como una fuente alternativa económica a las aguas superficiales debido a su mejor calidad y el relativamente bajo costo de manejo.

La caracterización y cuantificación de la oferta y el uso del recurso hídrico subterráneo se realizó a escala nacional en el ENA 2010 (IDEAM, 2010a), con el propósito de calcular las reservas de agua subterránea existentes en Colombia. Dicha cuantificación se hizo para unidades de análisis regional, seleccionadas a partir de la identificación y delimitación de *provincias hidrogeológicas*.

La delimitación en provincias hidrogeológicas se logra a partir de:

a) **Unidades tectónicas y cuencas sedimentarias de Colombia.** Esta cobertura de la Agencia Nacional de Hidrocarburos –ANH–(Barrero et ál., 2007), tal como se mencionó con anterioridad en este documento, parte de una división geológica del país en unidades tectónicas y cuencas sedimentarias, separadas entre sí por fallas regionales que corresponden a los límites marcados por efectos de la evolución estructural y posterior depositación de sedimentos en ambientes particulares. Estos límites estructurales han sido reconocidos mediante métodos de observación geológica directos (observación de afloramientos y perforaciones) e indirectos (sensores remotos, prospección sísmica, magnetometría, gravimetría, etc.) y están ampliamente documentados en la literatura geológica nacional (INGEOMINAS, 2000; ECOPETROL, 2000; Barrero et ál., 2007)

En este sentido, es de reseñar que del Paleozoico al Cenozoico tardío, las cuencas geológicas de Colombia han sufrido cambios en dirección y forma debido a diferentes efectos de *rifting* y colisiones oblicuas, seguidas de deformación tectónica de tipo compresional y tensional (*Ibíd*.). Esta compleja historia determina las características y disposición de las unidades geológicas para adoptar un comportamiento hidrogeológico determinado.

La esquina noroccidental de Suramérica, donde está localizada Colombia, ha experimentado diferentes eventos geológicos que controlan la distribución, génesis, relleno de las cuencas y los límites estructurales de las cuencas sedimentarias que corresponden, en su mayoría, a las provincias de relevante importancia hidrogeológica del país.

La división que realiza la ANH (Barrero et ál., 2007) parte de reconocer tres dominios tectónicos: 1) la región Oriental, limitada al oeste por piedemontes de la cordillera Oriental, consiste en un basamento paleozoico y precámbrico con una cobertera deformada de materiales sedimentarios que se extienden desde el Paleozoico hasta el Cenozoico; 2) la región Central, comprendida por la cordillera Oriental, la Sierra Nevada de Santa Marta, el valle del río Magdalena y la cordillera Central que se extiende más allá del sistema de fallas de Romeral al oeste y corresponde a una secuencia deformada de rocas sedimentarias e ígneas, con un basamento metamórfico que se cree se acrecionó al borde suramericano durante el Paleozoico; 3) la región Occidental, localizada al oeste del sistema de fallas de Romeral, está compuesta por terrenos de afinidad oceánica del Mesozoico y el Cenozoico, acrecionados a la margen continental durante el Cretácico Tardío, el Paleógeno y el Neógeno (*Ibíd.*).

Dentro de estos tres dominios tectónicos se desarrollaron las provincias hidrogeológicas que coinciden, como se aprecia en la Figura 3. 5, con las cuencas sedimentarias por sus potencialidades de flujo (asociadas a ambientes y condiciones de depositación) y geometría (determinada por conspicuos rasgos tectónicos y estratigráficos resultantes de los eventos históricos).

Las barreras impermeables pueden corresponder, principalmente, a macizos de rocas cristalinas (ígneas, volcánicas), a altos estructurales o a sistemas de fallas que afectan la continuidad de las unidades regionales.

En la Figura 3.5, se puede observar la distribución de los dos principales tipos de barreras impermeables.

1. Las zonas de color gris corresponden a los macizos de rocas cristalinas o volcánicas, cuya caracterización y descripción se presenta dentro del ENA 2010. En color gris achurado se delimitan otras características estructurales, tales como altos estructurales.
2. Los principales sistemas de fallas que atraviesan el país. Las de mayor extensión presentan una dirección noreste-suroeste que obedece a la tectónica regional. Estos sistemas de fallas delimitan las provincias hidrogeológicas y se identifican con líneas de color rojo.

En el ENA 2010, la mayor parte de las áreas integradas por rocas ígneas y metamórficas se han clasificado como acuifugas. Sin embargo, se conocen sectores (en los departamentos de Caldas, Antioquia, Cauca y Nariño, entre otros) en los cuales dichas rocas están fracturadas y pueden constituir acuíferos de naturaleza local, que podrán ser evaluados en el futuro, una vez se disponga de información y se hagan avaluaciones a nivel de Sistemas Acuíferos.

A partir del modelo geológico básico, definido en el paso anterior, se produce una división del país en provincias hidrogeológicas, que agrupan cuencas geológicas con características litológicas, estructurales y geomorfológicas similares y que, además, presenten un comportamiento hidrogeológico homogéneo reconocible espacialmente. Las provincias están limitadas por barreras impermeables, correspondientes a rasgos estructurales o estratigráficos regionales, y pueden subdividirse, a su vez, en cuencas y subcuencas hidrogeológicas (Sistemas Acuíferos).

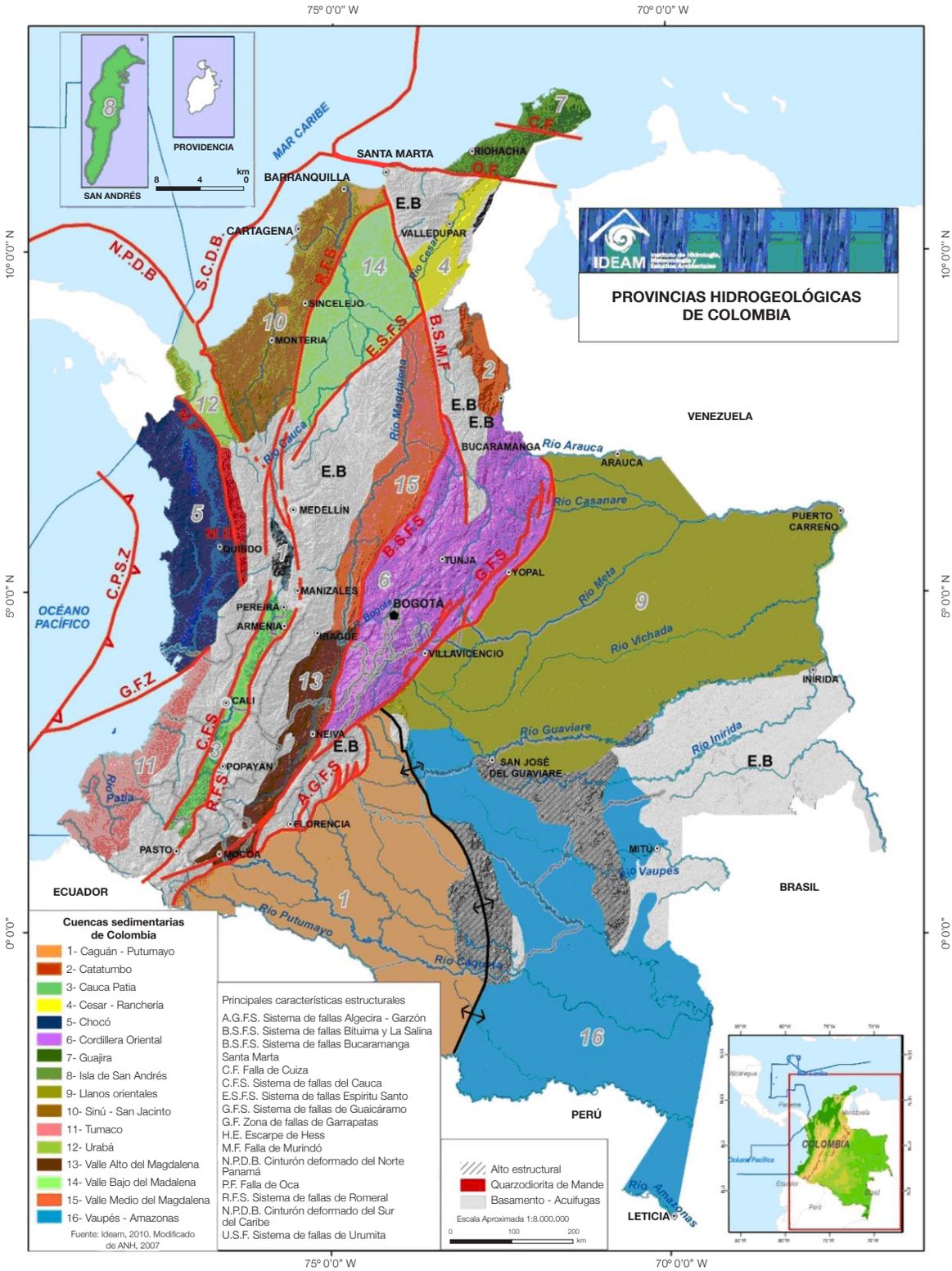



**Figura 3.5.** Provincias hidrogeológicas de Colombia. (IDEAM, 2010a).

En este punto, es importante llamar la atención sobre el limitado conocimiento de los Sistemas Acuíferos del territorio nacional: En el país, en realidad se han realizado pocos estudios de tipo hidrogeológico regional, y la mayoría de ellos son de carácter local, con escalas que varían entre 1:25.000 y 1:100.000. Con estos estudios se ha cubierto menos del 15% de la superficie del territorio nacional en reconocidos ambientes sedimentarios. Además, se cuenta con una cartografía hidrogeológica de todo el territorio nacional a escala 1:1.500.000, elaborada por INGEOMINAS en el año de 1989 con el patrocinio del Programa Hidrogeológico Internacional de la Unesco (Huguett et ál., 1989). En la actualidad, INGEOMINAS adelanta el *Atlas hidrogeológico de Colombia* a escala 1:500.000.

Se cuenta pues con estudios a nivel de prospección y exploración, sobre todo en la Sabana de Bogotá, La Guajira, Catatumbo, algunos sectores de la Costa Atlántica, Valle del César y en áreas del Valle Superior y Medio del Magdalena, en donde los estudios han sido extensivos. En estas zonas, sin embargo, no se cuenta con un seguimiento y monitoreo, generado a partir de redes básicas, que propicie el reconocimiento de la dinámica espacio-temporal del recurso. El común denominador es la ausencia de datos sistemáticos que permitan hacer un diagnóstico basado en indicadores poblados. La provincia hidrogeológica mejor estudiada del territorio colombiano corresponde al Cauca-Patía, sobre la cual se soporta el desarrollo regional de esta parte del país (IDEAM, 2010a).

El 74,5% del territorio nacional está cubierto por provincias hidrogeológicas y solo el 25,5% (291.620,04 km$^2$) por rocas ígneas, metamórficas o por ambientes con posibilidades hidrogeológicas desconocidas, limitadas o restringidas, lo cual indica por sí solo una riqueza de recurso hídrico subterráneo que no ha sido objeto de evaluación formal.

Pero, por otro lado, también se observa que el 52% (593.359km$^2$) de las provincias se encuentran en la Amazonía, la Orinoquía y en el Chocó, donde el recurso no es prioritario por el alto rendimiento hídrico de estas zonas geográficas y el bajo porcentaje de población que ocupa este territorio. Así pues, el 48% del área cubierta por provincias hidrogeológicas es de importancia en el territorio nacional y a este recurso se deben enfocar las estrategias prioritarias futuras para garantizar la sostenibilidad.

Una aclaración que es necesario realizar tiene que ver con el hecho de que el área total de cada provincia no coincide, por lo general, con las áreas tomadas para el cálculo de reservas (Tabla 3. 1), ya que la mayoría de los Sistemas Acuíferos no cubren la extensión de toda la provincia. Para los cálculos, se ha tomado la extensión lateral de cada SIstema Acuífero o de cada Provincia Hidrogeológica. Así mismo, es de resaltar que, en estos cálculos, la recarga no es significativa, puesto que se están calculando reservas hasta los 3.000 metros de profundidad, que son mucho mayores al valor de recarga expresado en la variación de la reserva (IDEAM, 2010a).

**Tabla 3. 1.** Características y reservas de las provincias hidrogeológicas.

| Provincia Hidrogeológica | Formaciones geológicas con potencial hidrogeológico | Tipo de acuífero | Área ($km^2$) | Espesor acuífero (m) | Rendimiento específico | RESERVAS ($m^3*10^{10}$) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Llanos Orientales | Mirador Guayabo/Caja Necesidad Corneta Depósitos reciente de tipo aluvial y terrazas. | Acuíferos libres a semiconfinados en los sedimentos aluviales y de terraza. Confinados para el resto de unidades. | 265.547,29 | 550 | 0,02-0,08 | 239,06 |
| Vaupés- Amazonas | Depósitos recientes aluviales y terrazas subrecientes a recientes. Niveles arenosos de las Formaciones Serranía, Araracuara y Guejar (?) | Acuíferos libres a semiconfinados en los sedimentos aluviales y de terraza. | 126,050,61 | 250 | 0,01-0,05 | 2,42 |
| Caguán- Putumayo | Depósitos recientes aluviales y terrazas subrecientes a recientes. Niveles arenosos y conglomeráticos de las formaciones Caimán, Caballos y Pepino (?) | Acuíferos libres a semiconfinados en los sedimentos aluviales y de terraza. | 140.000,00 | 360 | 0,02-0,06 | 66,11 |
| Cordillera Oriental | Depósitos recientes de origen aluvial y terrazas. Formación Tilata, Formación Regadera. Formación Arenisca Tierna del Grupo Guadalupe, Formación Cacho y Socha Inferior en el altiplano cundiboyacense. Secuencias clásticas de las formaciones Mesa, Cimarrona, Tabla y Hoyón hacia el piedemonte occidental. | Acuíferos libres a semiconfinados para las unidades recientes. Libres a confinados para el resto de unidades. | 59.933,77 | 3400 | 0,005-0,1 | 90,07 |
| Cauca-Patía | En el valle del río Cauca: capas de arenas, gravas y algunas veces cantos rodados, intercalados entre capas de arcillas. Se reconocen tambien como acuíferos los horizontes permeables clásticos y vulcanoclásticos de las formaciones Popayán, Galeón, Patía y Armenia (Glacis del Quindío). | Acuíferos libres a semiconfinados en la Unidad A y en los niveles arenosos de las formaciones Armenia, Paila, Galeón, Popayán y Patía. Confinados en la Unidad C. | 12.500,00 | 250 | 0,01-0,15 | 10,1 |

| Provincia Hidrogeológica | Formaciones geológicas con potencial hidrogeológico | Tipo de acuífero | Área ($km^2$) | Espesor acuífero (m) | Rendimiento específico | RESERVAS ($m^3*10^{10}$) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Urabá | Depósitos de terraza y llanura aluvial de los ríos principales. Capa de arenisca en matriz arcillosa, interestratificadas con lentes de conglomerado y lodolitas que agrupa las formaciones La Risa, Ciénaga de Oro, Floresanto y Tubará. Formación Carpa constituida por intercalaciones de lodolitas, areniscas y conglomerados. | Acuíferos libre en las unidades de terrazas y llanura aluvial. Semiconfinados a confinados en las Unidades T1 y T2. | 5264,43 | 250 | 0,01-0,04 | 0,79 |
| Sinú-San Jacinto | "Sedimentos arenosos y de gravas, areniscas friables y conglomeráticas de la Formación Morroa, Sincelejo, Cerrito, Ciénaga de Oro, San Cayetano, Gravas de Rotinet. | Acuíferos libres a semiconfinados para las unidades recientes. Libres a confinados para el resto de unidades. | 37.770,88 | 970 | 0,005-0,13 | 19,4 |
| Valle Bajo del Magdalena | Sedimentos arenosos y gravas de la Formación Betulia. Sedimentos de terraza, aluviales recientes, de cauce aluvial y de ciénaga que conforman acuíferos libres a semiconfinados y los depósitos arenoso del grupo Tubará-Porquero. Areniscas y conglomerados de la Formación San Jacinto. | Acuíferos libres a confinados. | 44.917,64 | 900 | 0,01-0,05 | 36,22 |
| Guajira | “Un acuífero libre conformado por las unidades recientes (depósitos de llanura aluvial, de cauce aluvial, de playón, de barra y de dunas). Un acuífero confinado formado por el conjunto detrítico terciario Uitpa y Monguí. | Acuíferos libres a confinados. | 13.323,08 | 580 | 0,01-0,1 | 9,99 |
| Catatumbo | FORMACIÓN MIRADOR FORMACIÓN CARBONERA GRUPO GUAYABO COMPLEJO DE LIMOS Y CANTOS RUBIFICADOS TERRAZAS Y ALUVIONES RECIENTES. | Acuíferos libres a semiconfinados en terrazas y aluviones recientes, y confinados en niveles arenosos de las formaciones Mirador, Carbonera y Guayabo. | 6.963,31 | 1150 | 0,02 | 8,36 |

| Provincia Hidrogeológica | Formaciones geológicas con potencial hidrogeológico | Tipo de acuífero | Área ($km^2$) | Espesor acuífero (m) | Rendimiento específico | RESERVAS ($m^3*10^{10}$) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Cesar-Ranchería | Formación Aguasblancas Formación Molino Formación Barco Formación Cuesta Terrazas altas Terrazas medias Depósitos lacustres y cenagosos Unidades recientes de llanura aluvial (Valle del río Cesar, Los Venados, Ariguaní, Codazzi-Sicarare, Becerril-La Loma, Rincón Hondo, Astrea-San Alberto), de aluviones recientes (Planicie del río Cesar), de abánicos aluviales (Abanicos de Valledupar, de Manuare, de Codazzi, de La Jagua, de Pailitas y de Aguachica) y de terrazas en la esquina nororiental del departamento. Formaciones La Luna y Cogollo | Acuíferos libres en unidades recientes de llanura aluvial, aluviones recientes y terrazas, y Formación Cuesta. En el resto de unidades se conforman acuíferos confinados. | 10.099,79 | 1470 | 0,005-0,09 | 14 |
| Chocó-Pacífico | Sedimentos fluviales y transicionales del cuaternario localizados en la márgenes de los ríos Atrato, Baudó y San Juan. Niveles arenosos de las formaciones Quibdó y Munguidó. | Acuíferos libres en sedimentos recientes. | 31.762,53 | 800 | 0,03-0,05 | 43,86 |
| Tumaco | Sedimentos fluviales y de playa. niveles arenosos de las formaciones San Agustín, Tumaco y localmente Raposo, Mallorquín, Chaguí y Naya podrían representar potencialmente acuíferos discontinuos. | Acuíferos libres a semiconfinados pobres en depósitos recientes y libres a confinados en formaciones terciarias. | 23.749,42 | 570 | 0,02-0,03 | 7,18 |
| San Andrés | Formaciones San Luis y San Andrés. | Acuíferos libres a confinados. | 25 | 90 | 0,01-0,04 | 0,00196 |
| Valle Alto del Magdalena | Terrazas aluviales antiguas, aluviones recientes y lahares. Abanico de Ibagué compuesto por lahares, flujos piroclásticos y depósitos de canales y el Abanico de Espinal. Conos coalescentes menores conformados por depósitos aluviales de flujos de escombros. Formaciones Honda Gigante y Guacacallo. De menor importancia formaciones Gualanday, Monserrate, Caballos. | Acuíferos libres a semiconfinados en formaciones recientes y del Terciario Superior. Libres a confinados para formaciones más antiguas. | 14.686,77 | 850 | 0,02-0,01 | 11,11 |

| Provincia Hidrogeológica | Formaciones geológicas con potencial hidrogeológico | Tipo de acuífero | Área ($km^2$) | Espesor acuífero (m) | Rendimiento específico | RESERVAS ($m^3*10^{10}$) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Valle Medio del Magdalena | Depósitos aluviales recientes y de terraza, sedimentos detríticos poco consolidados (areniscas, conglomerados) de la Formación Mesa y el Grupo Real. | Acuíferos libres a semiconfinados en unidades recientes y del Terciario Superior. Libres a confinados en unidades más antiguas. | 27.533,52 | 3500 | 0,005-0,08 | 26,08 |
| **TOTALES** | | | **850.127,56** | | | **584,753** |

Fuente: (IDEAM, 2010a).

El volumen total de aguas subterráneas es del orden de $5.848x10^9$ metros cúbicos (5.848 $km^3$). En la Figura 3. 6 se presenta la distribución de las reservas por provincias.

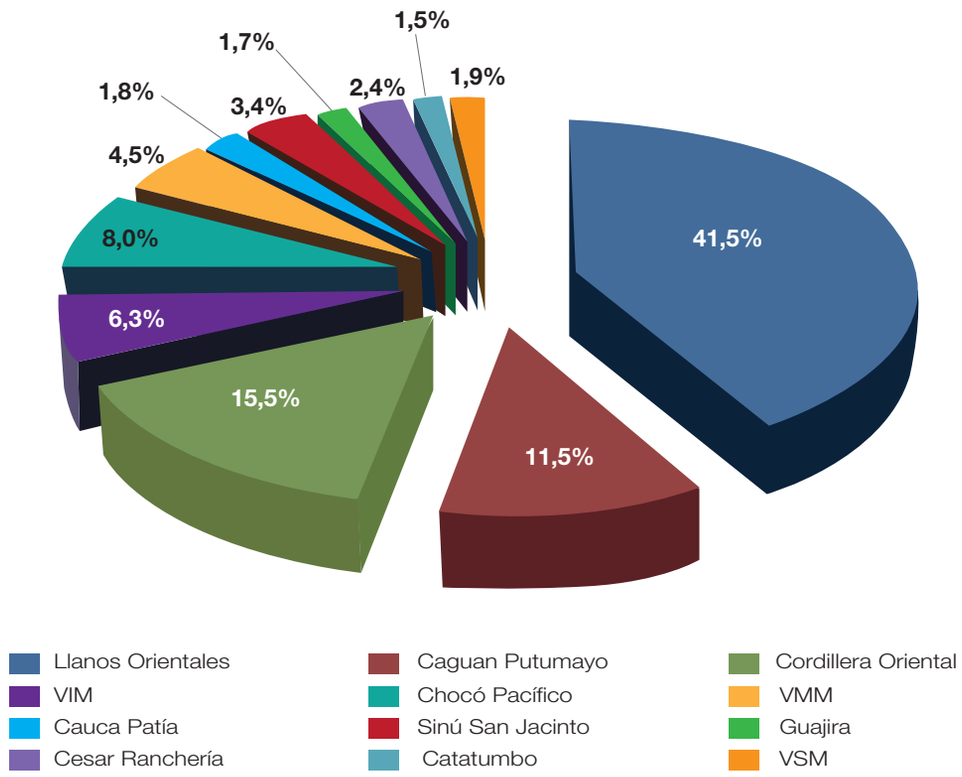



**Figura 3. 6.** Distribución de las reservas de agua subterránea por provincia hidrogeológica. (IDEAM, 2010a)

De la Figura 3.6 se puede colegir que las mayores reservas del país se encuentran en las provincias de los Llanos Orientales, Caguán-Putumayo y Cordillera Oriental. Paradójicamente, las provincias con mayor aprovechamiento, como Cauca-Patía, tienen menor cantidad de reservas, aunque suficientes

para suplir necesidades actuales y ser incorporadas a estrategias de uso conjunto en el marco de la Gestión Integrada de Recurso Hídrico (GIRH).

Las reservas de aguas subterráneas así estimadas corresponden al 72% de la oferta total de agua superficial y subterránea, lo que las convierte en una alternativa estratégica para hacer frente a disminuciones de caudal por variabilidad y cambio climático.

El valor así calculado es representativo en orden de magnitud, de tal manera que (en gracia de discusión), con cualquier otro cálculo que se realice (incrementando los valores del rendimiento específico o del espesor efectivo de los acuíferos), el resultado final seguirá siendo del mismo orden de magnitud. Lo mismo ocurrirá en el caso de que los parámetros involucrados en cálculos posteriores sean menores en algún porcentaje.

En el futuro, cuando se disponga de mayor información y de valores más precisos, los resultados se deberán revaluar. Es de esperarse, sin embargo, que el cálculo de las reservas se vaya incrementando para la mayoría de las provincias, ya que para el ENA 2010, los parámetros utilizados se consideran bajos en casi todos los casos y, por lo tanto, los valores calculados pueden estar subestimados para la mayoría de las provincias (IDEAM, 2010a).

La determinación del uso del agua subterránea para cada provincia hidrogeológica se hizo con base en la información disponible sobre caudales extraídos mediante pozos, en los estudios regionales realizados por las autoridades ambientales. Esta información se presenta consolidada por sectores económicos, de manera general. La información reportada por las corporaciones debe ser validada a futuro, pues no obedece al rigor de los registros administrativos, en la mayoría de los casos. En este sentido, se permite aclarar que la información presentada es apenas indicativa y que este deberá ser uno de los temas de profundización de los estudios nacionales de agua en el futuro, para consolidar estadísticas de uso robustas, provenientes de registros administrativos consistentes (*Ibíd*.).

Las provincias o áreas con mayor aprovechamiento de aguas subterráneas en la actualidad se relacionan en la Tabla 3. 2 en términos de uso de las aguas subterráneas para los sectores doméstico, agrícola, industrial, pecuario, servicios y otros. Esta tabla se elabora con datos aportados por las autoridades ambientales para el ENA 2010.

**Tabla 3. 2.** Uso del agua subterránea según jurisdicción de la autoridad ambiental.

| AUTORIDAD AMBIENTAL | Doméstico | Industrial | Agrícola | Pecuario | Servicios | Otros | Total | Distribución |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $m^3$ /año | $m^3$ /año | $m^3$ /año | $m^3$ /año | $m^3$ /año | $m^3$ /año | m3 /año | Uso por AA (%) |
| CORNARE | 4.280.221 | 2.388.467 | 1.570.074 | 204.002 | 48.833 | 3.869 | 8.495.467 | 0,79 |
| CORALINA | 1.257.425 | 0 | 4.316 | | 3.267.749 | 0 | 4.529.491 | 0,42 |
| CDA | 15 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 18 | 0,00 |
| CORPOAMAZONIA | 899.608 | 621.266 | | 91.520 | 207.520 | 78.577 | 1.898.491 | 0,18 |
| CVS | 0 | 862.825 | 0 | 707.352 | 667.302 | | 2.237.479 | 0,21 |

| AUTORIDAD AMBIENTAL | Doméstico | Industrial | Agrícola | Pecuario | Servicios | Otros | Total | Distribución |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | m³ /año | m³ /año | m³ /año | m³ /año | m³ /año | m³ /año | m3 /año | Uso por AA (%) |
| CORPONOR | 2.913.687 | 502.970 | 25.600.385 | 44.680 | 221.920 | 566.475 | 29.850.117 | 2,78 |
| CARDIQUE | 4.939.175 | 774.840 | 720.014 | 996.538 | 0 | 546.519 | 7.977.085 | 0,74 |
| CRC | 4.280.221 | 2.388.467 | 1.570.074 | 204.002 | 48.833 | 3.869 | 8.495.467 | 0,79 |
| CVC | 8.598.999 | 19.600.384 | 383.850.779 | 0 | 0 | 0 | 412.050.162 | 38,41 |
| CARDER | 4.316.017 | 13.251.427 | 7.884 | 93.536 | 154.842 | 0 | 17.823.706 | 1,66 |
| DAGMA | 92.843 | 4.401.281 | 276.175 | 0 | 2.517.753 | 0 | 7.288.052 | 0,68 |
| CORPOCESAR | 65 | 1.443 | 2.577 | 0 | 3.900 | 0 | 7.985 | 0,00 |
| AMVA | 83 | 122 | 0 | 0 | 181 | 0 | 386 | 0,00 |
| DAMAB | 14.400 | 2.530.151 | 0 | 0 | 972.749 | 0 | 3.517.301 | 0,33 |
| CRQ | 371.494 | 867.240 | 50.458 | 0 | 0 | 27.752 | 1.316.943 | 0,12 |
| CORPOGUAJIRA | 6.271.096 | 422.701 | 3.021.281 | 2.360.807 | 0 | 9.585.608 | 21.661.488 | 2,02 |
| CAR | 45.713.952 | 0 | 164.255.826 | 27.731.008 | 2.348.724 | 19.765.381 | 259.814.891 | 24,22 |
| CORTOLIMA | 5.106.057 | 1.589.541 | 54.434.290 | 576.194 | 252.288 | 79.881 | 62.038.251 | 5,78 |
| CARSUCRE | SI | SI | SI | SI | SI | SI | 0 | 3,91 |
| CORPOURABÁ | 388.457 | 5.568.753 | 15.566.710 | 3.120 | 0 | 0 | 21.527.040 | 2,01 |
| CORPOMAG | 3.780.000 | 4.260.000 | 63.860.000 | 0 | 0 | 94.000 | 71.994.000 | 6,71 |
| CRA | SI | SI | SI | SI | SI | SI | 6.035.745 | 0,56 |
| CRC | 0 | 596.556 | 429.169 | 0 | 0 | 14.215.318 | 15.241.043 | 1,42 |
| CARSUCRE | 23.055.002 | 72.808 | 105.408 | 732.569 | | 49.433 | 24.015.220 | 2,24 |
| SDA | 52.012 | 4.506.084 | 140.662 | 62.298 | 120.926 | 1.043.338 | 5.925.320 | 0,55 |
| CORPONARIÑO | 505.958 | 35.417 | 47.433 | | | 342.152 | 930.960 | 0,09 |
| CVS | 80.743 | 271.334 | 408.592 | 109.016 | | 2.179.302 | 3.048.987 | 0,28 |
| CORPOBOYACÁ | 5.625.088 | 282.636 | 565.698 | | | | 6.473.422 | 0,60 |
| CORANTIOQUIA | 1.555.200 | 78.071 | 124.416 | 373.248 | | | 2.130.935 | 0,20 |
| CORMACARENA | 22.673.295 | 1.425.686 | - | 0 | 0 | 205.286 | 24.304.267 | 2,27 |
| CORPOCHIVOR | 181.260 | 0 | 8.515 | 11.116 | 7.569 | 0 | 208.460 | 0,02 |
| CORPORINOQUIA | 15.768 | 0 | 0 | 0 | 5.676 | 0 | 21.444 | 0,00 |
| TOTAL | 146.968.141 | 67.300.473 | 716.620.736 | 34.301.006 | 10.846.765 | 48.786.760 | 1.072.859.620 | 100,00 |
| Distribución uso por sector (%) | 9% | 6% | 75% | 4% | 2% | 4% | | |

Fuente: (IDEAM, 2010a)

En esta Tabla 3.2, se puede observar que el sector agrícola es el que mayor uso hace del agua subterránea (75%), seguido de lejos por el sector doméstico (9%) y el industrial (7%). El uso de agua subterránea más extendido en el sector agrícola se da en el Valle del Cauca, que consume el 58% del total consumido por el sector en todo el país. El uso en sectores pecuario y de servicios apenas alcanza el 6% en total.

Si se realiza este análisis por provincias hidrogeológica (Tabla 3. 3), los resultados corroboran las anteriores aseveraciones.

**Tabla 3. 3.** Distribución del uso de aguas subterráneas por provincia hidrogeológica.

| No. | Provincia | Uso Millones de $m^3$/año | Porcentaje Nacional |
|---|---|---|---|
| 1 | Cauca - Patía | 420 | 51% |
| 2 | Cordillera Oriental | 266 | 32% |
| 4 | Sinú San Jacinto | 27 | 3% |
| 5 | Guajira | 22 | 3% |
| 6 | Urabá | 21 | 3% |
| 7 | Valle Bajo del Magdalena | 14 | 2% |
| 9 | Llanos Orientales | 24 | 3% |
| 11 | Islas de San Andrés y Providencia | 5 | 1% |
| 12 | Catatumbo | 30 | 4% |

Fuente: (IDEAM, 2010a)

Aquí de nuevo se evidencia que el 83% del consumo de aguas subterráneas está concentrado en las provincias de Cauca-Patía y de Cordillera Oriental. Solamente en la provincia de Cauca-Patía está el 51% de consumo total nacional de aguas subterráneas por los diferentes sectores (*Ibíd*.).

La demanda hídrica agregada total nacional, conforme a los sectores seleccionados, con inclusión del agua extraída no consumida, alcanzó en 2008 un orden de magnitud de 35.877 $Mm^3$. En la Tabla 3. 4 y Figura 3. 7, se presentan los estimativos por sectores de la demanda por uso y su participación porcentual con respecto al total nacional (*Ibíd*.).

**Tabla 3. 4.** Demanda hídrica nacional.

| Usos del agua | Total ($Mm^3$) | Participación (%) |
|---|---|---|
| Servicios | 528 | 1.5 |
| Industria | 1,577 | 4.4 |
| Pecuario | 2,220 | 6.2 |
| Acuícola | 2,584 | 7.2 |
| Doméstico | 2,606 | 7.3 |
| Energía | 6,976 | 19.4 |
| Agrícola | 19,386 | 54.0 |
| **Total** | **35,877** | **100** |

Fuente: (IDEAM, 2010a).

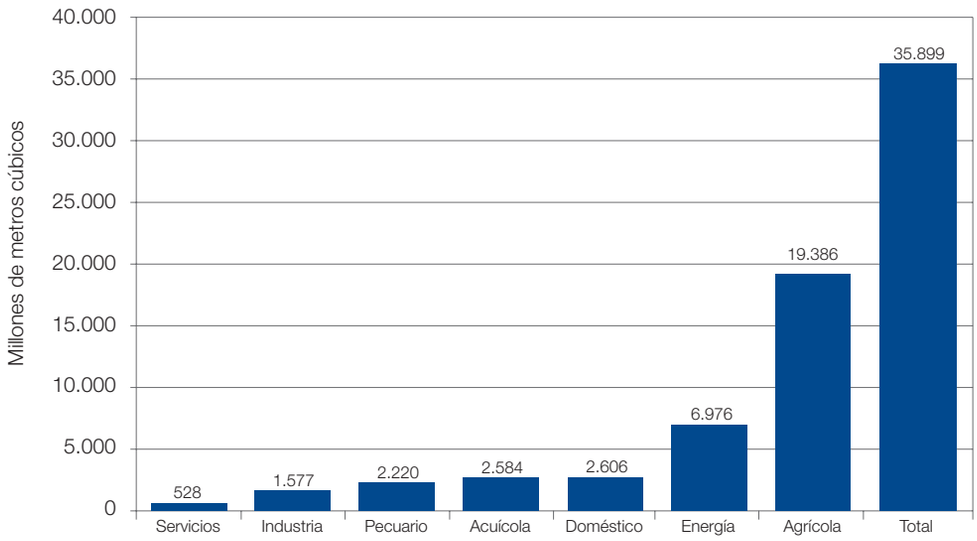



**Figura 3. 7.** Demanda hídrica sectorial nacional agregada (2008). En IDEAM (2010).

El consumo hídrico sectorial nacional se estima cerca a 3% de la oferta hídrica natural. De este 60.2% es de consumo agropecuario, 19.4% es de consumo energético, 7.3% es de consumo humano y el 4.4% es de consumo industrial (*Ibíd.*).

Los crecimientos en el consumo, la deforestación y la escasa gestión sobre las cuencas y los acuíferos u otros recursos naturales en conjunto con la ausencia casi total de tratamiento de aguas residuales están causando problemas serios de disponibilidad, limitaciones por calidad, desabastecimiento y racionamiento en un número cada vez mayor de municipios del país. Estos efectos adversos sobre la calidad de vida y las actividades económicas requerirán de lineamientos de política y estrategias para la planificación del manejo integral y sostenible del recurso hídrico (superficial y subterráneo).





# Capítulo IV

## Provincias Hidrogeológicas y Sistemas Acuíferos de Colombia

En este capítulo se delimitan, describen y caracterizan las Provincias Hidrogeológicas y sus Sistemas Acuíferos asociados. En este sentido, y tal como se ilustró en el capítulo anterior se han identificado 16 Provincias Hidrogeológicas que por su posición geográfica pueden ser montanas e intramontanas, costeras y pericratónicas. Figura 4.1.

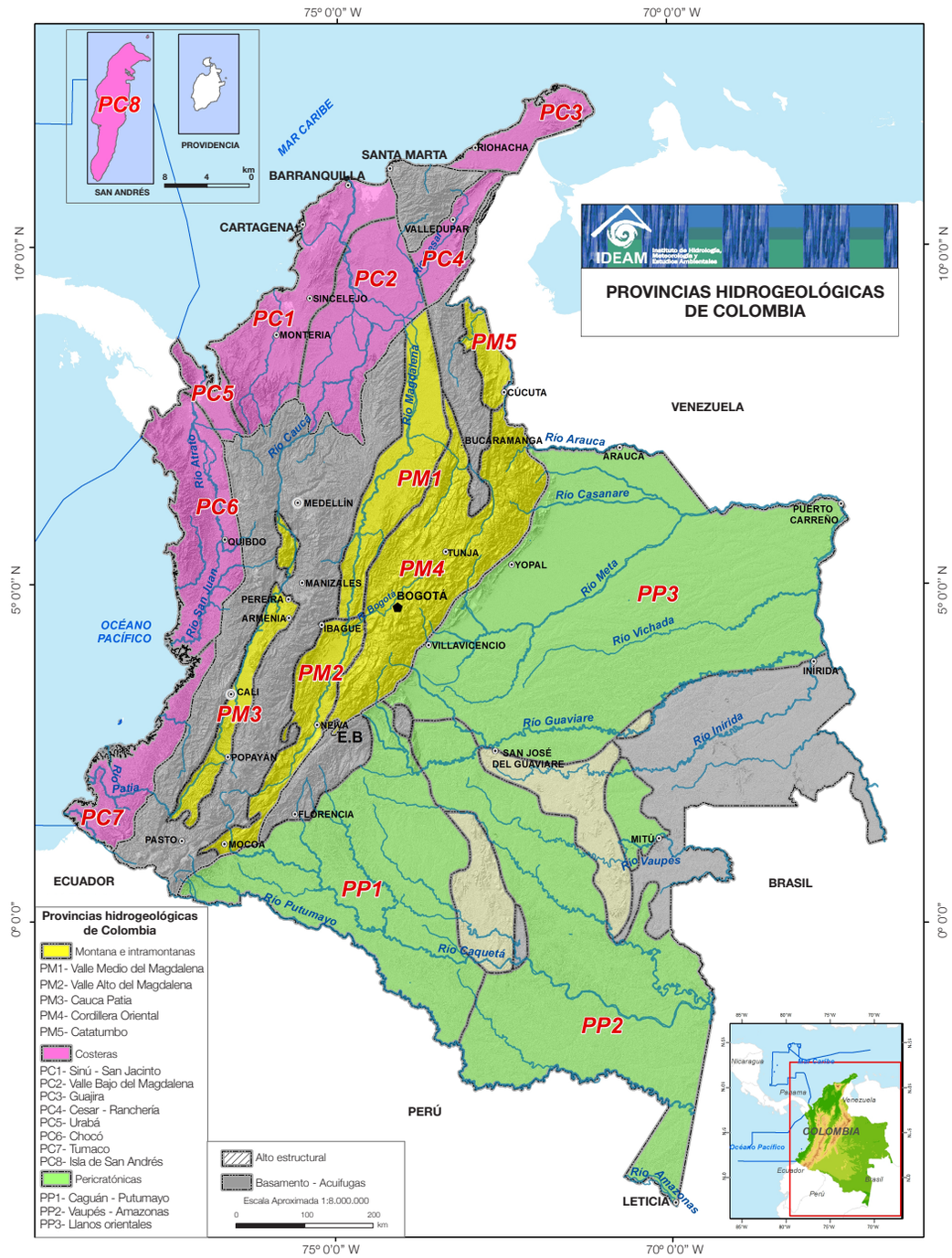



**Figura 4.1.** Provincias Hidrogeológicas de Colombia.

En la Figura 4. 2 se muestra la distribución de las unidades hidrogeológicas de las cuales se tiene algún grado de conocimiento regional para fines de gestión. No se identifican Sistemas Acuíferos con alto nivel de incertidumbre en su delimitación como es el caso de los correspondientes a las Provincias Hidrogeológicas del Pacífico, Putumayo y Caguán-Vaupés. En los demás se alcanzan delimitaciones que podrían ser precisadas a futuro pero que de momento son suficientes para evaluación, planificación y gestión. Dado el carácter local de las aguas termominerales y recursos geotérmicos estas se presentan en un aparte informando al lector sobre fuentes de consulta específicas.

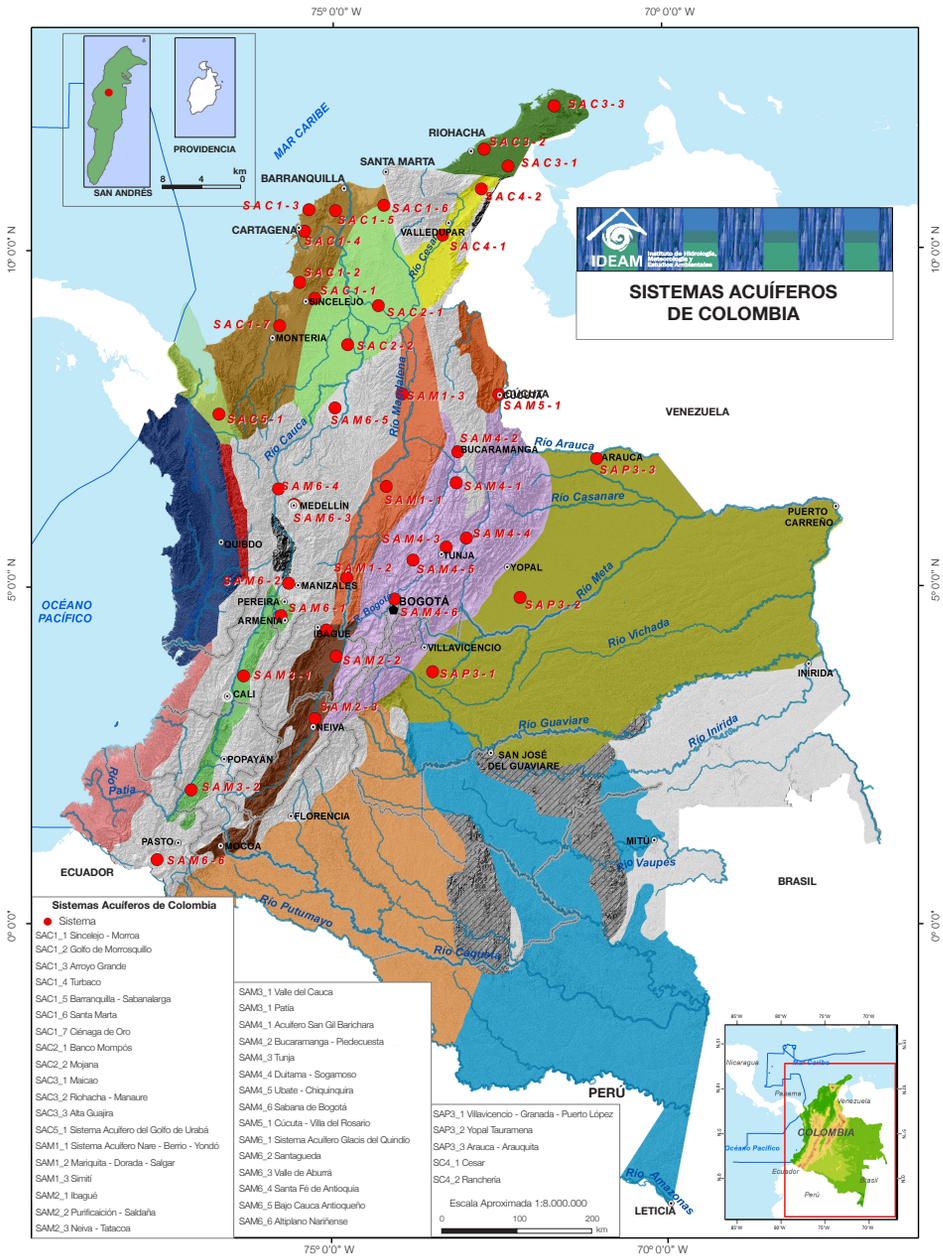



**Figura 4. 2.** Sistemas Acuíferos de Colombia.

Se ha encontrado que las Provincias Hidrogeológicas cubren el 74% del territorio nacional lo cual equivale a 850.000 km$^2$. Los Sistemas Acuíferos identificados corresponden al 10 a 15% del área cubierta por las Provincias Hidrogeológicas. En la Tabla 4.1 se muestran las áreas de los Sistemas Acuíferos identificados con base en la cartografía geológica disponible a escala 1:100.000, modelo digital de terreno DMT 90*90, Modelo de Sombras, imágenes de satélite LANDSAT y la información aportada por las Autoridades Ambientales para este documento. Las unidades así delimitadas pueden ser mayores y de pronto pueden integrarse acuíferos que por su condición hidrogeológica compartan dinámicas y se comporten de la misma manera. Todas estas posibilidades sólo podrán resolverse a la luz del conocimiento de cada Sistema Acuífero. De momento, este es el mapa posible de Sistemas Acuíferos.

**Tabla 4.1.** Áreas de los Sistemas Acuíferos identificados (medido con herramientas de SIG)

| | Provincia Hidrogeológica | Sistema acuífero | Área (Km2) |
|---|---|---|---|
| Provincias Hidrogeológicas Montanas e intramontas PM | Cordillera Oriental PM4 | San Gil Barichara SAM.4.1 | 601 |
| | | Bucaramanga-Piedecuesta SAM 4.2 | 266 |
| | | Tunja SAM 4.3 | 275 |
| | | Duitama-Sogamoso SAM 4.4 | 196 |
| | | Ubaté-Chiquinquirá SAM 4.5 | 484 |
| | | Sabana de Bogotá SAM 4.6 | 3127 |
| | Catatumbo PM5 | Cúcuta-Villla del Rosario SAM 5.1 | 147 |
| | Cauca-Patía PM3 | Valle del Cauca SAM 3.1 | 3975 |
| | | Patía SAM 3.2 | 2110 |
| | Valle Alto del Magdalena PM2 | Ibagué SAM 2.1 | 542 |
| | | Purificación Saldaña SAM 2.2. | 2736 |
| | | Neiva-Tatacoa SAM 2.3 | 1607 |
| | Valle Medio del Magdalena PM1 | Nare-Berrío-Yondó SAM 1.1 | 7148 |
| | | Mariquita-Dorada-Salgar SAM1.2 | 3232 |
| | | Simití SAM 1.3 | 211 |
| | Otros sistemas acuíferos en cordilleras Occidental y Central | Glacis del Quindío SAM 6.1 | 931 |
| | | Santagueda SAM 6.2 | 84 |
| | | Valle de Aburrá SAM 6.3 | 222 |
| | | Santa Fé de Antioquia SAM 6.4 | 103 |
| | | Bajo Cauca Antioqueño SAM 6.5 | 5570 |
| | | Altiplano Nariñense SAM 6.6 | 655 |
| Provincias Hidrogeológicas Pericratónicas PP | Caguán Putumayo PP1 | Valles Aluviales y terrazas de grandes ríos SAP 1.1 | |
| | Vaupés Amazonas PP2 | Valles Aluviales y terrazas de grandes ríos SAP 2.1 | |
| | Llanos Orientales PP3 | Villavicencio-Granada-Puerto López SAP 3.1 | 8493 |
| | | Yopal Tauramena SAP 3.2 | 17446 |
| | | Arauca-Arauquita SAP3.3 | 1807 |

| | Provincia Hidrogeológica | Sistema acuífero | Área (Km2) |
|---|---|---|---|
| Provinicas Hidrogeológicas Costeras e insulares PC | Sinú San Jacinto PC1 | Sincelejo-Morroa SAC1.1 | 980 |
| | | Golfo de Morrosquillo SAC1.2 | 1521 |
| | | Arroyo Grande SAC1.3 | 6,14 |
| | | Turbaco SAC1.4 | 9,61 |
| | | Barranquilla-Sabanalarga SAC1.5 | 2338 |
| | | Santa Marta SAC1.6 | 978 |
| | | Ciénaga de Oro SAC1.7 | 2658 |
| | Bajo Magdalena PC2 | Banco Mompox SAC 2.1 | 2270 |
| | | Mojana SAC 2.2. | 7442 |
| | Guajira PC3 | Maicao SAC 3.1 | 941 |
| | | Rioacha-Manaure SAC 3.2 | 2111 |
| | | Alta Guajira SAC 3.3 | 2567 |
| | César-Ranchería PC4 | César SAC4.1 | 3086 |
| | | Rachería SAC 4.2 | 949 |
| | Urabá PC5 | Golfo de Urabá SAC 5.1 | 1940 |
| | Chocó PC6 | Valles aluviales de grandes ríos (?) SAC 6.1 | |
| | Tumaco PC7 | Sin identificar SAC 7.1 | |
| | San Andrés PC8 | San Andrés SAI 8.1 | |

## 4.1. Nivel de conocimiento de los Sistemas Acuíferos de Colombia

En el país se han realizado realmente estudios hidrogeológicos regionales y de carácter local con escalas que varían entre 1:25.000 y 1:100.000. Con estos estudios se ha cubierto cerca del 15% de la superficie del territorio nacional en reconocidos ambientes sedimentarios. En el año de 1984 el Departamento Nacional de Planeación estructuró el Mapa Hidrogeológico General de Colombia en planchas a escala 1:500.000 (Huguett, et ál. 1989). Además se cuenta con una cartografía hidrogeológica de todo el territorio nacional en escala 1:2.500.000 elaborada por INGEOMINAS en el año de 1989 con el patrocinio del Programa Hidrogeológico Internacional de la UNESCO. Esta cartografía se realizó con base en el Mapa Hidrogeológico de Colombia publicado por la misma entidad en el año de 1977 a escala 1:3.000.000.

Los estudios realizados se han enfocado al reconocimiento de las unidades acuíferas, definición de regímenes de flujo, determinación de la calidad del agua y caracterización de parámetros hidrogeológicos para conocer las condiciones de almacenamiento, caudal, transmisividad y capacidades especificas de los pozos en las unidades acuíferas. Esta información se ha ajustado con métodos geológicos, geofísicos, hidrológicos e hidrogeológicos para formular los Modelos Hidrogeológicos Conceptuales de los diferentes acuíferos objeto de evaluación.

Los estudios de aguas subterráneas en Colombia se iniciaron por parte de INGEOMINAS desde 1950 con un enfoque de abastecimiento de agua potable en poblaciones con restricciones o limitaciones de acceso a fuentes superficiales. De esta manera se adelantaron estudios basados en reconocimientos

geológicos y perforaciones en el Valle del Cauca, Boyacá, Cauca, Cundinamarca, Huila, Córdoba y Antioquia. Esta tendencia se extendió a los años 60 abarcando poblaciones de los departamentos de Tolima, Bolívar, Santander y Caldas (INGEOMINAS, 2004).

Solo hasta 1970 se iniciaron desde el INGEOMINAS estudios con enfoque regional en los departamentos del Valle del Cauca, Valle Medio del Magdalena y zona noroccidental de la Sabana de Bogotá con el acompañamiento de la Netherlands Organization for Applied Scientific Research TNO (Ibíd.). Simultáneamente se estrenaba una jurisprudencia que reconocía el aprovechamiento y conservación de los recursos naturales y entre ellos el agua subterránea (Código de los Recursos Naturales. Decreto Ley 2811 de 1974).

En la década de los 80, INGEOMINAS realizó exploración de aguas subterráneas en Cúcuta, los Valles de Ubaté y Chiquinquirá, Media y Alta Guajira, departamentos de Atlántico, Bolívar, noreste de Urabá y en la Isla de Mompox. Adicionalmente realizó estudios locales para perforación de pozos de abastecimiento en municipios de Córdoba, Magdalena, Guajira y Bolívar (*Ibíd*.).

Hacia los años 90 se concretan convenios con Autoridades Ambientales que permiten la realización de estudios regionales en el Valle del Patía, la Sabana de Bogotá, Urabá antioqueño, y departamentos de César, Huila, Tolima, Magdalena, Sucre, Córdoba y la Isla de San Andrés (*Ibíd*.). En 1993 se expide la Ley 99 de 1993 que reordena la institucionalidad y crea el IDEAM como autoridad hidrológica del país adscrita al Ministerio de Ambiente y encargada de la evaluación de los recursos naturales. Por supuesto, le asigna responsabilidades en temas de aguas subterráneas sin detrimento de la exploración que continua en el marco de competencias del INGEOMINAS. Así pues, el IDEAM queda a cargo de la recopilación, recolección, análisis e incorporación de la información hidrogeológica del país al Sistema de Información del Recurso Hídrico SIRH que forma parte del Sistema de Información Ambiental SIA (Posteriormente reglamentados en los decretos 1323 y 1324 de 2007).

En 1996 INGEOMINAS inicia la elaboración del Atlas de aguas Subterráneas de Colombia (escala 1:500.000) que compendia el análisis de información disponible en la entidad complementada con información de empresas públicas y privadas. Su cubrimiento es de cerca del 30% del territorio colombiano y abarca 8 planchas 1:500.000 con diferentes capas temáticas (*Ibíd*.). En este mismo año se concreta el proyecto de cooperación técnica internacional denominado “Protección Integral de las Aguas Subterráneas” entre el gobierno británico, a través de Water Management Consultants WMC e Ingeominas que beneficia a Coralina y CVC inicialmente y que involucra entidades como el Ministerio de Ambiente y el IDEAM. Posteriormente, benefició a CARDER, CORPOGUAJRA, CARSUCRE. Estos convenios permiten incorporar nuevas prácticas y conceptos para el manejo sostenible del recurso hídrico subterráneo permitiendo el fortalecimiento institucional y el afianzamiento de marcos participativos para la gestión del agua. Esta cooperación tendrá continuidad con el Organismo internacional de Energía Atómica OIEA que beneficia a las mismas corporaciones en el marco de un proyecto de Manejo Integrado de Recurso Hídrico en América Latina que finalmente se extiende a otro convenio para acuíferos costeros con la participación de Corpourabá. Asimismo, caben destacarse estudios regionales realizados por Autoridades Ambientales en sus aéreas de jurisdicción como es el

caso de Corpocesar, Cormacarena, Corantioquia, Cornare, AMVA, Secretaria de Ambiente, CAR, CAM, Corpocaldas, CRQ, CRC y Corponor entre otras.

En el año 2000 se realiza por parte del IDEAM la definición de Zonas Hidrogeológicas Homogéneas de Colombia a escala 1:1.200.000 que divide el país en provincias, cuencas y regiones hidrogeológicas. Esta zonificación se realizó sobre el Mapa Geológico de Colombia de Geotec (Geotec, 1988) complementada con la información del Mapa Hidrogeológico de Colombia a escala 1:2.500.000 (INGEOMINAS, 1989), la información disponible en INGEOMINAS en boletines y reportes geológicos e informes hidrogeológico regionales y la información disponible en consultoras y empresas privadas. Esta delimitación y clasificación es modificada y presentada en la Publicación Especial para Iberoamérica realizada por la Asociación Internacional de Hidrogeólogos, UNESCO y el Instituto Geominero de España para el Foro Mundial del Agua realizado en México (Vargas, N.O. 2006).

En el año 2004 INGEOMINAS traza su plan de exploración de aguas subterráneas con la participación de entidades de orden regional y nacional. Se trata del Programa Nacional de Exploración PEXAS (INGEOMINAS, 2004). En el documento generado por INGEOMINAS para difusión del plan se reconocen zonas prioritarias de exploración (Nariño y alto Patía, Santander, eje cafetero, piedemonte y sabanas del oriente colombiano, Tunja y valle de Sogamoso, occidente antioqueño, Guajira, Urabá, Sucre, zona fronteriza del Norte de Santander, Bajo Cauca, Medio magdalena Antioqueño, Cesar, Occidente de la Sabana de Bogotá, Leticia, valle de Aburrá, Valle Superior y Medio del Magdalena, Sur de Magdalena, Santa Marta, Sur de Bolívar y Centro de Antioquia) y se esboza una estrategia de implementación (INGEOMINAS, 2004).

Este diagnóstico ha permitido a INGEOMINAS desarrollar hasta la fecha nuevos estudios de exploración hidrogeológica en el piedemonte y sabanas del oriente colombiano, altiplano nariñense, eje cafetero, provincia Guanentina en Santander y Alta Guajira.

En el Estudio Nacional del Agua 2010 (IDEAM, 2010a) se caracterizan Provincias Hidrogeológicas delimitándolas con base en el modelo de cuencas sedimentarias de la Agencia Nacional de Hidrocarburos 2007, se calculan reservas con base en cortes geológicos, columnas estratigráficas e información de INGEOMINAS y se presentan estadísticas de uso con información reportada para la publicación por las autoridades ambientales.

En el tema de geotermia y aguas termominerales, INGEOMINAS inicia trabajo en los años 80 enmarcados en el reconocimiento de recursos geotérmicos, localización de manantiales y caracterización físico química de las fuentes. Con los resultados de las investigaciones se genera el “Mapa Geotérmico de Colombia en escala 1:1.500.000” publicado en el año 2000. Además se profundiza en el Inventario de las fuentes termales del Parque Natural Nacional de los Nevados en el año 2002, se realiza el inventario de fuentes termales de Cundinamarca (2003) y se caracterizan las fuentes termales del denominado Sistema Geotérmico de Paipa en el 2005. Estos trabajos son retomados por la Unidad de Planeación Minero Energética UPME para elaborar el reporte “Utilización de la Energia geotérmica” (UPME, 2003). En este trabajo se reportan cerca de 300 yacimientos termales, la mayoría en el complejo volcánico Cerro Bravo; 180 de los yacimientos cuentan con caracterización físico química (*Ibíd.*).

La incorporación del Programa Nacional de Aguas Subterráneas PNASub de reciente formulación por parte del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible MADS y el IDEAM (con la participación del Servicio Geológico Colombiano, Ministerio de Minas y Energía, Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, Autoridad Nacional de Licencias Ambiéntales, las Autoridades Ambientales, la Asociación Colombiana de Hidrogeólogos y el sector académico) en el marco de la PNGIRH permitirá fortalecer el dominio de conocimiento de las aguas subterráneas en Colombia, incorporar el monitoreo como parte del Programa Nacional de Monitoreo del Recurso Hídrico y actualizar la normatividad vigente.

A la fecha el nivel de conocimiento de los Sistemas Acuíferos es insuficiente para una adecuada gestión de las aguas subterráneas lo cual se puede corroborar ponderando criterios mínimos que se sintetizan en las Tabla 4. 2 y Tabla 4. 3 . La Tabla 4. 2 permite establecer unos rangos de calificación (adoptados del capitulo 1 del libro 3 de ISARM sobre los acuíferos transfronterizos de la Américas que se publicarán en 2013) que generan un resultado sobre el nivel de conocimiento de los Sistemas Acuíferos para la gestión del agua subterránea ilustrado en la Tabla 4.3 en la cual el color “MORADO” los Sistemas Acuíferos con conocimiento suficiente, el color “amarillo” los calificados con conocimiento aceptable y el “ROSADO” los que tienen conocimiento insuficiente.

**Tabla 4. 2.** Criterios de calificación de nivel de conocimiento de Sistemas Acuíferos de Colombia.

| Nivel de conocimiento | Rango de calificación | Significado |
|---|---|---|
| Suficiente | 12-18 | El Sistema Acuífero cuenta con información técnica suficiente para una adecuada gestión del agua subterránea en el dominio de su jurisdicción. Una mejor comprensión de la dinámica del sistema puede mejorarse con escenarios de modelación o profundización en aspectos relevantes para su contexto regional. |
| Aceptable | 9-11 | El Sistema Acuífero no cuenta con información técnica suficiente para una adecuada gestión del agua subterránea. Se deben satisfacer vacíos de conocimiento en el MHC e iniciar o mejorar programa de monitoreo y estrategias de manejo y aprovechamiento |
| Insuficiente | Menor de 9 | El nivel de conocimiento es inadecuado para cualquier decisión de protección, manejo y aprovechamiento del Sistema Acuífero. Se requiere satisfacer mínimos de conocimiento en cada uno de los tópicos del MHC |

**Tabla 4. 3.** Nivel de conocimiento de los Sistemas Acuíferos de Colombia.

| Provincia Hidrogeológica | Sistema Acuífero | ¿Se tiene definida la geometría del acuífero? | ¿Se cuenta con caracterización de parámetros hidráulicos (K, S, niveles piezométricos), dinámica de flujo (zonas de recarga, transito y descarga) y variables químicas básicas (ph, CE, SDT)? | ¿Se cuenta con Modelo Hidrogeológico Conceptual que integre los componentes geológico, hidrológico, hidrogeológicos, e información cuantitativa de uso del agua subterránea según sectores económicos? | ¿Cuenta con monitoreo sistemático? | ¿Cuenta con escenarios de vulnerabilidad intrínseca? | ¿Cuenta con Plan de Manejo Ambiental de Acuíferos? | Calificación |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Cordillera Oriental PM4 | San Gil Barichara SAM 4.1 | 3 | 3 | 2 | 1 | 1 | 1 | 11 |
| | Bucaramanga-Piedecuesta SAM 4.2 | 3 | 3 | 2 | 1 | 1 | 1 | 11 |
| | Tunja SAM4.3 | 3 | 3 | 2 | 1 | 1 | 1 | 11 |
| | Duitama-Sogamoso SAM4.4 | 3 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 10 |
| | Ubaté-Chiquinquirá SAM4.5 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 7 |
| | Sabana de Bogotá SAM 4.6 | 3 | 3 | 3 | 2 | 1 | 2 | 14 |
| Catatumbo PM5 | Cúcuta-Villa del Rosario SAM5.1 | 3 | 3 | 2 | 1 | 1 | 1 | 11 |
| Cauca-Patía PM3 | Valle del Cauca SAM3.1 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 18 |
| | Patía SAM3.2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 7 |
| Valle Alto del Magdalena PM2 | Ibagué SAM2.1 | 3 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 10 |
| | Purificación Saldaña SAM2.2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 9 |
| | Neiva Tatacoa SAM2.3 | 3 | 3 | 2 | 1 | 1 | 1 | 11 |
| Medio Magdalena PM1 | Nare-Berrio-Yondó SAM1.1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 8 |
| | Mariquita-Dorada Salgar SAM1.2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 8 |
| | Simití SAM 1.3 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 8 |

| Provincia Hidrogeológica | Sistema Acuífero | ¿Se tiene definida la geometría del acuífero? | ¿Se cuenta con caracterización de parámetros hidráulicos (K, S, niveles piezométricos), dinámica de flujo (zonas de recarga, transito y descarga) y variables químicas básicas (ph, CE, SDT)? | ¿Se cuenta con Modelo Hidrogeológico Conceptual que integre los componentes geológico, hidrológico, hidrogeológicos, e información cuantitativa de uso del agua subterránea según sectores económicos? | ¿Cuenta con monitoreo sistemático? | ¿Cuenta con escenarios de vulnerabilidad intrínseca? | ¿Cuenta con Plan de Manejo Ambiental de Acuíferos? | Calificación |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Otros Sistemas Acuíferos en cordilleras Occidental y Central | Glacis del Quindío SAM 6.1 | 3 | 3 | 3 | 1 | 1 | 1 | 12 |
| | Santagueda SAM 6.2 | 3 | 3 | 2 | 1 | 1 | 1 | 11 |
| | Valle de Aburrá SAM 6.3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 1 | 1 | 13 |
| | Santa Fé de Antioquia SAM6.4 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 9 |
| | Bajo Cauca Antioqueño SAM6.5 | 3 | 2 | 3 | 1 | 3 | 3 | 15 |
| | Altiplano Nariñense SAM6.6 | 3 | 3 | 2 | 1 | 1 | 1 | 11 |
| Caguán-Putumayo PP1 | Valles aluviales y terrazas de grandes ríos SAP 1.1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 6 |
| Vaupés-Amazonas PP2 | Valles aluviales y terrazas de grandes ríos SAP2.1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 6 |
| Llanos Orientales PP3 | Villavicencio-Granada-Puerto López SAP3.1 | 3 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 9 |
| | Yopal-Tauramena SAP3.2 | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 8 |
| | Arauca-Arauquita SAP3.3 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 7 |

| Provincia Hidrogeológica | Sistema Acuífero | ¿Se tiene definida la geometría del acuífero? | ¿Se cuenta con caracterización de parámetros hidráulicos (K, S, niveles piezométricos), dinámica de flujo (zonas de recarga, transito y descarga) y variables químicas básicas (ph, CE, SDT)? | ¿Se cuenta con Modelo Hidrogeológico Conceptual que integre los componentes geológico, hidrológico, hidrogeológicos, e información cuantitativa de uso del agua subterránea según sectores económicos? | ¿Cuenta con monitoreo sistemático? | ¿Cuenta con escenarios de vulnerabilidad intrínseca? | ¿Cuenta con Plan de Manejo Ambiental de Acuíferos? | Calificación |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Sinú San Jacinto PC1 | Morroa-Sincelejo SAC1.1 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 18 |
| | Golfo de Morrosquillo SAC1.2 | 3 | 2 | 3 | 2 | 1 | 1 | 12 |
| | Arroyogrande SAC1.3 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 8 |
| | Turbaco SAC1.4 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 7 |
| | Barranquilla-Sabanalarga SAC1.5 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 8 |
| | Santa Marta SAC1.6 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 8 |
| | Montería-Cienaga de Oro SAC1.7 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 8 |
| Bajo Magdalena PC2 | Banco-Mompox SAC 2.1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 8 |
| | Mojana SAC 2.2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 8 |
| Guajira PC3 | Maicao SAC3.1 | 3 | 3 | 3 | 1 | 1 | 2 | 13 |
| | Riohacha-Manaure SAC 3.2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 8 |
| | Alta Guajira SAC3.3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 6 |
| Cesar-Ranchería | Cesar SAC4.1 | 3 | 3 | 2 | 1 | 1 | 1 | 11 |
| | Ranchería SAC4.2 | 3 | 3 | 3 | 1 | 1 | 1 | 12 |
| Urabá PC5 | Golfo de Urabá SAC5.1 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 1 | 15 |
| Chocó PC6 | Valles aluviales grandes ríos (?) SAC 6.1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 6 |
| Tumaco PC7 | Sin Identificar SAC7.1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 6 |
| San Andrés PC8 | San Andrés SAI 8.1 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 3 | 16 |

Esta tabla cualitativa permite reconocer que únicamente 10 de los 44 Sistemas Acuíferos identificados tiene un nivel de conocimiento adecuado para la gestión del agua subterráneas (22,7%), 13 tienen un conocimiento aceptable (29,5%) y los 21 restantes (47.7%) tienen un nivel insuficiente de conocimiento técnico para la toma de decisiones. Se requiere por lo tanto un importante esfuerzo de fortalecimiento institucional para consolidar modelos hidrogeológicos conceptuales que puedan integrase en la Gestión Integral de Recurso Hídrico.

## 4.2. Provincias Hidrogeológicas Montanas e Intramontanas PM

Estas provincias se localizan en la región Andina y corresponden a secuencias sedimentarias clásticas y carbonatadas de la cordillera Oriental, ambientes sedimentarios de flujos de origen volcánico y fluvial restringidos de la cordillera Central y secuencias siliciclásticas del Paleógeno- Neógeno y Cuaternario de los valles del río Magdalena y Cauca.

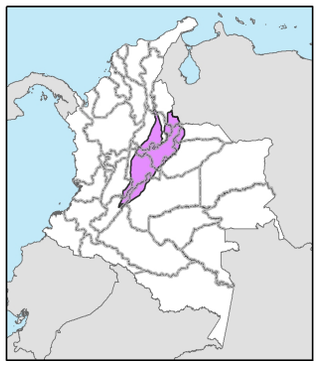
Se reconocen cuatro Provincias Hidrogeológicas Montanas e Intramontanas: Cordillera Oriental, Valle Superior del Magdalena, Valle Medio del Magdalena y Cauca-Patía. Las cordilleras Central y Occidental constituyen acuífugas por su naturaleza ígneo metamórfica que no permiten la recarga directa intersticial pero que por porosidades secundaria permite paso de agua de precipitación del ciclo hidrológico actual a través de fracturas.

### *4.2.1. Provincia Hidrogeológica Cordillera Oriental PM4*

La Cordillera Oriental nace en el Macizo Colombiano y se extiende hasta la Península de la Guajira y está constituida por una secuencia sedimentaria cretácica plegada que se diferencia morfológicamente de la Llanura Oriental al este y el Valle del Magdalena al oeste. Estratigráficamente no tiene similitudes litológicas con las otras cordilleras y su comportamiento hidrogeológico difiere de estas unidades tectono-sedimentarias.

Por estas razones se ha limitado la provincia al este con la Falla de Guaicaramo, al oeste con el Sistema de Fallas del este del Magdalena (Suaza-Prado-Salinas), al norte con la Falla de Santa Marta-Bucaramanga y el Macizo de Santander-Floresta y al sur con el Macizo de Garzón. Figura 4. 3. Su principal rasgo estructural se relaciona con fallas que afectan el basamento y resultan de la reactivación de una deformación preestructural de horst y grabens cuya expresión en superficie toma la forma de amplios anticlinales y sinclinales estrechos los cuales están cubiertos por depósitos cuaternarios fluviolacustres y glaciares que suprayacen rocas sedimentarias detríticas de texturas arenosas, lutiticas y carbonatadas que se extienden desde el Cretácico hasta el Paleógeno-Neógeno Superior (INGEOMINAS, 1988a). Las estructuras plegadas, limitadas por fallas de cabalgamiento de carácter regional, se orientan con rumbo noreste-suroeste siguiendo la tendencia general de las estructuras principales de la Cordillera Oriental (Mc. Laughlin & Arce. 1975).

En la Figura 4. 4 y Figura 4. 5 se presentan el corte hidrogeológico y la columna estratigráfica para la provincia hidrogeológica Cordillera Oriental.



Provincia Cordillera Oriental

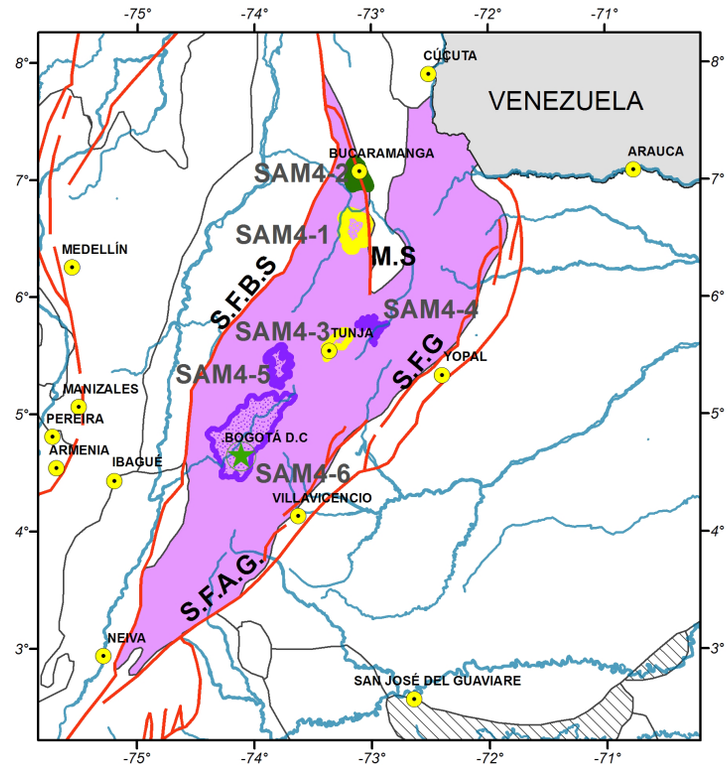
**LÍMITE**

Norte: Rocas ígneas y metamórficas del Macizo de Santander (M.S)

Sur: Sistema de fallas de Algeciras - Garzón (S.F.A.G)

Oeste: Sistema de fallas de Bituima y La Salina (S.F.B.S)

Este: Sistema frontal de empuje de la Cordillera Oriental




**SISTEMA ACUÍFEROS**

SAM 4-1. San Gil Barichara
SAM 4-2. Bucaramanga - Piedecuesta
SAM 4-3. Tunja
SAM 4-4. Duitama - Sogamoso
SAM 4-5. Ubaté - Chiquinquirá
SAM 4-6. Sabana de Bogotá

Fuente: Modificado de ANH, 2007

**Figura 4. 3.** Ubicación de la Provincia Hidrogeológica Cordillera Oriental. Modificado de ANH, 2007.

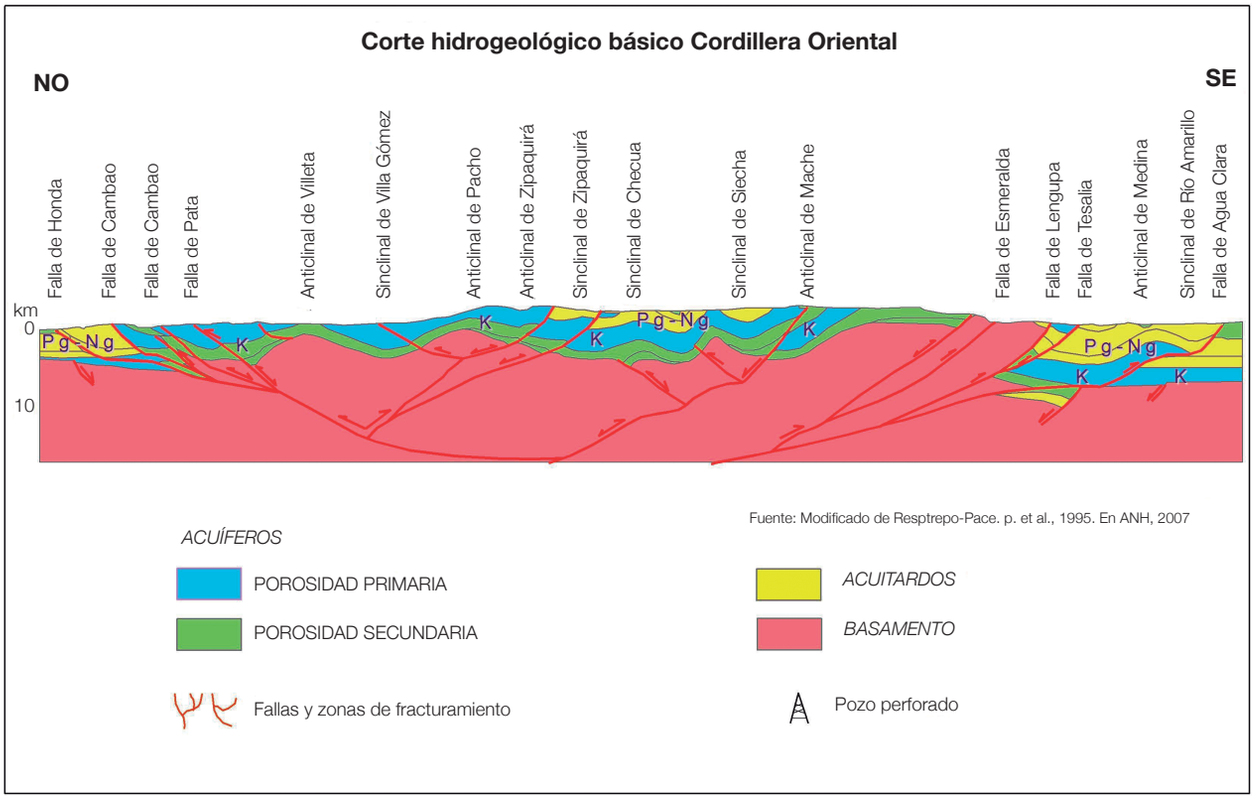



**Figura 4. 4.** Corte Hidrogeológico para la Provincia Hidrogeológica Cordillera Oriental. Modificado de Restrepo-Pace, et ál., 1999 en ANH, 2007.

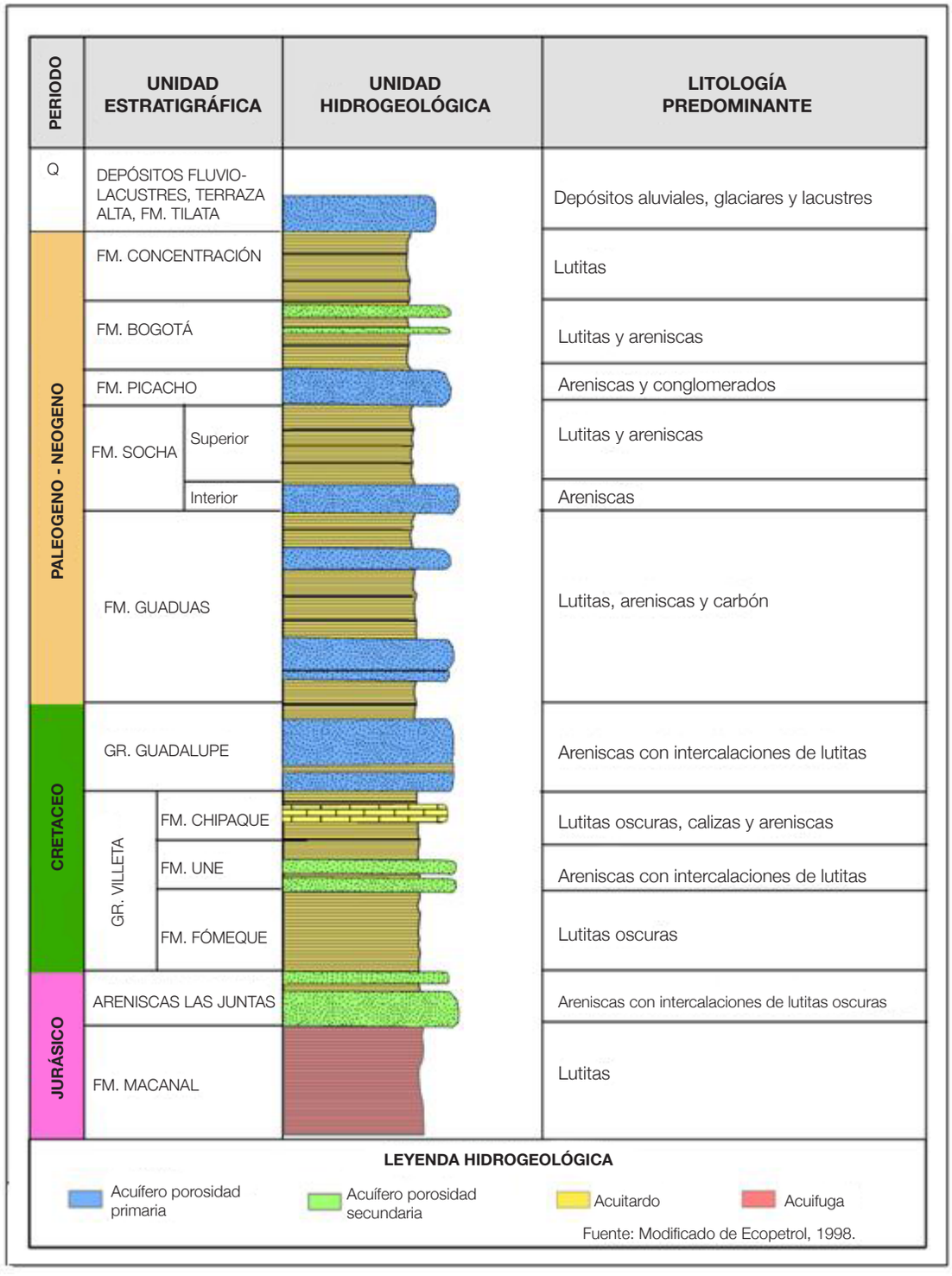



**Figura 4. 5.** Columna estratigráfica para la Provincia Hidrogeológica Cordillera Oriental. Modificado de ECOPETROL, 1998.

Este sistema andino, en general, se caracteriza por corresponder con la mayor extensión de bloques levantados, fallados y con un control estructural notorio del drenaje, integrar macizos antiguos, contener áreas depresionales de origen tectónico, hoy planas, conocidas como altiplanos y formar grandes disecciones en la parte alta de las cordilleras como resultado de la ramificación de las cuencas hidrográficas (IDEAM, 1996).

Esta provincia forma parte del Área Hidrográfica Magdalena-Cauca y abarca zonas con disponibilidad de agua deficitaria en las cuencas de los ríos Catatumbo y la parte baja y media del río Chicamocha. Contribuye a la cuenca del Magdalena con sus afluentes Blanco, Villeta, Bogotá, Negro, Opón, Carare, Sogamoso y Suárez y la vertiente del Orinoco con los ríos Acacías, Meta, Upía, Guayuriba, Cravo Sur, Pauto, Casanare y Arauca entre otros que nacen en sus estribaciones.

#### *4.2.1.1. Sistema Acuífero San Gil-Barichara SAM4.1*

Este Sistema Acuífero, comprende los municipios de Barichara, Cabrera, San Gil y Villanueva. (Camargo y Atehortúa, 2010). El área medida cubre una extensión aproximada de 600 km$^2$ y se encuentra delimitada por los ríos Chicamocha al norte, Suárez al oeste y Fonce al sur, la quebrada Aratoca al noreste y la carretera Bogotá-Bucaramanga al este. (INGEOMINAS, 2009).

- Geología:

El Sistema Acuífero se desarrolla en rocas carbonatadas del cretácico correspondientes a las formaciones Tablazo, Simití y La Luna, en las cuales se desarrollan ambientes cársticos de cavernas, por los que fluye el agua subterránea. Adicionalmente se reconoce flujo por porosidad secundaria en fracturas por donde afloran manantiales recientes en este ambiente sedimentario en Camargo y Atehortua (2010).

Desde el punto de vista geológico en el área de este Sistema Acuífero afloran rocas metamórficas predevónicas, representadas por la Formación Silgará, rocas sedimentarias de edades Jurásico y Cretácico correspondientes a las formaciones Jordán, Girón, Los Santos, Rosablanca, Paja, Tablazo y Simití y depósitos recientes de origen aluvial y coluvial. (Figura 4. 6). La zona se encuentra afectada por fallamiento tipo inverso con componentes de rumbo, debido a la influencia de dos estructuras regionales: la Falla del Suárez y la Falla de Bucaramanga. (INGEOMINAS, 2009).

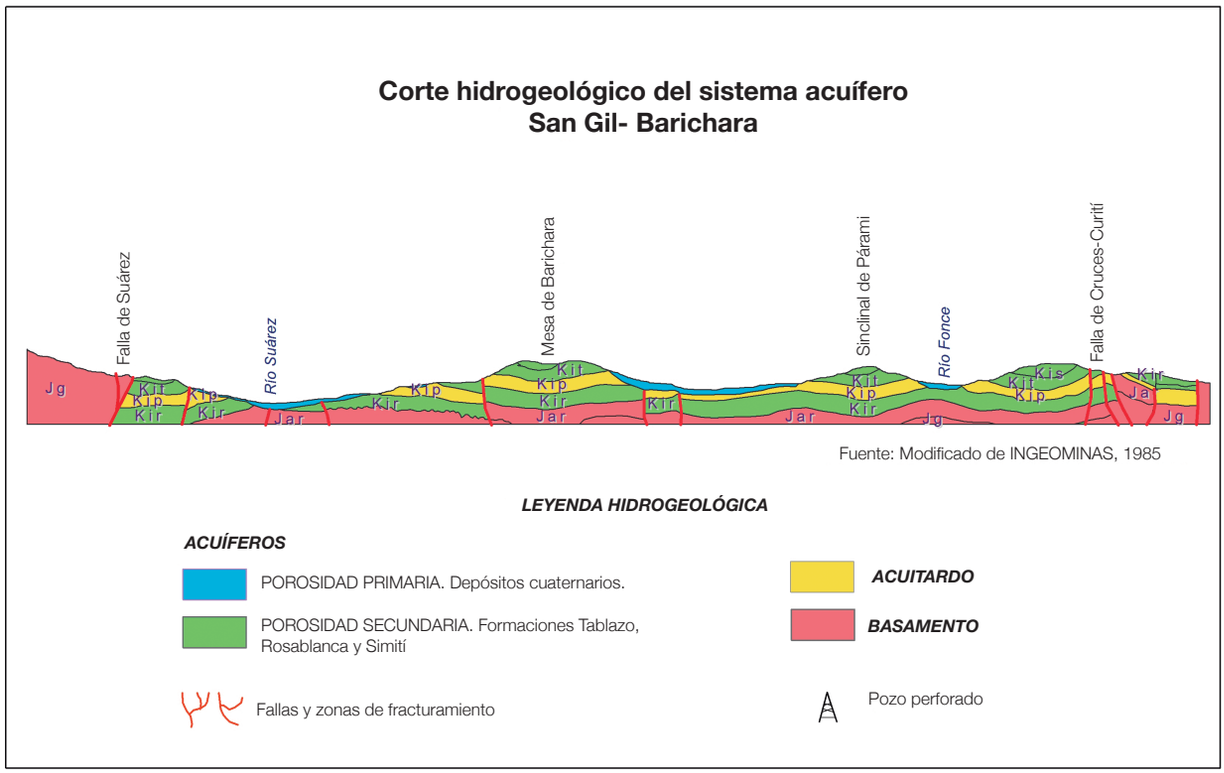



**Figura 4. 6.** Corte Hidrogeológico del Sistema Acuífero San Gil-Barichara. Modificado de INGEOMINAS 1985, Geología plancha 135 San-Gil.

La provincia de Guanentina fisiográficamente se encuentra caracterizada por serie de mesas donde se destaca la Mesa de Barichara. (INGEOMINAS, 2009).

Las características morfológicas predominantes en la Región Guanentina, como se le conoce a esta región, son montañas estructurales denudativas con capas subhorizontales disectadas por profundos cañones, fuertemente escarpados. Los procesos degradacionales se manifiestan por la presencia de cárcavas de erosión y surcos. (*Ibíd*.).

De las formaciones presentes en el área, son las unidades cretácicas Tablazo y Simiti las que poseen potencial hidrogeológico por la presencia de areniscas y principalmente calizas que por disolución y procesos de carstificación dan origen a cavernas. (*Ibíd.*).

## Unidades hidroestratigráficas

De acuerdo con las características de porosidad, permeabilidad y litología podemos definir las siguientes unidades hidrogeológicas y caracterizar el tipo de almacenamiento que forman cada una de estas:

*Acuíferos en los cuales la porosidad primaria es intergranular:*

Los sedimentos no consolidados de mayor permeabilidad corresponden a los depósitos de derrubio y aluviales ubicados en las laderas de los ríos Fonce, Chicamocha y Suárez, presentan material heterométrico de diversa composición litológica, principalmente bloques y guijas de las unidades duras como las formaciones Los Santos, Rosablanca, Tablazo y Simití, embebidos en una matriz limo arcillosa. Cabe esperarse una deficiente respuesta hidrogeológica para estos depósitos aluviales por su carácter local y poca continuidad lateral. (INGEOMINAS, 2009).

*Acuíferos en rocas consolidadas con porosidad primaria y fisuradas con porosidad secundaria:*

En este grupo se pueden incluir los estratos arenosos y calcáreos de las formaciones Tablazo, Simiti, Rosablanca y Los Santos que forman cavernas en sus capas calcáreas y denso fracturamiento. (*Ibíd.*).

*Rocas granulares o fisuradas que forman acuíferos insignificantes con recursos limitados o sin recursos:*

En esta categoría se incluyen las secuencias de carácter predominantemente arcilloso entre las cuales se destaca las formaciones Paja y rocas metamórficas de la Formacion Silgara. De igual manera, los depósitos cuaternarios textura arcillosa. Estos horizontes actúan como acuicierres (es decir, que almacenan agua pero no la transmiten) y por lo tanto son barreras que limitan el flujo del agua subterránea e inhiben las conexiones hidráulicas de los acuíferos con los cuerpos de agua y corrientes superficiales. Se incluye además el basamento precretácico que se comporta por su litología y textura como un acuicludo y como acuifuga en la secuencia del Macizo de Santander. (INGEOMINAS, 2009).

- Características hidráulicas:

En el sector de Barbosa Santander se perforaron a 203 metros las calizas de la Formación Tablazo encontrándose un acuífero confinado con Transmisividad de 60 $m^2$/día y coeficiente de almacenamiento de $2*10^{-5}$. Sin embargo, INGEOMINAS en su último estudio reporta trasmisividades menores de 10 $m^2$/día (INGEOMINAS, 2009).

- Dinámica de flujo y recarga:

La recarga de este Sistema Acuífero se realiza de manera directa por precipitación que corre por las fracturas de la secuencia sedimentaria cretácica distribuida a lo largo del sistema. (Camargo y Atehortúa, 2010).

- Calidad del agua

Las formaciones Simití, Tablazo, Rosablanca y los depósitos de derrubio son de tipo bicarbonatada cálcica debido al lavado del componente calcáreo de estas unidades, la Formación Simití también tiene un comportamiento de tipo clorurada sulfatada sódica (INGEOMINAS, 2009).

La Formación Paja es de tipo sulfatada cálcica debido principalmente a las disoluciones de yeso, minerales que al reaccionar con el agua y la materia orgánica le dan un carácter ácido (Ibíd.).

- Uso del agua subterránea:

INGEOMINAS realizó un inventario en el marco del Estudio hidrogeológico de la provincia Guanentina (INGEOMINAS, 2009) identificando 162 puntos de agua entre los cuales se encuentran 3 aljibes, 4 pozos, 8 cuevas, 3 cavernas y 144 manantiales los cuales se encuentran distribuidos en el Sistema Acuífero. Los pozos se usan para abastecimiento doméstico.

#### *4.2.1.2. Sistema Acuífero Bucaramanga-Piedecuesta SAM4.2*

Abarca 266 km$^2$ y comprende los municipios de Floridablanca, Girón, Lebrija, Piedecuesta, Sevilla y Bucaramanga. (Camargo y Atehortúa. 2010. pp. 88).

En cuanto a la génesis del abanico de Bucaramanga, en Hermelin (2007) proponen cinco niveles asociados a un abanico formado por el paleocauce del río Suratá. Carrillo (1996) menciona la evidencia geomorfológica de al menos tres grandes abanicos aluviales coalescentes, bien definidos por patrones de drenaje, grados de erosión y desarrollo de suelo, que indican eventos deposicionales del rio Suratá. Dentro del Área Metropolitana de Bucaramanga dominan los procesos geomorfológicos degradacionales favorecidos por factores antrópicos (vertimientos, cortes, terraplenes y movimientos de tierra para obras civiles. En las zonas de bordes es común observar la erosión hídrica activa que originan cárcavas, calvas de erosión y tierras malas, a las cuales se asocian múltiples depósitos de talud distribuidos en la base de los escarpes.

Gómez y Colegial (2006) “identifican tres Sistemas Acuíferos subregionales dentro de Bucaramanga y las estribaciones de la Cordillera Oriental, según las condiciones de permeabilidad dadas por las discontinuidades estructurales y diversos grados de meteorización, a saber: 1) rocas ígneas fracturadas 2)rocas ígneas y metamórficas intensamente fracturadas y 3)formaciones aluviales”. Los dos primeros se asocian al Neis de Bucaramanga (neises, esquistos, granulitas y migmatitas) con permeabilidades bajas pero con buena porosidad secundaria. El tercer acuífero corresponde al miembro gravoso de la Formación Bucaramanga, en el cual se encuentra un nivel freático que se extiende por toda la meseta y en algunas ocasiones se le ha llamado Acuífero Superior de la Meseta de Bucaramanga”. El agua extraída de esta unidad provee industrias y lavaderos de carros (*Ibíd*.).

El modelo de recarga y flujo, apoyado en muestreo de isotopos en aguas meteóricas y de las condiciones hidrológicas de la zona, no ocurre asociado a las lluvias en la zona aluvial, de topografía plana y baja , sino a lluvias en la zona montañosa (entre 1800, y 2200 msnm) y a la mezcla de aguas meteóricas que pueden fluir en cortas distancias alimentando las aguas subterráneas presentes, o viajar largas distancias(mayores de 20 km.) recargando también los acuíferos de las zonas aluviales (acuíferos libres, detríticos del Cuaternario)” (*Ibíd*.). Existe además relación de procesos de remoción en masa con la respuesta de las aguas subterráneas a las épocas de alta precipitación o inviernos prolongados (más de cuatro meses). (Camargo y Atehortúa, 2010).

La precipitación tiene un aporte directo pequeño en la recarga, pero indirectamente el agua lluvia que cae en la superficie, drena hacia las redes de alcantarillado pluvial y la presencia de fugas ocasiona un aporte de flujo vertical. En cuanto a la descarga se genera principalmente por la presencia de un accidente topográfico brusco como son los escarpes Norte y Occidental, en donde se presentan fallas en taludes. *(Ibíd.) .*

La calidad del agua es moderadamente dura, con bajos contenidos de cloruros, nitratos y presencia de organismos coliformes. *(Ibíd.) .*

En Bucaramanga la vulnerabilidad a la contaminación de acuíferos presenta todas las categorías, extrema, alta, moderada, baja y muy baja. El área de vulnerabilidad extrema se presenta en un 5.6% de la zona de estudio y la vulnerabilidad alta en un 13.32%, comprendiendo entre las dos una parte representativa de la región. (Gómez et ál., 2011).

Se observa amenaza alta en el 29.1% de la zona, en lugares donde se muestra una contaminación difusa generada por las actividades agrícolas capaces de generar cargas de contaminación altas, por la cantidad de fertilizantes poseedores de nitratos, irrigados a lo largo de estas zonas. Las zonas urbanas o residenciales presentan una amenaza Moderada, que es generada por la infiltración de fugas causadas por los años de deterioro en los sistemas de alcantarillado residuales y algunas pequeñas zonas urbanas presentan amenaza Alta debido al contacto de pozos subterráneos con contaminantes como aceites y lubricantes. Se observan grupos de puntos con amenaza Alta, que son generados por el relleno sanitario, El Carrasco, las granjas tanto avícolas como porcícolas, sitios de accidentes ambientales y la existencia de pozos sépticos. *(Ibíd.) .*

Las zonas de peligro extremo aparecen en los sectores en donde la vulnerabilidad del acuífero se encontró en categoría extrema y en estos lugares se encontraban actividades potencialmente contaminantes, entre estas actividades se encontraron con peligro extremo, áreas de cultivos agrícolas, vertimientos de alcantarillados del sector industrial, algunas estaciones de servicios y cementerios de Bucaramanga y área metropolitana. *(Ibíd.) .*

#### *4.2.1.3. Sistema Acuífero Tunja SAM4.3*

"El Sistema Acuífero de Tunja comprende los municipios de Cómbita, Chivatá, Oicatá, Siachoque, Soracá, Toca y Tunja". (Camargo y Atehortúa, 2010. p 47). Abarca un área de 275 km$^2$.

- Geología:

Las unidades geológicas que están presentas en el Sistema Acuífero hacen parte de la sucesión conformada por rocas de origen sedimentario depositadas durante el Cretácico, Paleógeno-Neógeno y Cuaternario. CORPOBOYACÁ (s.f.) en (Camargo y Atehortúa, 2010). Figura 4. 7.

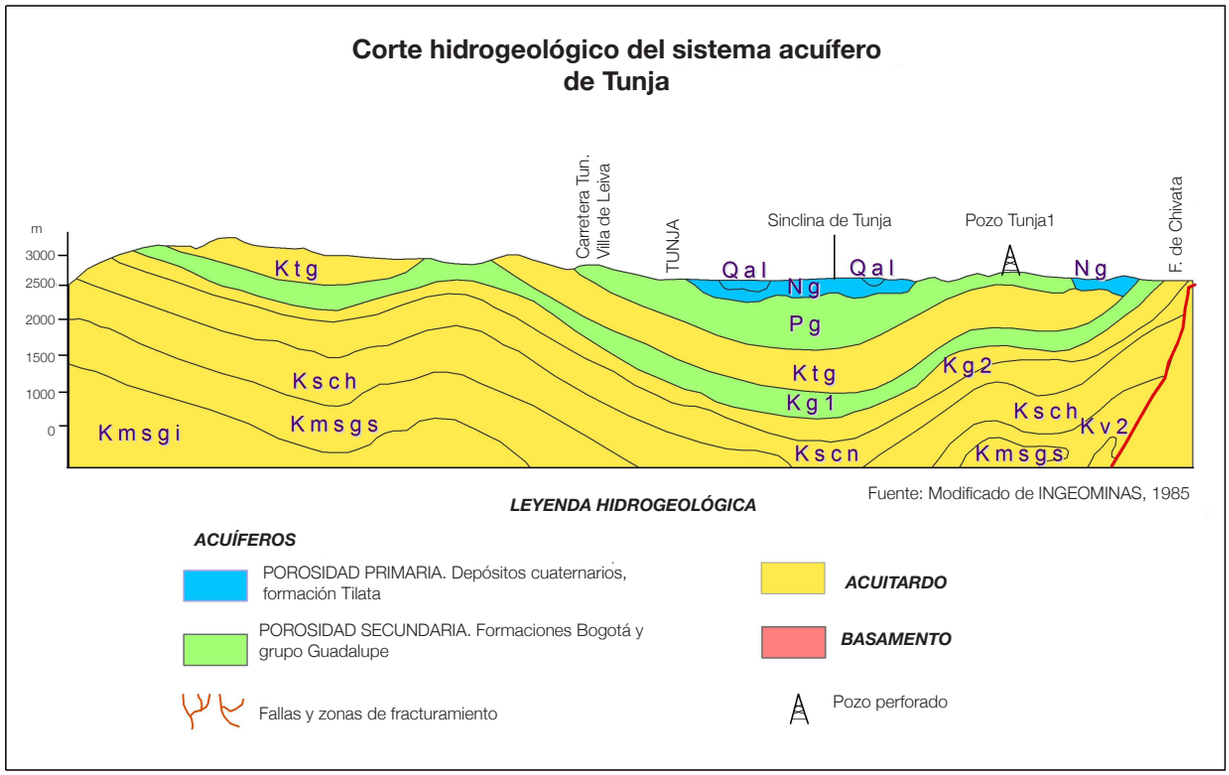



**Figura 4. 7.** Corte Hidrogeológico del Sistema Acuífero de Tunja. Modificado de INGEOMINAS, 1988.

*Formación Guaduas (Ktg):*

Conformada por lutitas, areniscas y carbón, con porosidad primaria baja y corresponde a un acuitardo. (Camargo y Atehortúa, 2010).

*Formación Bogotá (Tb):*

Son lutitas y areniscas con porosidad primaria baja y corresponde a un acuífero pobre-libre a semiconfinado. (*Ibíd*.) .

*Formación Tilatá (Tst):*

Conformado por arcillas, arenas, gravas con porosidad primaria baja a regular, es un acuífero pobre a bueno-libre a semiconfinado. (*Ibíd*.) .

Además, en la zona se encuentran depósitos cuaternarios (Q), la Formación Conejo (Kscn), Formación Plaeners (Kg2), Formación Labor y Tierna (kg1) y Formación Cacho (Tc). (*Ibíd*.) .

La dirección preferencial de los pliegues y fallas geológicas es suroccidente-nororiente, que corresponde con la dirección tectónica normal de la cordillera en el Departamento de Boyacá. (*Ibíd*.) .

El sinclinal de Tunja se presenta como el pliegue principal, es la estructura de mayor amplitud en la zona de estudio, que conjuntamente con los anticlinales colindantes de Arcabuco y Toca definen estructuras de primer orden. (*Ibíd*.) .

- Dinámica de flujo y recarga:

Las características hidrogeológicas, el balance hídrico y las técnicas isotópicas llevan a la conclusión de que la recarga es muy pequeña (0,57 x $10^6 m^3$ /año) y es inferior a la descarga (1,55 x $10^6 m^3$ /año). (*Ibíd*.) .

- Calidad del agua:

Los análisis fisicoquímicos indican que las aguas son de tipo cloruradas cálcicas y bicarbonatadas cálcicas. (Ibíd.) .

- Usos del agua subterránea:

El aprovechamiento del recurso hídrico subterráneo surte a los sectores doméstico y agrícola. Este Sistema Acuífero tiene en su extensión 157 pozos, 11 manantiales y 56 aljibes (Ibíd.).

#### *4.2.1.4. Sistema Acuífero Duitama-Sogamoso SMA4.4*

"El Sistema Acuífero Duitama-Sogamoso comprende los municipios de Busbanza, Duitama, Firavitoba, Floresta, Nobsa, Paipa, Santa Rosa de Viterbo, Sogamosa y Tibasosa". (Camargo y Atehortúa, 2010. p 51). Abarca un área de 196 $km^2$

- Geología:

Hace parte de la cobertera plegada constituida por la serie cretácica y del Paleógeno-Neógeno de la cordillera Oriental. El valle de Sogamoso y el de Duitama corresponden a depósitos fluviolacustres correspondientes a la cuenca de un antiguo lago con un espesor que en sectores sobrepasa los 250m. Infrayaciendo esta secuencia se encuentran rocas del Neógeno representadas por la Formación Concentración, Picacho, Arcillas de Socha y Arenicas de Socha, Guaduas y Ermitaño. Estas formaciones conforman estructuras con direcciones preferenciales Noreste-Suroeste entre las que se destacan el Anticlinal de Chicamocha, afectadas por fallas inversas que permiten aflorar formaciones antiguas al este como Conejo, Churuvita y Une del Grupo Villeta (Cretácico Inferior). (Hermelín, M. 2007).

Así pues, estratigráficamente se identifican las siguientes formaciones:

*Formación Guaduas (KTg):*

Conformada por intercalaciones de lutitas, areniscas y carbón con porosidad primaria baja correspondiendo a un acuitardo. (CORPOBOYACÁ, 1999, en Camargo y Atehortúa, 2010).

*Formación Tilatá (Tst):*

Corresponde a arcillas, arenas, gravas, con porosidad primaria baja a regular, es un acuífero pobre a bueno-libre a semiconfinado. (Ibíd.) .

Estas formaciones están infrayacidas por las formaciones Picacho (Tp), Formación Conejo (Kscn), Formación Labor y Tierna (Kg1), Formación Plaeners (Kg2), Ermitaño, Formación Une (Kv2), Formación Cuche (Cc), Formación Churubita (Ksch), Formación La Rusia (Jns) y depósitos cuaternarios (Q). (Ibíd.) .

- Calidad de agua:

De acuerdo con los análisis fisicoquímicos el acuífero presenta aguas predominantemente duras además de altas concentraciones de hierro. (Ibíd.) .

- Uso del agua subterránea:

El aprovechamiento del recurso hídrico subterráneo surte a los sectores doméstico, industrial y agrícola. (Ibíd.) .

### *4.2.1.5. Sistema Acuífero Ubaté – Chiquinquirá SAM4.5*

"El Sistema Acuífero de Ubaté-Chiquinquirá, comprende los municipios de Ubaté, Fúquene, Susa, Simijaca, Caldas, Carmen de Carupa, Buenavista y San Miguel de Sema". (Camargo y Atehortúa, 2010. p 65). El área medida cubre una extensión aproximada de 484 $km^2$ y coincide con las cuencas hidrográficas de los ríos Ubaté y Suárez en Vargas, N.O (2001).

- Geología:

El Sistema Acuífero se desarrolla en rocas clásticas sedimentarias cretácicas que conforman en la región sinclinales amplios y anticlinales apretados limitados por sistemas de fallas de cabalgamiento. (Ibíd.).

En el área de este Sistema Acuífero, correspondiente a la Pancha Geológica 190 a escala 1:100.000 del Servicio Geológico se reconocen de base a techo las formaciones cretácicas Areniscas de Chiquinquirá, Grupo Chipaque (formaciones Conejo, Simijaca, Frontera), Grupo Guadalupe (formaciones Arenisca Dura, Plaeners, Labor y Los Pinos, Arenisca Tierna), Guaduas. Le suceden las formaciones del Paleógeno-Neógeno denominadas Cacho, Bogotá y Regadera. Estas formaciones, en términos generales, corresponden a secuencias de areniscas cuarzosas intercaladas con lutitas dispuestas en capas tabulares medias a gruesas. Estas formaciones están suprayacidas por depósitos cuaternarios de tipo lagunar y aluvial, provenientes de la sedimentación de la Laguna de Fuquené, cuerpo de agua superficial dominante en la región. (Ibíd).

El valle de Ubaté es una amplia planicie que se extiende en dirección NE-SW, se localiza a una altura de 2560 m.s.n.m. y está limitada por los escarpes que forman las unidades cretácicas descritas anteriormente. (Ibíd).

- Unidades hidroestratigráficas

De acuerdo con las características de porosidad, permeabilidad y litología podemos definir las siguientes unidades hidrogeológicas y caracterizar el tipo de almacenamiento que forman cada una de estas:

*Acuíferos en los cuales la porosidad primaria es intergranular:*

Los sedimentos no consolidados de mayor permeabilidad corresponden a los depósitos fluviolacustres ubicados en el valle de Ubaté y Chiquinquirá que presentan niveles lenticulares de arenas y gravas que dan lugar a acuíferos semiconfinados a confinados. Adicionalmente las areniscas y niveles de gravas de la Formación Regadera presentan buenas condiciones de porosidad y permeabilidad pese a su carácter local y rápidas variaciones laterales de facies. (Ibíd).

*Acuíferos en rocas consolidadas con porosidad primaria y fisuradas con porosidad secundaria.*

En este grupo se pueden incluir los estratos arenosos de las formaciones Cacho, Arenisca Tierna y Areniscas de Chiquinquirá que presentan baja porosidad primaria y secundaria y forman acuíferos pobres.

*Rocas granulares o fisuradas que forman acuíferos insignificantes con recursos limitados o sin recursos:*

En esta categoría se incluyen las secuencias de carácter predominantemente arcilloso de las formaciones Conejo, Simijaca, Frontera, Plaeners, Guaduas y Bogotá. Estos horizontes actúan como acuicierres y acuitardos sin posibilidad de aprovechamiento.

- Dinámica de flujo y recarga

La recarga de este Sistema Acuífero se realiza de manera directa por precipitación.

- Calidad del agua

El agua de este Sistema Acuífero es bicarbonatada cálcica con altos niveles de hierro. El agua extraída en las minas de carbón de la formación Guaduas es de tipo sulfatada cálcica debido principalmente a las disoluciones de pirita que al reaccionar con el agua y la materia orgánica le dan un carácter acido (Ibíd.).

- Características de explotación y uso

Se identifican pozos y aljibes con profundidades que no superan los 60 metros con bajas productividades. En el mejor de los casos se alcanzan caudales de 5 l/s. (Ibíd.).

### *4.2.1.6. Sistema Acuífero Sabana de Bogotá SAM4.6*

La Sabana de Bogotá está ubicada sobre el flanco oriental de la cordillera Oriental, comprende veintisiete municipios: Soacha, Sibaté, Bojacá, Mosquera, Madrid, Facatativá, Funza, Tenjo, Tabio,

Cota, Subachoque, El Rosal, Cajicá, Chía, Zipaquirá, Nemocón, Cogua, La Calera, Sopó, Tocancipá, Gachancipá, Sesquilé, Guatavita, Chocontá, Suesca, Villapinzón y Bogotá. La cobertura superficial es de aproximadamente 4.300 km$^2$ y constituye la cuenca alta del río Bogotá. (CAR, 2008. p. 33).

## Geología:

La Sabana de Bogotá es un apretado sinclinorio fallado con rumbo SSW-NNE coincidente con el altiplano de la Cordillera Oriental y desarrollada en rocas sedimentarias del Cretáceo hasta el Cuaternario que de base a techo corresponden al Grupo Villeta, Grupo Guadalupe, Guaduas, Cacho, Bogotá, Regadera, Usme, Tilatá, Sabana y Tunjuelo. Las Formaciones Tilatá (Plioceno), Sabana (Pleistoceno y Holoceno), y Tunjuelo (Pleistoceno y Holoceno) son depósitos lagunares, fluviales y fluvio-glaciares depositados en el centro y en los bordes de la cuenca durante los últimos 3.5 millones de años. Hay largos sinclinales en los valles mayores y largos y estrechos anticlinales en las serranías entre estos, con fallas inversas bordeando muchos de los anticlinales, y fallas normales y de rumbo cortando las anteriores en Vargas, N.O. (2001).

La Formación Arenisca Tierna del Guadalupe es un acuífero regional; libre a confinado; consolidado; con permeabilidades regulares a altas y buena calidad de agua. Las Formaciones Tilatá, Sabana y Tunjuelo contienen acuíferos regionales a subregionales; discontinuos; libres, semi-confinados o confinados; no consolidados; permeables a semipermeables; con buena a regular calidad de agua en Vargas, N.O. (2001).

Se identifican de base a techo las siguientes unidades litoestratigráficas (Mac Lauglhin, Arce.1975):

- Grupo Villeta

Está constituida por capas tabulares gruesas de areniscas cuarzosas gris claras de grano fino a medio interestratificadas con lutitas grises de la Formación Une y capas tabulares medias a gruesas de lutitas gris claras interestratificadas con areniscas y ocasionales capas de calizas de la Formación Chipaque.

- Grupo Guadalupe

Este grupo está constituido por las formaciones Dura, Plaeners, Tierna y Labor.

La Formación Arenisca Dura está conformada por capas tabulares gruesas de areniscas gris claras intercaladas con limolitas. La Formación Plaeners está constituida por capas delgadas a muy delgadas de lodolitas silíceas normalmente plegadas y fracturadas. Las formaciones Labor y Tierna están conformadas por areniscas cuarzosas de color claro dispuestas en capas tabulares medias a gruesas.

- Formación Guaduas

Está constituida por intercalaciones de areniscas cuarzosas y lutitas gris oscuras dispuestas en capas tabulares medias a gruesas.

- Formación Cacho

La conforman capas medias subtabulares a cuneiformes de areniscas cuarzosas de grano medio a conglomerático de colores claros.

- Formación Bogotá

Está constituida por capas cuneiformes a lenticulares de lutitas marrón a rojizas intercaladas con areniscas arcillosas y ocasionales lentes de carbón.

- Formación Regadera

Conformada por areniscas cuarzosas de grano medio a grueso, localmente conglomeráticas, comúnmente con estratificación cruzada de colores pardo amarillentos y rojizos.

- Formación Tilatá

Está conformada por capas irregulares de areniscas y arena, blancuzcas a gris rojizas, conglomerados macizos, areniscas conglomeráticas y grava.

- Depósitos recientes-Formación Sabana

Estos depósitos reposan de manera discordante sobre las unidades anteriores y están constituidos por arcillas limosas y arenas de grano fino a medio de origen lacustre, aluvial y glaciar.

## Unidades Hidroestratigráficas:

De acuerdo con las características de porosidad, permeabilidad y litología podemos definir las siguientes unidades hidrogeológicas y caracterizar el tipo de almacenamiento que forman cada una de estas:

### *I. Acuíferos en los cuales la porosidad primaria es intergranular*

Cabe esperarse una buena respuesta hidrogeológica en unidades recientes de origen aluvial aunque su permeabilidad está limitada por la presencia de arcillas. En la Sabana de Bogotá corresponde a la Formación Sabana en Vargas, N.O. (2001).

Las terrazas aluviales y depósitos de gravas, arenas y areniscas de la Formación Tilatá son potencialmente buenos acuíferos por su porosidad y de ellos pueden esperarse altas permeabilidades, Los acuíferos tienen poca continuidad lateral y son de tipo libre a confinado.(Ibíd.).

### *II. Acuíferos en rocas consolidadas con porosidad primaria y fisuradas con porosidad secundaria.*

En este grupo se pueden incluir los estratos arenosos plegados de las formaciones Labor y Tierna y Dura que afloran en varias parte de la cuenca. De estas rocas se reconoce su porosidad primaria y

secundaria que permiten el almacenamiento de aguas subterráneas en sus estratos. La Formación Labor y Tierna es el principal acuífero de la cuenca hidrogeológica. (Ibíd.).

Estos acuíferos son confinados en general. En los conglomerados de la Formación Cacho pueden almacenarse aguas subterráneas de baja calidad química por presencia de niveles ferruginosos propios de esta unidad. Igualmente las unidades Paleógeno-Neógeno de litologías arenosas como la Formación Regadera.

*III. Rocas granulares o fisuradas que forman acuíferos insignificantes con recursos limitados o sin recursos:*

En esta categoría se incluyen las secuencias de carácter predominantemente arcilloso entre las cuales se destacan las formaciones Guaduas, Fómeque, Chipaque, Une (aunque este último puede comportarse como acuífero por su porosidad secundaria).

De igual manera, los depósitos cuaternarios de textura arcillosa. Estos horizontes actúan como acuicierres (es decir, que almacenan agua pero no la transmiten) y por lo tanto son barreras que limitan el flujo del agua subterránea e inhiben las conexiones hidráulicas de los acuíferos con los cuerpos de agua y corrientes superficiales en el caso de los depósitos recientes a subrecientes. (Ibíd.).

Por porosidad secundaria cabe esperarse en la Formacion Arenisca Dura. (Ibíd.).

En la Figura 4.8 se presenta un corte geológico de la Sabana de Bogotá.

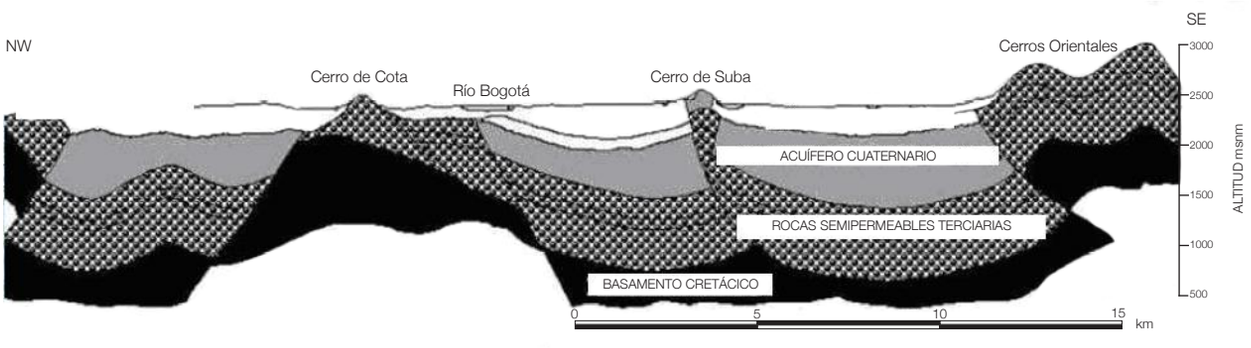



**Figura 4. 8.** Corte geológico de la Sabana de Bogotá. (DAMA, 2005).

## Dinámica de flujo y recarga:

"La dirección del flujo de agua subterránea predominante en el acuífero Cuaternario para la Subcuenca de Neusa sigue dirección de flujo de las aguas superficiales del río Checua – Barandilla, fluyendo desde el noreste hacia el sur en el valle del río Bogotá". (CAR, 2008. p. 63). Para las otra subcuencas no existe una tendencia de flujo claro debido a los continuos bombeos.

En la subcuenca de Chicú hacia el noroeste del casco urbano de Tenjo, el agua del acuífero Guadalupe fluye hacia el centro de la cuenca en dirección sureste, en la Subcuenca de Subachoque el flujo predominante se da hacia el sur de la cuenca y finalmente en la subcuenca de Balsillas (mayor número de pozos que capatan agua de este acuífero), fluye hacia el centro de la cuenca, hacia el norte y este del casco urbano de Facatativá fluye hacia el sureste de la cuenca, desde las partes altas hacia el valle del río Botello. (CAR, 2008, p. 64).

EAAB (2003) citado por Camargo y Atehortúa (2010) infiere que los acuíferos de la sabana de Bogotá se recargan a partir de las aguas lluvias de las montañas, cerros, colinas y sabanas. La recarga de agua subterránea promedio se calculó en 144 mm/año (615 millones de $m^3$/año).

- Calidad del agua:

"Se infiere que el agua subterránea en la Sabana de Bogotá requiere tratamiento de aireación debido a las altas concentraciones de hierro que se presentan". (CAR, 2008, p. 95). Los manantiales y aljibes por su condición de superficiales presentan mayor vulnerabilidad a contaminarse microbiológicamente. (CAR, 2008, p. 105).

- Usos del agua subterránea:

"El aprovechamiento del recurso hídrico subterráneo surte a los sectores agrícola, ganadero e industrial, sistemas de acueducto y otras actividades". (CAR, 2008. p. 91). Figura 4. 9.



**Figura 4. 9.** Pozos profundos de Bavaria en el municipio de Tocancipá. Foto cedida por la CAR.

- Características de explotación:

En la Sabana de Bogotá se han estimado que se extrae agua de 3670 pozos profundos, 900 aljibes y 487 manantiales (INGEOMINAS, 1993). En el acuífero superior del Cuaternario se han perforado

2327 pozos con profundidades entre 20 y 250 metros que utilizan para consumo humano y riego. En la formación Tilatá se reportan 50 pozos con profundidades entre 200 y 600 metros y se utilizan para consumo humano y riego. En la Arenisca del Cacho se reportan 25 pozos con profundidades entre 45 y 150 metros utilizados para riego y consumo humano. En la Formación Labor y Tierna se explotan 132 pozos con profundidades entre 100 y 800 metros y en la Arenisca Dura 40 pozos. Estos se utilizan para riego y consumo humano, industria (Ibíd.).

En la Sabana de Bogotá se tienen registros de extracción del orden de 7'030.000 metros cúbicos operando equipos de bombeo menos de 10 horas diarias, en regímenes climáticos normales de lluvias; pero cuando ocurren estaciones climáticas de sequía y especialmente cuando se presenta el fenómeno de El Niño, la demanda hídrica subterránea se cuadruplica y en ocasiones se quintuplica registrándose extracción de volúmenes de aguas subterráneas que alcanzan entre 28'000.000 a 35'000.000 de metros cúbicos sin incluir el área de Bogotá, Distrito Capital. (CAR, 2008. p. 68).

A partir de la información de los inventarios realizados se obtuvo que el volumen total de agua anual extraído en la Sabana de Bogotá corresponde a 42'014.012 $m^3$ (CAR, 2008. p. 86).

### Características hidráulicas:

En la Sabana de Bogotá se han determinado parámetros hidráulicos para las principales formaciones (INGEOMINAS, 1993):

- Formación Arenisca Dura: Se han estimado transmisividades de 15-19 $m^2$/día, Capacidades específicas de 0.20 l/s/m y caudales de 2-35 lps.

- Formación Labor y Tierna: Se han estimado transmisividades de 4-360 $m^2$/día, Capacidades específicas de 0.04-1.94 l/s/m, coeficientes de almacenamiento entre $2.4*10^{-5}$ y $5.3*10^{-4}$ y caudales de 0.9-18 lps.

- Arenisca del Cacho: Se han estimado transmisividades de 480 $m^2$/día, Capacidades específicas de 0.18-0.57 l/s/m, coeficientes de almacenamiento de $5*10^{-4}$ y caudales de 0.18-0.57 lps.

- Formación Tilatá: Se han estimado transmisividades de 10-160 $m^2$/día, Capacidades específicas de 0.04-1.37l/s/m, coeficientes de almacenamiento de $2.2.*10^{-3}$ y caudales de 1-40 lps.

- Depósitos de Terraza Alta: Se han estimado transmisividades de 5-28 $m^2$/día, Capacidades específicas de 0.09-0.26 l/s/m, coeficientes de almacenamiento de $1.3.*10^{-3}$ y caudales de 0.1-8 lps.

### Problemas socioambientales:

"Dependiendo de demandas de aguas subterráneas se presentan abatimientos importantes que generan agotamiento del agua subterránea, especialmente en el acuífero neógeno cuaternario, lo cual ocasiona que se tenga que recurrir a obtener agua por almacenamiento de agua lluvia en reservorios u

otros sistemas de almacenamiento de agua lluvia, que deben ser utilizados especialmente en verano". (CAR, 2008. p. 69).

### *4.2.2. Provincia hidrogeológica Catatumbo PM5*

Esta provincia transfronteriza limita con las estribaciones de la vertiente occidental de la Cordillera Oriental en su extremo nororiental. La cuenca fue objeto de evaluación hidrogeológica, geofísica e hidrogeoquímica y cuenta con cartografía geológica básica que permite elaborar un modelo hidrogeológico conceptual que requiere de actualización del inventario de puntos de agua y precisiones hidrogeológica en relación con el balance hídrico de la cuenca y zonas de recarga. Tiene importancia para la región por las limitadas condiciones de disponibilidad del recurso en áreas aledañas a Cúcuta y Villa del Rosario.

La provincia ocupa la parte intramontana nororiental de Colombia y se extiende en dirección sur-norte coincidiendo en sus límites con la costa Caribe en las estribaciones de la Sierra Nevada de Santa Marta, con Venezuela al Oriente, con el extremo sur de la planicie de la baja Guajira y con el límite sur del Macizo de Santander en la Cordillera Oriental.

Al Sur de la provincia, la Cordillera Oriental se estrecha debido a la presencia del complejo ígneo-metamórfico del Macizo de Santander. Luego esta cordillera se bifurca en un ramal que se desprende hacia el norte formando la Cordillera de Mérida en Venezuela y otro siguiendo hacia el norte forma la Serranía de los Motilones y posteriormente la Serranía de Perijá que toma rumbo noreste perdiendo altura.

En la Figura 4.10, Figura 4.11, Figura 4.12, se presentan respectivamente la ubicación de la provincia hidrogeológica, el corte hidrogeológico y la columna estratigráfica.



Provincia Hidrogeológica de Catatumbo

**LÍMITE**

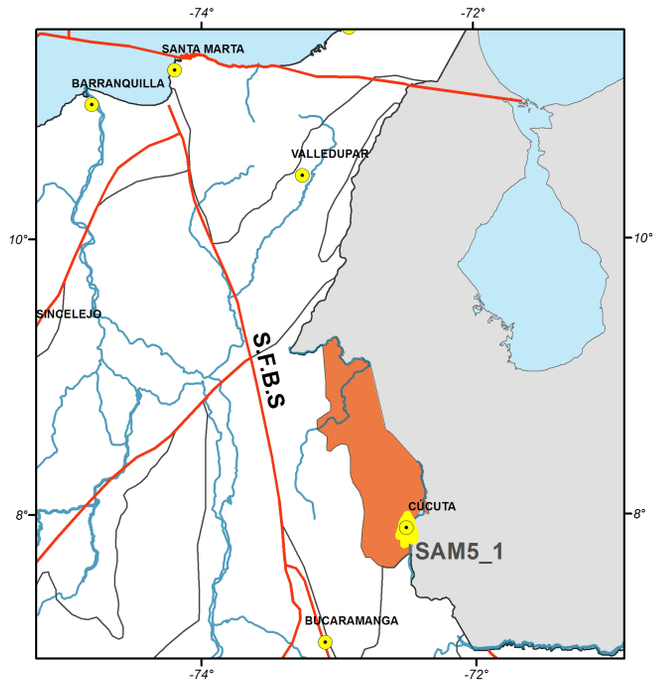
Norte: Límite internacional con Venezuela

Sur: Rocas cretácicas de la Cordillera Oriental

Oeste: Macizo ígneo metamorfico de Santander

Este: Límite internacional con Venezuela

S.F.B.S, Sistema de fallas de Bucaramanga - Santamarta




*Fuente: Modificado de ANH, 2007*

**SISTEMAS ACUÍFEROS**
SAM5-1. Cucutá-Villa del Rosario

**Figura 4. 10.** Ubicación de la provincia hidrogeológica de Catatumbo. Modificado de ANH, 2007.

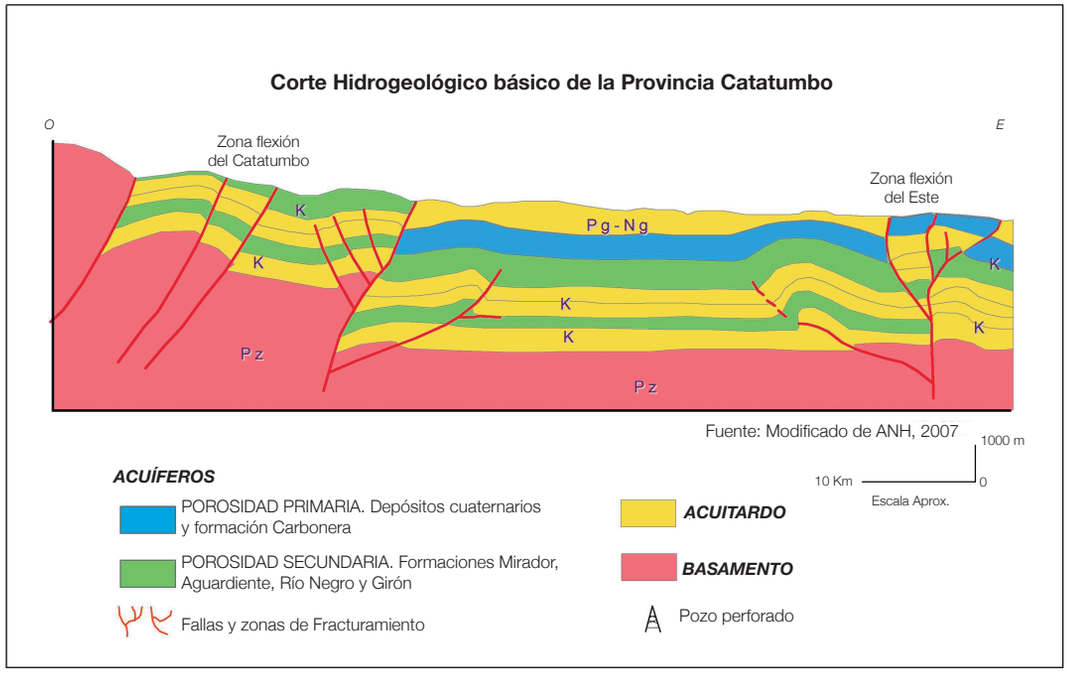



**Figura 4. 11.** Corte hidrogeológico básico de la provincia Catatumbo. (Modificado de ANH, 2007)

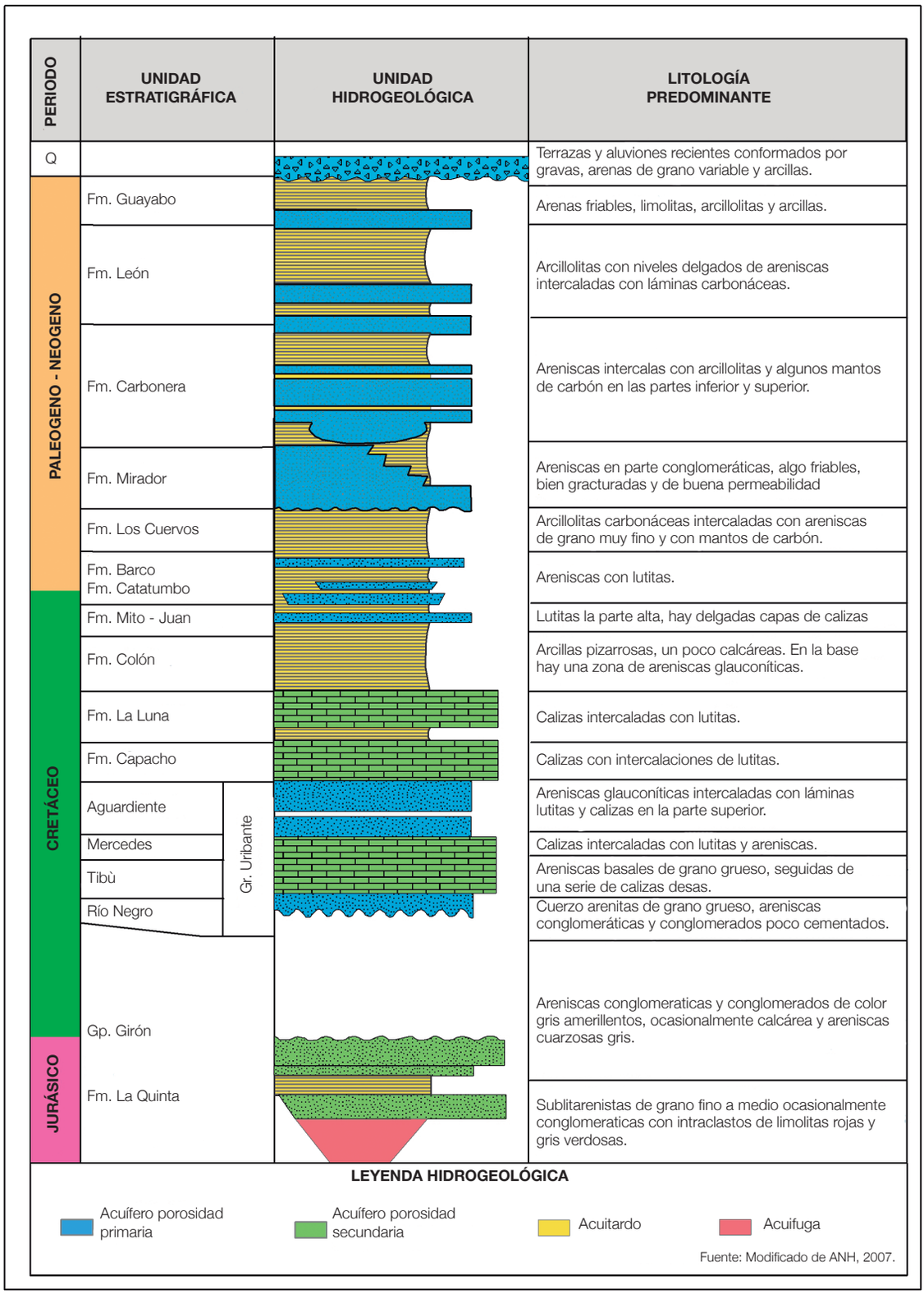



**Figura 4. 12.** Columna estratigráfica generalizada de la provincia Catatumbo. (Modificado de ANH, 2007)

### 4.2.2.1. Sistema Acuífero Cúcuta-Villa del Rosario SAM5.1

En al año 2007 IDEAM y CORPONOR elaboraron el Plan de protección y aprovechamiento integral del recurso hídrico subterráneo departamento de Norte de Santander, donde el área de estudio comprendía el área rural y la cabecera municipal de Cúcuta, Villa del Rosario y Patios con una extensión de 147 km$^2$.

- Unidades Geológicas e Hidrogeológicas:

En el municipio de Villa del Rosario afloran subsuperficialmente y en el subsuelo unidades roca sedimento cuyas edades varían del Paleógeno-Neógeno a el Cuaternario, las cuales corresponden de base a techo a la Formación Mirador, Formación Carbonera, Formación León, Grupo Guayabo, Complejos de Limos y Cantos Rubificados, Terrazas y Aluviones Recientes. (En IDEAM y CORPONOR. 2007. p. 24).

En la siguiente tabla se sintetizan las características hidrogeológicas cualitativas, litoestratigráficas, litológicas y cronoestratigráficas de las unidades anteriores con base en el estudio hidrogeológico de Cúcuta. Tabla 4. 4.

**Tabla 4. 4.** Unidades cronoestratigráficas, litoestratigráficas y litológicas.

| Cronoestratigrafía | Litoestratografía | | Litología | Características Hidrogeológicas |
|---|---|---|---|---|
| CUATERNARIO | Terrazas y aluviones recientes | | Gravas, arenas y arcillas | Acuíferos en gravas y arenas |
| | Complejo de limos y cantos rubificados | | Cantos y bloques de arenisca en matriz limo arcillosa | Zonas altas y secas, saturadas en la base |
| Paleógeno-Neógeno | Grupo Guayabo | Conjunto Arenoso | Areniscas con algo de arcillolitas | Acuíferos pobres en areniscas |
| | | Conjunto Arcilloso | Arcillolitas con algo de areniscas arcillosas | Acuicludo |
| | Formación León | | Arcillolitas | Acuicludo |
| | Formación Carbonera | | Arcillolitas, areniscas, niveles carbonosos y calcáreos | Permeabilidad primaria baja: agua con gas metano principalmente. Permeabilidad secundaria regular: agua impotable, salobre y dura. Acuífero con agua de mala calidad según análisis físico químicos. |
| | Formación Mirador | | Areniscas finas a gruesas, en parte conglomeráticas | Rocas cementadas bien fracturadas. Agua con aceite. Acuífero contaminado (contaminación con aceite, Pozo Petrolero Rosario 1) |

Fuente: (en IDEAM y CORPONOR, 2007).

De la anterior figura se colige que el sector de interés forma parte de una secuencia plegada de formaciones sedimentarias de edades Cretácico y Paleógeno-Neógeno que reposan de manera discordante sobre las unidades ígneo-metamórficas del Pre-mesozoico conocidas en su conjunto como Grupo Girón.

La secuencia cretácica se compone de arenitas cuarzosas de grano fino a grueso, duras, bien cementadas, intercaladas con lutitas fisiles y calizas duras. Esta secuencia comprende cerca de 1800 metros de espesor y se ubica en los flancos de las estructuras geológicas principales configurando los escarpes y filos más destacados de la región (INGEOMINAS, 1988a).

El Paleógeno-Neógeno de la zona se reconoce por estar conformado por arcillolitas abigarradas, lutitas fisiles ferruginosas, areniscas duras a friables y mantos de carbón (Ibíd.).

Las formaciones anteriores se orientan con rumbo noreste- suroeste y tienen buzamientos que varían entre 25 y 70°. Su continuidad está interrumpida por fallas longitudinales de tipo inverso con desplazamientos hasta de cientos de metros y por fallas tranversales de menores desplazamientos.

Las unidades sedimentarias cretácicas y del Paleógeno-Neógeno están cubiertas por depósitos recientes de origen aluvial cuyo espesor varía entre 20 metros hasta más de 150 metros en el centro de la ciudad de Cucutá. Los sedimentos recientes están conformados por arcillolitas rojas y abigarradas, arenas de grano grueso de color pardo y localmente conglomerados (Ibíd).

### Dinámica de flujo:

El flujo de aguas subsuperficiales captadas por los aljibes inventariados en el sector de Villa del Rosario, presenta una dirección suroeste-noreste hacia el río Táchira, hacia la parte norte y localmente tiene una dirección hacia el norte (en IDEAM y CORPONOR. 2007. p. 158).

### Características hidráulicas:

La fuente de recarga principal es la precipitación y es posible que exista alguna alimentación del acuífero desde la Formación Carbonera y el Grupo Guayabo. Al procesar la información se observa que en el área del Pamplonita la recarga en la época lluviosa se produce sin mucho retraso por las características de porosidad de los sedimentos y además evidenciando que la cuenca no se encuentra en estado de impermeabilización. El descenso de niveles es de velocidad moderada (Ibíd).

Con pruebas de bombeo se obtuvieron los siguientes resultados en la zona del Mosquito:

- Transmisividad: 300 m²/día
- K=Conductividad Hidráulica=2m/d
- S=Coeficiente de almacenamiento= $1.8*10^{-3}$

Hacia la zona de Cúcuta se obtuvieron los siguientes resultados por pruebas de bombeo:

- Transmisividad: 350 m²/día
- K=Conductividad Hidráulica=13 m/d
- S=Coeficiente de almacenamiento= $3*10^{-3}$

En el sector de Villa del Rosario y La Libertad el acuífero alcanza hasta 90 metros de espesor y en su mayor parte es de tipo semiconfinado. Únicamente hacia el río Tachira el acuífero no está cubierto por capas de arcilla y se comporta como libre. Las arcillolitas de la Formación León conforman la base del acuífero y su límite occidental. Al norte está limitado por el Grupo Guayabo. (en Vargas, N.O. 2001).

En la zona de Villa del Rosario se realizaron pruebas de bombeo obteniéndose los siguientes valores (en IDEAM y CORPONOR. 2007):

- Transmisividad: 25 m²/día
- K=Conductividad Hidráulica=13 m/d
- S=Coeficiente de almacenamiento= $5*10^{-4}$

Los acuíferos en general, son de tipo libre a confinado constituidos por los aluviones y terrazas cuaternarios de origen fluvio-deltáico. El espesor varía de 40 a 250 metros con un nivel estático entre 3 y 10 metros. Los caudales de producción son del orden de 10-45 l/s y las capacidades específicas de 0.6 l/s/m (Ibíd.).

### Usos del agua subterránea:

En el municipio de Villa del Rosario se inventariaron en total 560 puntos de captación de agua, donde el 96.44% corresponde a aljibes, el 2.46% corresponde a pozos, el 0.82% son manantiales y el 0.27% corresponde a aljibes-pozos. Desde el punto de vista geológico el 100% de las captaciones a nivel de aljibes y manantiales inventariados captan de los Depósitos de Terraza Aluvial (Qta) de Villa del Rosario. Los pozos profundos captan a través de sus filtros instalados en capas acuíferas de unidades terciarias Formación Guayabo. (En IDEAM y CORPONOR. 2007. p. 78).

Se inventariaron 143 puntos de agua principalmente en el área urbana, de los cuales 139 aljibes que corresponden al 97%, 3 pozos que equivalen al 2% y 1 manantial que corresponde al 1% del total de puntos de agua inventariados en el municipio de Cúcuta. (En IDEAM y CORPONOR. 2007. p. 88).

Los aljibes son las captaciones más utilizadas para el aprovechamiento del agua subterránea, seguida de 3 pozos de los cuales 2 son para uso industrial y el otro para irrigación y 1 manantial. Los aljibes inventariados en Cúcuta captan de los Depósitos de Terraza Aluvial (Qta). (en IDEAM y CORPONOR. 2007. p. 89).

### Vulnerabilidad y problemas socioambientales:

En el municipio de Cúcuta se identifican las fuentes que podrían contaminar el Sistema Acuífero: minería de carbón y de arcilla, curtiembres (lavaderos de carro y talleres de mecánica en general, lavanderías y tintorerías, rellenos sanitarios, matadero municipal y plaza de ferias, alcantarillado, disposición de residuos sólidos, cementerio. (En IDEAM y CORPONOR, 2007).

En el municipio de Villa del Rosario se identificaron las siguientes posibles fuentes de contaminación: alcantarillado, planta de tratamiento de aguas residuales, disposición final de residuos sólidos. (Ibíd.).

### *4.2.3. Provincia hidrogeológica Cauca-Patía PM3*

Las diferencias litológicas entre la cordillera Oriental y las Cordilleras Central y Occidental de Colombia han sido el criterio básico para definir esta provincia la cual está limitada al este por el sistema de Falla del Oeste del Magdalena y al este por el Sistema de Fallas del río Atrato (Figura 4. 13). Se extiende hacia el norte hasta la falla de Murrucucú en las estribaciones de las serranías de Abibe, San Jerónimo, Ayapel y San Lucas y hacia el sur se estrecha en el Macizo colombiano. Su litología es predominantemente ígneo-metamórfica y representa diferentes etapas de la orogenia andina.

La provincia ocupa la parte intramontana centro occidental de Colombia y se extiende en dirección sur-norte coincidiendo en sus límites con las estribaciones de las Cordilleras Central y Occidental.

La Cordillera Occidental se desprende en el Nudo de Los Pastos donde toma una dirección Norte-Sur con una altura media de 2700 m.s.n.m. y en su límite norte se trifurca para terminar en las llanuras costeras del Mar Caribe. Está separada de la Cordillera Central por el valle tectónico del Cauca.

La provincia forma parte de la región hidrográfica del Magdalena-Cauca y dentro de ella a la cuenca del Rio Cauca el cual corre en sentido sur-norte entre las cordilleras Central y Occidental que le aportan caudales de afluentes de tipo torrencial que atraviesan transversalmente las estribaciones montañosas. El rendimiento hídrico de esta cuenca se estima en 45 l/s/km$^2$ que hace que la zona se encuentre en niveles normales a deficitarios si se tiene en cuenta la población asentada en sus márgenes (IDEAM, 2010a).



Provincia Cauca-Patía

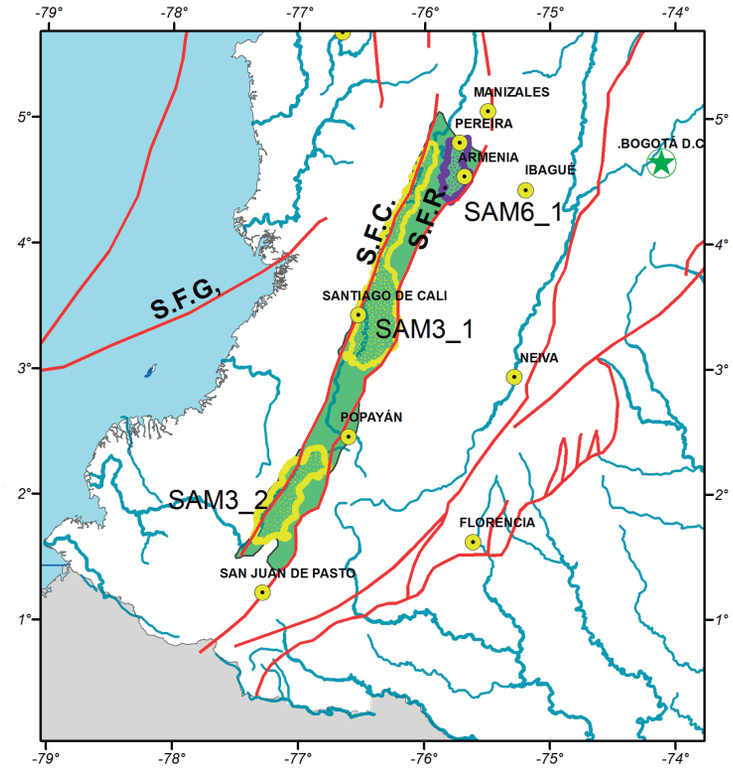
**LÍMITE**

Oeste: Sistema de fallas del Cauca (S.F.C), rocas volcánicas y sedimentarias de la Cordillera Occidental (23)

Oriente: Sistema de fallas de Romeral (S.F.R.), Cordillera Central (22)

Norte y Sur: Rocas ígneas básicas del Cretácico

S.F.G, Sistema de fallas de Garrapatas




*Fuente: Modificado de ANH, 2007*

**SISTEMAS ACUÍFEROS**

SAM3-1. Valle del Cauca
SAM 3-2. Patía
SAM-1. Glacis del Quindío

**Figura 4. 13.** Ubicación de la provincia hidrogeológica de Cauca-Patía. Modificado de ANH, 2007.

En las siguientes figuras se presentan un corte hidrogeológico básico y una columna estratigráfica para la provincia Cauca Patía. Figura 4. 14 y Figura 4. 15.

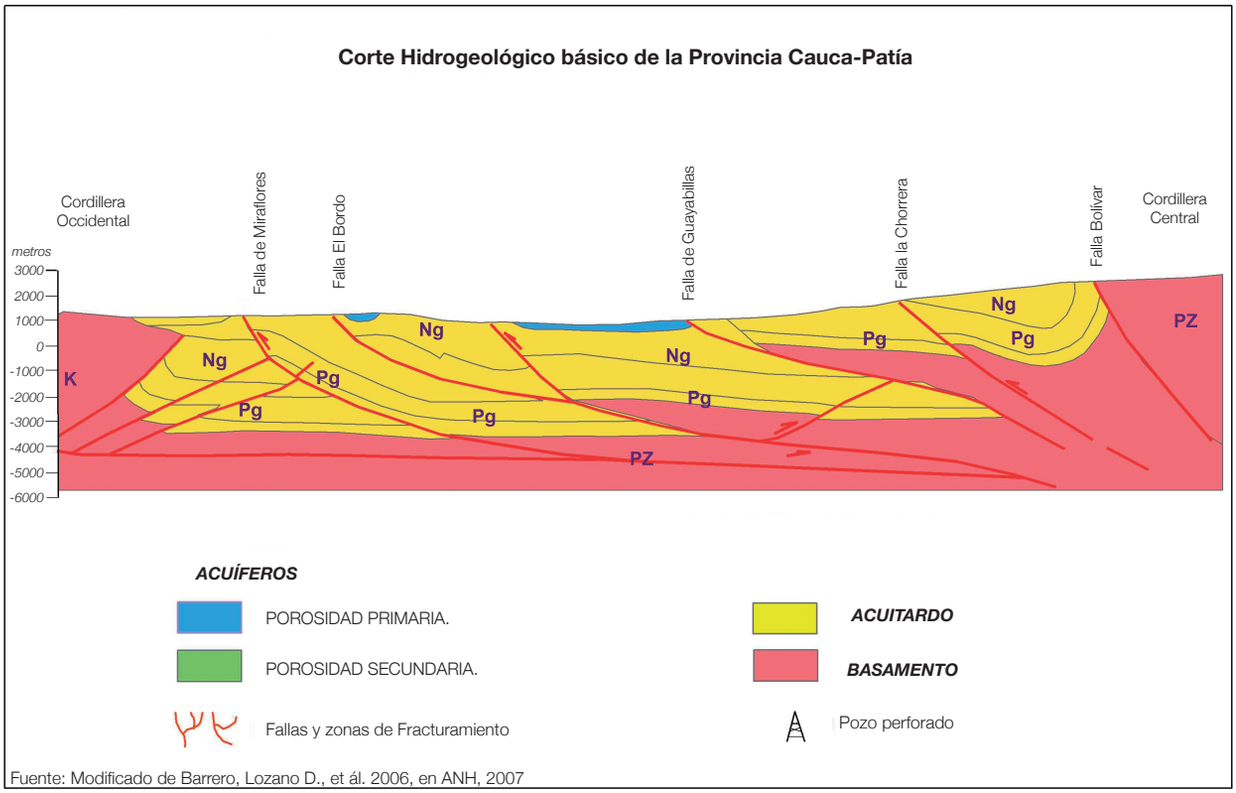



**Figura 4. 14.** Corte hidrogeológico básico de la provincia Cauca-Patía. Modificado de Barrero, Lozano D., et ál, 2006, en ANH, 2007.

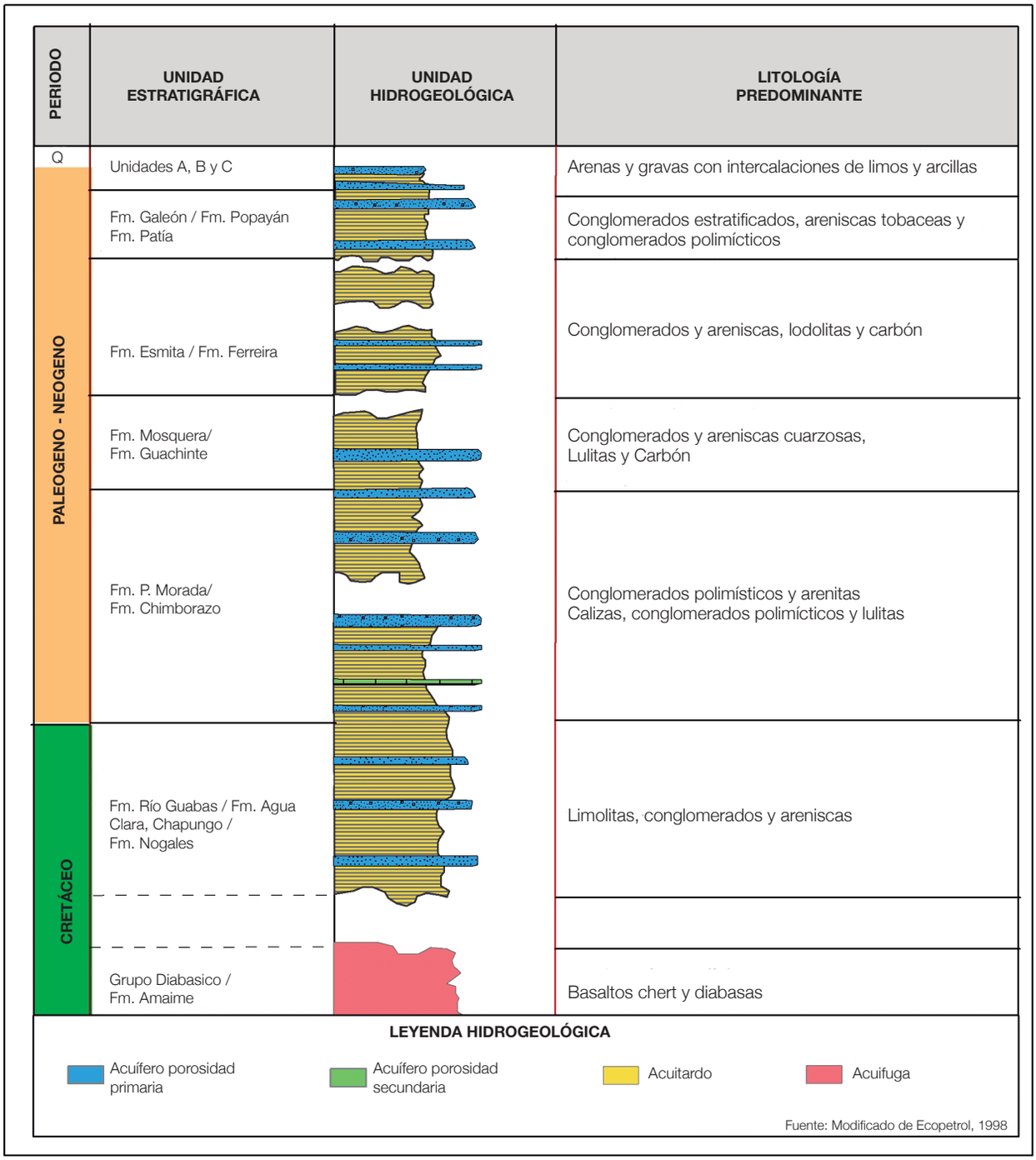



**Figura 4. 15.** Columna estratigráfica generalizada de la provincia Cauca-Patía. Modificado de ECOPETROL, 1998.

### *4.2.3.1. Sistema Acuífero del Valle del Cauca SAM3.1*

Este Sistema Acuífero se encuentra ubicado en la zona Plana del Departamento del Valle del Cauca al Suroccidente de Colombia y corresponde al Valle geográfico del río Cauca con una extensión de 317.595 Ha. (Páez, 2004).

- Geología:

"Los sedimentos del subsuelo en la zona plana del departamento del Valle del Cauca, están constituidos por un importante relleno aluvial en un área de 3400 $km^2$ aproximadamente. Estos sedimentos han sido depositados por el río Cauca y sus afluentes". (CVC, 2000. p.15). El relleno aluvial consta de terrazas y aluviones hacia la zona central y derrubios y conos aluviales en los límites de las dos cordilleras. Los conos están mejor desarrollados hacia la Cordillera Central (INGEOMINAS, 1992a).

El Sistema Acuífero al sur del departamento tiene unos 40 km de ancho y más de 1000 m de profundidad en el sector de Malimbú, municipio de Palmira, mientras que al norte es más estrecho y de menor profundidad. Los sedimentos permeables de los acuíferos del relleno aluvial están intercalados entre capas de arcilla y limos de origen orgánico e inorgánico con espesores desde unos pocos metros hasta más de 60m; también se presentan niveles de madera y materia orgánica en descomposición. (CVC. 2000. p. 15).

- Unidades hidroestratigráficas:

Sobre la llanura aluvial del río Cauca se identifican tres Sistemas Acuíferos muy bien definidos (A, B y C). (CVC. 2000. p. 6).

*Unidad A:*

Los acuíferos de esta unidad son libres y semiconfinados principalmente con un espesor entre 60 y 150 m con un promedio de 120 m con un 35 a 40% de sedimentos permeables. (CVC. 2000. p.16). Más del 90 % de los pozos construidos en el departamento del Valle del Cauca están aprovechando la unidad A. *(Ibíd.).*

Los sedimentos permeables corresponden a gravas y arenas con guijarros desde muy finos en la llanura aluvial y partes bajas de los conos aluviales hasta cantos rodados y bloques en las partes medias y altas de los conos aluviales con intercalaciones de limos y arcillas.

*Unidad B:*

Se encuentra entre los 120 y 200 m con un promedio de 60 m. Está compuesta en su mayoría por arcillas con intercalaciones de arenas y gravas finas de poco interés hidrogeológico. Sirve como techo confinante de la unidad C. (CVC. 2000. p.18).

*Unidad C:*

El techo de la unidad coincide con la unidad B, sin embargo la geometría de esta unidad aún está no está bien definida. Se han encontrado perforaciones de 250, 400 y hasta 1000 m.

La buena producción, excelente calidad del agua y baja vulnerabilidad de los acuíferos de la unidad C los convierten en una excelente alternativa como fuente de agua potable para el abastecimiento público en la zona plana del departamento del Valle del Cauca.

## Características hidráulicas y productivas:

Los parámetros hidráulicos para la Unidad A en el relleno aluvial son: (CVC. 2000. p.19).

Transmisividad (T): 300 - 2200 $m^2$/día
Permeabilidad (K): 5 - 55 m/día
Coeficiente de almacenamiento (S): 1.0 x $10^{-2}$ - 5.6 x $10^{-3}$

Las reservas totales calculadas para los acuíferos de la unidad A y los localizados sobre los conos aluviales hasta una profundidad del 150m en promedio, son del orden de 10.000 x $10^6$ $m^3$. (CVC. 2000. p.16).

Los acuíferos de la unidad A y el acuífero superficial (hacia los conos aluviales donde no está bien definida esta unidad) tienen rendimientos desde unos pocos litros por segundo en las partes altas de los conos aluviales hasta mas de 100 l/seg sobre la llanura aluvial del río Cauca en algunos sectores de los municipios de El Cerrito, Guacarí y Jamundí. *(Ibíd.)* .

Considerando solamente los 70 m de acuíferos (hasta ahora plenamente identificados) en los pozos que están aprovechando los acuíferos de la unidad C, se han estimado unas reservas totales de agua subterránea de 5000 a 7000 x $10^6$ $m^3$. (CVC. 2000. p.18).

## Dinámica de flujo y recarga:

La dirección general del flujo subterráneo sobre los conos aluviales y llanura aluvial es normal al cauce del río Cauca y sobre los depósitos del río en las proximidades de este se torna paralelo al río en dirección sur - norte. La descarga de los acuíferos de la Unidad A se produce en la zona próxima al río Cauca y constituye el flujo base del río. (CVC. 2000. p. 23).

La recarga de los acuíferos se produce en la zona de fallas, los conos y los cauces aluviales de los ríos afluentes del Cauca. La piezometría permite ubicar con buena aproximación las zonas de recarga (flujo divergente) y de descarga (flujo convergente), así como las zonas con niveles deprimidos por sobreexplotación del recurso. (CVC. 2000. p. 23).

La piezometría de los acuíferos de la Unidad C no se ha podido definir por la poca información existente y se cree que su recarga se está produciendo a través de los sistemas de fallas de Romeral y Cauca Patía. (CVC. 2000. p. 23).

La recarga natural anual es de 3492 x $10^6 m^3$ (110,7$m^3$/s). (CVC. 2000. p. 27).

En la Figura 4.16 se presenta el modelo hidrogeológico conceptual realizado por la CVC.

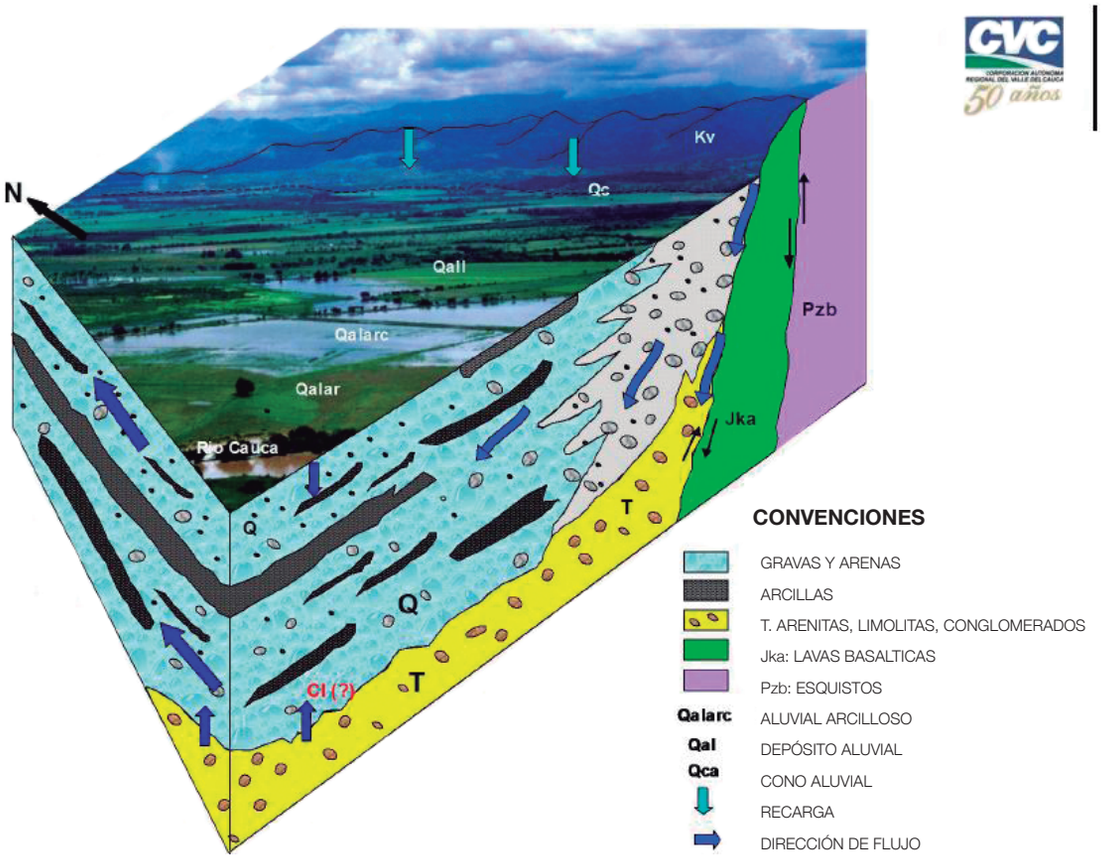



**Figura 4. 16.** Modelo Hidrogeológico Conceptual para el Acuífero del Valle del Cauca. (CVC, sf).

## Calidad del agua:

El 85% del área de estudio, predominan las aguas subterráneas calificadas regionalmente como muy buenas a buenas. Esta clase de agua puede utilizarse en la mayoría de los casos sin restricciones importantes.

Las aguas subterráneas calificados como regulares a objetables, alcanzan solo un 10% del área total, y se encuentran localizadas norte de Obando y la casi totalidad del municipio de Cartago, la del sector occidental de Candelaria que comprende El Carmelo, San Joaquín y Pueblito Campestre, la parte central del municipio de Palmira a la altura del aeropuerto de Palmaseca, el sector central del municipio de San Pedro, el sector oriental del municipio de La Victoria y Zarzal, la parte occidental del

municipio de La Unión y una franja delgada y larga colindando con el río Cauca entre la desembocadura de los ríos Tuluá y Bugalagrande. Este tipo de agua requiere de algún tipo de tratamiento para ser utilizada. (CVC, 2000).

En términos generales, el agua subterránea que se obtiene de los acuíferos por debajo de los 40 metros es de buena calidad físico-química y bacteriológica. El agua de los acuíferos de la Unidad A se clasifica como el tipo bicarbonatada, calcico-magnésica con dureza carbonatada y para fines de riego del tipo C1S1 y C2S1. Al sur del departamento del Valle y norte del Cauca en municipios como Candelaria, Miranda, Florida, Santander, Puerto Tejada, el agua subterránea presenta contenidos muy altos de hierro, manganeso, bióxido de Carbono, sulfuro de hidrógeno y oxígeno disuelto que contribuyen a los fenómenos de corrosión e incrustación, disminuyendo la vida útil de los pozos y limitando el uso del agua para abastecimiento público (CVC. 1996).

### Resultados de estudios isotópicos:

La utilización de las técnicas isotópicas permitió establecer la dinámica de la circulación del agua; aguas someras con tiempos de renovación menores a los 50 años y aguas antiguas con flujos muy lentos con tiempos de renovación lentos alrededor de los 20.000 años. Se logró comprobar la existencia de un solo acuífero aluvial multicapa con dos niveles superior e inferior A y C de un gran potencial de agua subterránea. (CVC, *s.f.*).

### Usos del agua subterránea:

Según datos de la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca el sector agrícola representa la mayor demanda de agua subterránea en la zona de estudio. Los demás usos se relacionan en la a diciembre 2002. Tabla 4. 5.

**Tabla 4. 5.** Inventario de pozos según su uso y caudal.

| Usos | Total | Porcentaje | Caudal (lps) |
|---|---|---|---|
| Agrícola | 1064 | 53,04 | 116.219 |
| Industrial | 261 | 13,01 | 9.750 |
| Abastecimiento Público | 230 | 11,47 | 5.701 |
| Abandonados | 415 | 20,69 | |
| De estudio | 36 | 1,79 | |
| **Total** | **2006** | **100** | **131.671** |

Fuente: (Páez, 2004).

"En la actualidad existen 1555 pozos profundos en operación, de los cuales se extraen entre 600 y 800 millones de $m^3$ al año que son utilizados para el riego de 117.000 ha, sembradas en caña de cultivos transitorios, pastos y frutales, se benefician 261 industrias que dependen del agua subterránea para su uso y 985.000 habitantes del departamento utilizan este recurso para el abastecimiento público". (Páez, 2004). Figura 4. 17.



**Figura 4. 17.** Pozo Vce 56 para uso agrícola con un caudal 200 lps. Hacienda Samaria Cerrito- Valle del Cauca. Septiembre 15 de 2011. Fotografía Tomada por Gloria Isabel Páez O.

### Vulnerabilidad y problemas socioambientales:

En ciertas áreas se han detectado problemas específicos en cuanto a la contaminación de los acuíferos, especialmente por vertimientos industriales, urbanizaciones sin sistemas de saneamiento adecuados, lagunas de tratamiento mal construidas e infiltración de lixiviados provenientes de basureros mal establecidos. (Páez, 2004. p. 5).

La vulnerabilidad en el Valle muestra que hacia las partes altas y medias de los conos aluviales entre Candelaria y Guacarí se presentan áreas muy importantes con vulnerabilidad altas y extremas, al igual que en los sectores de Tarragona y Chococito, Buchitolo, El Tiple, Villagorgona, La Regina, El Bolo, El Carmelo y al norte de Juanchito en el municipio de Candelaria; Aguaclara y todo el piedemonte en el municipio de Palmira. Los depósitos aluviales de los ríos Tuluá y Bugalagrande son un caso típico de vulnerabilidad alta y extrema. (Ibíd.) .

En el municipio de Cali son críticos los sectores de Navarro, Cascajal y el cono de Pance. El cono del río Claro en el municipio de Jamundí debe ser tenida en cuenta como un área critica con vulnerabilidad extrema, donde sé esta presentando la recarga de acuíferos muy importantes con excelentes rendimientos y buena calidad del agua. (Ibíd.) .

En general toda la llanura aluvial del departamento y las partes bajas de los conos aluviales presentan baja vulnerabilidad debido principalmente a que el mapa de condición de acuífero muestra esta área con acuíferos confinados y semiconfinados y la litología predominante en la zona no saturada corresponde a sedimentos arcillosos. (Ibíd.) .

#### *4.2.3.2. Sistema Acuífero Patía SAM3.2*

El Sistema Acuífero se encuentra ubicado al sur oriente del departamento del Cauca y comprende una extensa zona plana rodeada por las estribaciones de la Cordillera Occidental y Central. Tiene una extensión aproximada de 296km$^2$, comprende los municipios de Bordo, Balbia y Mercaderes. (Ángel, 1991) citado por Camargo y Atehortúa, 2010).

- **Geología:**

Dentro de las unidades con importancia hidrogeológica se identificaron tres grupos hidrogeológicos:

*Sedimentos y rocas porosas con importancia hidrogeológica de alta a baja:*

Este grupo se caracteriza por contener acuíferos conformados por sedimentos Cuaternarios no consolidados de ambiente aluvial, representados por los depósitos de Llanura Aluvial (Qal), Abanico Aluvial (Qca) y Terraza Aluvial (Qt), como también por rocas sedimentarias del Paleógeno-Neógeno de origen marino que conforman el acuitardo Medio Paleógeno-Neógeno Inferior-Miembro Medio y Superior (MTims), estas unidades son continuas y regionales. (Ibíd.) .

*Rocas porosas y fracturadas con importancia hidrogeológica alta a baja.*

Este grupo contiene las unidades acuíferos Galeón Superior (TQgs) y Galeón Inferior (TQgi). Conformados por lutitas, areniscas y conglomerados, con porosidad Primaria Baja a regular, es un acuífero libre a confinado constituido por flujos piroclásticos del Paleógeno-Neógeno y Cuaternario. (Hidrogeocol LTDA, 2004).

*Sedimentos y rocas con limitados recursos de aguas subterráneas:*

Se agrupan en las unidades aflorantes impermeables en el Valle del Río Patía. Incluye las unidades Acuicludo Grupo Diabásico (kdv), Acuicludo Medio Paleógeno-Neógeno Inferior-Miembro Inferior (MTli), acuicludo Depósito Fluvio Volcánico del Bordo (TQfv) y acuicludo Depósitos Coluviales. (Hidrogeocol LTDA, 2004).

- **Dinámica de flujo y recarga:**

Existe una recarga inducida desde el acuífero MTI hacia el acuífero reciente (Qal). La recarga total anual es de 86´416.000 m$^3$, de los cuales un 54% corresponde a infiltración y el 90% de la recarga por precipitación llega a la parte plana del Valle, en los depósitos Cuaternarios. *(Ibíd.)* .

- Calidad del agua:

Las aguas de este sistema se clasifican como bicarbonatadas cálcicas y cálcico magnésicas. En general se pueden considerar de buena calidad para el riego de cultivos y consumo humano. *(Ibíd.) .*

- Usos del agua subterránea:

En este sistema se identifican 262 puntos de aguas subterráneas. El 50% del total de agua extraída se utiliza para riego y el volumen promedio de explotación es de 536.700 $m^3$ anual. *(Ibíd.) .*

### *4.2.4. Provincia hidrogeológica Valle Alto del Magdalena PM2*

Esta cuenca limita con las estribaciones de las Cordilleras central y Oriental de las cuales está separada por sistemas de fallas de cabalgamiento (Chusma-Calarma y Prado-Garzón-Suaza) que contribuyeron al levantamiento de las cordilleras. (En Vargas, N.O. 2001). Figura 4. 18.

El Valle del Magdalena es una depresión intramontana y posee una geoforma estructural resultante del levantamiento diferencial del sistema cordillerano andino. La orogenia levantó las cordilleras a la posición actual, mientras que la depresión fue levantada a una altitud menor. Las estructuras adquirieron su actual configuración con la orogenia andina del Plioceno. El límite entre las cordilleras y las depresiones ocurre a lo largo de líneas estructurales, generalmente fallas inversas (Ingeominas, 1988a).

Desde el punto de vista hidrogeológico la depresión tectónica del Valle del Magdalena (Figura 4. 19 y Figura 4. 20) se ha rellenado después del Mioceno cuando se depositaron las secuencias más importantes por sus características litológicas y comportamiento hidráulico. Estas unidades corresponden en primer lugar al grupo Honda caracterizado por una secuencia granodecreciente de los depósitos de canal resultantes de controles inherentes al sistema fluvial como avulsión, migración lateral, cambios en disponibilidad de energía o material a los sistemas fluviales y pueden incluir factores tectónicos como levantamiento, subsidencia o vulcanismo. La depositación de las secuencias y sus propiedades sedimentológicas están relacionadas con las diferentes combinaciones e intensidades de controles alociclicos. Durante los períodos de levantamiento activo o vulcanismo estos sedimentos fueron depositados por diferentes sistemas de abánicos aluviales y eventos volcánicos, progradando sobre un amplio plano aluvial. Durante periodos intervenidos por la mayor actividad volcánica y tectónica, los abánicos aluviales llegaron a ser más reducidos en tamaño, y los sedimentos de los canales fueron depositados por sistemas fluviales trenzados y meandricos, fluyendo hacia el este de la planicie aluvial. Estas características de la depositación restringe las posibilidades de almacenamiento de agua subterránea a aquellos horizontes de areniscas y conglomerados producto de acreción lateral, rellenos de canal, barras longitudinales y diques que se disponen en la parte superior del Grupo Honda (en Vargas, N.O. 2001).

Durante el Plioceno-Cuaternario se presenta un levantamiento con incremento de la actividad volcánica en la Cordillera Central. Enormes cantidades de sedimentos volcanoclásticos (lahares e ignimbritas) rellenaron el valle especialmente hacia la parte sur del Valle Superior del Magdalena (Formación Gigante, Guacacallo) *(Ibíd).*

La arquitectura aluvial y el grado de interconexión de canales son controlados por ajuste tectónico en la cuenca deposicional, migración de canales y eventos de avulsión. En eventos recientes los flujos de escombros dominaron los abanicos aluviales a lo largo de márgenes activas configurando nuevos depósitos con características litológicas, de porosidad y permeabilidad que los habilitan para conformar acuíferos de tipo regional a local con variaciones faciales por su ambiente y dinámica de depositación (Ibíd.).

En síntesis, hay un marcado control tectónico que condiciona la distribución de los principales acuíferos en el Valle Superior del Magdalena y los restringe a ambientes de depositación fluviales y de abánicos fluvioglaciares con variaciones laterales de facies depositados desde el Mioceno hasta el reciente. Los almacenamientos de aguas subterráneas están limitados por la depresión tectónica que se formo a partir de eventos distensivos hasta el cretácico y continuo con una tectónica compresiva cuyas expresiones mayores son los sistemas de cabalgamiento de Chusma al oriente de la Cordillera Central y Garzón-Suaza en el límite occidental de la Cordillera Oriental (Ibíd.).

Las depresiones intramontanas bordean paralelamente al sistema montañoso andino y son áreas sedimentarias donde se acumula gran parte de los materiales traídos por los ríos desde los relieves más altos. La sedimentación ha sido un proceso continuo, pero con intensidades diferentes, desde la conformación del sistema andino en el que se identifica, a nivel macro, un sistema de transferencia compuesto por las cordilleras que aportan los sedimentos, la red de drenaje (generalmente encañonada) que los transfiere a las áreas bajas donde se depositan (IDEAM, 1998).

Los depósitos cuaternarios del Valle superior son principalmente abanicos de origen volcánico, volcanoclástico, glacio-fluvial, y fluvial provenientes de la actividad de las cordilleras Central y Oriental. En el Valle Medio los depósitos son lacustres, abanicos aluviales formados por ríos y quebrados cuando llegan al valle principal, terrazas y aluviones recientes.

El valle es más estrecho en la subcuenca de Neiva hasta cerca a las poblaciones de Aipe y Villavieja donde se amplia hasta Girardot atravesando los abanicos de Espinal, Lerida, Armero, Ibagué. Entre Girardot y La Dorada se vuelve a estrechar y finalmente se amplia hasta el Valle Medio del Magdalena. Entre los tributarios más importantes desde el punto de vista del caudal que transporta y del tamaño de la cuenca, tenemos: por la margen izquierda, los ríos Páez, Yaguará, Bache, Saldaña, Coello, Totaré, Gualí, por la margen derecha aportan sus aguas los ríos Suaza, Neiva, Cabrera, Prado, Sumapaz, Bogotá.

En su trayecto inicial el río Magdalena recorre el sector comprendido entre la bifurcación de las cordilleras Central y Oriental, con una dirección Oeste - Este, a partir del municipio de Garzón toma la dirección Norte, la cual conserva hasta su desembocadura. El río tiene hasta Honda una longitud de 565 km, un área de 55,441 km$^2$, y un caudal promedio 1,385 m$^3$/s medido en la estación de Arrancaplumas. Se localizan importantes ciudades y puertos fluviales como Neiva, Purificación, Girardot, Ambalema y Honda.

En la parte alta del valle del río Magdalena, desde Pitalito hasta Ambalema inclusive, la precipitación no alcanza los 1.500 mm anuales. Desde Ambalema hasta Puerto Boyacá la lluvia crece hasta alcanzar

los 3.000 mm. Desde este último municipio hasta Puerto Mosquito los registros oscilan entre 2.500 y 3.000 mm, decreciendo progresivamente hasta los 1.000 cerca de la desembocadura del río.

En el fondo del Valle Alto del Magdalena se observan las mayores evapotranspiraciones, llegando a alcanzar valores cercanos a los 1800 mm anuales en lugares como el norte del Huila y Sur del Tolima. Hacia las estribaciones de las cordilleras la magnitud de la ETP puede descender hasta 1200 en elevaciones medias e incluso menos en elevaciones mayores a los 2000 m.s.n.m.



Provincia Valle Alto del Magdalena

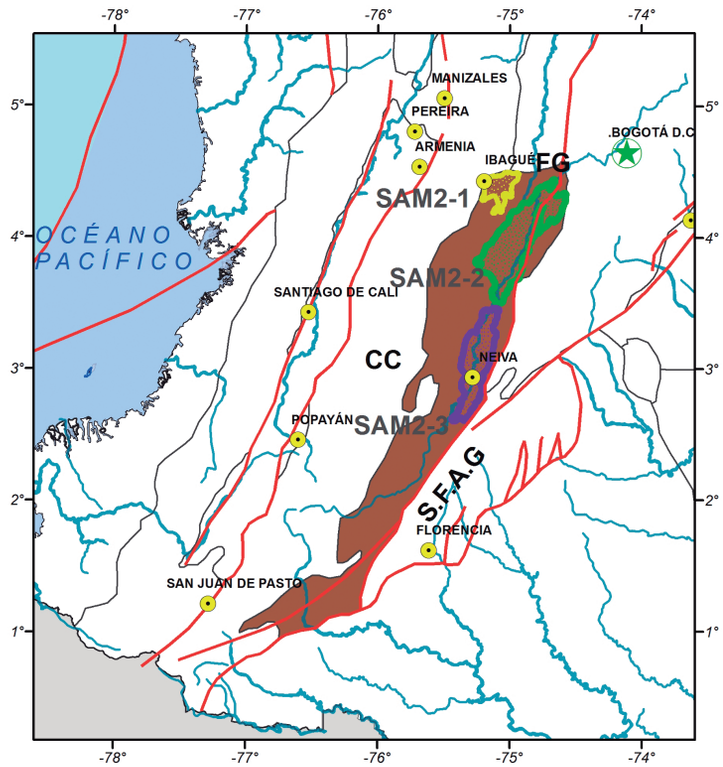
**LÍMITE**

Norte: Doble cinturón de Girardot (F.G)

Sureste: Parcialmente del sistema de Fallas de Algeciras-Garzón (S.F.A.G.)

Noreste: Sistema de fallas Butuima - La Salina (S.F.B.S.)

Oeste: Rocas Precretácticas de Cordillera Central (CC)




**SISTEMAS ACUÍFEROS**

SAM2-1. Ibagué
SAM2-2. Purificación-Saldaña
SAM2-3. Neiva-Tatacoa

Fuente: Modificado de ANH, 2007

**Figura 4. 18.** Ubicación de la provincia hidrogeológica de Valle Alto del Magdalena. Modificado de ANH, 2007.

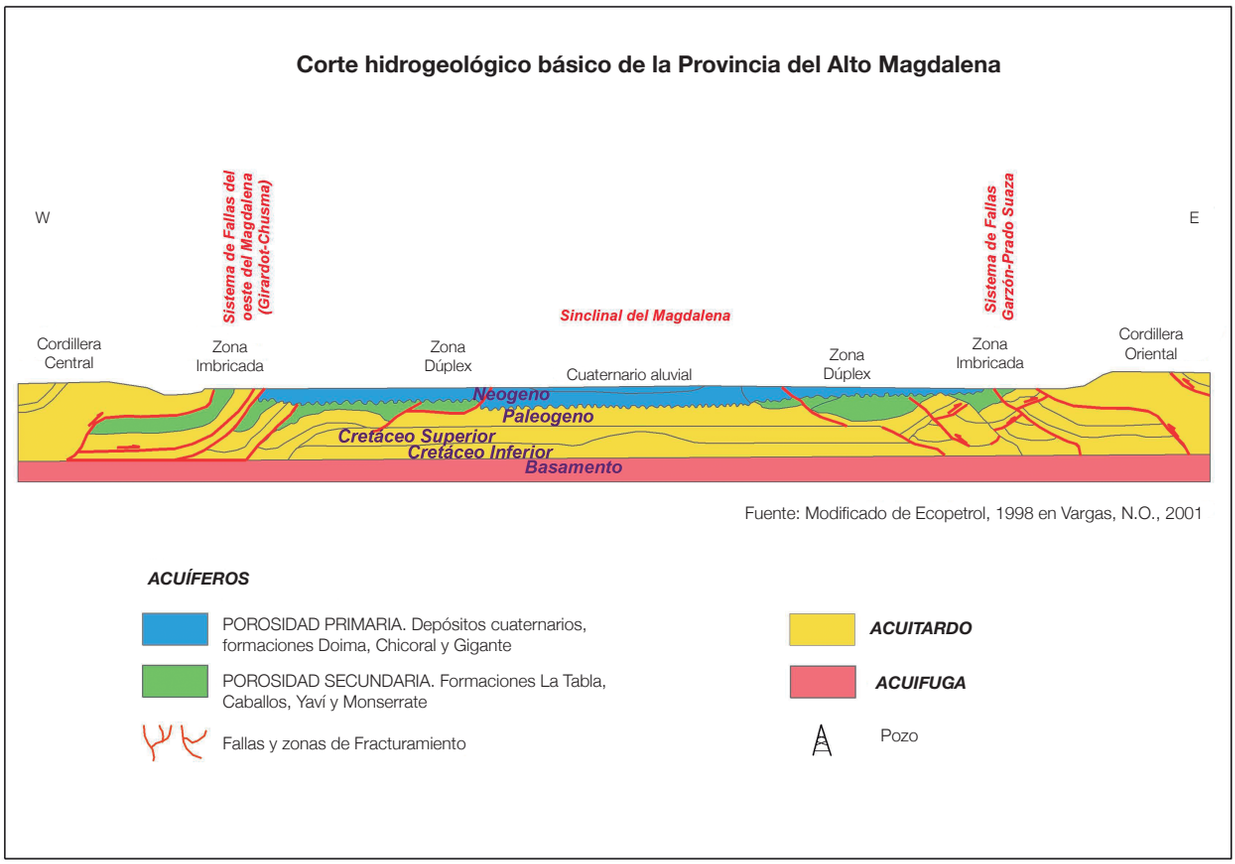



**Figura 4. 19.** Corte hidrogeológico básico de la provincia Valle Alto del Magdalena. Modificado de ECOPETROL 1998 en Vargas, N. O., 2001.

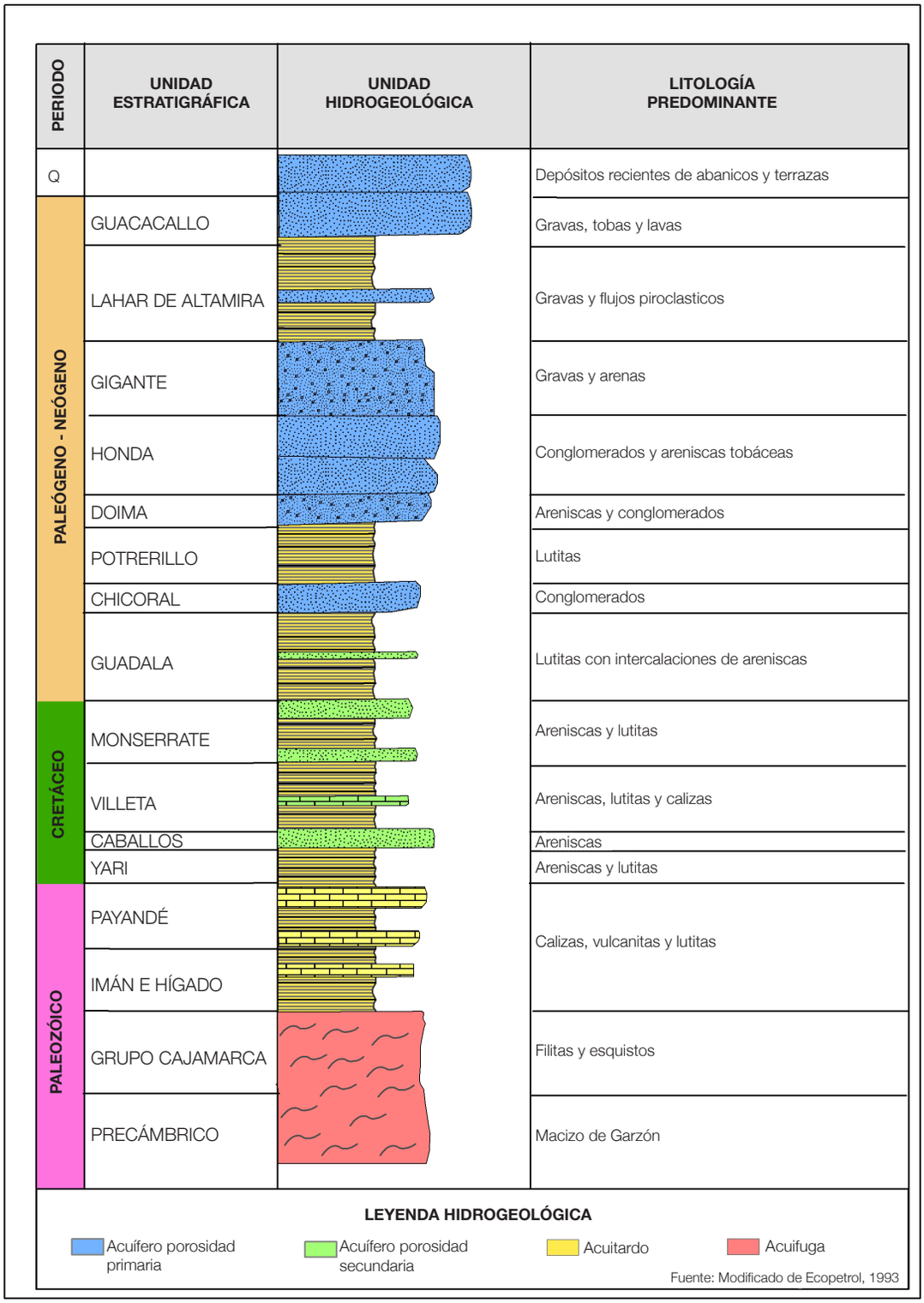



**Figura 4. 20.** Columna estratigráfica generalizada de la provincia Valle Alto del Magdalena. Modificada de ECOPETROL, 1998.

#### 4.2.4.1. Sistema Acuífero Ibagué SAM2.1

"Se encuentra ubicado en el departamento del Tolima, dentro de la cuenca de Girardot, en el Valle Superior del Magdalena cubriendo una extensión aproximada de 542 km$^2$ (INGEOMINAS, 1997), comprende los municipios de Ibagué, Coello, Flandes, Piedras y Alvarado". (Camargo y Atehortúa, 2010. p. 47).

- Geología:

En este Sistema Acuífero afloran unidades que van desde el Precámbrico hasta el reciente, constituida por depósitos cuaternarios (depósitos aluviales, conos fluviovolcánicos y fluviotorrenciales) y la zona montañosa, compuesta por rocas ígneas intrusivas, rocas sedimentarias de edades Mesozoica a Cenozoica y en menor proporción rocas metamórficas e ígneas de edades Paleozoica y Precámbrica. (INGEOMINAS, 1997 en Camargo y Atehortúa, 2010. p. 101).

Se clasifican tres grupos de unidades acuíferas, presentando condiciones favorables para recarga lateral del acuífero por fracturamiento y meteorización: rocas porosas con poca a moderada importancia hidrogeológica correspondiente a los grupos Honda y Gualanday y acuíferos con mayor importancia correspondientes a depósitos volcano-clásticos del Abanico de Ibagué. (INGEOMINAS, 1997en Camargo y Atehortúa, 2010. p. 101).

- Unidades hidroestratigráficas:

De acuerdo con las características de porosidad, permeabilidad y litología podemos definir las siguientes unidades hidrogeológicas y caracterizar el tipo de almacenamiento que forman cada una de estas:

*I. Acuíferos en los cuales la porosidad primaria es intergranular:*

A esta categoría se asocian los sedimentos de origen reciente que forman acuíferos libres a semiconfinados. Estos depósitos corresponden a terrazas aluviales antiguas, aluviones recientes y lahares. Se destacan en esta categoría el Abanico de Ibagué compuesto por lahares, flujos piroclásticos y depósitos de canales de corrientes que puede alcanzar un espesor hasta de 300 metros y el Abanico de Espinal compuesto de arenas y gravas con presencia de pumitas cuyo espesor puede alcanzar los 120 metros. De menor importancia hidrogeológica son los conos coalescentes menores conformados por depósitos aluviales de flujos de escombros. (En Vargas, N.O. 2001).

*II. Acuíferos en rocas consolidadas con porosidad primaria y fisuradas con porosidad secundaria:*

En este grupo se pueden incluir los niveles arenosos y conglomeráticos del Grupo Honda y las formaciones Gualanday y Monserrate. Potencialmente la Formación Caballos puede constituir acuíferos por porosidad primaria o secundaria pero aún no ha sido evaluada. (Ibíd.).

*III. Rocas granulares o fisuradas que forman acuíferos insignificantes con recursos limitados o sin recursos:*

En esta categoría se incluyen las secuencias de carácter predominantemente arcilloso entre las cuales se destaca la secuencia pre-cretácica y niveles lutiticos cretácicos de tipo sedimentario que actúan como acuicierre. El basamento ígneo metamórfico se comporta como acuífuga. (Ibíd.).

- Dinámica de flujo y recarga:

Las zonas montañosas se consideran zonas de recarga del acuífero. (Ibíd.).

- Características hidráulicas:

Los pozos tienen profundidades entre 47 y 190 metros con caudales de explotación entre 10 y 90 l/s que utilizan el agua para riego y consumo doméstico. En este sector se han estimado transmisividades de 50-274 $m^2$/día, niveles estáticos de 15-40 metros en la zona occidental y transmisividades entre 280 y 2250 $m^2$/día en la zona oriental. Valores similares se reconocen para los depósitos recientes que conforman acuíferos aunque su espesor es más reducido. Bajo estas unidades recientes se explota ocasionalmente el Grupo Honda en el que se desarrollan acuíferos confinados de moderada importancia hidrogeológica en los cuales se han medido transmisividades de 170 $m^2$/día y capacidades específicas de los pozos de 1.33 l/s/m y caudales de 28 l/s. El Grupo Gualanday que conforma acuíferos confinados es captado por pocos pozos a profundidades superiores de 100 metros y en él se han medido transmisividades de 170 $m^2$/día y capacidades específicas de 1.45 l/s/m. en (Vargas, N.O. 2001).

- Calidad del agua:

Las aguas de este sistema se clasifican como bicarbonatada cálcico magnésica y sódicas. En general no es apta para consumo humano por su alta dureza, solidos disueltos, pH y turbiedad. (Camargo y Atehortúa, 2010). El principal uso del agua subterránea es la irrigación de cultivos de arroz, seguido por el abastecimiento doméstico y público hasta 100 habitantes por punto de agua. La extracción es de 34.226.280 $m^3$/ año, indicando que solo se están tomando el 46% de los recursos dinámicos. *(Ibíd.)* .

- **Usos del agua subterránea:**

No se cuenta con un reporte de puntos de agua en este sistema acuífero. En Camargo y Atehortúa, 2010 se reportan 61 pozos y 11 aljibes.

### 4.2.4.2. *Sistema Acuífero Purificación-Saldaña SAM2.2.*

Se encuentra ubicado en el sureste del departamento del Tolima, dentro de la subcuenca de Girardot, en el Valle Alto del Magdalena cubriendo una extensión aproximada de 2736 $km^2$. (Hidrogeocol Ltda, 1992). Comprende los municipios de Ataco, Chaparral, Ortega, Saldaña, Coyaima, Suárez, Saldaña, Cunday, Prado, Purificación y Natagaima. (Camargo y Atehortúa, 2010. p. 104).

## Geología:

Este Sistema Acuífero está constituido por sedimentos de la llanura aluvial (Qal) y rocas poco consolidadas de la Formación Gigante (Th) constituido por conglomerados y areniscas con porosidad media y permeabilidad baja y las rocas sedimentarias del grupo Honda con porosidad media y permeabilidad baja. (Ibíd.) .

En la Figura 4. 21, se muestra el corte hidrogeológico para este Sistema Acuífero.

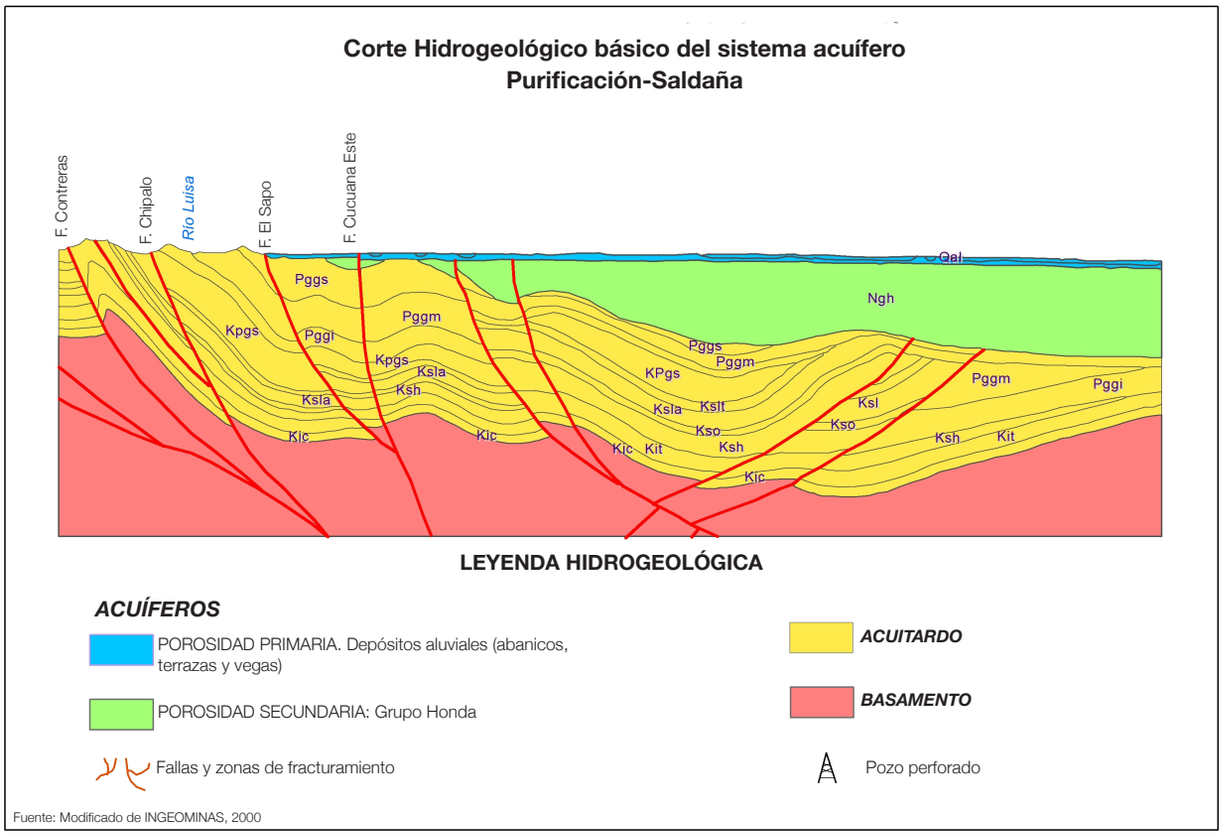



**Figura 4. 21.** Corte hidrogeológico básico del Sistema Acuífero Purificación-Saldaña. Modificado de INGEOMINAS, 2000.

## Unidades hidroestratigráficas:

### *I. Acuíferos en los cuales la porosidad primaria es intergranular:*

A esta categoría se asocian los sedimentos de origen reciente que forman acuíferos libres a semiconfinados. Estos depósitos corresponden a terrazas aluviales antiguas, aluviones recientes y lahares. Se destaca en esta categoría el Abanico de Espinal compuesto de arenas y gravas con presencia de pumitas cuyo espesor puede alcanzar los 120 metros. (En Vargas, N.O. 2001).

*II Acuíferos en rocas consolidadas con porosidad primaria y fisuradas con porosidad secundaria:*

En este grupo se incluyen los niveles arenosos y conglomeráticos del Grupo Honda y las formaciones Gualanday y Monserrate. (Ibíd.).

*III. Rocas granulares o fisuradas que forman acuíferos insignificantes con recursos limitados o sin recursos:*

En esta categoría se incluyen las secuencias de carácter predominantemente arcilloso entre las cuales están las Formaciones Potrerillo, San Francisco, Yavi, Aguacaliente, Imán e Hígado y en general, la secuencia pre-cretácica de tipo sedimentario que actúa como acuicierre. El basamento ígneo metamórfico se comporta como acuífuga. (Ibíd.).

- Características hidráulicas:

Los acuíferos desarrollados en el Abanico de Espinal están conectados hidráulicamente con el Grupo Honda y son explotado por numerosos aljibes y pozos con buenos rendimientos (K= 8m/día, T= 85 $m^2$/día). (Ibíd). En inmediaciones del Abanico de Espinal se explota los niveles arenosos y conglomeráticos del Grupo Honda, que constituyen acuíferos confinados, mediante pozos y aljibes que extraen caudales hasta de 28 lps. En los alrededores de Natagaima se le han estimado permeabilidades de 3m/día y transmisividades de 85 $m^2$/día. (Ibíd.).

- Dinámica de flujo y recarga:

Se presenta principalmente por aguas lluvias que escurren de la cordillera Central y Oriental. El distrito de riego del río Saldaña es zona de recarga artificial por riego. La recarga potencial del Sistema Acuífero se ha estimado entre 20 a 40 mm/año. Los flujos se presentan hacia los ríos Saldaña y Magdalena.

- Usos del agua subterránea:

Este Sistema Acuífero está constituido por 3320 puntos de aguas subterráneas, representado por 11 pozos y 3309 aljibes (Ibíd.). El aprovechamiento del recurso hídrico subterráneo surte a los sectores agrícolas, industrial, consumo humano y otras actividades (Ibíd.)

- Calidad del agua:

En el sector de Natagaima, bajo el Abánico de Espinal las aguas provenientes de Grupo Honda son bicarbonatadas cálcicas-magnésicas con restricciones para consumo humano y riego. El agua proveniente de los depósitos aluviales, de terraza y coluviones es de tipo bicarbonatada cálcica. (Ibíd.)

### 4.2.4.3. Sistema Acuífero Neiva-Tatacoa SAM2.3.

Se encuentra ubicado en el norte del departamento del Huila cubriendo una extensión aproximada de 1607km$^2$. (INGEOMINAS, 1999). Comprende los municipios de Aipe, Villavieja, Baraya, Tello, Palermo Campoalegre, Rivera, Hobo y Neiva. (en Camargo y Atehortúa, 2010. p. 108).

- **Unidades hidroestratigráficas:**

*I. Acuíferos en los cuales la porosidad primaria es intergranular:*

A esta categoría se asocian los sedimentos de origen reciente que forman acuíferos libres a semiconfinados. Estos depósitos corresponden a terrazas aluviales antiguas, aluviones recientes. Hacia el sur y en vecindades de Neiva es de gran importancia hidrogeológica el acuífero constituido por la Formación Gigante Inferior que alcanza hasta 680 metros y que se explota conjuntamente con los depósitos aluviales y de terrazas recientes y el Grupo Honda que alcanza hasta 800 metros de profundidad. (En Vargas, N.O. 2001).

*II. Acuíferos en rocas consolidadas con porosidad primaria y fisuradas con porosidad secundaria:*

En este grupo se pueden incluir los niveles arenosos y conglomeráticos del Grupo Honda, las formaciones Paleógeno-Neógena y la Formación Monserrate. Potencialmente la Formación Caballos puede constituir acuíferos por porosidad primaria o secundaria pero aún no ha sido evaluada. (En Vargas, N.O. 2001).

*III. Rocas granulares o fisuradas que forman acuíferos insignificantes con recursos limitados o sin recursos:*

En esta categoría se incluyen las secuencias de carácter predominantemente arcilloso entre las cuales se identifican los niveles lutiticos del Paleógeno-Neógeno y cretácico y en general, la secuencia pre-cretácica de tipo sedimentario que actúa como acuicierre. El basamento ígneo metamórfico se comporta como acuífuga. (En Vargas, N.O. 2001).

- Dinámica de flujo y recarga:

Las zonas de recarga se encuentran en los depósitos de conglomerados del acuífero Cuaternario, que transfiere el agua directamente al acuífero de la Formación Gigante con velocidades relativamente altas. En la zona sur, se encuentra el embalse de Betania, que traspasa cerca de 11 millones de m$^{3/}$ año, del cuerpo de agua hacia el acuífero de la Formación Gigante inferior. En el área del desierto de la Tatacoa, la infiltración de aguas lluvias se produce de manera directa. Hacia el sector de la cordillera, el régimen pluviométrico es mayor, presentando menor escurrimiento y mayor infiltración. (Camargo y Atehortúa, 2010).

- Calidad del agua

Las aguas de este sistema se clasifican como bicarbonatadas cálcicas y bicarbonatadas cálcico-sódicas. En general se pueden considerar como aptas para el riego de cultivos y abastecimiento de agua potable. (Ibíd.) .

- Características hidráulicas:

En el Huila entre las poblaciones del Hobo, Baraya y San Alfonso se reconocen pozos y aljibes que se utilizan para abastecimiento doméstico y público y que explotan los depósitos recientes y los niveles arenosos y conglomeráticos de las formaciones Honda y Gigante Inferior y Medio. Los pozos tienen profundidades entre 15 y 180 metros, niveles estáticos para el cuaternario de 1,5 metros, 21,04 para la Formación Gigante y 26,8 para el Grupo Honda. Los caudales varían entre 0,7 y 3 l/s. Los aljibes tienen profundidades hasta de 11 metros. Adicionalmente se han reportado 96 manantiales de las unidades recientes, Formación Honda, y rocas cretácicas y jurásicas que afloran en el sector. Para las unidades recientes se han estimado permeabilidades de 0,16-6,3m/día, transmisividades de 78 $m^2$/día y capacidades específicas de 0,13-6,2 l/s/m. Para las unidades Paleógena-Neógena la transmisividad varía entre 8 y 318 $m^2$/día, las capacidades específicas entre 0,2 y 2,02 y el coeficiente de almacenamiento en $0,15*10^{-4}$ (Ingeominas, 1999). Los depósitos recientes de tipo aluvial, coluvial y de terrazas generalmente se explotan mediante aljibes

- Usos del agua subterránea.

Este sistema acuífero está constituido por 342 puntos de aguas subterráneas, representados por 62 pozos y 280 aljibes. (Camargo y Atehortúa, 2010). El aprovechamiento del recurso hídrico subterráneo surte a los sectores agrícolas, industrial, consumo humano y otras actividades. Entre los mayores usuarios se encuentran las industrias de refrescos, las estaciones de servicio y la extracción de minerales *(Ibíd.)*

El uso por las compañías petroleras, se dirige al cubrimiento de las necesidades de los empleados y en mayor escala a la recuperación secundaria del crudo. El volumen promedio de explotación es de 3,46 $mm^3$ anual *(Ibíd.).*

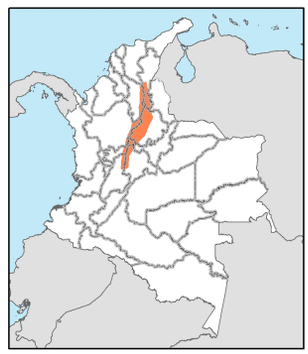
### *4.2.5. Provincia hidrogeológica Valle Medio del Magdalena PM1*

El Valle Medio del Magdalena se extiende en sentido sur norte desde las poblaciones de Piedras Gustaqui-- hasta el Banco. Los límites son tectónicos y coinciden con los trazos de las fallas de Ibagué al Sur y Murrucucú al norte. Esta cuenca ha sido poco estudiada desde el punto de vista hidrogeológico encontrándose aún en una fase de prospección muy localizada. (En Vargas, N.O., 2001). Figura 4.22.

Los límites estructurales del Valle Medio del Magdalena corresponden en el occidente a la Falla de Mulatos, al oriente al Sistema de Fallas La Salina, al sur la Falla de Ibagué y al norte la falla de Murrucucú.

Se comporta como una cuenca intracordillerana, basculada hacia el oriente, con tendencia homoclinal, disturbada por algunos pliegue y falla (Pérez, Valencia. 1977). Ocupa una depresión estructural que se ha considerado como un semigraben basculado hacia el este donde limita con fallas inversas como La Salina.

Así, las rocas buzan hacia el este a partir de la Cordillera Oriental (Taborda, 1965). La distribución de los sedimentos pos paleocenos está marcada por rasgos estructurales que controlan sus límites. Así, "la falla de Bituima marca el límite oriental de los afloramientos del Grupo Honda (correlacionable con el Grupo Real) y a su vez la Falla de Honda constituye el límite oriental de la Formación Mesa" (Acosta y Obando, 1984). (En Vargas, N.O., 2001). Figura 4.23 y Figura 4.24.



Provincia Valle Medio del Magdalena

**LÍMITE**

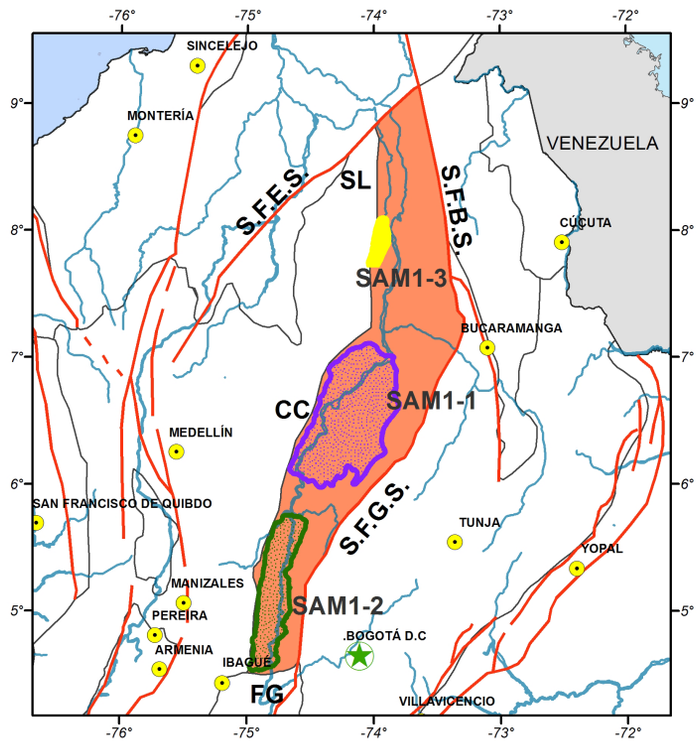
Sureste: Sistema de fallas de Bituima La Salina (S.F.B.S)

Norte: Sistema de fallas Espíritu Santo (S.F.E.S)

Oeste: Sedimientos cuaternarios superiores de la Serranía de San Lucas (SL) y Basamento de la Cordillera Central (CC)

Sur: Doble cinturón de Girardot (FG)

Noreste: Sistema de Fallas Bucaramanga - Santa Marta (S.F.B.S.)




**SISTEMAS ACUÍFEROS**

SAM1-1. Sistema Acuífero Nare - Berrío - Yondó
SAM1-2. Mariquita - Dorada - Salgar
SAM1-3. Simití

Fuente: Modificado de ANH, 2007

**Figura 4. 22.** Ubicación de la provincia hidrogeológica de Valle Medio del Magdalena. Modificado de ANH, 2007.

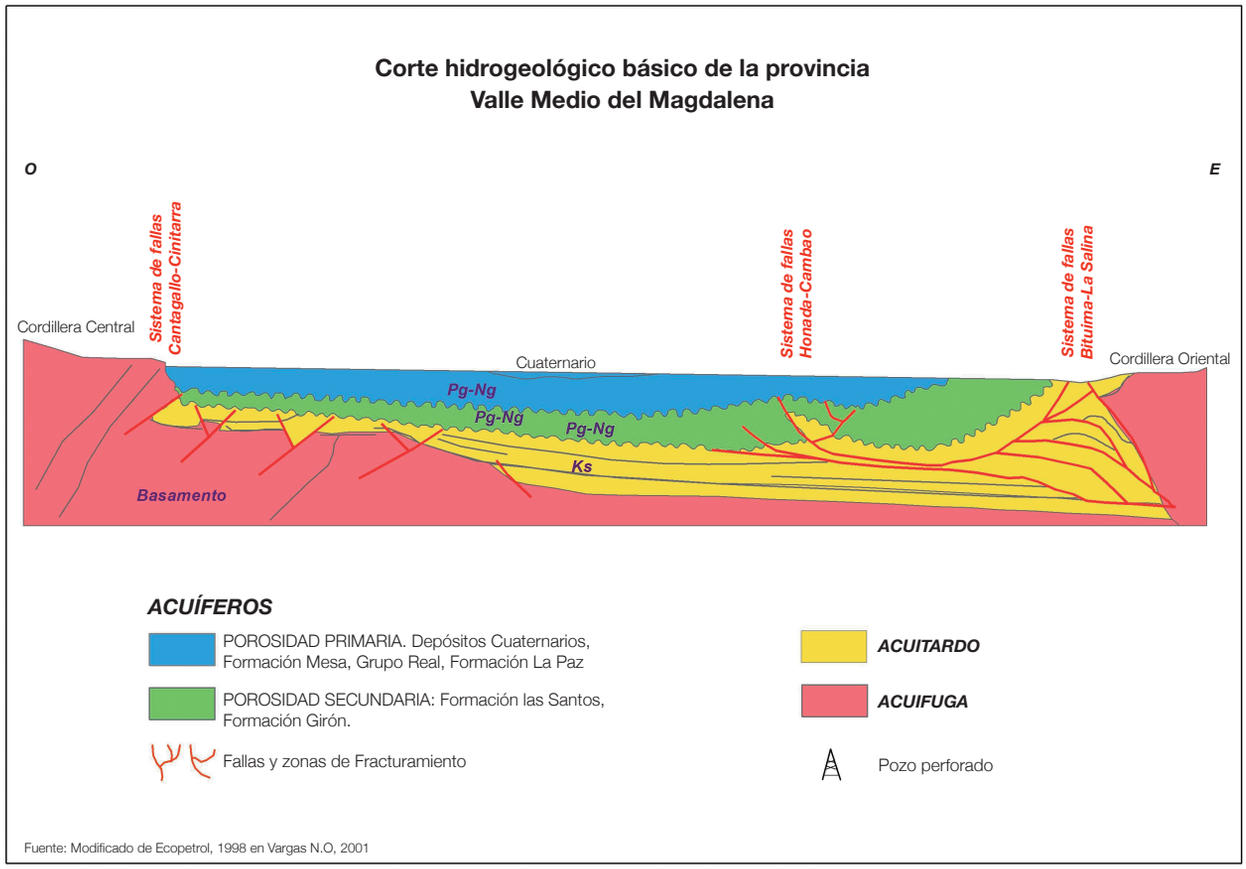



**Figura 4. 23.** Corte hidrogeológico básico de la provincia Valle Medio del Magdalena. Modificado de ECOPETROL, 1998 en Vargas N. 2001

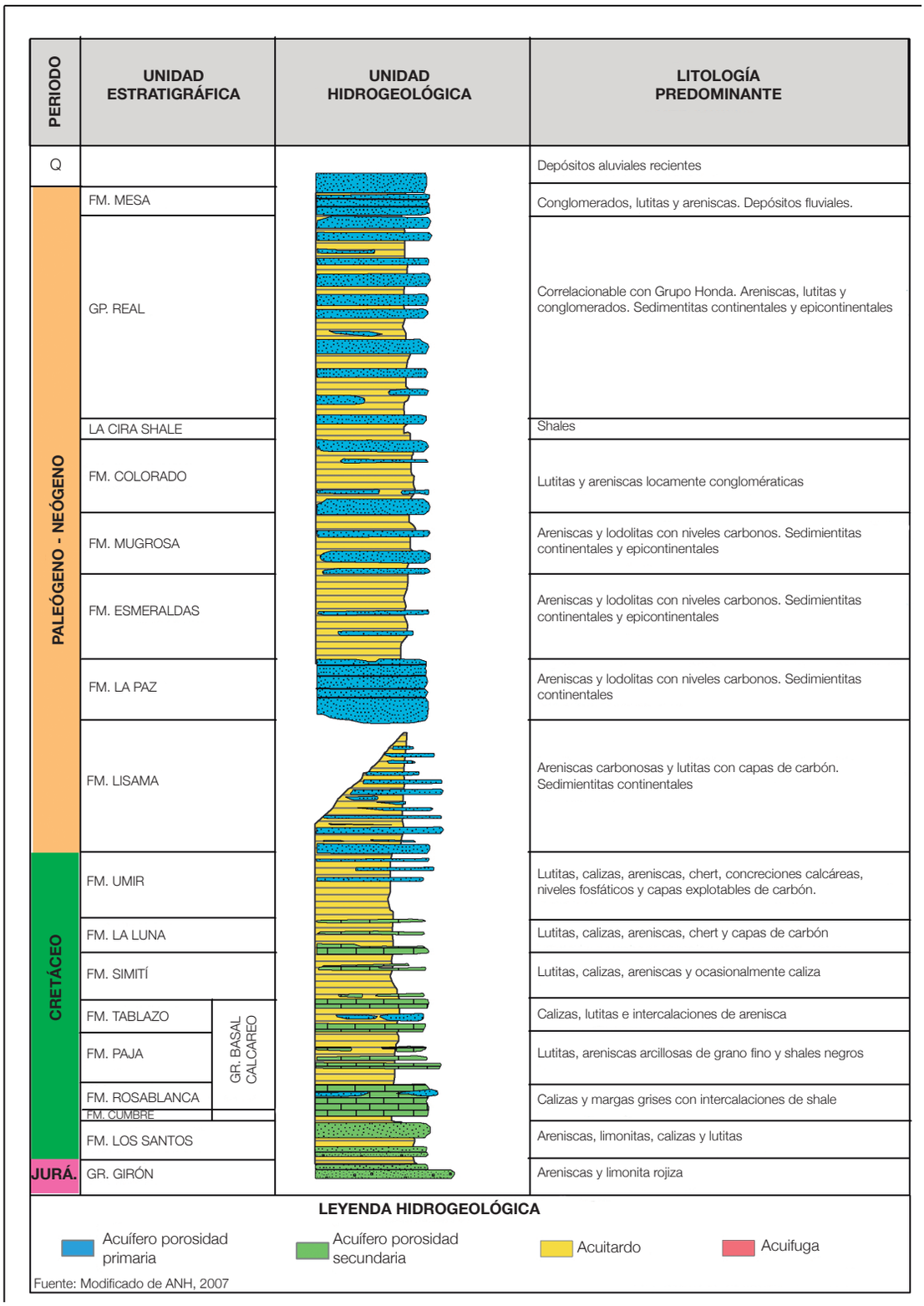



**Figura 4. 24.** Columna estratigráfica generalizada de la provincia Valle Medio del Magdalena. Modificado de ANH, 2007

### *4.2.5.1. Sistema Acuífero Nare-Berrío-Yondó SAM1.1*

El Sistema Acuífero abarca los municipios de Puerto Nare, Puerto Berrío y Yondó y pertenece a la cuenca del Valle Medio del Magdalena con una temperatura promedio de 27 °C, una altitud media de 125 msnm y precipitación media anual cercana a 2382 mm/año . Dentro de esta área son comunes cuerpos de agua como jagueyes (depresiones en el terreno construidas para abastecer de agua al ganado) y ciénagas. Las corrientes superficiales más importantes dentro de la zona son: quebrada La Malena, quebrada Balcanes, Caño Negro, río Nare y caño San Pablo. Alrededor del Sistema Acuífero están los ríos San Bartolo al norte, Magdalena al oriente y Cocorná al sur. El régimen de precitación es bimodal con dos temporadas lluviosas en Abril-Mayo y Septiembre-Octubre, y dos temporadas secas en Enero-Febrero y Junio-Julio. (Arismendi et ál. 2004. pp. 3).

- Geología:

El Sistema Acuífero se encuentra conformado por rocas sedimentarias principalmente, y en menor proporción por rocas ígneas y metamórficas, además de depósitos aluviales y de ladera recientes. (Arismendi et al. 2004. p. 4).

*Rocas metamórficas:* corresponden a rocas paleozoicas que hacen parte de la unidad litodemica llamada “Complejo Cajamarca” que aflora en la parte occidente de la zona. (Ibíd.) .

*Rocas ígneas:* representadas por el Batolito de Segovia (Jdse) y el Volcánico de La Malena (Jvm). El Batolito está compuesto principalmente por dioritas y cuarzodioritas de edad Jurásico que afloran en el límite occidental de la zona de estudio, mientras que el Volcánico de La Malena aflora en el sector occidental del área de estudio y está constituido por flujos volcánicos rioliticos a riodacíticos, brechas volcánicas y tobas hacia la parte superior del conjunto, diques basálticos y porfidos andesíticos. (Ibíd.) .

*Rocas sedimentarias:* constituyen la mayoría del área y están representadas principalmente por la Formación Mesa (Ngm) y una pequeña parte por las Sedimentitas del este de Segovia (Ksh). La primera esta cubierta por sedimentos recientes, y por ello es probable que áreas cartografiadas como Formación Mesa correspondan en realidad a depósitos de edad más reciente. Esta compuesta por sedimentos débilmente cementados, bien estratificados y compuestos por conglomerados, areniscas bien o mal seleccionadas y limolitas. La segunda aflora al suroccidente del área y litológicamente están conformadas por lutitas carbonosas de color negro que al meteorizarse toman un color grisáceo, estratificadas con limolitas, areniscas, conglomerados intraformacionales con fragmentos de lulitas negras, cantos de conglomerado. (Ibíd.) .

Depósitos Aluviales (Qal): Sobre las unidades anteriormente descritas y de manera discordante se presentan Depósitos Aluviales (Qal) no consolidados de edad recientes conformados por gravas, arenas y materiales finos de origen aluvial y lacustre que conforman terrazas, llanuras de inundación, bajos y complejos cenagosos.

- Características hidráulicas:

Se reportan permeabilidades entre 0,5 y 20 m/d. (Arismendi et al. 2004. pp. 13).

- Dinámica de flujo y recarga:

La dirección predominante del flujo es de oeste a este, es decir, el agua fluye desde las cuencas que componen el área hacia el río Magdalena. A pesar de este patrón regional de flujo, se nota una importante influencia de controles locales como el río Nare que atrae un flujo de agua hacia su cauce a la vez que avanza hacia el río Magdalena. (Arismendi et ál. 2004. p. 10).

De acuerdo al balance hídrico realizado por Arismendi et al, (2004), la recarga en un año de condiciones climáticas promedias equivale a entre el 5% y el 23% de la precipitación y mientras que en un año Niño la recarga puede ser nula en algunas zonas dentro del área, en un año Niña la recarga puede aumentar en mas de un 100% con respecto a la condición media. (Ibíd.) .

Los acuíferos ubicados en las llanuras aluviales en el municipio de Puerto Berrío, son recargados por un flujo proveniente del oeste. Al sur del área, hay un flujo atraído hacia los ríos Nare y Cocorná que recarga los acuíferos aledaños a estas corrientes, cuyas llanuras de inundación son menos extensas que las encontradas en Puerto Berrío. (Ibíd.) .

- Calidad del agua:

Se diferencian varias facies hidroquímicas con predominio de bicarbonatadas tipo sódico o potásico. (Arismendi et ál. 2004. p. 8).

#### *4.2.5.2. Sistema Acuífero Mariquita-Dorada-Salgar SAM1.2*

Se encuentra ubicado en el norte del departamento del Tolima y parte del departamento de Caldas, en el margen occidental del río Magdalena, limitando con el Piedemonte de la Cordillera Occidental, cubriendo una extensión aproximada de 1030km$^2$ donde se localizan los municipios de Honda, Mariquita, Guayabal, Armero, Lérida, Ambalema, Venadillo, La Dorada y Puerto Salgar. (Hidrogeocol Ltda., 1990 citado por Camargo y Ateortúa, 2010).

En este sistema se encuentran dos acuíferos potenciales: el acuífero conformado por los sedimentos Cuaternarios correspondientes al Acuífero de Lérida (Qcl), Abanico de La Sierra (Qsc) y Llanura Aluvial (Qll). El segundo acuífero conformado por rocas del Paleógeno-Neógeno del Grupo Honda que corresponden a conglomerados y areniscas conglomeráticas tobáceas, con porosidad Baja-Primaria. Es un acuífero pobre libre a confinado. *(Ibíd.).* La Formación Mesa (Tsm), está compuesta por gravas, piroclastos, areniscas conglomeráticas, con porosidad Regular a buena-Primaria. *(Ibíd.)* .

- Dinámica de flujo y recarga:

La recarga se produce por la precipitación que escurre del flanco oriental de la Cordillera Central y son drenadas por los distintos ríos y quebradas que atraviesan el área. La dirección del flujo es Oeste-Este y entre Mariquita y Guayabal Armero, la dirección es Norte-Sur, pero estos convergen hacia el flujo general de la zona *(Ibíd.)* .

- Calidad del agua:

Las aguas de este sistema se clasifican como bicarbonatadas magnésico-cálcicas y sulfatas magnésicos cálcicas. En general muestran condiciones favorables para consumo humano y riego, por su alta dureza no son aptas para uso industrial. *(Ibíd.)* .

- Usos del agua subterránea:

En este sistema acuífero se reportan 139 puntos de agua subterránea representados por 43 pozos y 96 aljibes. *(Ibíd.)* .

#### *4.2.5.3. Sistema Acuífero Simití SAM1.3*

No se encuentra información disponible para este Sistema Acuífero.

### *4.2.6. Otros Sistemas Acuíferos en Región Cordillera Occidental-Central PM6*

#### *4.2.6.1. Sistema Acuífero Glacis del Quindío SAM6.1*

Este Sistema Acuífero comprende los municipios de La Tebaida, Calarcá, Salento, Quimbaya, La Virginia, Dos Quebradas, Caicedonia, Armenia, Finlandia, Circasia, Ulloa, Alcalá, Montenegro y Pereira. (Camargo y Atehortúa, 2010).

- Generalidades hidroclimáticas:

En la zona se presentan los pisos térmicos cálido, medio, frío y páramo, con temperatura promedio anual que varía desde 22 °C en el valle del río Risaralda a 5 °C en el Parque Natural de los Nevados. El régimen de precipitación es bimodal, con máximos de hasta 2800 mm en el período de abril-mayo y octubre-noviembre y mínimos de 1700 mm en los meses de enero, febrero, julio y agosto (CARDER, 1998). El sistema hidrográfico está constituido por los ríos Cauca, Barbas, La Vieja, Otún y Consota y las quebradas Cestillal y El Piñal. (Otálvaro et ál, SF).

- Geología:

Las unidades aflorantes, comprenden rocas desde el Paleozóico Inferior al reciente, estando representadas las más antiguas por el Complejo Polimetamórfico de la Cordillera Central (Pes),

compuesto principalmente por esquistos verdes, que afloran en la zona Pereira-Dosquebradas en una pequeña franja aledaña al río Barbo, afluente del río Otún. (Carder, 2007).

Las unidades cretáceas, corresponden a las formaciones, Quebradagrande (Kvc), constituida por dos secuencias, rocas volcánicas básicas (Kvc) y rocas sedimentarias (Ksc). La Formación Barroso (Kvb), se refiere a un complejo volcánico lávico y volcanoclástico, de composición básica que aflora al norte y al sur del casco urbano de Pereira con una geoforma de pico alargado. El Stock Gabróico de Pereira (Kgp) aflora al Este del casco urbano de Dosquebradas y de Pereira, y el Complejo Arquía (Kiea) que está compuesto por esquistos verdes y sericíticos se observa al norte de Dosquebradas. La secuencia Terciaria se inicia con la formación Cartago (Toc), que conforma el Sinclinal de Miravalles al límite SW del casco urbano de Pereira y está compuesta limolitas, intercaladas con areniscas arcósicas y algunos niveles tobáceos. La formación Zarzal (Tpz), conformada en la zona por depósitos fluviales de gravas y arenas ocasionalmente intercalados con tobas, arenas finas y limos.

Los sedimentos Cuaternarios están representados por Flujos de lodo volcánico o lahares (Qfl) que se encuentran en los municipios del Quindío (La Tebaida, Calarcá, Salento, Quimbaya, Armenia, Filandia, Circasia, Montenegro) conformando la Formación Armenia (MacCourt, 1984 en Suter, F. *et ál*. 2008) también llamada por otros autores Glacis del Quindío (González y Nuñez, 1991 en Suter, F. *et ál*. 2008). En Risaralda se presentan geoformas suaves que basculan hacia el occidente en Pereira y Santa Rosa. Asimismo se presentan depósitos piroclásticos (Qpr) que cubren los flujos de lodo volcánicos y sedimentos fluviales, Aluviones Recientes (Qar) que rellenan los valles de los ríos Cauca y Risaralda en la región de la Virginia y el río Otún en el sector de Pereira y se diferencian los depósitos fluviolacustres de Dosquebradas (Qld), conformados especialmente por gravas, arcillas y algunos paquetes limo-arenosos.

- Unidades hidroestratigráficas:

Las unidades del área de estudio fueron clasificadas en dos grupos, teniendo como base la leyenda hidrogeológica internacional del IAH, 1995: I) Sedimentos y rocas con flujo esencialmente intergranular y II) sedimentos y rocas con limitado o ningún flujo de aguas subterráneas, atendiendo además al criterio de capacidad específica para clasificarlas según su potencial hídrico:

*I) Sedimentos y rocas con flujo esencialmente intergranular*

**A.1-** Los acuíferos con mayor productividad corresponden a las formaciones Zarzal y Aluviales del río Cauca y del río La Vieja. Esos acuíferos se caracterizan por ser discontinuos y de extensión local. (Carder, 2007).

**A.2-** El acuífero con moderada productividad corresponde a los depósitos fluviolacustres de Dosquebradas (Qdq). (Ibíd.).

**A.3-** Los acuíferos con baja productividad están representados por las formaciones Armenia y Pereira (Tqp), del Plio-Pleistoceno, integrada por dos secuencias principales: la superior de cenizas volcánicas y la inferior de flujos volcanoclásticos. (Ibíd.).

*II) sedimentos y rocas con flujo limitado de aguas subterráneas*

**B.1-** Complejo de sedimentos y rocas con muy baja productividad, constituidos por rocas sedimentarias terciarias, de origen continental, Formación Cartago (Toc) y los depósitos Cuaternarios de tipo fluvio glaciar a coluvial. (*Ibíd.).*

**B.2-** Complejo de rocas ígneo-metamórficas con muy baja a ninguna productividad, muy compactas y fracturadas a nivel superficial, de edad Cretácea a Precámbrica, encontrando en este grupo las rocas Complejo Polimetamórfico de la cordillera Central, la formación Quebradagrande (Kvc), la Formación Barroso (Kvb), Stock Gabróico de Pereira (Kgp) el Complejo Arquía (Kiea). *(Ibíd.).*

- Características hidráulicas y productivas:

Para el acuífero de Dosquebradas, solo se tiene un valor de transmisividad de 65 $m^2$/día, para el acuífero de Pereira se tienen transmisividades de hasta 560 $m^2$/día, siendo valores inferiores a 50 $m^2$/día los más comunes. (Carder, 2007).

- Dinámica de flujo y recarga:

La dirección de flujo principal es EW, iniciando desde el sector de Tribunas y Dosquebradas al Este del área, con altos gradientes por la conformación de las isolíneas, en la zona central, sectores de Pereira y zona de expansión de Cerritos, de bajos gradientes, sugiriendo la zona de acumulación del agua subterránea, y la zona de descarga natural del acuífero a los ríos Cauca y La Vieja, con flujo NW y SW, respectivamente. (Carder, 2007).

Los resultados obtenidos en el balance hídrico indican que no hay recarga media anual del acuífero de Pereira en las subcuencas que alimentan los ríos Otún (El retén y La Bananera), San Juan (Playa Rica) y Barbas (Arabia y Sucre). (Ibíd.) .

Adicionalmente, mediante técnicas isotópicas se obtuvo que para el nivel superior de la Formación Pereira la zona de recarga de éste nivel debe coincidir con toda la zona de afloramiento del acuífero (desde 950 a 1500 msnm), mientras que para el nivel inferior, ligeramente más empobrecido (9.6 a 10.7‰), la recarga debe estar asociada a las partes más altas del acuífero (posiblemente a alturas entre 1200 y 1500 msnm) o a las zonas de contacto con la formación Pereira y con los macizos rocosos. (Ibíd.) .

- Calidad del agua:

De acuerdo a los estudios realizados por Carder se tiene que los pozos profundos contienen agua de tipo bicarbonatada-magnésica-sódica ($HCO^3$-Mg-Na) y algunos del tipo Bicarbonatada-Sódica-Magnésica-Cálcica ($HCO^3$-Na-Mg-Ca). La conductividad es débil, entre 100 y 300 µS/cm. (Carder, 2007).

- Resultados de estudios isotópicos:

La presencia de Tritio en la mayor parte de los puntos muestreados, indica que el agua de la Formación Pereira tiene una componente de recarga reciente inferior a 50 años. (Ibíd.) .

- Usos del agua subterránea:

En el último estudio realizado por Carder se visitaron un total de 153 pozos profundos, de los cuales 12 captan el acuífero local de Dosquebradas, 4 los aluviales del río Cauca, 9 de la formación Zarzal y más de 100 en el acuífero de la Formación Pereira. De estos 153 pozos visitados el 61%, correspondiente a 94 pozos, están en uso; el 7%, (10 pozos), se tienen como reserva de agua, el 26% (40 pozos) no tienen uso actual por estar abandonados, sellados o clausurados y del 6% restante (9) pozos, se desconoce su uso por que no se permitió ingreso al predio el día de la visita o porque no fue hallado. (Ibíd.) .

El principal uso del agua en los pozos explotados actualmente es el doméstico combinado con otras actividades que alcanza el 32% de los pozos, seguido por el doméstico individual con el 26%, el abastecimiento público con el 17%, el 16% son destinados a producción industrial y el 9% a actividades de ganadería. (Ibíd.) .

El caudal de agua extraído por pozos, según las primeras estimaciones, es del orden de 6.000.000 $m^3$/año. El sector industrial es el gran demandante de aguas subterráneas con el 63% del volumen anual extraído, seguido por el abastecimiento doméstico considerado como EPS (Empresa Prestadora de Servicio), entre los que se encuentran acueductos comunitarios, urbanizaciones y condominios, con el 26%, y el uso doméstico individual representa el 4% del consumo total. A pesar de que la mayoría de los pozos tienen un uso mixto (domestico y ganadería o irrigación) solo consumen el 6% del total anual, la ganadería por su parte consume el 1%. (Ibíd.) .

En el Quindío los pozos profundos alcanzan los 170 metros, captan de la Formación Armenia y se utilizan para abastecimiento público, uso recreativo y en menor proporción con fines industriales especialmente en la zona de La Tebaida y Montenegro. Asimismo, se reconocen aljibes para uso doméstico. No se encontró un inventario oficial de los puntos de agua en esta zona.

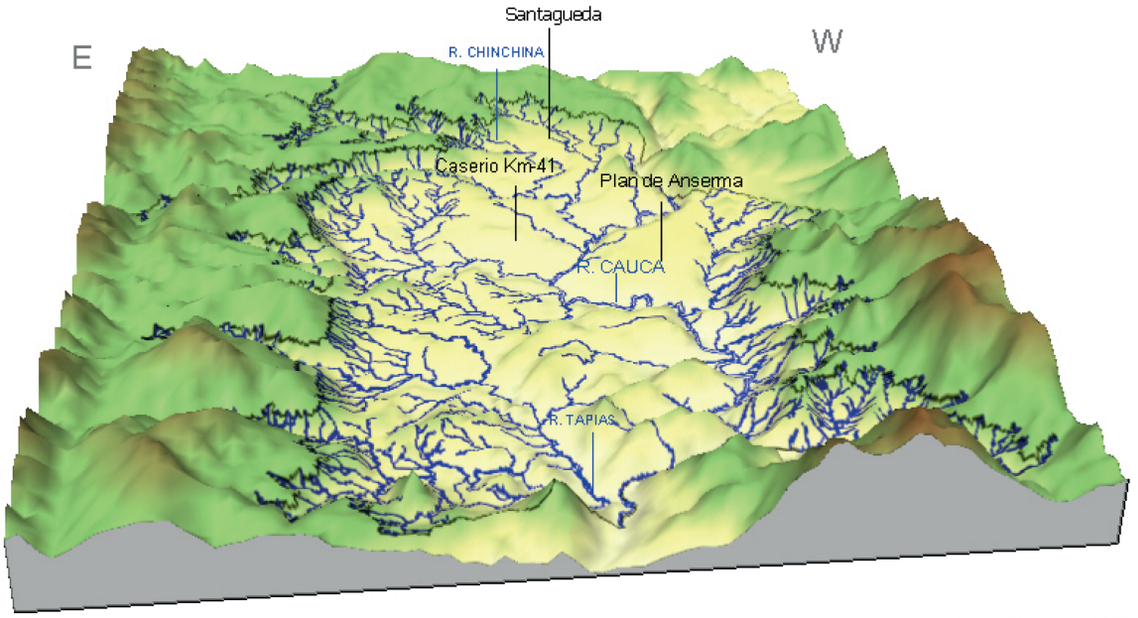
- Vulnerabilidad y problemas socioambientales:

De acuerdo al mapa de vulnerabilidad a la contaminación de los acuíferos superiores de Pereira se tiene que la mayor parte del área presenta vulnerabilidad media a la contaminación, presentándose pequeñas zonas con baja vulnerabilidad en sectores de Cerritos, Combia y Tribunas, y alta vulnerabilidad en el sector de Puerto Caldas. (Ibíd.) .

### *4.2.6.2. Sistema Acuífero Santagueda SAM6.2*

El Sistema Acuífero Santagueda se encuentra localizado en el flanco occidental de la Cordillera Central, en la parte baja de la cuenca del río Chinchiná entre los municipios de Manizales y Palestina, departamento de Caldas (Quiroz y Cadavid, 1999). (Figura 4.25).

La zona está integrada por diferentes fuentes hídricas superficiales como los son el rio Cauca, Chinchiná y Guacaica; además está compuesta por varias quebradas tales como Llano Grande, Carminales, La Ruidosa y Tres Puertas; sin embargo la principal fuente de abastecimiento de agua para consumo son los aljibes y pozos del sector. (Ibíd.) .




Fuente: GEOSUB LTDA, 2009.

**Figura. 4.25.** Localización del Sistema Acuífero Santagueda

## Geología e hidrogeología:

El occidente del departamento de Caldas se caracteriza por presentar áreas montañosas que corresponden a rocas volcánicas, con porciones muy bien definidas de topografía variada constituidas por formaciones sedimentarias. El Sistema Acuífero de Santagueda está conformada por las partes bajas de las cuencas de los ríos Cauca, Chinchiná y Tapias-Tareas, presentando unidades volcánicas de edad Cretácico constituidas por rocas ígneas básicas principalmente, asociadas a rocas sedimentarias del Terciario cubiertas por depósitos Cuaternario como flujos de lodo y de tipo aluvial. (Geosub Ltda, 2009).

La Formación Irra-Tres Puertas se encuentra cubierta localmente por arenas tobáceas, flujos aluviales con niveles arenosos y conglomeráticos y por flujos de escombros, probablemente lahares depositados discordantemente. Las arenas y flujos se caracterizan por el color pardo-amarillo y por su poca consolidación. Los flujos de escombros se caracterizan por presentar bloques, preferencialmente de composición andesítica, hasta de 1 m de diámetro, con una selección mala y espesores que alcanzan hasta 20 m. Lateralmente, las cenizas y flujos de escombros muestran contactos erosionales con los sedimentos del miembro volcano-sedimentario y con la cubierta cuaternaria. En el mapa se muestran sólo algunos de los flujos ya que muchos de ellos por su extensión no son cartografiables. Estos flujos son considerados como producto de la actividad explosiva de los volcanes del área y de los correspondientes flujos de escombros proyectados hacia el pie de monte de la Cordillera Central y el Valle del Cauca, a lo largo de los cauces de los ríos al producirse un rápido deshielo por el vulcanismo, por sus relaciones estratigráficas. (*Ibíd.).*

- Usos del agua subterránea:

El 81% de los puntos de agua se localiza en el municipio de Palestina, principalmente en las veredas de Santágueda y La Rochela, el 14% en el municipio de Manizales, un 2% restante en el municipio de Anserma, otro 2% en el municipio de Neira y el 1% restante en el municipio de Filadelfia. En la zona se identificaron 145 aljibes, 14 pozos, 4 manantiales, 4 piezómetros y un lago, determinando la distribución de estos 168 puntos de agua inventariados en 5 unidades acuíferas, notándose un predominio sobre los Flujos de Lodo de Santágueda y del km-41. El 40% de estos puntos de agua se encuentra activo realizando al menos una actividad, el 28% se encuentra abandonado y el 9% está inactivo, encontrándose además un 8% de estos puntos sellado por múltiples razones. (*Ibíd.).*

- Calidad del agua:

Como resultado del análisis hidrogeoquímico, las muestras se caracterizaron como aguas muy dulces, de alcalinidad baja a moderada, bicarbonatadas cálcicas a bicarbonatadas magnésicas. En general las muestras de agua tomadas en la zona de estudio cumplen con los estándares de concentración de elementos para potabilidad, encontrando algunas dentro de la clasificación de agua segura. (*Ibíd.).*

- Dinámica de flujo y recarga:

Se elaboró un balance hídrico de aguas subterráneas aproximado por la variedad geomorfológica y la poca información hídrica relacionada al área, dando como resultado una infiltración o recarga media para toda la zona de 162,92 mm/año, para la subcuenca Chinchiná se identificó una infiltración media de 76,96 mm/año; en la zona de la subcuenca Tapias-Tareas se obtuvo una infiltración media de 58,94 mm/año y para la zona de Anserma Cauca se indica una infiltración del orden de los 27,03 mm/año siendo muy baja en comparación con las otras zonas, aunque es normal debido a su naturaleza geológica. *(Ibíd.).*

Se identifican zonas de recarga producidas principalmente por la infiltración de la precipitación y de la escorrentía debido al alto fracturamiento y meteorización de las unidades rocosas adyacentes a los valles de los ríos Chinchiná, Cauca y Tapias Tareas, sumado a estas condiciones que los bordes de las cuencas se encuentran rodeados por cadenas de montañas (límites hidrogeológicos) en forma de herradura, formando hacia el centro forma una depresión topográfica que favorece la recarga por aguas lluvias desde las partes altas de la cuenca. *(Ibíd.).*

- Características hidráulicas y productivas:

De acuerdo a los parámetros hidráulicos observados, se establece que los depósitos de Flujo de Lodo presentan caudales de aprovechamiento relativamente altos (3.15-40 lps). El cálculo de reservas se realiza únicamente para el depósito de Flujo de Lodo de Santágueda de forma preliminar debido

a la poca información con que se contó hasta el momento del desarrollo del estudio, determinando un volumen total almacenado por esta unidad acuífera de aproximadamente 109 millones de metros cúbicos. (*Ibíd.).*

#### *4.2.6.3. Sistema Acuífero Valle de Aburrá SAM6.3*

El Sistema Acuífero está localizado en el centro del departamento de Antioquia en la Cordillera Central y cubre el Área Metropolitana del Valle de Aburrá (AMVA), que comprende las ciudades de Barbosa, Girardota, Copacabana, Bello, Medellín, Itagüí, Sabaneta, Caldas y La Estrella. (Campillo, 2012).

- Generalidades hidroclimáticas:

El régimen de lluvia es bimodal, con dos épocas lluviosas (abril-junio, septiembre-noviembre) que corresponde al paso de la ZCIT, y dos épocas relativamente secas (diciembre-marzo, junio-agosto). La precipitación media anual es de 1500 mm y la temperatura media mensual fluctúa entre 16 °C y 29 °C, (Universidad de Antioquia & Integral, 2002). El río Medellín o Aburrá, es el curso de agua principal y atraviesa toda la zona de estudio desde el Sur hasta el Norte (AMVA, 2011).

- Geología:

El Valle de Aburrá reposa sobre un basamento metamórfico (Maya & González, 1995), datado del paleozóico recubierto por rocas ígneas del cretáceo y una secuencia volcánico-sedimentaria llamada Formación Quebradagrande (Nivia et ál. 1996; Restrepo & Toussaint, 1984) suprayacida por depósitos de vertientes y de los depósitos de aluvión más recientes (Aristizábal & Yokota, 2008).

Las rocas metamórficas presentes en la zona están conformadas por esquistos, anfibolitas y neis. Las rocas ígneas corresponden básicamente a las granodioritas del Batolito Antioqueño y del batolito de Ovejas, dunitas presentes en Medellín y en Envigado. (AMVA, 2011).

En la zona de estudio se encuentra la secuencia sedimentaria de La Culebra-La Llorona que es datada del Cretáceo al Cuaternario. Las formaciones superficiales son de edad Cuaternaria y están constituidas principalmente por los depósitos de lodo y escombros. Los depósitos de deyección del río Medellín y sus afluentes hacen parte también de estas formaciones y comprenden la planicie aluvial del río Medellín, las terrazas aluviales de poca extensión, conos de deyección y depósitos de origen torrencial, constituidos principalmente por limos, arcillas, arenas y gravas. Los depósitos superficiales parcialmente consolidados y no consolidados y los depósitos de vertiente hacen parte también de esta formación. (AMVA, 2011).

- Unidades hidroestratigráficas:

En el Valle de Aburrrá se han identificado dos acuíferos:

- A1: corresponde a un acuífero libre, presente en toda la zona de estudio con espesor variable entre algunos centímetros hasta 99 m. En la parte norte, esta unidad es llamada A, constituyendo

únicamente la continuidad del nivel A1, con ausencia del otro acuífero. (AMVA, 2011). La presencia y el movimiento del agua están ligados a los depósitos del río Medellín formado por arenas, gravas.

- A2: se encuentra al Suroeste de la ciudad de Medellín hasta el municipio de Sabaneta. Corresponde a un acuífero semiconfinado separado de A1 por una capa con débil permeabilidad de espesor variable (B1). (AMVA, 2011).
  Además AMVA (2011) plantea el tener en cuenta además de esos acuíferos, los depósitos de vertientes, a los cuales denominan como una unidad A3 asimilándolas a un acuífero libre y a los saprolitos de rocas duras y fisuradas con porosidad secundaria.

### Características hidráulicas y productivas:

Los valores de transmisividad (T) varían entre 0,15 – 53,89 $m^2$/día y los valores de permeabilidad (k) varían entre 0,02 – 53,89 m/día. (AMVA, 2011).

### Dinámica de flujo y recarga:

Del estudio realizado por AMVA (2011) se infiere que el agua subterránea fluye desde las vertientes hacia el río Medellín.

De acuerdo a los balances hídricos realizados por la Universidad de Antioquia & Integral (2002), teóricamente la recarga se daría en todo el año, puesto que la precipitación excede a la evapotranspiración, con excepción de los meses de enero y diciembre, donde estas variables tienen prácticamente el mismo valor.

La zona con potencial alto de recarga, corresponde a las zonas localizadas en las áreas con pendientes planas (entre 0° y 4°) asociadas al río Medellín, a algunos afluentes en los municipios de Barbosa y Girardota y la quebrada La Miel del municipio de Caldas. (AMVA, 2011)

La zona con potencial moderado de recarga, corresponde a las áreas localizadas en las partes bajas y medias de las vertientes con inclinación leve, finalmente la zona con potencial bajo de recarga, corresponde a las zonas planas localizadas en las partes bajas de las vertientes, presentando pendientes medias de hasta 15°. (AMVA, 2011).

### Calidad del agua:

Campillo (2012), concluye que el acuífero A3, está caracterizado por aguas bicarbonatadas cálcicas-magnésica-sódicas, mientras que el acuífero A1 se encuentra disperso entre el polo bicarbonatado y el clorurado sódico, asociado este último, a la contaminación por actividades antrópicas, a la interacción con el río Medellín y a la recarga artificial desde las fugas del alcantarillado.

### Resultados isotópicos:

En el estudio realizado por Campillo (2012), se evidenció la recarga del río Medellín hacia el acuífero A1, además se infiere la conexión hidráulica entre los dos acuíferos (A1 y A3). No fue posible establecer las

zonas de recarga por técnicas isotópicas, debido a que la precipitación estuvo influenciada fuertemente por el Fenómeno de la Niña en el año 2011, 2012, lo cual interfirió enormemente en los resultados isotópicos, de ahí la importancia de tener varios años de estudio para sacar conclusiones más precisas.

- Usos del agua subterránea:

De las 416 captaciones inventariadas como activas, 127 son de uso industrial, 88 de uso doméstico y 201 de lavado de vehículos, siendo este último el de mayor actividad reportada por los usuarios. (AMVA, 2011).

#### *4.2.6.4. Sistema Acuífero Santa Fé de Antioquia SAM6.4*

El Sistema Acuífero se encuentra ubicado en el sector septentrional de los Andes Colombianos, en el centro-occidente del departamento de Antioquia. Está conformado por la parte baja de la vertiente oriental de la Cordillera Occidental, el cañón del río Cauca y el extremo más occidental del altiplano Páramo de Belmira-Páramo de Sonsón en jurisdicción de los municipios de Buriticá, Santa Fe de Antioquia, Sopetrán, Liborina, San Jerónimo, Olaya, Belmira y San Pedro de los Milgaros en (Vélez y Rhenals, 2008).

La corriente principal de la región es el río Cauca, lugar donde desembocan la mayor parte de los drenajes de la zona. Estos drenajes están relacionados directamente, en su mayoría con los depósitos que conforman las zonas acuíferos de la región y con las zonas de recarga. (Vélez y Rhenals, 2008).

- Recarga**:**

A partir de los estudios realizados por Vélez y Renhals (2008), se establecieron tres zonas de recarga para el sistema acuífero: una ubicada por encima de los 1800 m.s.n.m, correspondientes a las zonas más de ladera y el borde del altiplano, que recarga la mayoría de las unidades acuíferas (1D, 1F, 1H y 1B). Una segunda zona más baja, localizada entre los 1100-1400 m.s.n.m que recarga los acuíferos de Sopetrán (1G). También se presenta mezcla entre aguas de alta y baja recarga. Existen conexiones hidráulicas entre los manantiales y el agua superficial.

#### *4.2.6.5. Sistema Acuífero Bajo Cauca antioqueño SAM6.5*

La subregión del Bajo Cauca antioqueño está localizada al norte del departamento de Antioquia. Está conformada por seis municipios ubicados sobre la cuenca baja del sistema fluvial Cauca-Nechí, los cuales son: Caucasia, Cáceres, Tarazá, Zaragoza, El Bagre y Nechí. (UDEA y CORANTIOQUIA, 2011). Figura 4.26

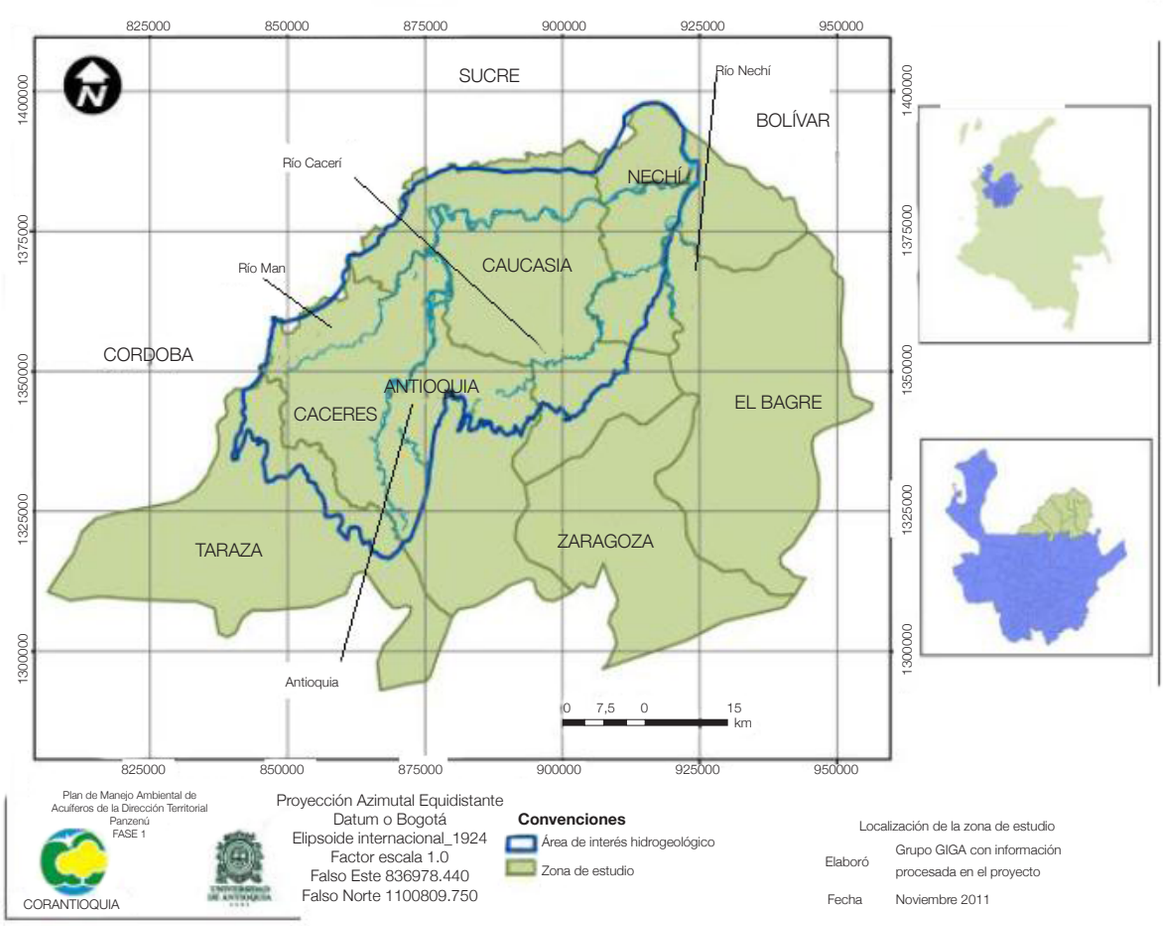



**Figura 4. 26.** Localización del Sistema Acuífero del Bajo Cauca. (UDEA y CORANTIOQUIA, 2011)

## Generalidades hidroclimáticas:

La planicie aluvial del territorio de Cáceres, Caucasia, El Bagre, Nechí, y Zaragoza, está bañada por los ríos Man, Cauca, Cacerí y Nechí y cientos de pequeños afluentes. En esta inmensa llanura, flanqueada por montañas, se forman numerosas ciénagas con una extensión de más de 40.000 hectáreas, conectadas con los ríos mediante caños, formando complejos sistemas de lagos, pozas, pantanos y playones que retienen el agua de las crecientes y la liberan lentamente en el estiaje. (UDEA y CORANTIOQUIA. 2011. p. 7).

## Unidades hidroestratigráficas:

El Sistema Acuífero del Bajo Cauca antioqueño está conformado por tres unidades hidrogeológicas, son ellas la unidad hidrogeológica U123, la unidad U4 y la unidad U5. (UDEA y CORANTIOQUIA. 2011. p. 25).

*Unidad hidrogeológica U123:*

Se encuentran cubiertas por una delgada capa de suelo, los depósitos aluviales de los ríos Cauca, Man, Nechí y Cacerí y el saprolito poco consolidado de las rocas sedimentarias del Paleógeno-Neógeno del Miembro Superior de la Formación Cerrito. U123 tiene el carácter de acuífero libre y su extensión abarca toda la planicie del área. Tiene espesores variables que llegan hasta los 90 m. (Ibíd.) .

*Unidad hidrogeológica U4:*

La Unidad hidrogeológica U4 subyace en toda el área de estudio a la unidad U123, está constituida por el Miembro Medio de la Formación Cerrito. U4 tiene el carácter de acuitardo aunque en ella existen varias captaciones desde las cuales se extrae agua para satisfacer demandas domésticas. En el centro del área se alcanzan los 160 metros, al norte aproximadamente 20 metros y al sur son inferiores a 10 metros. (UDEA y CORANTIOQUIA. 2011. p. 32).

*Unidad hidrogeológica U5:*

Finalmente, la Unidad U5 correspondiente al Miembro Inferior de La Formación Cerrito constituye un acuífero confinado regional en el Bajo Cauca antioqueño, sus espesores varían entre 10 y más de 100 metros, esta unidad poco explorada y explotada podría constituir una importante reserva de agua subterránea para la subregión; al igual que los espesores la profundidad de la base de U5 es incierta llegando a superar seguramente los 260 metros. (UDEA y CORANTIOQUIA. 2011. p. 33).

- Características hidráulicas y productivas:

Para la unidad U123 la conductividad hidráulica varía entre 1 y 2 m/día con zonas en las que se llega a 3 m/día. (UDEA y CORANTIOQUIA. 2011. p. 29).

- Dinámica de flujo y recarga:

Respecto al flujo subterráneo, en épocas de lluvia el nivel freático se localiza cerca de la superficie y se tendrían importantes divisorias entre los ríos Man y Cauca y Cauca y Cacerí, definiéndose áreas donde el agua fluiría desde altos freáticas localizados entre 90 y 140 metros hacia las grandes corrientes superficiales a las cuales aportaría caudal base. También desde el norte en límites con el departamento de Córdoba el flujo subterráneo se daría hacia el río Cauca. Al occidente en la vertiente izquierda del río Man solo se logra dibujar de manera aproximada un flujo hacia el cauce y tal vez en algunos sitios en sentido opuesto. Durante el verano con un descenso promedio del nivel freático de 5 metros con relación al invierno, las divisorias de flujo subterráneo se marcan de forma más definida. (UDEA y CORANTIOQUIA. 2011. p. 28).

Para la unidad hidrogeológica U123, se identificaron tres fuentes de recarga: i) una recarga distribuida a lo largo y ancho de la planicie ocasionada por la infiltración directa del agua lluvia, ii)

se produciría recarga a través de la interacción hidráulica que existe entre los principales cuerpos de agua superficial como lo son los ríos Cauca y Man y desde algunas ciénagas y jagüeyes, iii) finalmente se daría recarga lateral indirecta desde la roca metamórfica encajante del sistema regional. (Ibíd.).

La recarga de U4 se daría a través de la conexión vertical con las unidades U123 desde la que se produciría goteo y U5 desde la cual podría haber ascensos ocasionados por efecto de flujo pistón.

La fuente de recarga para U5 estaría asociada a áreas distantes localizadas en el piedemonte a alturas entre 300 y 1000 m.s.n.m., habrían también algunos aportes verticales por goteo desde U4. (UDEA y CORANTIOQUIA. 2011. p. 34).

- Calidad del agua:

Con base en resultados de muestreos se ha concluido que el 21% de las captaciones no cumplen el criterio de color, el 19.7% con el de turbiedad, el 22% el de alcalinidad, el 19.7% de las muestras superan el valor admisible de hierro total y el 62% está por fuera de los rangos de pH, la demanda química de oxígeno -DQO- y los nitritos registran el 13% y 11% de muestras por fuera de los rangos permitidos para esos parámetros para consumo humano. En todos los sitios y en todos los muestreos realizados se han encontrado presentes concentraciones variables de coliformes, situación no deseada en agua para consumo humano. (UDEA y CORANTIOQUIA. 2011. p. 37).

- Resultados isotópicos:

De Palacio y Betancur (2007), se concluye que la recarga del acuífero libre se produce de manera directa desde el agua precipitada localmente y después de sufrir en algunos casos algo de evaporación. Siendo el agua almacenada en U4 y U5 un agua con tiempo de residencia superior a 60 años. La utilización de técnicas hidroquímicas e isotópicas permitió reconocer la conexión entre el acuífero libre y el humedal Ciénaga Colombia. (Santa et ál, 2008).

- Usos del agua subterránea:

Desde captaciones tipo aljibe se extrae agua principalmente para abastecimiento doméstico (62.3%) o abastecimiento público (11.1%). En actividades de ganadería se utiliza el 13.2% del agua que se capta del acuífero libre, los demás usos presentan porcentajes inferiores al 10%. (UDEA y CORANTIOQUIA. 2011. p. 39).

El principal uso del agua subterránea extraída de los pozos es el abastecimiento doméstico (26.2%), la irrigación 18.9%, el abastecimiento público 17.1%, la recreación 2.2%. *(Ibíd.)* .

El agua de los manantiales se usa en igual porcentaje en la ganadería y el abastecimiento doméstico, un pequeño porcentaje (8.4%) se destina para irrigación. *(Ibíd.)* .

## Vulnerabilidad intrínseca:

En la Figura 4.27 se presenta el mapa de vulnerabilidad obtenido mediante DRASTIC, en él se observan condiciones predominantes con grado moderado, y en algunas zonas –al noroeste– con vulnerabilidad baja. (Betancur, 2008).

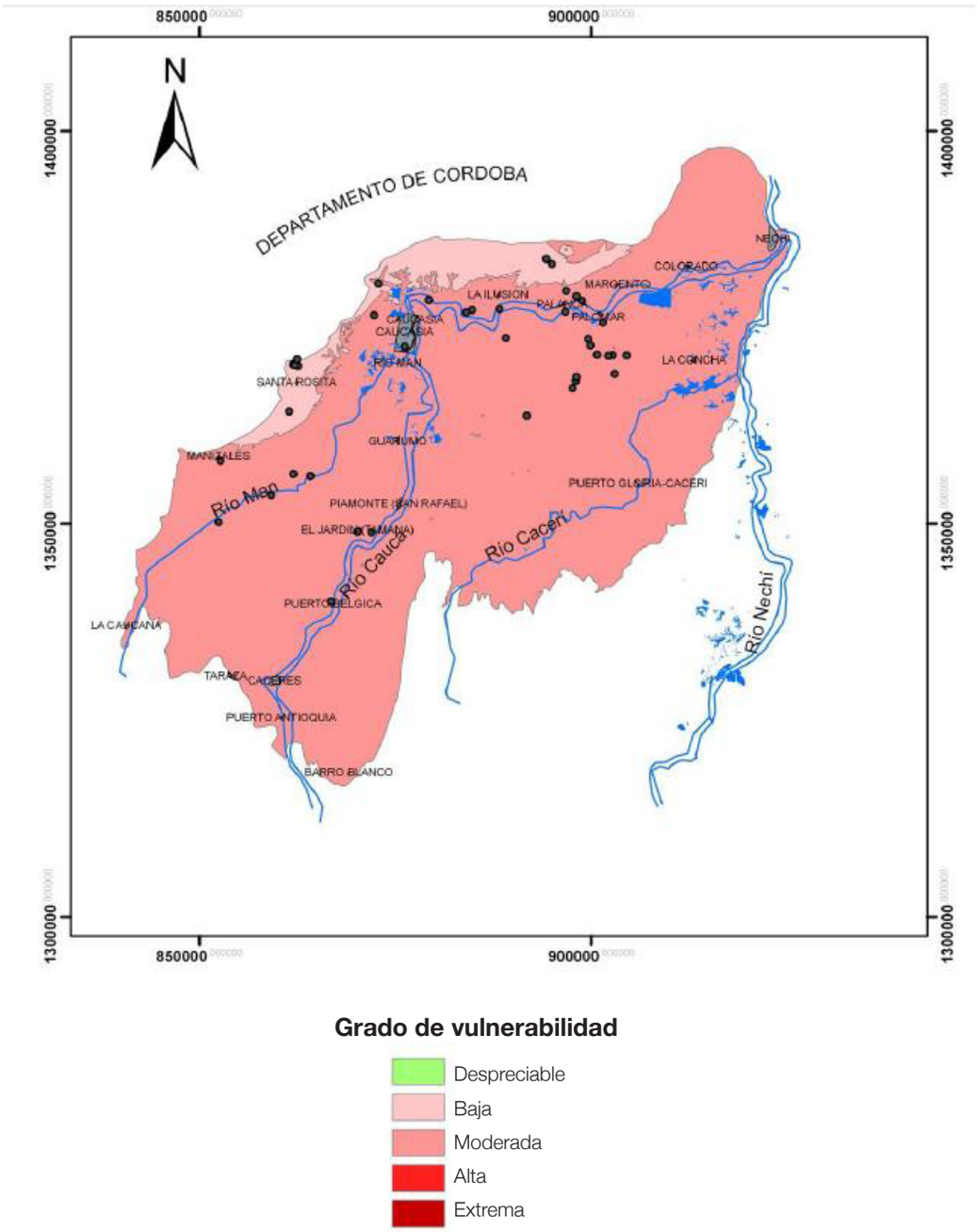



**Figura 4. 27.** Vulnerabilidad intrínseca para el acuífero del Bajo Cauca Antioqueño. (Fuente. Betancur, 2008).

La sostenibilidad de este recurso se ve comprometida no solo a la explotación no planificada que se hace de él sino, y principalmente, también por los inadecuados usos del suelo en zonas de recarga y las condiciones de operación y manejo que se hace de las captaciones. Las actividades mineras y agropecuarias y el desarrollo urbano sin saneamiento representan francas amenazas a la calidad del agua subterránea y en consecuencia generan un riesgo para los ecosistemas acuáticos y para la población que la consume. (UDEA y CORANTIOQUIA. 2011. p. 63).

#### *4.2.6.6. Sistema Acuífero Altiplano Nariñense SAM6.6*

El Sistema Acuífero pertenece a la región fisiográfica conocida como el altiplano Túquerres-Ipiales. (Bermoudes, 2009).

- Generalidades hidroclimáticas:

La precipitación anual en la gran parte del área presenta valores inferiores a 1000 mm. Es de anotar, que aunque el régimen pluviométrico bimodal es bien definido, es decir existen dos periodos de mayor pluviosidad, el número de días con lluvia a nivel mensual es relativamente constante sumando anualmente los 215 días aproximadamente. (Bermoudes, 2009). Hidrográficamente el área pertenece a la cuenca del río Guáitara, el principal receptor de aguas superficiales y subterráneas. (Bermoudes, 2009).

- Geología e hidrogeología:

Las unidades litoestratigráficas presentes en el área se puede agrupar en dos grupos básicos. El primer grupo corresponde a lavas e ignimbritas del Neógeno-Pleistoceno, mientras que el segundo grupo comprende los depósitos volcánicos no consolidados del Cuaternario, que provienen esencialmente de los complejos volcánicos del Azufral, Cumbal, Chiles-Cerro Negro, Pajablanca y algunos volcanes de la cordillera Real Ecuatoriana. Las unidades recientes de origen aluvial, lacustre y de pendiente presentan extensiones muy limitadas. (Ibíd.) La segunda unidad constituye un sistema hidrogeológico muy complejo, heterogéneo y anisotrópico. *(Ibíd.)*

El sistema hidrogeológico consiste en una alternación de unidades potencialmente acuíferas y acuitardos de extensión y espesores variables, donde se desarrollan acuíferos libres, semiconfinados y confinados de características hidráulicas relativamente bajos. Los acuíferos libres, semiconfinados y confinados forman un sistema hidráulico único. (Ibíd.)

- Usos del agua subterránea:

Del estudio realizado por Bermoudes (2009), se infiere que en el área existe un total de 353 captaciones de agua subterránea, de las cuales 307 corresponde a aljibes, 8 a pozos y 38 a manantiales.

El agua se utiliza principalmente para el consumo doméstico beneficiando hasta 5-8 habitantes por aljibe y ocasionalmente para el abastecimiento público (escuelas veredales y hogares de bienestar familiar), además algunos aljibes son aprovechados para el riego y la ganadería. (Bermoudes. 2009. p. 31).

La extracción del agua se hace de manera manual por medio de baldeo, con un promedio hasta 100-150 l/día. En muy pocos aljibes se han instalado molinos de viento y motobombas que incrementan el volumen del agua extraído hasta 3000 l/día. (Bermoudes. 2009. p. 32).

## 4.3. Provincias Hidrogeológicas pericratónicas PP

Se encuentran ubicadas en la margen suroriental del país, limitando con Venezuela y Brasil al oriente, Perú y Ecuador al sur, el piedemonte llanero al oeste y la Falla de Carurú al norte (en Vargas, N.O. 2001)

En términos estructurales, esta provincia se relaciona con el dominio amazónico caracterizado por la prolongación del escudo guyanes hacia el occidente cubierto por secuencias sedimentarias que constituyen una plataforma. Se distinguen, además mesetas levantadas definidas estructuralmente por partes de la plataforma paleozoica de la Amazonía levantada por eventos tectónicos. Las formas resultantes tienen inclinación general suave (2 a 4° y en algunos casos hasta 10°) hacia el occidente (excepto La serranía de la Macarena que se inclina hacia el oriente). Estas estructuras levantadas están delimitadas por flancos abruptos (verticales y subverticales) con algunos límites controlados por lineamientos. La Serranía de la Macarena corresponde a un bloque levantado constituido por capas tabulares de areniscas inclinadas hacia el oriente (a diferencia de las mesas de Araracuara donde la inclinación es débil) (*Ibíd.).*

Los sedimentos del Paleógeno cubren el borde occidental del Escudo Guayanés y corresponden a arcillas azules poco consolidadas. Los sedimentos arcillosos presentan, en parte, un plegamiento suave, pero conservan en general la estructura tabular horizontal o subhorizontal (*Ibíd.).*

Los sedimentos del Neógeno que cubren una gran parte de la Amazonia, son de origen continental con facies fluviales. La estructura de la formación es tabular por lo que el aspecto general de los paisajes es plano, con una profundidad de disección menor en relación con la disección que funciona en la plataforma del Terciario inferior y un drenaje dendrítico menos desarrollado (INGEOMINAS, 1988).

Las provincias se enmarcan en la vertiente de la Amazonía, la cual está atravesada por grandes ríos afluentes del río Amazonas: Guainía, Vaupés, Apoporís, Caquetá y Putumayo. Estas corrientes corren en sentido oeste-este a noroeste-sureste siguiendo el plano de inclinación del dominio amazónico. La zona se caracteriza por excedencia de agua por la alta precipitación y retención de humedad por coberturas boscosas. En general, el rendimiento hídrico promedio es de 65 l/s/km$^2$ con caudal medio de 22.185m$^3$/s que corresponde al 34% de la escorrentía superficial total del país (en Vargas, N.O. 2001).

Las secuencias sedimentarias clásticas del Paleógeno-Neógeno son infrayacidas por secuencias cretácicas y paloezoicas que se constituyen en basamento hidrogeológico. Esta cobertera que se adelgaza hacia el oriente esta suprayacida por depósitos recientes constituidos por terrazas y depósitos aluviales de los grandes ríos de las áreas hidrográficas de la Amazonia.

Se reconocen cuatro provincias hidrogeológicas pericratónicas transfronterizas: Caguán-Putumayo (Figura 4.27) , Vaupés-Amazonas y Llanos Orientales.

### 4.3.1. Provincia hidrogeológica Caguán Putumayo PP1

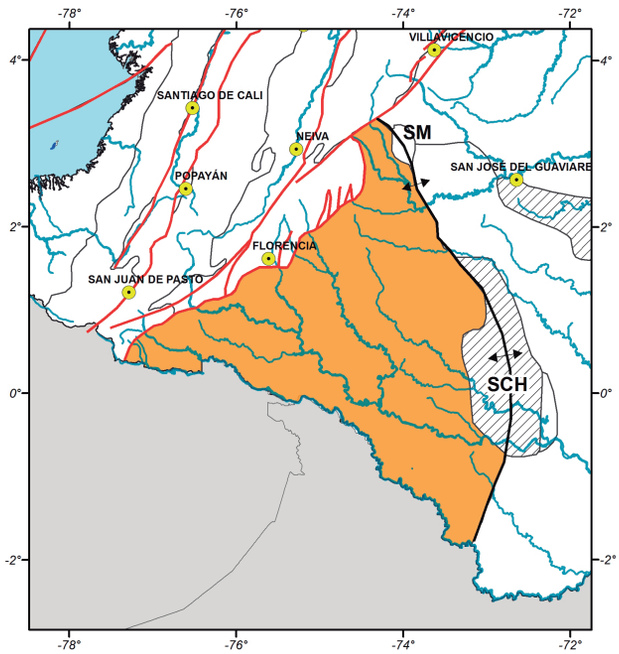
No ha sido objeto de estudios hidrogeológicos a nivel de prospección. Se conoce de la explotación mínima del recurso para abastecimiento doméstico y abrevaderos en vecindades de Orito, Guamues, Mocoa y Puerto Asís (Ingeominas,1988a).

Geológicamente el área de estudio pertenece a la denominada Cuenca del Putumayo conformada por rocas ígneas, metamórficas, sedimentarias hacia el occidente en la parte alta del departamento y en el piedemonte, las cuales conforman estructuras plegadas afectadas por un intenso patrón de fallamiento, cubierto por depósitos recientes de tipo aluvial torrencial y coluvial asociados a la dinámica fluvial de los ríos mayores y a la formación de terrazas disectadas en las partes más bajas del piedemonte (Figura 4.28) (en Vargas, N.O. 2001).

Hacia el oriente se identifica una planicie que forma parte de la región natural de la Amazonia donde se distinguen depósitos sedimentarios que forman las terrazas aluviales y los aluviones constituidos por acumulaciones detríticas, de espesores limitados y formas superficiales variables, con mejor representación hacia los márgenes de los ríos caudalosos. Litológicamente estos depósitos incluyen cantos rodados, bloques, guijarros y guijos de rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias y cubren formaciones geológicas consolidadas compuestos por lutitas, areniscas, conglomerados y lentes de carbón (Ibid.).



Provincia Caguán Putumayo




**LÍMITE**

Noreste: sistema de fallas de la Cordillera Oriental

Este: alto estructural, incluye la Serranía de Chiribiquete (SCH)

Sur: Límite internacional de Perú y Ecuador

Noreste: Sierra de la Macarena (SM)

Rocas Paleozóicas formando altos estructurales

Basamento-Alto

Fuente: Modificado de ANH, 2007

**Figura 4. 28.** Ubicación de la provincia hidrogeológica de Caguán-Putumayo. Modificado de ANH, 2007.

La cuenca del Putumayo no ha sido objeto de estudios de exploración y evaluación de aguas subsuperficiales y subterráneas que conduzcan a formular un modelo hidrogeológico conceptual de carácter regional para conocer el estado, la distribución y la dinámica de los recursos hídricos en el marco del ciclo hidrológico. Las características litológicas, estructurales y geomorfológicas de la cuenca del Putumayo permiten definir de manera preliminar las siguientes características hidrogeológicas:

- En la parte alta de la Cuenca del Putumayo se presentan rocas cristalinas metamórficas con baja porosidad primaria. La presencia de estructuras (fracturas y fallas) en enrejado se manifiestan con el control del drenaje superficial originando patrones rectangulares. Estas estructuras constituyen zonas de recarga de acuíferos subterráneos formados por porosidad secundaria.
- En la zona de intercambio cordillera y abanicos de piedemonte se reconoce un control estructural asociado al sistema de la Falla Frontal de los Llanos. Litológicamente en esta zona predominan rocas sedimentarias tales como areniscas y conglomerados los cuales presentan una porosidad primaria a alta. En esta zona existe una alta infiltración y saturación de las rocas arenosas permeables evidenciado por el patrón y control de drenaje, que controla la recarga y el flujo hacia los acuíferos más profundos a través de las fallas y fracturas asociadas saturando a su vez los depósitos inconsolidados (fluviotorrenciales y coluviales) que se originan en esta zona. Cabe destacar que en esta zona se presenta el nacimiento de un gran número de manantiales los cuales originan corrientes dispuestas radialmente a partir del ápice del depósito drenando directamente hacia los cauces de los ríos principales (Figura 4.29).
- En la planicie, los depósitos de terrazas aluviales y cauce aluvial de los ríos principales originan acuiferos de carácter local caracterizados por una buena porosidad y permeabilidad, especialmente en los paleocanales originados por la dinámica fluvial de ríos trenzados a meandríformes, Las agua de los algibes que captan las unidades anteriores se utilizan para uso doméstico y abrevaderos en los sitios de asentamientos y colonización de la parte baja del piedemonte y en la zona de Puerto Leguízamo.
- En los niveles de terrazas se reconocen coberturas de sedimentos arcillosos frecuentemente saturados lo que origina almacenamientos superficiales de poca extensión, escorrentía por las laderas de los coluviones y terrazas y humedales permanentes de carácter local que en la región se conocen como chucuas.

En general, en la cuenca del Putumayo se reconoce la presencia de unidades acuíferas locales de extensión variable, desarrollados en rocas sedimentarias de ambiente continental y sedimentos arenosos y conglomeráticos, poco cementados, con porosidad primaria y permeabilidad moderada a baja de regular a moderada calidad por la presencia de hierro (INGEOMINAS, 1988a).

### Unidades hidroestratigráficas

De acuerdo con las características de porosidad, permeabilidad y litología podemos definir las siguientes unidades hidrogeológicas y caracterizar el tipo de almacenamiento que forma cada una de estas (Figura 4.29):

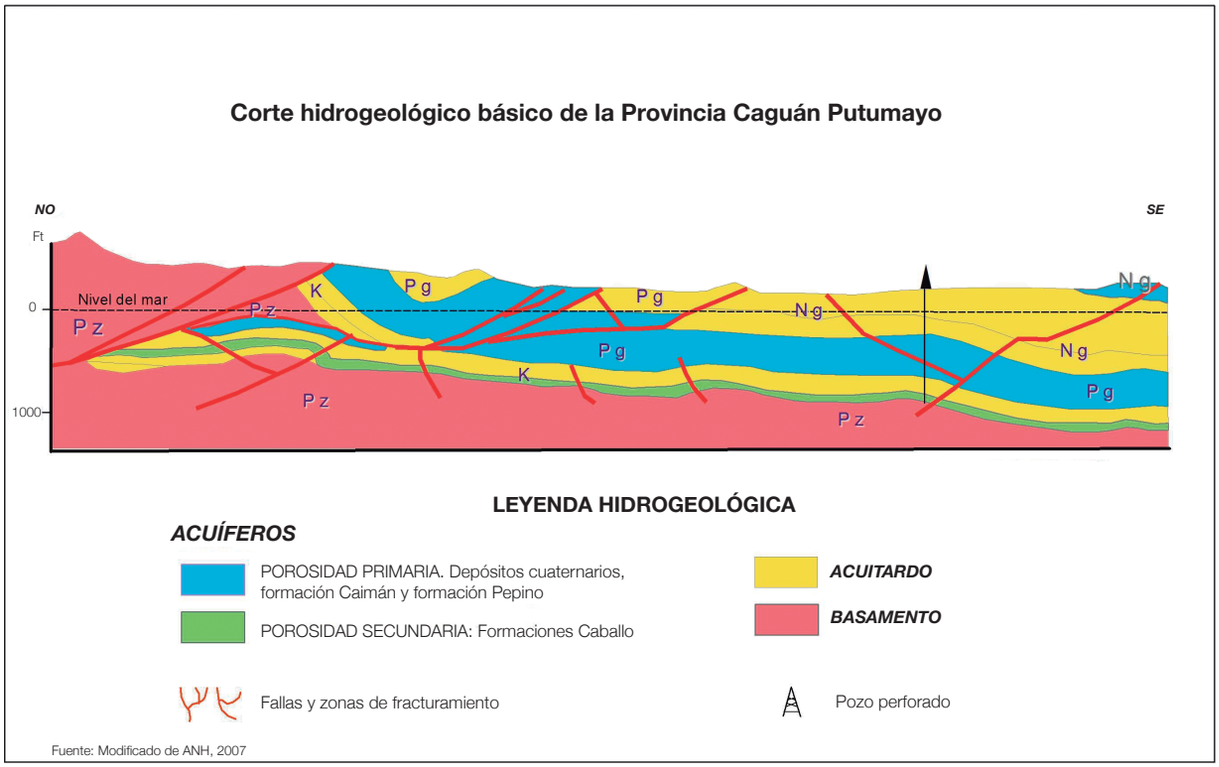



**Figura 4. 29.** Corte hidrogeológico básico de la provincia Caguán-Putumayo

### *I. Acuíferos en los cuales la porosidad primaria es intergranular*

Cabe esperarse una buena respuesta hidrogeológica en márgenes de grandes ríos y terrazas más recientes aunque su permeabilidad puede estar limitada por la presencia de arcillas. Las terrazas aluviales y aluviones del río son potencialmente buenos acuíferos por su porosidad y de ellos pueden esperarse altas permeabilidades, especialmente en los paleocanales que se reconocen en la cuenca. Igualmente tienen potencial acuífero las gravas de la Formación Caimán. Los acuíferos deben ser de baja continuidad lateral y de tipo libre a confinado. (En Vargas, N.O., 2001).

### *II. Acuíferos en rocas consolidadas con porosidad primaria y fisuradas con porosidad secundaria*

En este grupo se pueden incluir los estratos arenosos de las formaciones Villeta y Caballos que afloran en varias parte de la provincia. De estas rocas se reconoce su porosidad primaria y secundaria que harían factible el almacenamiento de aguas subterráneas en sus estratos. (*Ibíd.).*

Estos acuíferos son confinados sometidos a grandes presiones y de ellos no se conoce sus parámetros hidráulicos.

En los conglomerados de la Formación Pepino pueden almacenarse aguas subterráneas de baja calidad química por presencia de niveles ferruginosos propios de esta unidad.

*III. Rocas granulares o fisuradas que forman acuíferos insignificantes con recursos limitados o sin recursos:*

En esta categoría se incluyen las secuencias de carácter predominantemente arcilloso entre las cuales se destacan las Formaciones Ospina, Grupo Orito y Rumiyaco (Figura 4.30). De igual manera, los depósitos paludales y de llanuras de inundación de textura arcillosa. Estos horizontes actúan como acuicierres (es decir, que almacenan agua pero no la transmiten) y por lo tanto son barreras que limitan el flujo del agua subterránea e inhiben las conexiones hidráulicas de los acuíferos con los cuerpos de agua y corrientes superficiales en el caso de los depósitos recientes a subrecientes. (*Ibíd.).*

Se incluye además el basamento precretácico que se comportar por su litología y textura como un acuifuga que no permite que se transmita o almacene agua en su estructura y en algunos casos como acuicludo.

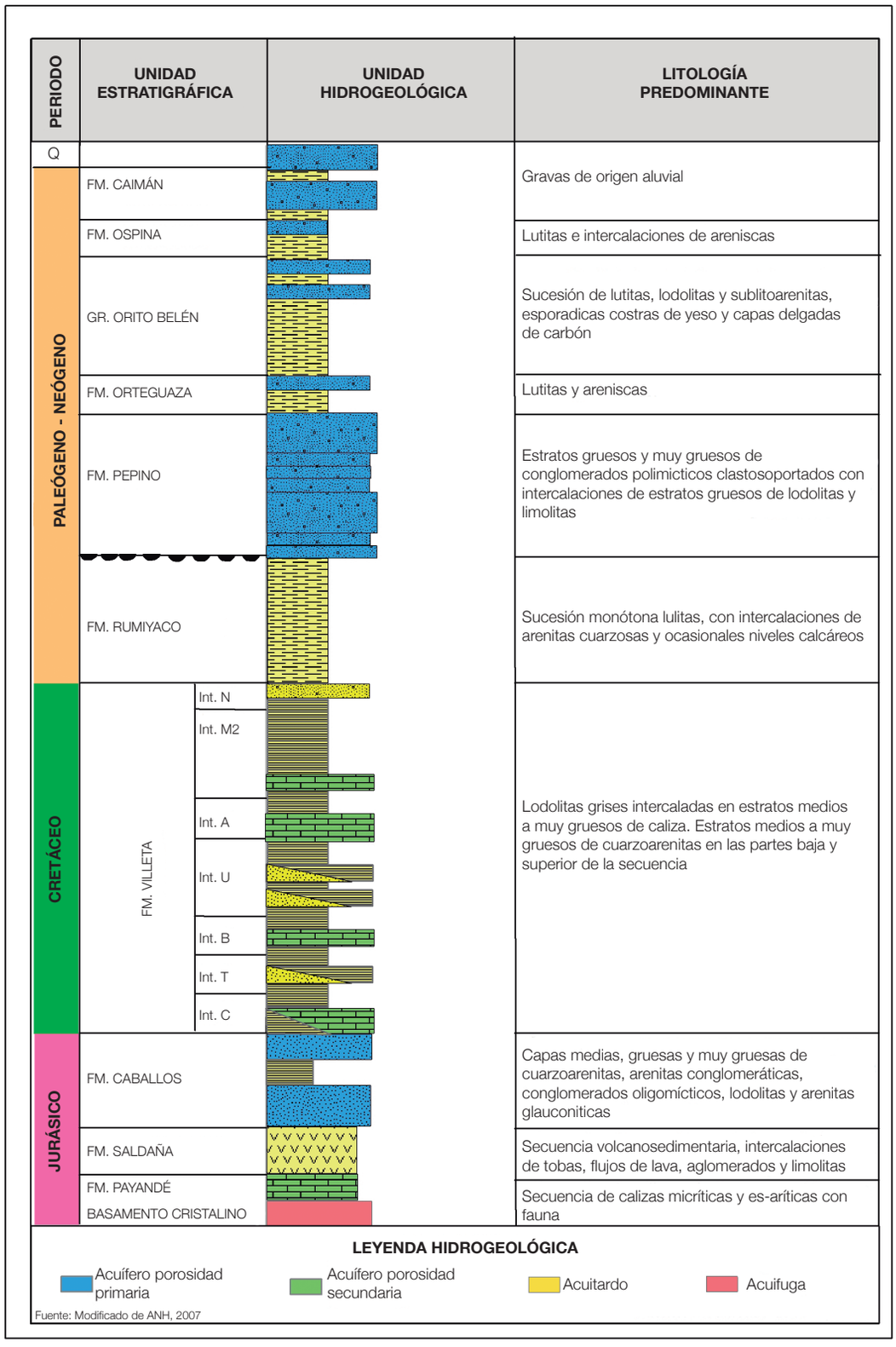



**Figura 4. 30.** Columna estratigráfica generalizada de la provincia Caguán-Putumayo. Modificado de ANH, **2007**

#### *4.3.1.1. Valles aluviales y terrazas de grandes ríos SAP1.1*

Sin información.

### *4.3.2. Provincia hidrogeológica Vaupés Amazonas PP2*

En esta provincia las unidades estratigráficas se adelgazan progresivamente, hasta la frontera con el Brasil, en donde afloran rocas cristalinas precámbricas que consttituyen el núcleo continental primitivo de Suramérica. La cobertura Paleógena-Neógena corresponde a sedimentitas de origen marino a continental lacustre que descansa sobre rocas sedimentarias del Paleozóico Inferior (Figuras 4.31 y 4.32). En las márgenes de los ríos se presentan acumulaciones detríticas, terrazas y aluviones. Además se presentan depósitos de arenas eólicos al oriente del Vaupés, occidente de Araracuara y algunos sectores del Amazonas (en Vargas, N.O. 2001).



Provincia Vaupés-Amazonas

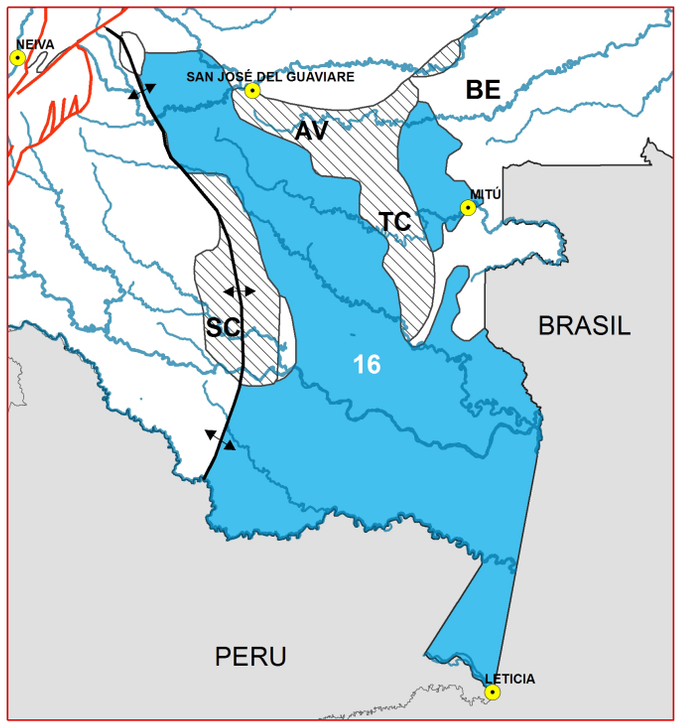
**LÍMITE**

Norte: Arco del Vaupés (AV)

Sur-Sureste: Fronteras de Perú y Brasil

Oeste: Basemento Alto. Serranía de Chiribiquete (SC)

Este: La Trampa-Alto de Carurú (TC)




Rocas paleozónicas formando Altos Estructurales

Basamento - Alto

Fuente: Modificado de ANH, 2007

**Figura 4. 31.** Ubicación de la provincia hidrogeológica de Vaupés-Amazonas. Modificado de ANH, 2007.

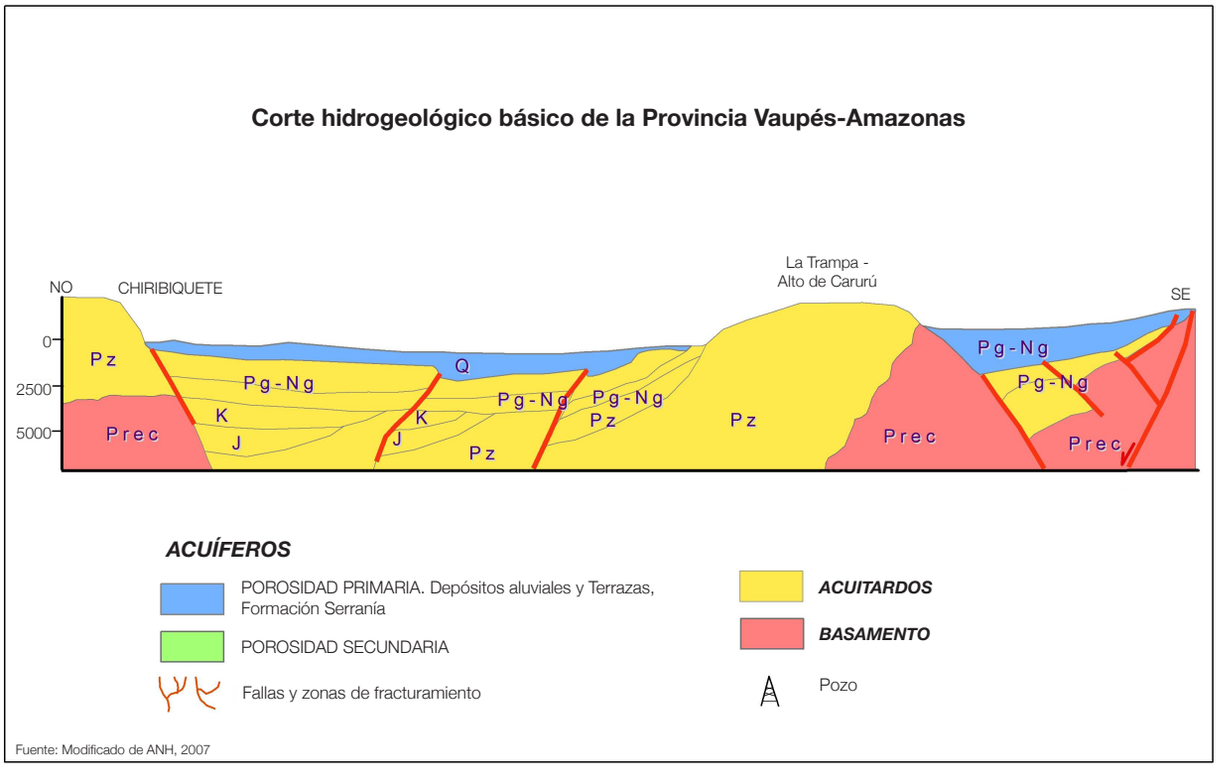



**Figura 4. 32.** Corte hidrogeológico básico de la provincia Vaupés-Amazonas. Modificado de ANH, 2007.

Desde el punto de vista hidrogeológico su conocimiento se reduce a modelos geológicos y columnas estratigráficas generalizadas (Figura 4.33) documentadas por la industria petrolera.

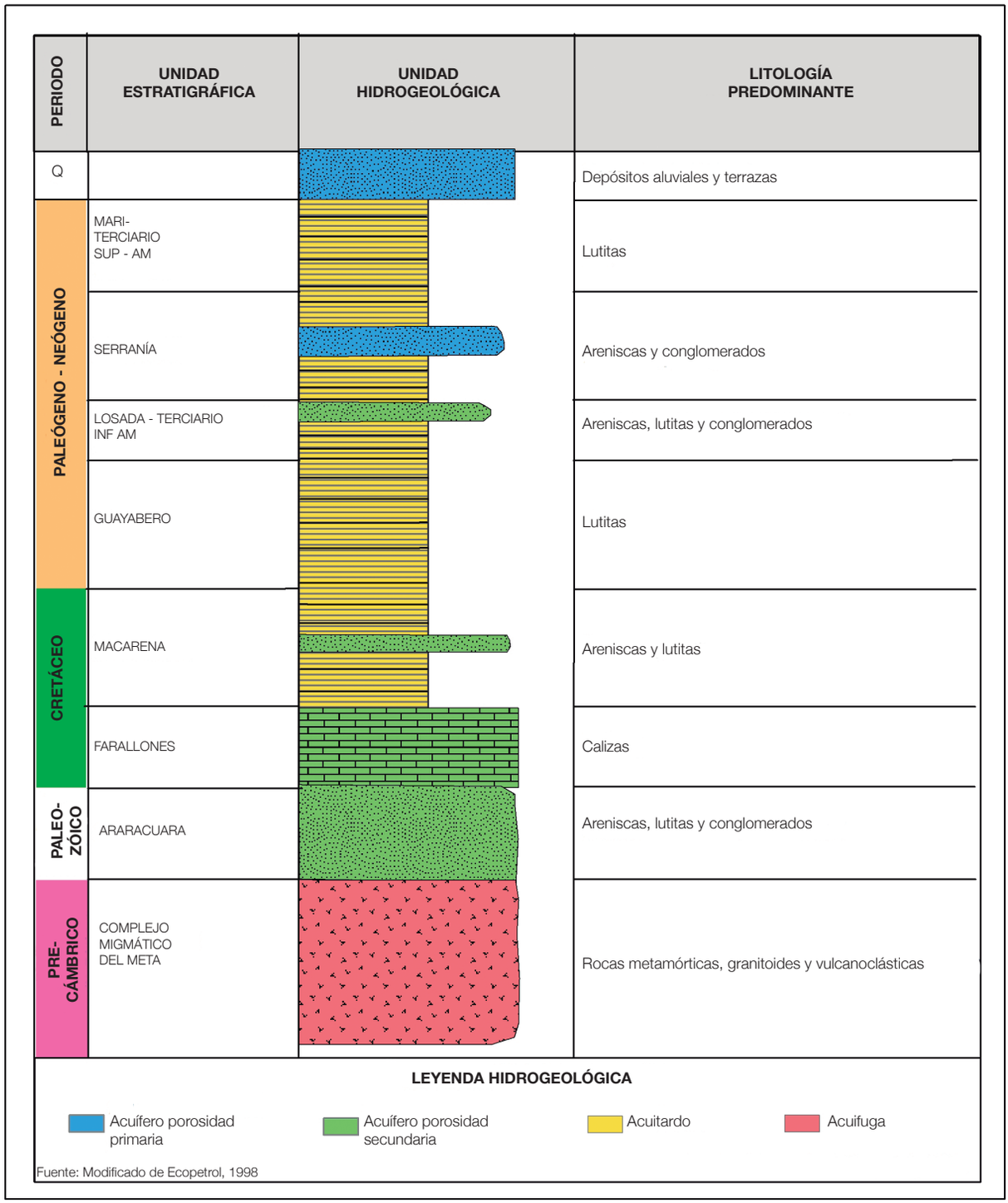



**Figura 4. 33.** Columna estratigráfica generalizada de la provincia Vaupés-Amazonas. Modificado de ECOPETROL, 1998.

#### 4.3.2.1. Valles aluviales y terrazas de grandes ríos SAP2.1

Sin información.

### 4.3.3. Provincia hidrogeológica Llanos Orientales PP3

Esta unidad desde el punto de vista geológico se diferencia de las provincias adyacentes tanto por su secuencia estratigráfica, como por su evolución tectónica. La Falla de Guaicaramo marca definitivamente un límite claro que evidencia el levantamiento de la cordillera oriental y el consecuente afloramiento de la espesa secuencia cretácica de la Cordillera Oriental (Figura 4.34).

Desde el punto de vista topográfico la Provincia de los Llanos Orientales corresponde a la zona plana del oriente colombiano que contrasta con el relieve abrupto de la cordillera oriental adyacente. Comprende la altillanura con altitudes entre 90 y 120 m y una inclinación muy suave hacia el oriente. Este sistema se caracteriza por la presencia de formas heredadas como son los diques aluviales, cubetas de inundación y ejes de drenaje parcialmente colmatados y conocidos como “esteros” (IDEAM, 1998).

Las acciones eólicas dejaron modelados testigos de su acción en la altillanura plana. En las márgenes de los ríos Meta y Tomo aparecen las dunas parabólicas de dirección noreste-suroeste relacionadas con los vientos Alisios del noreste. Están compuestas por arenas cuarzosas finas a medias de color rojo amarillento y con espesores hasta de 8 m. (IDEAM, 1998).

Un modelado típico eólico residual se encuentra principalmente en los Departamentos de Arauca y Casanare, aunque también se encuentran dunas en la altillanura del Vichada y un área muy definida en la cuenca del río Manacacías. Las dunas, de longitudes kilométricas, son de los tipos longitudinal y parabólico, con alturas relativas que no sobrepasan los 50 metros (Ibíd.).

Se distingue además una llanura de desborde y se reconoce el modelado aluvial subreciente: diques, cauces abandonados, cubetas (bajos), meandros (en vías de colmatación o colmatados).

En la llanura aluvial se reconocen terrazas altas ubicadas cerca a la cordillera con alturas relativas que alcanzan hasta 30 o 50 m y entre ellas corren ríos trenzados (Ibíd.) y terrazas bajas que no superan, en general, los 5 m de altura en relación con los cauces menores de los ríos principales, aunque en algunos casos se aproximan a los 10 m.

Las llanuras aluviales, abajo del piedemonte, se caracterizan por pendientes casi planas con ríos de poca carga y competencia. Los procesos dominantes son la divagación con formación de meandros y depositación de aluviones finos (limo-arcillosos) en las cubetas.



Provincia de los Llanos Orientales

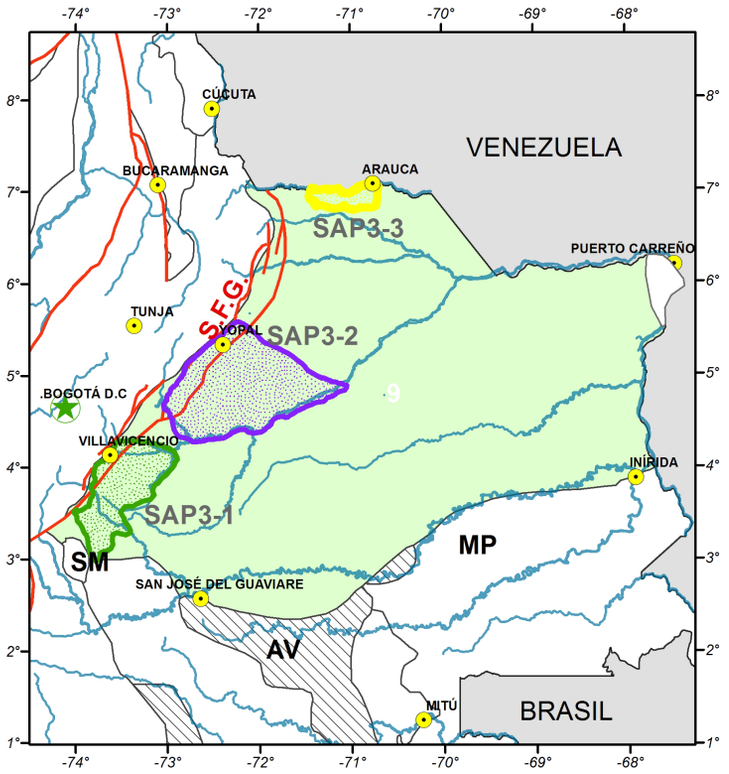
**LÍMITE**

Norte: Límite internacional con Venezuela

Sur: Serranía de la Macarena (SM), Arco del Vaupés (AV) y rocas metamórficas del Precámbrico (MP)

Oeste: Sistema frontal de empuje de la Cordillera Oriental

Este: Rocas precámbricas del Escudo de la Guyana (GS)




**SISTEMAS ACUÍFEROS**

SAM3-1. Villavicencio - Granada - Puerto López
SAM3-2. Yopal Tauramena
SAM3-3. Arauca - Arauquita

Fuente: Modificado de ANH, 2007

**Figura 4. 34.** Ubicación de la provincia Llanos Orientales. Modificado de ANH, 2007.

Esta cuenca pericratónica realmente ha sido inexplorada, entre otras razones porque el alto rendimiento hídrico superficial ha sido suficiente parar cubrir las necesidades de la región. Se conocen parámetros hidráulicos y de diseño de los pozos de Caño Limón y de áreas adyacentes de las cuales además se tienen registros geoeléctricos. No se tiene un inventario de puntos de agua de la cuenca, ni registros de calidad de aguas subterráneas.

Desde el punto de vista geológico, la cuenca está cubierta por depósitos cuaternarios fluviolacustres que suprayacen rocas sedimentarias detríticas de texturas arenosas, lutiticas y carbonatadas que se extienden desde el Paleozóico hasta el Neógeno (Figura 4.35). Esta secuencia descansa sobre la paleotopografia del basamento igneocristalino del escudo de la Guyana que se levanta hacia el oriente (ECOPETROL, 1998).

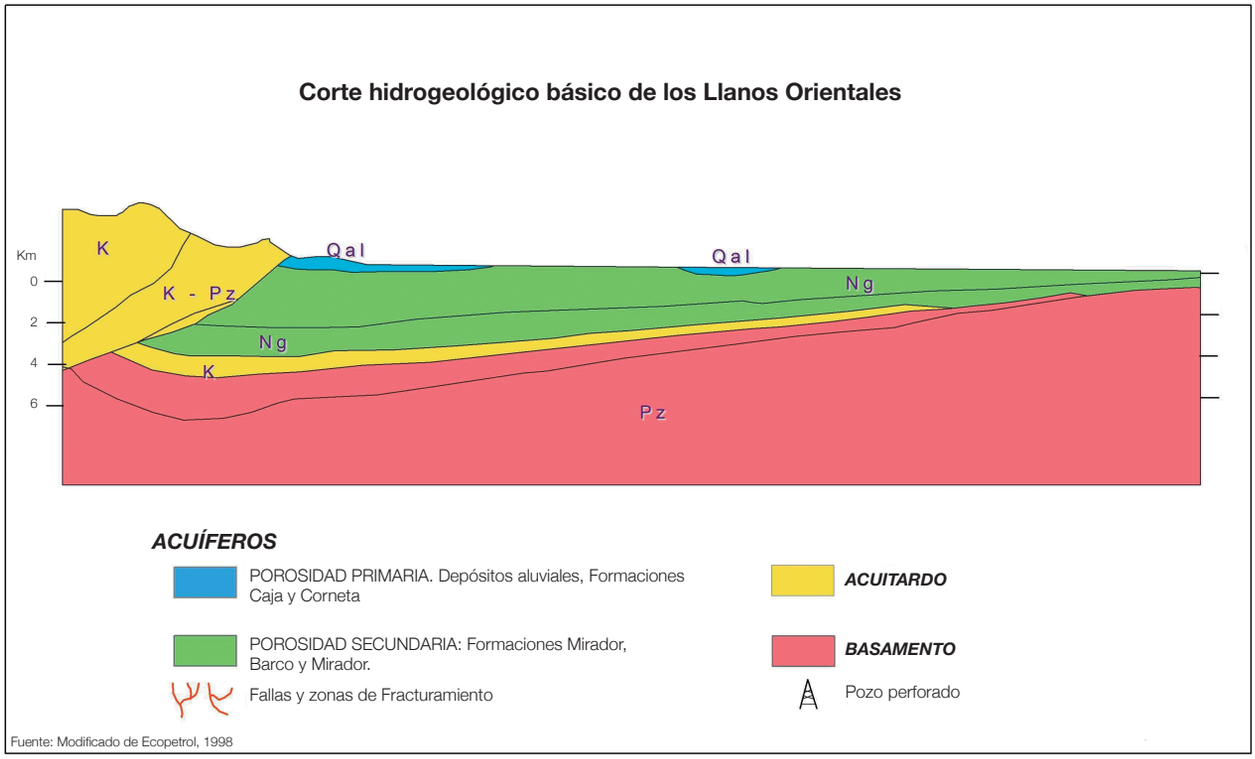



**Figura 4. 35.** Corte hidrogeológico básico de la provincia Llanos Orientales. Modificado de ECOPETROL, 1998.

La gruesa secuencia de rocas sedimentarias detríticas conforma una estructura monoclinal fallada ligeramente basculada y hacia el occidente que se adelgaza hacia el Este.

Desde el punto de vista estratigráfico, se distinguen de base a techo rocas del paleozoico inferior, arenas masivas y secuencias lutiticas y carbonatadas del cretáceo superior (Guadalupe-Gacheta?), arenas basales de la Formación Mirador, intercalaciones de areniscas y lutitas de la Formación Carbonera, lutitas de la Formación León, interestratificaciones detríticas de la Formación Guayabo, arcillolitas abigarradas y areniscas poco consolidadas de la Formación Necesidad y sedimentos cuaternarios de tipo fluvial y lacustre (Figura 4.36). El espesor de esta columna litológica se ha medido en cerca de 7500 pies. En la actualidad se explota agua subterranea para abastecimiento y fines industriales de los niveles arenosos de la Formación Guayabo Superior y agua de producción de las formaciones Carbonera y Mirador en los campos petroleros. En el caso del campo Caño Limón el agua extraida es dulce. (en Vargas, N.O, 2001).

Los acuíferos constituidos por sedimentos del Paleógeno-Neógeno y depósitos recientes al parecer tienen conexión hidráulica con los ríos principales en algunos puntos y en otros reciben aporte de precipitación en los sitios donde afloran las unidades de aluviones recientes en las vegas y playones de los ríos y en los paleocanales expuestos. En este acuífero superior es de esperarse que la dirección de flujo de las aguas subterráneas coincida con la dirección del drenaje original. (*Ibíd.).*

## Unidades hidroestratigráficas

De acuerdo con las características de porosidad, permeabilidad y litología podemos definir las siguientes unidades hidrogeológicas y caracterizar el tipo de almacenamiento que forman cada una de estas (Ibíd.):

### *I. Acuíferos en los cuales la porosidad primaria es intergranular*

Las unidades superficiales en toda la cuenca están representadas por secuencias clásticas con el predominio de arenas, limos y arcillas, donde existen potentes niveles grueso granulares que se constituyen en acuíferos de considerable capacidad.

Cabe esperarse una buena respuesta hidrogeológica en los sedimentos y formaciones pliopleistocenas y mas recientes que conforman los depósitos de origen aluvial, aunque su permeabilidad puede estar limitada por la presencia de arcillas.

Las terrazas aluviales y aluviones del río son potencialmente buenos acuíferos por su porosidad y de ellos pueden esperarse altas permeabilidades, especialmente en los paleocanales que se reconocen en la cuenca. De hecho se han excavado aljibes para abrevaderos y uso doméstico en sectores aledaños al campo (Información verbal).

En 1984 la firma Geoconsulta realizó un estudio de “Abastecimiento de Abastecimiento de Aguas Subterráneas en la Concesión Cravo Norte” con base en 20 sondeos eléctricos verticales distribuidos a lo largo de la carretera, de “modo que se obtuviera la información necesaria para evaluar las condiciones hidrogeológicas alrededor de las áreas de Production Facilities #1 y 2. La máxima profundidad de investigación fue de 700 metros.

Los resultados interpretados se correlacionaron con los registros litológicos de los pozos Matanegra 1, Matanegra 3, Caño Limón 1 y Caño Limón 2.

En general, se identificaron seis unidades geoeléctricas con aparentes continuidad lateral pero con variaciones de espesor a lo largo del área investigada:

- Unidad A-B: Está constituida por 10-20 metros de sedimentos arcillosos con bajo contenido de arenas y se comporta como un sello.

- Unidades C, D1 y D2. Conformados por sedimentos principalmente arenosos, aunque el nivel D1 es arenoarcilloso. Este se considera el Acuífero Superior, se encuentra confinado por las unidades A-B y E y presenta espesores entre 80 metros y 300 metros. En algunos sitios se comporta como acuífero libre por la ausencia de la capa confinante A-B. Este es el acuífero captado por los 8 pozos de agua subterránea distribuidos en el campo de Caño Limón.

- Unidad E. Está compuesta por sedimentos principalmente arcillosos que actúan como acuicierre. Su espesor varía entre 150 y 350 metros y es afectado por fallas que alcanzan la base de la unidad D2.

- Unidad F. Se trata del Acuífero Inferior y está caracterizada por sedimentos principalmente arenosos cuyo espesor puede variar entre 200 y 600 metros de acuerdo con los registros litológicos de los pozos petroleros.

La correlación con los pozos perforados corrobora la litología y espesores de las unidades acuíferas. La unidad F de acuerdo con estos registros tiene entre 85 y 90% de arenas, mientras en el acuífero superior las arenas varían entre el 28% y el 74%.

GEOINT (1998) llegó a interpretaciones similares a través de un "Estudio geoeléctrico e hidrogeológico para investigación de aguas subterráneas para riego y adecuación de tierras de Sabana en el municipio de Arauca" auspiciado por la OXI. Se realizaron 8 sondeos eléctricos verticales y se identifico el Acuífero Superior con un espesor aproximado de 250 metros. Igualmente, se reconoció la unidad D1 dentro de este acuífero de carácter areno-arcilloso.

Esta coincidencia de litologías y valores de resistividad pueden hacer pensar que el acuífero superior es continuo en la cuenca y por lo tanto cabe presuponerse una amplia interconexión hidráulica regional, por lo menos en los primeros 500 metros de profundidad.

La litología de estas unidades descritas se puede correlacionar con la Formación Guayabo y depósitos subrecientes, con excepción de las Unidades A-B que son depósitos actuales.

*II. Acuíferos en rocas consolidadas con porosidad primaria*

En este grupo se pueden incluir los estratos arenosos de las formaciones Mirador y Carbonera que se encuentran a una profundidad mayor a los 2000 metros donde son captadas por los pozos de producción petrolera por su adecuada porosidad primaria y permeabilidad.

De las unidades arenosas de las formaciones Mirador y Carbonera se extrae agua de formación que constituye más del 90% del total de hidrocarburo extraído.

Estos acuíferos son confinados sometidos a grandes presiones y de ellos no se conoce su conductividad hidráulica pero puede estimarse de los valores de permeabilidad obtenidos en las pruebas de formación realizadas en las perforaciones exploratorias. Realmente esto no tiene importancia para los efectos de este estudio pues estos acuíferos no están asociados al régimen hidrodinámico superficial y están protegidas de contaminación por una espesa cubierta sedimentaria en la cual se destacan potentes unidades impermeables.

*III. Rocas granulares o fisuradas que forman acuíferos insignificantes con recursos limitados o sin recursos:*

En esta categoría se incluyen las secuencias arenosas del paleozoico inferior y las suprayacentes formaciones Une, Guadalupe, Barco y Mirador que por su alto grado de cementación no presentan interés hidrogeológico y que además no participan activamente de los procesos hidrodinámicos de importancia para este estudio.

Pertenecen también a este grupo las unidades de carácter predominantemente arcilloso entre las cuales se destacan las formaciones Gachetá, Los Cuervos, los miembros lutiticos de la Formación Carbonera y la Formación León. De igual manera, los depósitos paludales y de llanuras de inundación de textura arcillosa. Estos horizontes actúan como acuicierres (es decir, que almacenan agua pero no la transmiten) y por lo tanto son barreras que limitan el flujo del agua subterránea e inhiben las conexiones hidráulicas de los acuíferos con los cuerpos de agua y corrientes superficiales en el caso de los depósitos recientes a subrecientes.

Se incluye además el basamento ígneo metamórfico que se comportar por su litología y textura como un acuifuga que no permite que se transmita o almacene agua en su estructura.

Las unidades A-B y E son igualmente acuicierres que actúan como horizontes confinantes de los acuíferos identificados en la Formación Guayabo a los que ya se hizo alusión.

### Parametros hidráulicos

En el área del piedemonte llanero se identifican acuíferos libres a confinados constituidos por una secuencia de terrazas y conos de deyección del cuaternario, cuyo espesor varía de 40 a 120 metros. Los niveles estáticos se encuentran entre 0.50 metros y 10 metros bajo la superficie y la producción promedio de los pozos es de 15 litros por segundo. (En Vargas, N.O., 2001).

En 1987 INGEOMINAS realizaron pruebas de bombeo en los pozos de abastecimiento localizados dentro del campo de Caño Limón. Estos pozos, WSW-1, WSW-3, WSW-4, WSW-5, WSW6, WSW7 y WSW8, captan de niveles arenosos del acuífero superior perteneciente a la Formación Guayabo.

En las pruebas realizadas en los pozos WSW1, WSW5 y WSW6 se calcularon transmisividades entre 650 y 750 $m^2$/día y coeficientes de almacenamiento de 0.3 característicos de un acuífero libre.

En los pozos WSW3, WSW4, 7 y 8 se obtuvieron transmisividades de 700 $m^2$/día y coeficientes de almacenamiento de $3.2x10^{-4}$ y $7.5*10^{-3}$ respectivamente que corresponde a acuíferos confinados. La conductividad hidráulica de este acuífero se calculo en 22.6 m/día.

Las capacidades especificas (Caudal/abatimiento) varían entre 1 y 3.7 litro/segundo/metro para caudales de diseño entre 70 y 140 litros por segundo.

Los niveles estáticos (freáticos o potenciométricos) se registraron alrededor de los 4 metros y se alcanzaron niveles de bombeo de 17 metros para caudales de aforo de 30.4 lps.

Los valores así obtenidos demuestran la gran extensión del acuífero y la interconexión hidráulica regional, con recarga areal.

Además se detecta que no existen problemas de sobreexplotación de las aguas subterráneas, ni interferencias importantes que reflejen abatimientos considerables de los niveles.

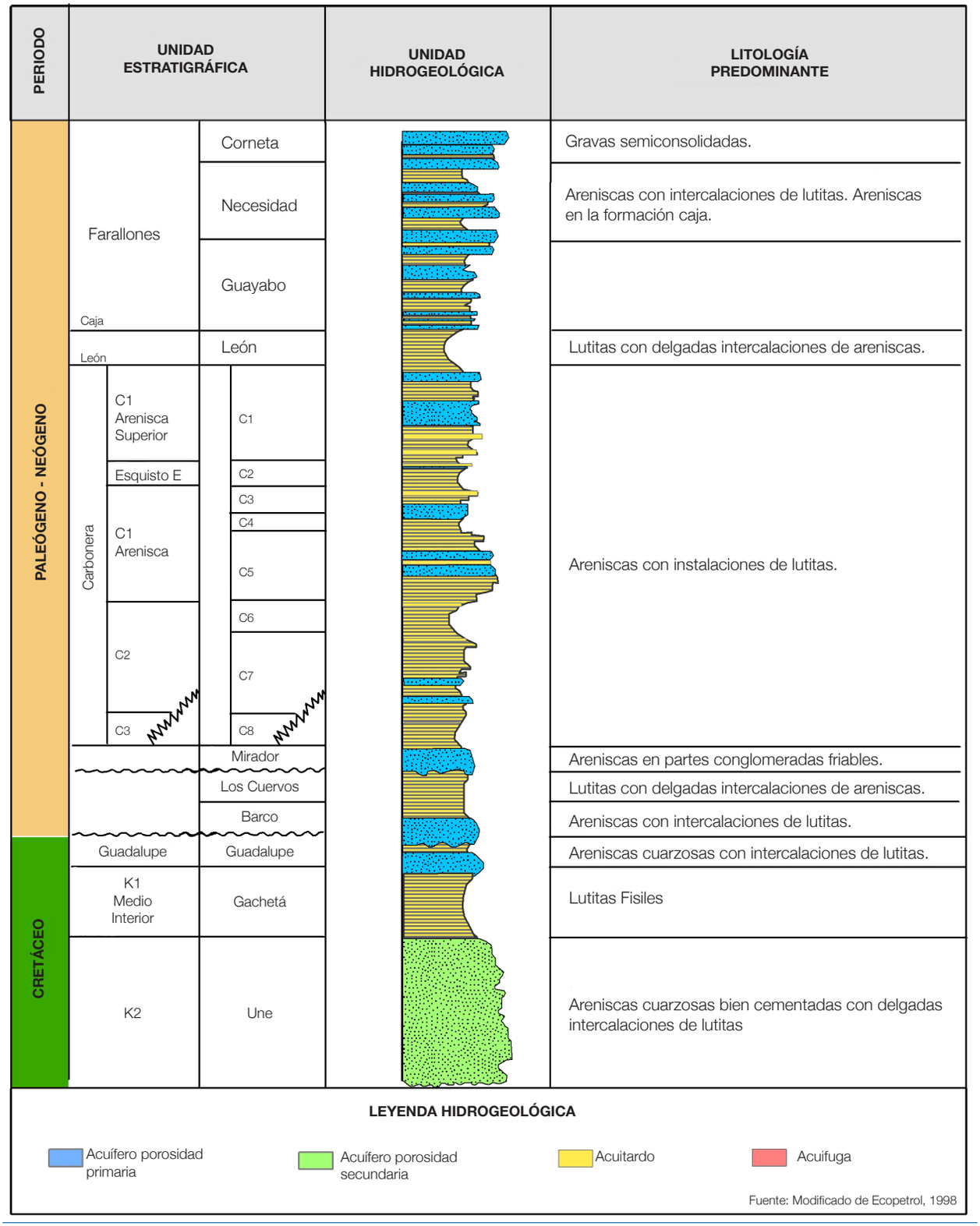



**Figura 4. 36.** Columna estratigráfica generalizada de la provincia Llanos Orientales. Modificado de ECOPETROL, 1998.

### *4.3.3.1. Sistema Acuífero Villavicencio-Granada-Puerto López SAP3.1*

- Generalidades hidroclimáticas:

El clima de la ciudad de Villavicencio corresponde a tropical húmedo, con precipitación anual entre 2800 y 4300 mm y temperaturas entre 24 y 27 ºC. (Consorcio Hidrogeología del Llano, SF).

- Geología:

En la siguiente tabla se presenta un resumen de las unidades geológicas identificadas en Villavicencio. Tabla 4. 6

**Tabla 4. 6.** Unidades geológicas identificadas en Villavicencio. Modificado de Consorcio Hidrogeología del Llano, SF.

| Formación | | Breve descripción geológica |
|---|---|---|
| **CUATERNARIO** | | |
| Qal | Aluvión activo | Sedimentos activos, playas y barreras, desarrolladas por las corrientes de la región. |
| Qal 1 | Depósito de llanura aluvial baja | Sedimentos recientes depositados por los ríos y caños. |
| Qal2 | Llanura Aluvial intermedia | Sedimentos recientes depositados recientemente por ríos Guatiquia y Ocoa, se encuentran en terrazas de no más de 4 metros. |
| Qco | Depósito Coluvial | Materiales matriz soportados esparcidos en el piedemonte. |
| Qca2 | A.Caño Maizaro y Buque | Depósitos conglomeráticos, de origen fluviotorrencial, clastosoportado, con matriz arenoarcillosa, de color crema, compuesto por cantos subredondeados de brechas, cuarcitas, filitas, lodolitas y areniscas. |
| Qca1 | A. Caño Parrado | Depósitos conglomeráticos fluviotorrencial, matriz – soportados, con matriz limo arcillosa y con cantos y bloques angulares a subredondeados de hasta 1 m de diámetro, de brechas, cuarcitas, filitas, lodolitas rojas y areniscas. |
| **TERCIARIO CUATERNARIO** | | |
| TQal | Formación Corneta | Depósitos conglomeráticos que incluyen desde bloques hasta guijos de cuarcita, arenita y lodolita, en una matriz arenosa de grano grueso, de color amarillento. |
| Tal | Arcillas del Limbo | Arcillolitas de color gris, verde, a veces violácea, con frecuentes intercalaciones de areniscas blancas, cuarzosas de grano medio, en capas de hasta tres metros, cuyo espesor total se estima es superior a 250 metros. Esta unidad suprayace concordantemente al Grupo Palmichal |
| **CRETÁCICO SUPERIOR** | | |
| KTp | Grupo Palmichal | Arenisca arcillosa, color blanco crema, friable, de grano medio a grueso conglomerática con intercalaciones de lodolitas grises laminadas y niveles de areniscas impregnadas de petróleo. |
| Ksc | Formación Chipaque | Arcillolita laminada, de color gris oscuro, alternada con lodolita y arenisca cuarzosa, de grano medio, arcillosa, color gris oscuro, friable. Se presentan niveles de arenisca dura con impregnaciones de petróleo. |

| | | |
|---|---|---|
| **CRETACICO INFERIOR** | | |
| Kiu | Formación Une | Arenisca cuarzosa en bancos gruesos, friable, de color blanco a crema, tamaño de grano variable de media a grueso en ocasiones, gradando a conglomerático. Se presentan intercalaciones de lodolita gris y negra localmente con materia orgánica e impregnaciones de petróleo. |
| Kif | Formación Fómeque | Arenisca de color gris a gris rojizo, de grano conglomerático, friable con abundantes cantos de cuarzo y óxidos de hierro. Se alternan con capas duras de lodolita laminada, calcárea, color gris, oxidada, con esporádicos nódulos calcáreos. |
| Kic | Formación Areniscas de Cáqueza | Arenisca cuarzosa de grano media a ligeramente conglomerática, a veces calcárea de color blanco a gris amarillento por meteorización. Se intercalan paquetes de limolita y arcillolita gris laminadas con restos orgánicos. |
| Kilm | Formación Lutitas de Macanal | Lodolitas finamente laminadas, físil, de color gris oscuro a negro, micácea con pirita diseminada, ligeramente calcárea en algunos niveles y lodolita masiva. Es común la presencia de fósiles y restos de plantas. Se intercalan algunos niveles de arenisca y conglomerado |
| **JURÁSICO SUPERIOR** | | |
| Jsb | Formación Brechas de Buenavista | Brecha y conglomerado masivo constituidos por fragmentos y bloques angulosos a subredondeados con diámetros a veces mayores a un metro, de cuarzo lechoso, cuarcitas, filitas, areniscas y calizas englobados caóticamente en un cemento silíceo. |
| **PALEOZÓICO INFERIOR - PRECÁMBRICO** | | |
| Pcg | Capas Rojas de Guatiquía | limolitas, areniscas de grano fino y arcillolitas rojas, verdes y grises, bien a regularmente cementadas |
| Pdp | Lutitas de Pipiral | Potente secuencia de estratos de lutitas negras o gris verdoso con algunos lentes de caliza |
| Pdg | Areniscas de Gutiérrez | Arenita cuarcítica, intercaladas con capas de argirita, gris, verde, negra y roja. |
| Peqs, Peqg1, Peqg | Grupo Quetame | Rocas metamórficas |

- Unidades hidroestratigráficas:

Se presentan las unidades hidroestrátigraficas en la Tabla 4. 7

**Tabla 4. 7.** Unidades hidroestratigráficas de Villavicencio.

| Formación | | Breve descripción geológica | Comportamiento hidrogeológico |
|---|---|---|---|
| Qalr | Aluvial reciente | Conformados por arenas y cantos redondeados tipo grava y se encuentran restringidos a los cauces actuales de los ríos, caños y quebradas que actualmente surcan la planicie aluvial. | Acuífero productividad intermedia |
| Qc | Coluvial | Conformados por bloques angulares mezclados con fragmentos de menor tamaño hasta finos, sin cohesión ni cementación. | Acuífero productividad intermedia |
| Qal | Aluvial | Corresponde a depósitos de gravas, arenas y arcillas, depositados por los ríos Meta, Metica, Negro y Guayuriba. | Acuífero productividad intermedia |

| Formación | | Breve descripción geológica | Comportamiento hidrogeológico |
|---|---|---|---|
| Tar | F. Areniscas del Limbo | Areniscas blancas amarillentas, de grano muy grueso; incluyendo pequeñas capas de carbón. | Acuífero productividad alta |
| Tal | Arcillas del Limbo | Arcillolitas de color gris, verde, a veces violácea, con frecuentes intercalaciones de areniscas blancas, cuarzosas de grano medio, en capas de hasta tres metros, cuyo espesor total se estima es superior a 250 metros. Esta unidad suprayace concordantemente al Grupo Palmichal | Basamento hidrogeológico |

Fuente: (Consorcio Hidrogeología del Llano, s.f.)

- Dinámica de flujo y recarga:

El agua subterránea del acuífero cuaternario presenta un movimiento regional Oeste-Este. *(Ibíd.)* .

La recarga del acuífero en Villavicencio se produce de tres maneras, dos de ellas son naturales y la otra, es antrópica. *(Ibíd.)* .

- Natural:

Recarga del tipo autóctona directa, por la precipitación que cae en la cuenca que se ha denominado “recarga local”. *(Ibíd.)* y recarga del tipo alóctona que se produce en las zonas más altas topográficamente del piedemonte llanero, se ha denominado “recarga”. *(Ibíd.)* .

- Antrópica:

Se relaciona con las pérdidas técnicas de la red de acueducto municipal. *(Ibíd.)* .

La zona de descarga son todos los cursos superficiales y los humedales que se encuentran en el área, siendo los colectores principales los ríos Guatiquia y Ocoa. *(Ibíd.)* .

- Usos del agua subterránea:

Se han identificado 110 pozos dentro del perímetro urbano de Villavicencio, identificándose 148 usuarios probables del recurso hídrico subterráneo. Así mismo se han identificado 81 probables contaminantes del recurso hídrico subterráneo. *(Ibíd.)* .

- Vulnerabilidad y problemas socioambientales:

Entre las actividades posibles contaminantes se han identificado: estaciones de servicio, talleres mecánicos, fábricas de alimentos, establecimiento de producción de lácteos, instituciones médicas, cementeras, molinos, lavanderías, comercios de insumos agrícolas y cementerio. *(Ibíd.)* .

#### *4.3.3.2. Sistema Acuífero Yopal Tauramena SAP3.2*

El cuadrángulo k-13, Tauramena está localizado en la Cordillera Oriental. Sus principales poblaciones por su densidad y desarrollo económico, corresponden a los municipios de Aguazul, Tauramena, Monterrey y Pajarito. (INGEOMINAS, 1981).

La temperatura media varía según la zonas, desde los 15 °C hasta 28 °C. (*Ibíd.).* La red hidrográfica está constituida por los ríos Tua, Cusiana, Unete, Charte y sus afluentes. (*Ibíd.)*

En el área afloran rocas sedimentarias pertenecientes a las cuencas de los Farallones y Borde Llanero principalmente. La edad de estas rocas abarca desde el Berriasiano al Pleistoceno. (*Ibíd.).*

*Cuenca de los Farallones:*

De esta cuenca afloran en el área de estudio, de más antigua a más joven, las siguientes unidades: Grupo Cáqueza, Formaciones Fómeque, Une y Chipaque, cuya edad va del Berriasiano al Coniaciano. (*Ibíd.).*

*Cuenca del Borde Llanero:*

Dentro de esta cuenca se han distinguido las siguientes unidades de la más antigua a la más joven: Grupo Palmichal y las Formaciones Arcillas de El Limbo, Areniscas de El Limbo, San Fernando, Diablo, Caja y La Corneta. (*Ibíd.).*

#### *4.3.3.3. Sistema Acuífero Arauca-Arauquita SAP3.3*

En los municipios de Arauquita, Puerto Rondón y Cravo Norte y Arauca se han perforado algunos pozos para abastecimiento doméstico y público de los cuales solo se sabe por información verbal que tienen profundidades menores de 80 metros y caudales del orden de 5-10 litros por segundo (GEOCONSULTA, 1984).

En el campo de Caño Limón (Arauquita-Arauca) se explotan los ocho pozos ya mencionados cuyas profundidades varían entre 150 y 450 metros. La productividad de estos pozos se determinó entre 12.6 y 45 gpm/pie.

### 4.4. Provincias Hidrogeológicas costeras e insulares PC

Las Provincias Hidrogeológicas del Andén Pacífico alojan acuíferos asociados a sedimentos recientes de los ríos Atrato, San Juan y Baudó. Se reconocen potencialidades en los sedimentos arenosos terciarios que infrayacen los sedimentos fluviales.

En la Vertiente Atlántica las Provincias Hidrogeológicas están vinculadas al desarrollo y necesidades de abastecimiento de la población y por ello han sido objeto de estudios exploratorios que han avanzado hasta la evaluación del estado y dinámica del recurso en acuíferos de importancia estratégica en los departamentos de La Guajira, Bolívar, Magdalena, Sucre, Córdoba y Antioquia. En la Provincia Hidrogeológica de Urabá se explotan como acuíferos los sedimentos fluviales recientes de los ríos Chigorodó, Carepa, Currulao, Mutatá y Turbo así como rocas clásticas semiconsolidadas del Paleógeno-Neógeno. Estas explotaciones abastecen de agua a los municipios de Turbo y Chigorodó y se aprovechan en un 70% para la agricultura (especialmente en las plantaciones de banano), abastecimiento doméstico (13.6%) y empresas de acueducto (10.7%). El resto es utilizado por los sectores industrial y ganadero (Ríos y Martínez, 1995).

La Provincia Sinú-San Jacinto abarca los extremos nor-occidentales de los departamentos de Antioquia, Córdoba, Sucre, Bolívar y Magdalena, y todo el departamento del Atlántico. Se destacan sedimentos recientes (depósitos eólicos, de playa y sedimentos fluviales), conformados principalmente por arenas ubicados al norte de la zona y en el Golfo de Morrosquillo; rocas sedimentarias consolidadas y poco consolidadas de origen continental, las cuales afloran al este de la Serranía de San Jacinto; y rocas sedimentarias de origen marino que aparecen al norte del Canal del Dique y en la Serranía de San Jacinto. Los sedimentos recientes dan lugar a acuíferos libres con permeabilidad primaria, las rocas de origen continental conforman acuíferos de libres a confinados con permeabilidad primaria, y las rocas de origen marino presentan acuíferos locales, libres a confinados, con permeabilidad primaria y secundaria. Los acuíferos en rocas consolidadas de origen continental son explotados por pozos perforados entre profundidades de 37 y 120 metros, la mayoría de ellos ubicados en los municipios de Sincelejo, Corozal y Morroa donde se reconocen sectores sobreexplotados con descensos sostenidos de niveles estáticos de los pozos. La mayoría del agua subterránea es destinada para abastecimiento público y doméstico, y por el sector agricultor (Ingeominas, 1988b; Barrera et ál., 1988; Manjarrés, 1990).

La Provincia Hidrogeológica del Valle Inferior del Magdalena se extiende desde las poblaciones de Tamalameque (Cesar) y El Banco (Magdalena), hasta el extremo sur del sector de Ciénaga. Abarca parte de los departamentos del Cesar, Magdalena, Bolívar, Sucre, Córdoba y Antioquia. Los principales acuíferos de esta zona se han desarrollado en los sedimentos recientes depositados por el Río Magdalena y sus tributarios (González et ál., 1988). La mayoría de las captaciones son usadas para abastecimiento doméstico y abrevadero de animales (Barrera et ál., 1990).

La Provincia de La Guajira corresponde a la región natural del país con mayor índice de aridez en Colombia. En esta zona se encuentran depósitos recientes asociados a sistemas fluviales, eólicos y de playa, con espesores no mayores de cien metros. Los acuíferos formados en estos sedimentos son de tipo libre (Ingeominas, 1988b, Barrera et ál. 1989). Por debajo de estos sedimentos se encuentra una secuencia de rocas sedimentarias de origen marino a transicional, que tiene permeabilidad primaria y secundaria, la cual da lugar a un acuífero confinado de espesor no conocido, localizado a 180-190 metros de profundidad. El agua de los acuíferos libres varía entre débilmente dulce a salobre, y el acuífero confinado presenta en su mayor parte aguas con alto contenido de sales.

La Provincia Insular de Colombia corresponde al Sistema Acuífero de San Andrés, en el Mar Caribe. Está constituida por antiguas terrazas arrecifales en la zona plana de la isla, colindando con la línea costera y una secuencia de calizas in situ, corales y rocas sedimentarias detríticas formadas por fragmentos de calizas y corales (Geister, 1995). El agua de estas unidades acuíferas es destinada básicamente para consumo doméstico y para los sectores comercial y hotelero de la isla. El acuífero de la Formación San Andrés es explotado mediante 30 pozos con profundidades no mayores de 90 metros. La mayoría de estos pozos pertenecen al sistema de acueducto (Toro et ál., 1999).

### *4.4.1. Provincia Hidrogeológica Sinú-San Jacinto PC1*

Está limitada al sur por las estribaciones de la Serranía de San Jacinto hasta las estribaciones de la Cordillera Occidental (Serranías de Abibe, San Jerónimo), al este por el sistema de fallas de Romeral y al oeste por la Falla de Dabeiba. Figura 4.37. (En Vargas, N.O, 2001).

La cuenca ha sido objeto de estudios detallados que permiten elaborar un modelo hidrogeológico conceptual en el cual se integra la información geológica, geofísica e hidrogeoquímica disponible en la región. Reviste de gran importancia la evaluación de este modelo por las limitaciones de recurso hídrico superficial principalmente en las zonas aledañas a Sincelejo, Corozal, Ovejas y Morroa. Cabe anotar que las poblaciones de Sincelejo, Corozal y Morroa se encuentran sobre la zona de recarga del denominado acuífero de Morroa que se encuentra plegado en esta región. La cuenca abarca además la región de los departamentos de Bolívar y Atlántico al norte del Canal del Dique. (En Vargas, N.O, 2001).



Provincia Sinú San Jacinto

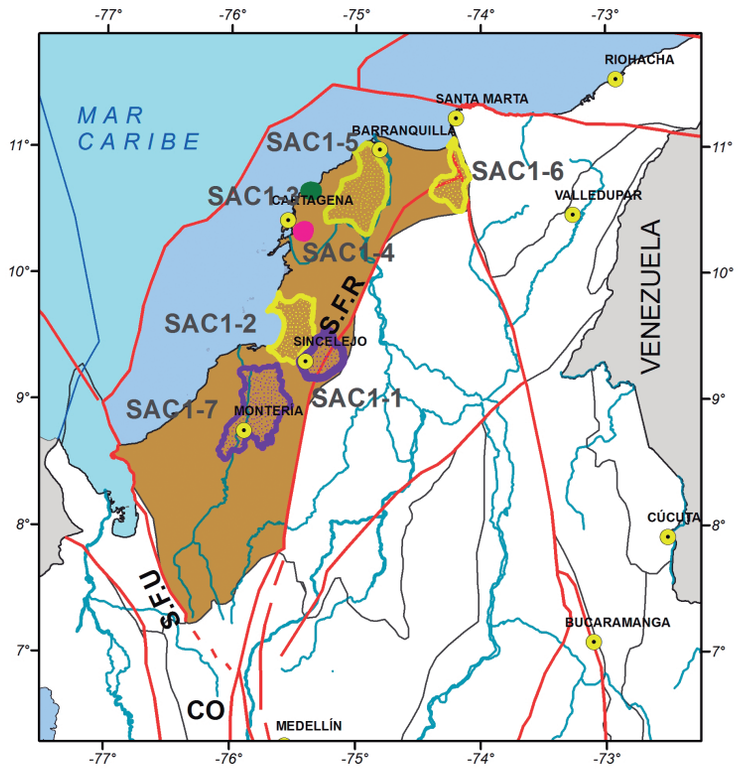
**LÍMITE**

Norte - noreste: Línea de Costa Acual del Mar Caribe

Oeste: Sistema de fallas de Uramita (S.F.U.)

Sur: Rocas cretácicas de la Cordillera Occidental (C.O)

Este: Sistema de fallas de Romeral (S.F.R)




**SISTEMAS ACUÍFEROS**

SAC 1-1. Sincelejo-Morroa
SAC 1-2. Golfo de Morrosquillo
SAC 1-3. Arroyo Grande
SAC 1-4. Turbaco
SAC 1-5. Barranquilla-Sabanalarga
SAC 1-6. Santa Marta
SAC 1-7. Ciénaga de Oro

Fuente: Modificado de ANH, 2007

**Figura 4. 37.** Ubicación de la provincia hidrogeológica de Sinú-San Jacinto. Modificado de ANH, 2007.

La zona corresponde al cinturón de San Jacinto adyacente a la plataforma marina. Se caracteriza por una sucesión basal de pelagitas suprayacidas por turbiditas del Grupo Cansona que constituyen el núcleo de los anticlinales de San Jacinto, San Jerónimo y Luruaco. La secuencia esta suprayacida

por interestratificaciones de areniscas y lutitas de las formaciones San Cayetano Inferior y Superior, areniscas lutitas y calizas de las formaciones San Jacinto, Ciénaga de Oro (Toluviejo), Porquera, Cerrito, Sincelejo, Morroa y Betulia. Estas secuencias estratigráficas conforman una región inestable, muy plegada sobre la corteza oceánica y una región estable o de pataforma no plegada sobre la corteza continental al oriente de la serranía de San Jacinto. Hacia el canal del Dique la orogenia preandina generó el anticlinal de Luruaco y durante la orogenía se genero el sinclinal de Tubará, anticlinal de Sibarco y sinclinorio de Sabanalarga (Ingeominas, 1988b). Figura 4.38 y 4.39. (En Vargas, N.O, 2001).

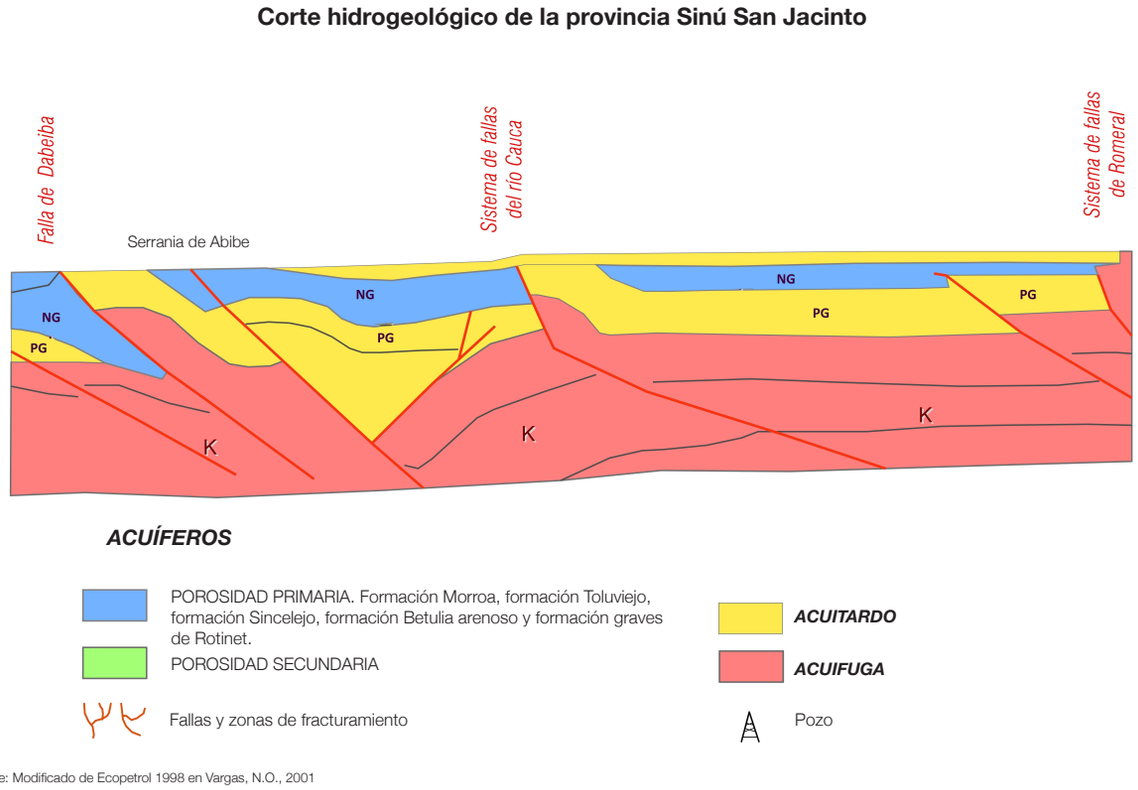



**Figura 4. 38.** Corte hidrogeológico básico de la provincia Sinú-San Jacinto. Modificado ECOPETROL 1998 en Vargas, N. O., 2001.

De acuerdo con las características hidrogeológicas en la zona se distinguen las siguientes tipos de unidades roca-sedimento:

*I. Acuíferos en los cuales la porosidad primaria es intergranular:*

En este grupo se encuentran los sedimentos arenosos y de grava de la Formación Betulia que localmente también se comporta como acuitardo por las interdigitaciones de arcillas. Igualmente, se reconocen acuíferos en las areniscas friables y conglomeráticas de la Formación Morroa, Sincelejo y Cerrito.

Hacia el norte del Canal del Dique pertenecen a esta categoría los sedimentos aluviales y de terraza, depósitos eólicos recientes y antiguos y las Gravas de Rotinet expuestas en cercanias al Canal del Dique, las Ciénagas el Guájaro y Totumo y al SW del pueblo de Juan de Acosta. Además la Unidad Detrítica del Popa en la parte occidental del canal del Dique y el Conglomerado de Isabel López en Usiacurí, Isabel López y la Peña (Ingeominas, 1988b) (En Vargas, N.O, 2001).

*II. Acuíferos en rocas consolidadas con porosidad primaria y fisuradas con porosidad secundaria:*

A esta clasificación se asocian los acuíferos de poca extensión y espesor que se desarrollan en las areniscas y conglomerados de las Formaciones Ciénaga de Oro y San Cayetano.

A esta categoría pertenecen además al norte del canal del Dique las unidades Areniscas de San Vicente, Calizas Arrecifales del Popa y Conglomerado de Pendales en las poblaciones de Tubará, Baranoa, Arroyogrande, Arjona, Piojó, Pendales y Luruaco. (En Vargas, N.O, 2001).

*III. Rocas granulares o fisuradas que forman acuíferos insignificantes con recursos limitados o sin recursos:*

A esta categoría corresponden los niveles arcillosos de las formaciones Betulia, Sincelejo, Porquera, San Jacinto y San Cayetano. Actúan como acuicludo las lutitas de la Formación Cansona y como acuífuga las rocas que conforman el basamento precretáceo.

Al norte del canal del Dique se comportan como acuicludos las unidades Volcanes de Lodo, Arcillolitas de Sibarco, Arcillolitas de Bocatocino y Turbiditas de Luruaco. (En Vargas, N.O, 2001).

En esta cuenca entre los departamentos de Córdoba y Sucre se han estimado transmisividades entre 100 y 400 $m^2$/día y caudales de explotación entre 10 y 40 lps en las unidades del Paleógeno-Neógeno. En Tolú se han inventariado cinco pozos con niveles estáticos entre 0.5 y 2.80 metros, caudales de explotación de 14 lps y capacidades específicas de 1 l/s/m que captan los depósitos recientes no consolidados. En Sahagún el nivel estático se encontró a 23 metros y se extraen caudales entre 3 y 7.5 lps con pozos entre 52 y 137 metros y capacidades específicas del orden de 0.1-0.7 l/s/m. En Corozal se inventariaron 23 pozos que captan aguas de la Formación Morroa y Betulia con producciones entre 8 y 50 lps y profundidades entre 90 y 120 metros, transmisividades entre 140 y 400 $m^2$/día y coeficientes de almacenamiento de $7*10^{-4}$ encontrándose los niveles estáticos entre 15 y 50 metros. En Sincelejo los niveles estáticos han descendido hasta 70 metros, se midieron transmisividades de 45-83 $m^2$/día, se reportan 47 pozos con baja producción y captan de las formaciones Morrroa y Betulia con capacidades específicas que varían entre 0.4 –0.13 l/s/m. En Morroa se han inventariado 18 captaciones (Ingeominas, 1988b).

Al norte del Canal del Dique las unidades cuaternarias aluviales, de terraza y gravas de Rotinet han dado transmisividades de 400 $m^2$/día, coeficientes de almacenamiento de $1*10^{-4}$, capacidades especificas de 0.9 l/s/m y producen caudales de 20 lps (Ingeominas, 1988b). (En Vargas, N.O, 2001).

En las unidades consolidadas con porosidad primaria al norte del Canal del Dique se explotan caudales entre 0.5 y 5 lps en acuíferos con transmisividades de 13 a 85 $m^2$/día, coeficientes de

almacenamiento de 8.7 *10-$^{5}$ y capacidades específicas de 0.3 l/s/m. En total en esta zona se han inventariado105 pozos con profundidades que oscilan entre 30 y 250 metros, 549 algibes con profundidades entre 2 y 35 metros y 10 manantiales (Ibídem). (En Vargas, N.O, 2001).

En inmediaciones de Monteria al sur del río Sinú en los depósitos cuaternarios se determinó un nivel estático de 3.93 metros, transmisividades de 46.5 m$^{2}$/día, coeficientes de almacenamiento de 7.04*10-$^{3}$ y capacidades específicas de 0.2742 l/s/m. Estos depósitos se explotan mediante algibes para uso doméstico y abrevadero de animales. En los depósitos terciarios el nivel estático se determino en 9.55 metros (Barrera, Cañas, Daconte, 1988). (En Vargas, N.O, 2001).

En Ciénaga y sus alrededores se inventariaron 68 puntos de agua que corresponden a 53 pozos, 14 algibes y un manantial. Los pozos tienen profundidades entre 7 y 90 metros con caudales de explotación promedio de 50 lps. La mayor parte se encuentran sobre la llanura aluvial y se utilizan para consumo humano y regadio de cultivos, principalmente banano (Manjarrés, J. 1990). (en Vargas, N.O, 2001).

El agua se ha reportado dulce, bicarbonatada cálcica blanda. En general, tienen alto contenido de sólidos disueltos totales, especialmente bicarbonatos y cloruros (Ingeominas, 1988b).

El agua de las unidades recientes y del Paleógeno-Neógeno poco consolidadas al norte del canal del Dique es de tipo carbonatada cálcica a sódica, blanda a moderadamente dura, poco dulce a salobre (conductividades de 60 a 300 ms/m. El agua subterránea de las unidades hidrogeológicas consideradas acuíferas se encuentran dentro de los limites de potabilidad permisibles para consumo humano y es recomendable para casi todos los suelos. Actualmente se usa para consumo doméstico, abrevaderos de animales y pequeños regadíos (Ingeominas, 1988b). En vecindades de Montería el agua caracteriza como dulce, ácida , blanda y se clasifica para irrigación como C1S1. (En Vargas, N.O, 2001).

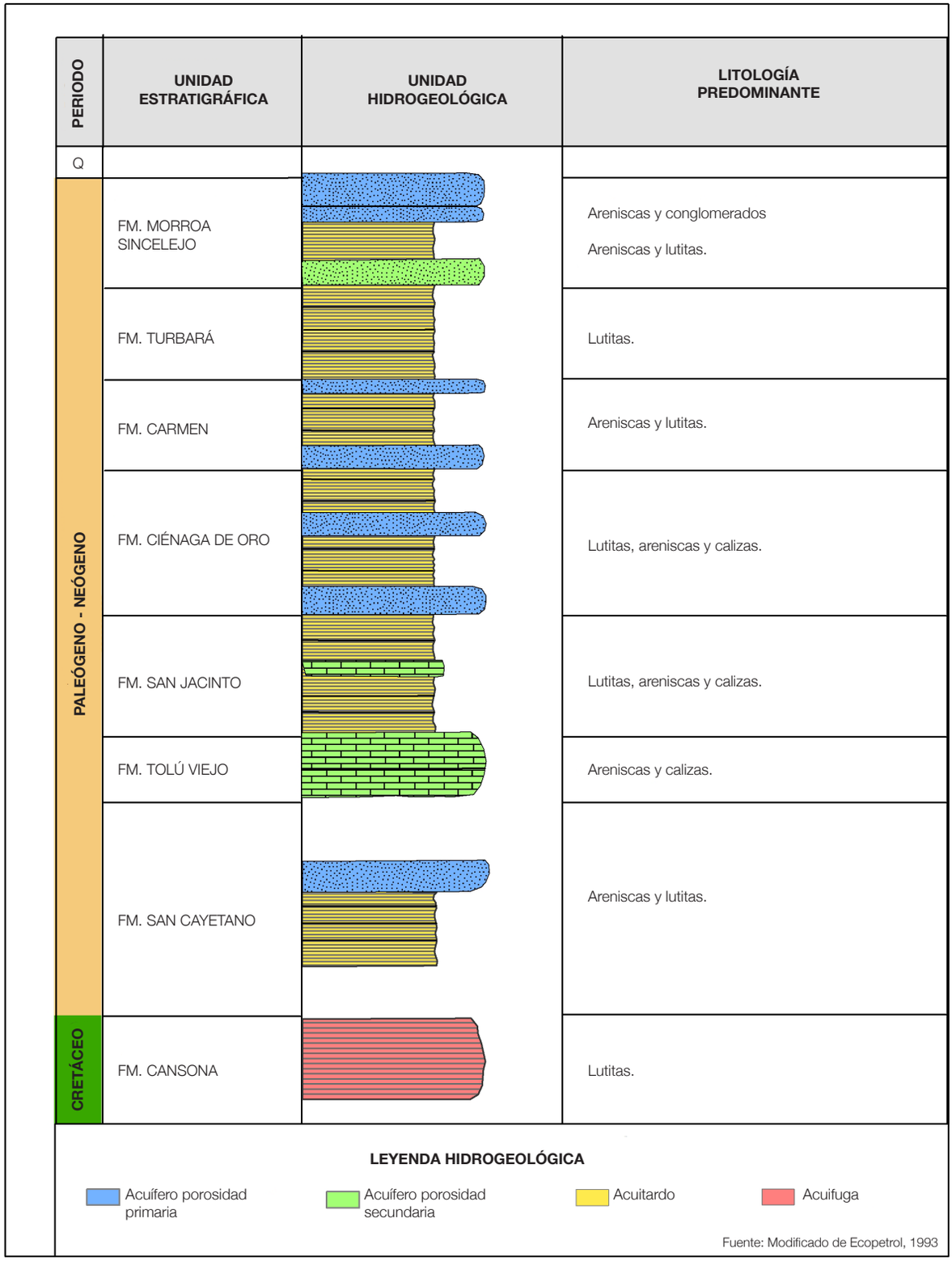



**Figura 4. 39.** Columna estratigráfica generalizada de la provincia Sinú-San Jacinto. Modificado de ECOPETROL, 1998.

### *4.4.1.1. Sistema Acuífero Morroa-Sincelejo SAC1.1*

El Sistema Acuífero Morroa Sincelejo se encuentra localizado en la parte central del departamento de Sucre y comprende los municipios de Ovejas, Los Palmitos, Corozal, Morroa, Sincelejo y Sampués, cubriendo un área de 1120 km$^2$. (CARSUCRE, 2005). Figura 4. 40.

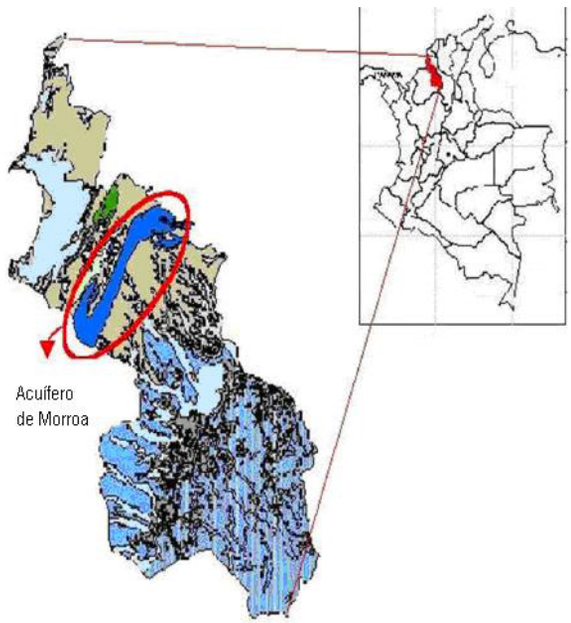



**Figura 4. 40.** Localización del Sistema Acuífero de Morroa. (Modificado de CARSUCRE, 2005).

- Generalidades hidroclimáticas:

La temperatura promedio de la zona se encuentra alrededor de los 28 ºC y la precipitación anual está entre 1000 y 1200 mm. La red hidrológica de la zona de estudio se encuentra limitada por corrientes superficiales temporales que solo llevan agua en épocas de lluvia, llamadas arroyos. Algunos de estos arroyos reciben directamente las aguas residuales de los sistemas alcantarillados de las zonas urbanas. (CARSUCRE, 2005).

- Geología:

En el departamento de Sucre afloran rocas sedimentarias y sedimentos no consolidados de origen marino, transicional y continental, con edades que van desde el Cretáceo Superior al Cuaternario. En esta zona se han identificado tres formaciones: la Formación Morroa que suprayace a la Formación Sincelejo e infrayace a la Formación Betulia. (CARSUCRE, 2005, p. 23).

De acuerdo a los resultados del convenio Colombo-Holandés (1991) citado por CARSUCRE (2005) la Formación Sincelejo inferior está compuesta por un conjunto de areniscas arcillosas “sucias” con cemento arcilloso-calcáreo, capas conglomeráticas y un conjunto arcilloso.

La Formación Sincelejo superior está conformada por una serie de areniscas micáceas de grano fino a medio, poco cementadas con cemento arcilloso, alternando con areniscas conglomeráticas compuestas por cantos de liditas y cuarzo, mejor cementados, donde el cemento calcáreo es dominante. (*Ibíd.* p. 6.).

La formación Morroa aflora en toda la zona de estudio, formando una franja amplia y alargada que se extiende en dirección N 10° E, con un promedio de 3 km de ancho cubriendo las cabeceras municipales de Sincelejo, Corozal, Morroa, Los Palmitos y Sampués. (*Ibíd.* p. 6.).

Herrera (1994) citado por CARSUCRE (2005) determina que esta formación está constituida principalmente por "capas de areniscas friables y conglomerados poco consolidados, intercalados con capas de arcillolitas, producto de la sedimentación detrítica en un ambiente típico de abanico aluvial y cauces aluviales.

La Formación Betulia aflora en la parte oriental del área de estudio y se encuentra suprayaciendo en aparente concordancia a la Formación Morroa. Litológicamente está constituida por una secuencia monótona de arcillas abigarradas con intercalaciones de arcillas arenosas, arcillas con gravas y delgadas capas y lentes de arenas arcillosas. (CARSUCRE, 2005).

Además de las formaciones mencionadas anteriormente, CARSUCRE (2005) cita igualmente los depósitos aluviales que se encuentran asociados a los principales arroyos de la zona. En general son de poco espesor y están formados por arenas sueltas, gravas, arcillas y limos, producto de la sedimentación detrítica de estas corrientes.

- Unidades hidroestratigráficas:

El Sistema Acuífero de Morroa, es un acuífero complejo, continuo y de extensión regional, constituido por capas semiconfinadas y confinadas de areniscas y conglomerados poco consolidados, intercalados con capas de arcillolitas, producto de la sedimentación detrítica en un ambiente típico de abanico aluvial y cauces aluviales. (CARSUCRE, 2005, p. 25).

Giraldo (2010) cita que el Sistema Acuífero de Morroa se subdividió en cuatro grupos principales:

- Morroa Areno-conglomeráticas: la conforman los niveles acuíferos A y B
- Morroa Arenosa: Correspondiente con los niveles acuíferos C y D
- Morroa Areno Arcillosa: constituida por los niveles E y F
- Morroa Arcillosa: la conforman las capas y lentes de arcilla que separan los niveles acuíferos de la formación.

La distribución de los niveles acuíferos mencionados anteriormente se presenta en la Figura 4. 41.

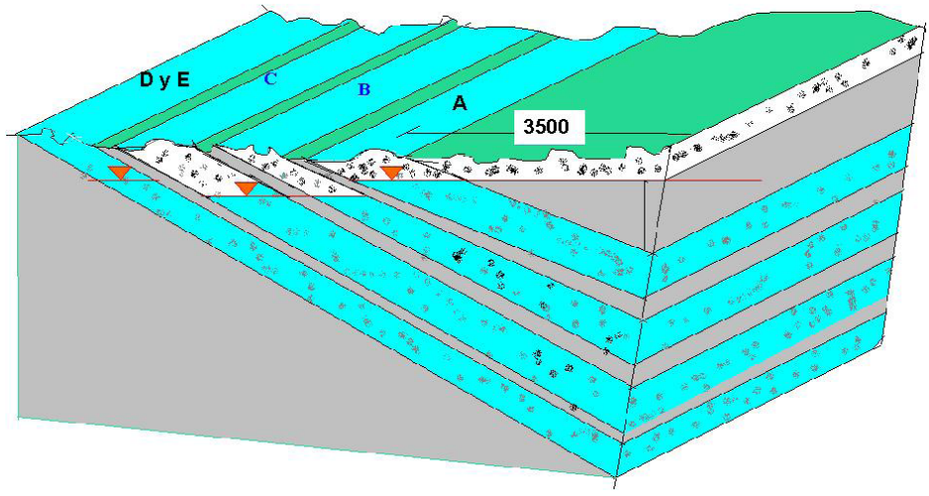



**Figura 4. 41.** Niveles acuíferos A, B, C, D y E. (CARSUCRE, 2005).

La Tabla 4. 8 resume alguna de las características de los niveles que conforman el acuífero Morroa. La información base fue tomada del informe de CARSUCRE (2005).

**Tabla 4. 8.** Resumen de las principales características hidrogeológicas de los niveles del Sistema Acuífero Morroa. (Recopilado de Carsucre, 2005).

| Nivel | Litología | Espesor capas permeables (m) | Permeabilidad | Conductividad Hidráulica (m/día) |
|---|---|---|---|---|
| A | Areniscas líticas de grano fino hasta grueso de color gris claro y pardo, con lentes conglomeráticos y algunas capas y lentes de arcillas | 30-226 | Primaria Alta | 2,8 |
| B | Areniscas muy friables de grano fino a medio de color amarillo a ocre, con lentes y capas de gravas sueltas hacia el techo y delgadas capas de arcilla finamente estratificadas | 38-164 | Primaria moderada a alta | 0,5 |
| C | Líticas finas de color gris, areniscas líticas medias ferruginosas, lentes y capas de gravas de color gris, amarillento areniscas arcillosas muy friables y algunos lentes de arcillolitas | 40-60 | Primaria Alta | |
| D y E | Areniscas líticas medias de color amarillo grisáceo algo consolidadas, areniscas finas arcillosas, algunos lentes conglomeráticos y lentes arcillosos | 40-50 para el D 40-50 para el E | primaria baja a moderada (nivel D) y moderada a alta (nivel E) | |

El casco urbano de los Municipios de Corozal y Los Palmitos se encuentra sobre el nivel acuífero A, además de las comunidades de Pileta, El Mamón y Don Alonso. El nivel B se encuentra sobre el casco urbano del Municipio de Morroa y el corregimiento de Chochó, se encuentra correlacionado con los niveles C y D. Este nivel acuífero es el que presenta una mayor explotación en el área de estudio. (CARSUCRE, 2005).

El nivel C está correlacionado con los niveles E y F. Los niveles D y E en superficie se unen con el nivel C prolongándose en forma de franja delgada a 3 kilómetros al norte de Los Palmitos, de donde vuelven a ampliarse, haciéndose difícil su diferenciación. Finalmente existe un nivel F, el cual aflora desde el noroccidente del casco urbano de Morroa hasta el sur del corregimiento de Bremen. El espesor de las capas permeables se desconoce debido a que es la base de la Formación Morroa y no se han reportado pozos profundos que capten este nivel. (CARSUCRE, 2005).

La Figura 4. 42 muestra un modelo hidrogeológico conceptual para el Sistema Acuífero de Morroa.

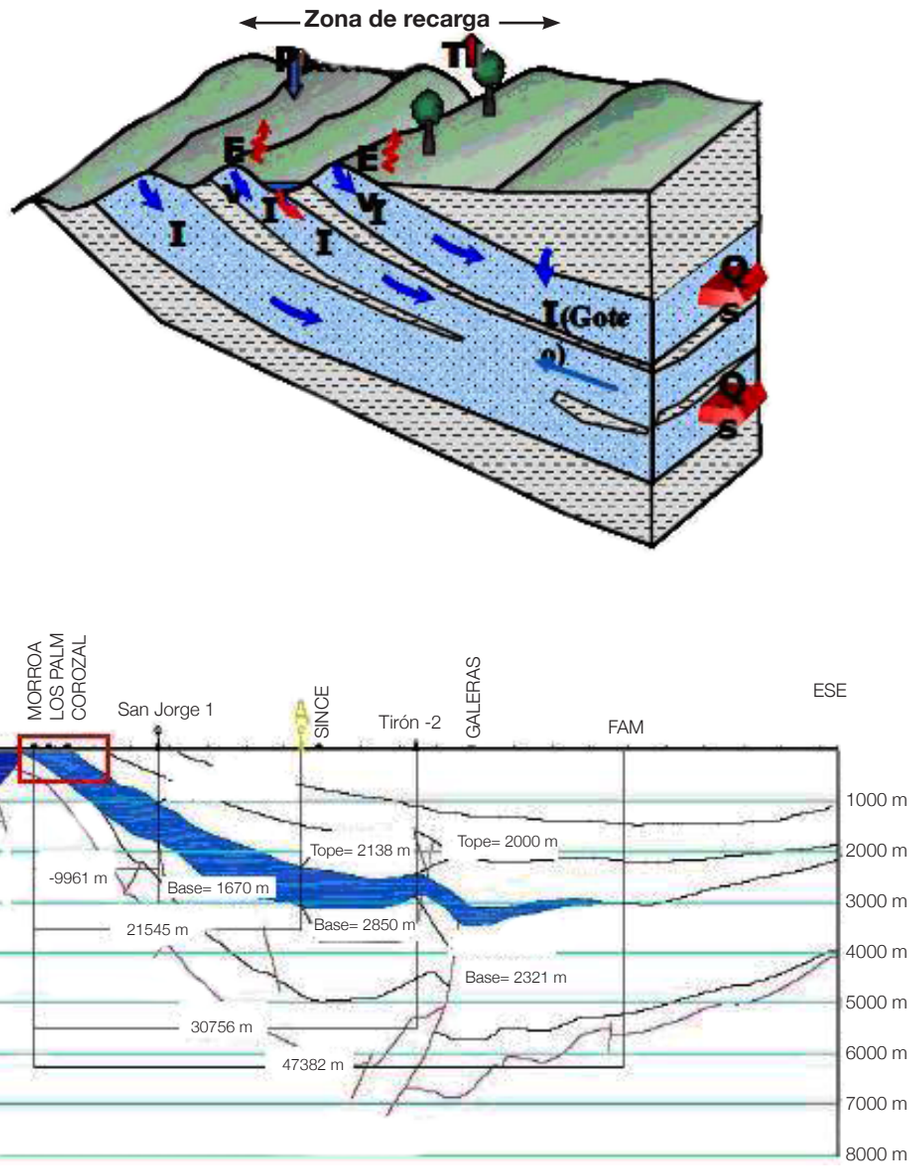



**Figura 4. 42.** Modelo hidrogeológico conceptual y modelo sísmico regional para el Sistema Acuífero de Morroa. (IAEA, 2009)

### Dinámica de flujo y recarga:

Para el monitoreo de los niveles, se conformó una red de 53 puntos, de los cuales 14 son piezómetros y 39 son pozos de producción. De acuerdo a los resultados presentados en el informe de CARSUCRE (2005) se infiere que la dirección general del flujo natural del acuífero es NW-SE y ha sido modificada localmente por los pozos activos, sobre todo en la zona del campo de pozos de Sincelejo, Corozal y Morroa.

El INGEOMINAS en 1992b realizó un balance hídrico para varios tramos del acuífero, dando como resultado valores de recarga anuales para cada tramo: Corozal-Los Palmitos-El Bongo con 115,2 mm, Ovejas con 179 mm, Chinú-Sampués-Sincelejo con 92,9 mm y finalmente Chochó-Morroa -Corozal con 59,3 mm de recarga anual.

### Características hidráulicas y productivas:

En la Tabla 4. 8, se presentó un resumen de la permeabilidad y la conductividad hidráulica para los niveles del acuífero de Morroa, siendo estos en su gran mayoría acuíferos de muy buena permeabilidad y tal como lo cita CARSUCRE (2005) son acuíferos que tienen características que favorecen a la recarga y almacenamiento de agua.

Villegas & Pacheco (2003) hacen hincapié en el cuidado que se debe tener a la hora de consultar los parámetros hidráulicos, puesto que los pozos utilizados para la determinación de los mismos captan agua de distintos niveles con lo cual no se puede hablar que esos parámetros pertenecen absolutamente a cada uno de los niveles.

El sector más crítico del acuífero Morroa se encuentra en la zona del campo de pozos de los acueductos de los municipios de Sincelejo, Corozal, Morroa y Betulia. Esta zona tiene un ancho promedio de 7 km y se extiende desde el sur de los Palmitos hasta el norte el corregimiento de Don Alonso a lo largo de 19 km, ocupando una superficie de 133 $km^2$. En esta área se calcularon las reservas totales del acuífero de Morroa, dando como resultado 3.286’260.188 $m^3$ y las reservas explotables (reservas que sean técnica, económica y ambientalmente explotables) fueron estimadas en 719.691.835 $m^3$. (CARSUCRE, 2005).

### Calidad del agua:

Específicamente para el nivel A se realizaron análisis fisicoquímicos para pozos que captan el agua desde 65m hasta 390m. El agua de los pozos menos profundos (<150m) y cercanos a la posible zona de recarga, se caracterizan por ser de tipo bicarbonatada cálcica, mientras que el agua de los pozos más profundos (>150m) tienen agua bicarbonatada sódica. (CARSUCRE, 2005, p. 37).

Las aguas de los piezómetros 44-IV-DPZ- 14 y 44-IV-D-PZ-17, que son de tipo geoquímico diferente, están asociadas con una posible contaminación. El agua de los piezómetros 14 y 17, está contaminada, bacteriológicamente, con coniformes fecales, lo mismo que el agua de los pozos de Pileta y el Pozo 44-IV-DPP- 28 de los Palmitos. ( *Ibíd.* p. 37)

- Resultados estudios isotópicos:

De acuerdo a los análisis de isótopos estables citados por CARSUCRE (2005), se tiene que las condiciones climáticas cuando se infiltró el agua en el Nivel A tienen las mismas condiciones de lluvia actual. Los resultados obtenidos por medio de isotópos radioactivos permiten inferir que el agua de este acuífero tiene una edad entre 836 y 5168 años, esto indica que la recarga actual es casi inexistente.

- Usos del agua subterránea:

En el informe de CARSUCRE (2005) se presentan los resultados del cálculo de la demanda de agua para uso doméstico, institucional e industrial, dando como resultado una demanda de agua total en todo el acuífero Morroa de 1340 l/s, mientras que la demanda de agua en el área crítica, conformada por el campo de pozos de Sincelejo, Corozal, Morra y San Juan de Betulia, es 1057 l/s equivalentes a un 78.9% de la demanda total.

Cuando se compara la cantidad de agua que se extrae actualmente en el campo de pozos de Sincelejo, Corozal y Morroa (800 l/s) con los datos de recarga calculados (45 l/s), se evidencia claramente la intensa explotación a que está actualmente sometido el acuífero, lo que explica los descensos continuos en los pozos y pone en peligro inminente la sostenibilidad de este recurso hídrico. (CARSUCRE, 2005).

#### *4.4.1.2. Sistema Acuífero Golfo de Morrosquillo SAC1.2*

El departamento de Sucre se encuentra localizado en la parte nororiental de Colombia, en la región de la Costa Caribe. El Sistema Acuífero se localiza en la parte occidental del departamento y comprende los municipios de Tolú, San Onofre, Coveñas y San Antero.

- Generalidades hidroclimáticas

La temperatura media mensual es de 27,4 ºC . La estación seca puede durar hasta cinco meses o más y la humedad relativa promedio es del 77%. (CARSUCRE, 2011).

La red hidrográfica del área de estudio está conformada por un sistema de corrientes superficiales temporales que solo llevan agua en las épocas de lluvia y en algunos casos agua de los manantiales del acuífero Toluviejo. (CARSUCRE, 2011).

- Geología e hidrogeología:

El Sistema Acuífero del Golfo de Morrosquillo corresponde a la unidad geológica conformada por depósitos cuaternarios de origen fluvial y marino-aluvial que suprayacen discordantemente sobre las formaciones de origen Paleógeno-Neógeno El Carmen y San Cayetano. Hacia el este en dirección de los Montes de María, estos depósitos están limitados por la Formación Toluviejo. (Martínez, 2009).

Es un acuífero de tipo libre a confinado, abierto al mar, donde el nivel piezométrico del agua subterránea fluctúa entre +0.50 m y 14 m de profundidad. Su espesor varía entre 20 y 100 m. Según el estudio de geoeléctrica los mayores espesores del acuífero ( 60 a 100 m) se encuentran en su parte central y los menores (< 20 m) en el sector norte. (CARSUCRE, 2011).

Según Herrera y Fuente, 1997 en (CARSUCRE, 2011), el acuífero es multicapa y está conformado por tres niveles (Figura 4.43):

*Nivel 1:*

Un acuífero libre de extensión local, que tiene una profundidad de 25 m, constituido por las capas de arena fina a gruesa y grava fina, con espesores que no sobrepasan los 6 m. Es explotado en su mayoría por pozos artesanos, para aprovechamientos de uso doméstico, turístico y agropecuario.

*Nivel 2:*

Acuífero semiconfinado, se encuentra a profundidades entre 26 y 50 metros a su vez está constituido por capas y lentes de arenas gruesas y gravas finas.

*Nivel 3:*

Es de tipo confinado y se encuentra a profundidades mayores de 50 metros.

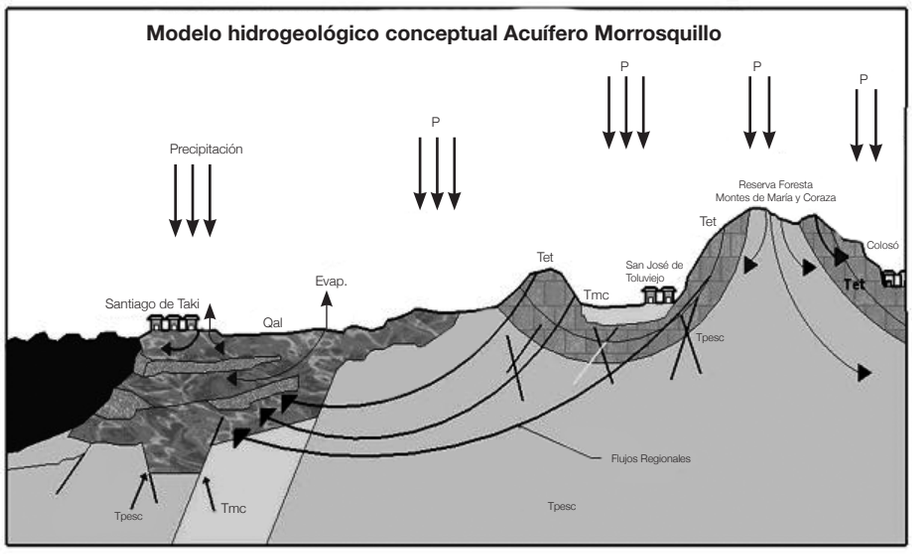



**Figura 4. 43.** Modelo hidrogeológico conceptual Acuífero Morrosquillo. (CARSUCRE, 2011)

## Características hidráulicas y productivas:

CARSUCRE realizó ensayos de dilución utilizando como trazador NaCl, en los piezómetros 44-I-D-PZ-10. Dando como resultado un flujo horizontal con magnitud de hasta 0.79 m/d, lo que

indica una conductividad hidráulica media de la franja de acuífero que lo alimenta. (CARSUCRE, 2011).

Igualmente, se han realizado pruebas de bombeo que han dado como resultado transmisividades que oscilan entre los 30 y 500 $m^2$/día y conductividades hidráulicas entre los 1 y 15 m/día. (CARSUCRE, 2011).

- Dinámica de flujo y recarga.

La dirección del flujo subterráneo va hacia el mar donde se presenta la descarga natural del acuífero, y en varios sectores se encuentran pozos con flujos artesianos surgentes. (CARSUCRE, 2011).

El Acuífero Morrosquillo recibe una recarga potencial a partir de la precipitación que cae directamente sobre su zona de afloramiento de 373.6 mm/año. Además a lo largo de una franja estrecha y alargada del piedemonte de los Montes de María puede ocurrir una recarga estacional de las corrientes superficiales, durante las épocas de fuertes lluvia y de los manantiales de la formación Toluviejo. (CARSUCRE, 2011).

- Calidad del agua y resultados isotópicos:

De acuerdo a los resultados obtenidos por Herrera se tiene que en general, las aguas superficiales presentan más relación con las aguas lluvias, que con las aguas del acuífero. No hay relación aparente entre el humedal Ciénaga La Caimanera con el acuífero Morrosquillo. Aunque existe recarga local del agua lluvia, los análisis isotópicos sugieren una recarga principal del acuífero Morrosquillo desde los Montes de María a través del acuífero Toluviejo y el acuífero San Cayetano. (CARSUCRE, 2011).

- Usos del agua subterránea:

El total de pozos inventariados por CARSUCRE está en el orden de los 1649 puntos. De los cuales el 67% corresponde a pozos profundos, el 31% a pozos artesanos y el 2% a pozos de observación y piezómetros. Los municipios que mayor número de captaciones tienen corresponden a Santiago de Tolú y Coveñas con el 78%. La gran mayoría de las perforaciones fueron hechas para el abastecimiento local de cabañas, hoteles y casas de recreo y en menor proporción para abastecimiento público de las comunidades. (CARSUCRE, 2011). Figura 4. 44.



**Figura 4. 44.** Medición de nivel piezométrico en Tolú, Sucre. Foto cedida por CARSUCRE

### *4.4.1.3. Sistema Acuífero Arroyo Grande SAC1.3*

En el estudio realizado por CARDIQUE (1998) se indentificaron las siguientes formaciones:

*Depósitos de playa:*

La ubicación de estos depósitos es a lo largo de toda la línea costera sin ningún tipo de interrupción. Esta principalmente compuesto por limos y arenas de grano medio. (CARDIQUE, 1998).

*Depósitos aluviales:*

Su nombre es asociado a depósitos de origen aluvial que se encuentran relacionados con los cauces de los arroyos principales del área. Se identifican dos zonas principales de afloramientos situadas al nororiente y suroccidente del municipio de Arroyo Grande. Generalmente se encuentran conformados por gravas finas a gruesas en una matriz compuesta por una mezcla de arena, limo y arcilla. El espesor no sobrepasa los 10 m. (CARDIQUE, 1998).

*Depósitos aluviales-terrazas:*

El afloramiento de estos depósitos se da sobre el borde oriental del acuífero, que comprende desde el municipio de Santa Catalina, en el extremo meridional, hasta la línea costera en la parte septentrional.

Se encuentran compuestos en superficie principalmente por material limo-arcilloso de color gris a gris amarillento, y en profundidad por intercalaciones arenosas y limo-arenosas. (CARDIQUE, 1998)

*Formación Arroyo Grande:*

Esta unidad geológica es la de mayor influencia y mayor extensión del acuífero de Arroyo Grande. Aflora en dirección noreste desde la región de los Matarratones al suroccidente hasta la región de Palmarito. Está compuesto por una secuencia de sedimentos no consolidados conformados por paquetes discontinuos tanto en la horizontal como en la vertical, de gravas finas a gruesas, conglomerados polimícticos, arenas de grano grueso a medio, arcillolitas y limolitas, transportados en un medio continental desde las estribaciones de la Cordillera Central, a través de un antiguo trazo del río Magdalena y algunos tributarios menores. (CARDIQUE, 1998)

*Calizas Arrecifales del Popa (T1):*

Aflora en una pequeña extensión al occidente del área de estudio, conformando la parte superior de la Loma Grande-El Mango. (CARDIQUE, 1998).

*Unidad detrítica del Popa (T2):*

Geográficamente esta unidad aflora en el extremo suroccidental del área, haciendo parte de los morros Las Marcas, La Cueva del Mero y Manantial y alrededores de Loma Grande-El Mango donde se encuentra cubierta por la Unidad Calizas Arrecifales del Popa (T1).

Conformada por una alternancia de arcillolitas, limolitas, areniscas de grano muy fino a ligeramente conglomeráticas y lentes delgados de limolitas, arcillolitas y areniscas de grano fino. Hacia el techo existe un predominio de las intercalaciones de limolitas y arcillolitas en capas delgadas y en menor proporción de areniscas de grano fino a muy fino. (CARDIQUE, 1998).

*Unidad de limonitas ferruginosas (T12):*

Aflora en el borde oriental del área de estudio, en una franja amplia de dirección noreste y parches aislados en el extremo noreste, limitada por las fallas de Clemencia al oriente y la de Arroyo Grande al occidente.

Se encuentra constituida por intercalaciones de areniscas calcáreas con limolitas ferruginosas y arcillolitas. Las areniscas que por lo general yacen en la parte basal, son de grano medio y de color amarillo claro a pardo oliva, formando capas de 0.30 a 0.80 cm de espesor con laminaciones ferruginosas y capas delgadas de limolitas silíceas grises amarillentas. (CARDIQUE, 1998).

*Arcillolitas de bocatocino (T13):*

Aflora en una amplia extensión únicamente en la parte sur-central fuera del área de estudio, al occidente del municipio de Santa Catalina. Se compone de lodolitas, arcillolitas y lodolitas arenosas de grano muy fino. (CARDIQUE, 1998).

- Dinámica de flujo y recarga:

Su recarga real se estima en 150 mm/año y una porosidad del 20%, obteniéndose un valor para las reservas estáticas de 1480 millones de $m^3$. (CARDIQUE, 1998).

- Calidad del agua:

La calidad química del agua almacenada varía desde bicarbonatada sódica, en el sector central donde el acuífero desarrolla su mayor espesor, hasta bicarbonatada clorurada-cálcica, en la medida que se acerca a la costa, siguiendo la dirección del flujo subterráneo. (CARDIQUE, 1998)

#### *4.4.1.4. Sistema Acuífero Turbaco SAC1.4*

El municipio de Turbaco se encuentra al sur de la ciudad de Cartagena de Indias. (CARDIQUE, 2006). Figura 4. 45.

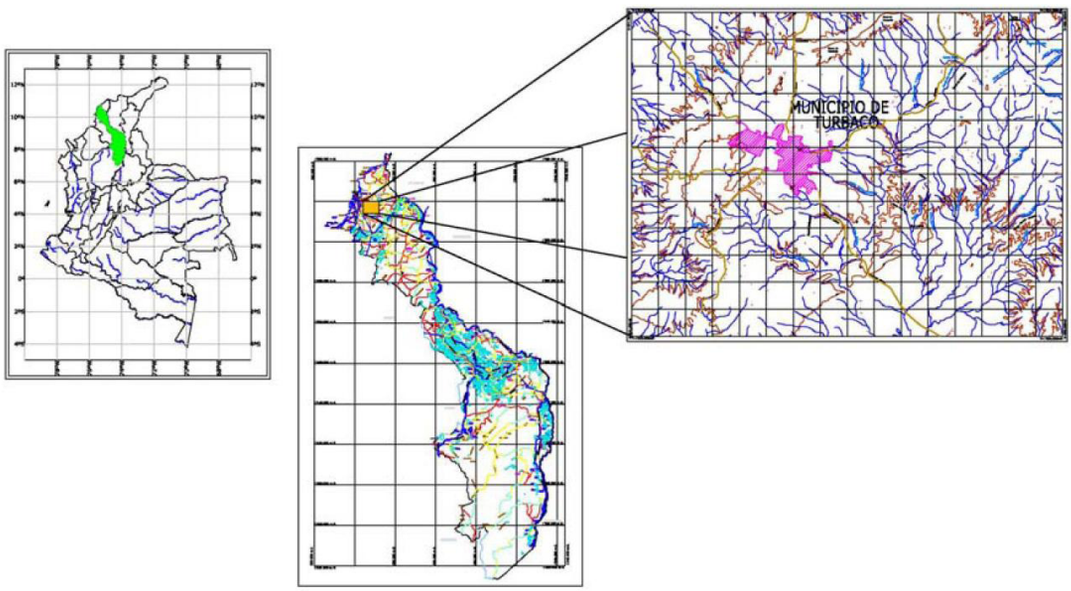



**Figura 4. 45.** Localización del Sistema Acuífero de Turbaco. (CARDIQUE, 2006)

- Generalidades hidroclimáticas:

La lluvia en el municipio y zona de influencia presenta picos de 154 y 187 mm/mes en los meses de mayo y octubre respectivamente y los períodos más secos corresponden a los meses de diciembre, enero y febrero. CARDIQUE (2006).

- Geología:

CARDIQUE (2006) cita las siguientes unidades que afloran en la zona. Tabla 4. 9.

**Tabla 4. 9.** Unidades geológicas que afloran en el Sistema Acuífero Turbaco. Recopilado de Cardique, 2006.

| Formación | Afloramiento | Litología |
|---|---|---|
| Arjona | Carretera hacia el caserío Chiquito, en la planicie y al suroeste de la zona urbana | Segmento inferior: compuestas por lodolitas y areniscas arcósicas. Hacia la base predominan las calizas y en la parte superior las areniscas. Espesor: 650 m |
| | | Segmento intermedio: conformado principalmente por lodolitas. Espesor 870 m |
| | | Segmento superior: alternancia de areniscas, lodolitas y en menor proporción calcáreas. Espesor 1.000 m. |
| Bayunca | | Conjunto Inferior: alternancia de arcillolitas y lodolitas. No se observa en el área. |
| | | Conjunto Intermedio: arena poco consolidada con intercalaciones de arcillolitas, limolitas, y areniscas conglomeráticas. |
| | | Conjunto Superior: limo arcilloso, con delgadas intercalaciones de limolitas y areniscas. Aflora en algunos sitios, tanto al Noroeste, como al Sur. |
| Unidad de areniscas arcillolitas negras | Existe en algunos sectores del área, desde los alrededores de Pasacaballos hasta la zona de Arroyo de Piedra. | Se presenta debajo de las calizas arrecifales. Consisten en arenas con arcillas. |
| Formación La Popa | Afloran en las canteras de Cimaco y Colclinker al noroeste de la zona de estudio | Se compone de calizas arrecifales, areniscas calcáreas fosilíferas y arcillolitas calcáreas. Debajo se presentan en algunos sectores arenas calcáreas que se depositaron en un ambiente marino en el posplioceno superior y pleistoceno. |
| Depósitos cuaternarios | | Son muy incipientes y se presentan rellenando los drenajes que atraviesan la zona en dirección hacia el Noroeste. Los materiales involucrados son fragmentos calcáreos y terrígenos. |

- Unidades hidroestratigráficas:

En la zona se presentan las siguientes unidades:

*Acuífero de la Popa:*

Corresponde a un acuífero libre, que debido a su gran extensión y su espesor (hasta 100 m), lo convierte en un gran almacenador de agua. *(Ibíd.)* .

*Acuífero depósitos cuaternarios recientes:*

Por su granulometría gruesa y poco compacta los convierte en grandes almacenadores de agua con porosidad primaria y transmisividades altas. Pero debido a su pequeña extensión y poca profundidad sus reservorios son limitados para ser utilizados en grandes explotaciones. Se comporta como un acuífero libre. *(Ibíd.)* Como acuitardos se tienen el Acuicierre de Arjona y los Depósitos de Llanura Aluvial Reciente y como acuifugos, el Acuifuga de Bayunca. *(Ibíd.)* .

- Dinámica de flujo y recarga:

El área de recarga del acuífero de la Popa, corresponde especialmente al área norte en los cerros de Coloncito y Campaña. *(Ibíd.) .*

- Calidad del agua:

De las doce muestras realizadas por CARDIQUE (2006), solo tres cumplían con los requisitos para ser aptas para consumo humano en cuanto a los parámetros fisicoquímicos. Los parámetros que sobrepasaron los límites son: coliformes fecales y totales, cloruros.

- Usos del agua subterránea:

De acuerdo al inventario realizado por CARDIQUE (2006) en el acuífero de Turbaco se inventariaron 43 puntos de agua, de los cuales hay 8 pozos, 17 aljibes y 18 manantiales.

- Vulnerabilidad y problemas socioambientales:

De acuerdo a CARDIQUE (2006), las posibles fuentes de contaminación para el acuífero de Turbaco, corresponden a la ganadería, disposición inadecuada de basuras en el municipio, deficiente servicio de alcantarillado en algunas zonas del municipio. En el sector de Coloncito (zona de recarga), se encuentra una instalación de producción de pollos.

#### *4.4.1.5. Sistema Acuífero Barranquilla-Sabanalarga SAC1.5*

El área se encuentra ubicada en la costa norte de Colombia en el departamento del Atlántico.

El clima del área es tropical de tipo estepa y varía desde casi árido cerca de la costa hasta la semi-húmedo entre las poblaciones de Sabanalarga y Aguada de Pablo y en las colinas del suroccidente. La temperatura promedio anual es de 27 °C hasta 28,3 °C. Se calculó una precipitación media anual de 700 mm para Barranquilla y de 1200 mm para las poblaciones de Piojó, Sabanalarga. El río Magdalena constituye el principal afluente de la zona. (INGEOMINAS, 1988b).

La Tabla 4.10 presenta un resumen de las unidades geológicas, unidades hidrogeológicas, características, calidad del agua y usos.

**Tabla 4. 10.** Unidades Hidrogeológicas en los departamentos de Atlántico y Bolívar al norte del Canal del Dique. Fuente: Modificado de INGEOMINAS (1988b).

| Porosidad | Permeabilidad | Unidad hidrogeológica | Unidad geológica | Litología de la unidad hidrogeológica | Características hidrogeológicas | Calidad del agua subterránea |
|---|---|---|---|---|---|---|
| POROSIDAD PRIMARIA | SEDIMENTOS PERMEABLES | I1 | Depósitos de playa (Q1) Depósitos Eólicos recientes (Q3) Depósitos Eólicos antíguos (Q5) | Arenas y gravas bien seleccionadas | Acuífero regular, libre de poco espesor y extensión lateral. Fuente de recarga: Precipitación | Tipo de agua: clorurada sódica. Dureza: dura a muy dura Posibilidad: impedida a veces por alta concentración en cloruros |
| | | I2 | Depósitos Aluviales -terrazas (Q6) Gravas de Rotinet (Q7) Areniscas Friables (T3) | Gravas, arenas, areniscas y conglomerados friables | Acuífero bueno, libre y semiconfinado con variación del espesor. Fuente de recarga: precipitación, agua subterránea y superficial. | Tipo de agua: bicarbonatada, cálcica y sódica. Dureza: blanda a dura. Potabilidad: poco, dulce, apta para consumo humano, excepto área canal del Dique - Arjona |
| | SEDIMENTOS POCO PERMEABLES | II1 | Depósitos aluviales (Q3) | Limos, arenas y gravas | Acuitardos y acuíferos locales pobres, libres y de poco espesor. Fuente de recarga: Precipitación y agua superficial. | Tipo de agua: clorurada y sulfatada sódica, bicarbonatada cálcica. Dureza: dura a muy dura. Potabilidad: impedida en la zona costera por su alta concentración en cloruros y localmente por su contenido en nitrato. |
| | | III2 | Arcillolitas calcáreas (T4) Arenisca calcárea de Santa Rosa (T5) Conglomerado de Isabel López (T6) | Arcillolita y areniscas finas, areníscas calcáreas, fosilíferas con intercalaciones arcillosas, conglomerados y arenisca friable. | Los niveles de arenisca y conglomerado constituyen un acuífero regular a bueno confinado o libre según la disposición estructural. Fuente de recarga: precipitación, agua subterránea y superficial. | Tipo de agua: clorurada sódica y bicarbonatada cálcica. Dureza: dura a muy dura. Potabilidad: Salobre a poco dulce, permisible para consumo humano. |
| | | III3 | Arenisca de Pajuancho (T8) Areniscas del Cerro las Viudas (T9) | Arenisca friable de grano medio a grueso con intercalaciones de arcillolita. | Acuífero pobre a regular confinado. Fuente de recarga: precipitación, agua superficial. | Tipo de agua: Sulfatada sódica. Dureza: muy dura Potabilidad: Salobre, permisible para consumo humano. |
| POROSIDAD PRIMARIA Y SECUNDARIA | ROCAS POCO PERMEABLES | IV1 | Arenisca de San Vicente (T11) | Arenisca arcillosa fosilífera, arcillolita y lodolita | Acuitardo por la baja permeabilidad de las capas de arenisca. Fuente de recarga: Precipitación. | Tipo de agua: bicarbonatada cálcica y sulfatada sódica. Dureza: Muy dura Potabilidad: Salobre, la concentración de sulfato sobrepasa el límite de potabilidad. |
| | | IV2 | Turbiditas de Luruaco (T16) | Arcillolita y arenisca arcillosa a veces calcáreas. | En su mayor parte se considera un acuitardo. Localmente los niveles de arenisca constituyen un acuifero pobre, confinado. Fuente de recarga: precipitación. | Tipo de agua: sulfatada cálcica y sódica. Dureza: dura a moderadamente dura. Potabilidad: Salobre, se encuentra en los límites permisibles para consumo humano. |

| Porosidad | Permeabilidad | Unidad hidrogeológica | Unidad geológica | Litología de la unidad hidrogeológica | Características hidrogeológicas | Calidad del agua subterránea |
|---|---|---|---|---|---|---|
| POROSIDAD SECUNDARIA | ROCAS POCO PERMEABLES | V1 | Calizas arrecífales del Popa (T1) Calizas de arroyo de Piedra (T15) | Calizas y margas coralinas. | Acuíferos muy locales, poca densidad del fracturamiento. Fuente de recarga: precipitación. | Tipo de agua: Bicarbonatada cálcica. Dureza: Dura a muy dura. Potabilidad: Poco dulce, impedida en la línea de costa por alta concentración en cloruros. |
| | | V2 | Conglomerado de Pendales (T14) | Conglomerado con matriz arenosa | Acuíferos locales, pobre a bueno según la densidad del fracturamiento, libre, confinado debajo de las capas del cuaternario. Fuente de recarga: precipitación, agua subterránea. | Tipo de agua: Bicarbonatada y sulfatada cálcica. Dureza: Muy dura. Potabilidad: La concentración en sulfato sobrepasa el límite de potabilidad. |
| | SEDIMENTOS Y ROCAS IMPERMEABLES | VI1 | Volcanes de lodo (Q4) Arcillolitas de Sibarco (T7) Arcillolitas de Furú (T10). Limolitas ferruginosas (T12) Arcillolitas Bocatocino (T13) | Lodo, arcillolita y limolita ferruginosa con esporádicas intercalaciones de arenisca arcillosa. Yeso diseminado. | Acuicludo. Fuente de recarga: Precipitación. | Tipo de agua: Clorurada y sulfatada sódica. Dureza: Muy dura. Potabilidad: Impotable por la alta concentración de los principales iones. |

### *4.4.1.6. Sistema Acuífero Zona Bananera de Santa Marta SAC1.6*

Es un Sistema Acuífero de extensión regional de tipo libre a semiconfinado, conformado por depósitos Cuaternarios de origen aluvial que alcanzan espesores entre 60 y 150 metros y las rocas del Paleógeno-Neógeno de la Formación Fundación, se extiende desde las estribaciones de la Sierra Nevada de Santa Marta y la Ciénaga Grande de Santa Marta, en el Departamento del Magdalena, en un área aproximada de 796 km$^2$. (INGEOMINAS, 2004) citado por MAVDT (2009).

En la ciudad de Santa Marta y alrededores, se encuentra localizado el acuífero de la Formación Manzanares, que tiene un espesor que varía entre 60 y 110 m, conformando un acuífero de tipo libre con niveles freáticos desde 5 hasta 10 m de profundidad. En la zona Santa Marta-El Rodadero se han construido cerca de 45 pozos para el abastecimiento del acueducto de la ciudad y de El Rodadero, con profundidades entre 50 y 85 m, que producen caudales desde 10 hasta 45 l/s con abatimientos de 25 m. Varios pozos situados en la ciudad de Santa Marta, aproximadamente a 400 m de la línea de costa, han presentado contaminación por intrusión marina debido al intenso bombeo a que fueron sometidos. (Ibíd.) .

- Características hidráulicas y productivas:

Es explotado mediante pozos y aljibes cuya densidad es cercana a los 1,5 pozos/km$^2$, con capacidades específicas altas que varían entre 2 a 5 l/s/m, con profundidades entre 30 a 100 metros,

con niveles estáticos entre 2 y 5 m de profundidad y caudales de 1,5 a 60 l/s. Se calcularon recursos de 29,9 $mm^3$/año y reservas pasivas de 39.600 $mm^3$, se estima que anualmente se extraen 2,96 $m^3$/s. (Ibíd.).

- Calidad del agua:

El agua del Sistema Acuífero de la Zona Bananera de Santa Marta es dulce con intrusión del agua salada de la Ciénaga Grande de Santa Marta. (Ibíd.) .

- Usos del agua subterránea:

El agua subterránea en esta zona se emplea básicamente en el riego de cultivos de palma africana y banano, abastecimiento público y doméstico. (Ibíd.)

#### *4.4.1.7. Sistema Acuífero Montería-Ciénaga de Oro SAC1.7*

No se encuentra información disponible para este Sistema Acuífero.

### *4.4.2. Provincia hidrogeológica Bajo Magdalena PC2*

Esta limitada al Sur por la falla de Murrucucú en las estribaciones de la Serranía de San Lucas, al este por la falla Santa Marta-Bucaramanga y al oeste por el Sistema de Fallas de Romeral. En la cuenca se han realizado estudios de tipo hidrológico, geoeléctrico, hidrogeoquímico e hidrogeológico que permiten definir unidades acuíferas pero que aún requieren de precisiones cuantitativas para elaborar un modelo hidrogeológico conceptual consistente. (En Vargas, N.O., 2001). Figura 4.46



Provincia Valle bajo del Magdalena

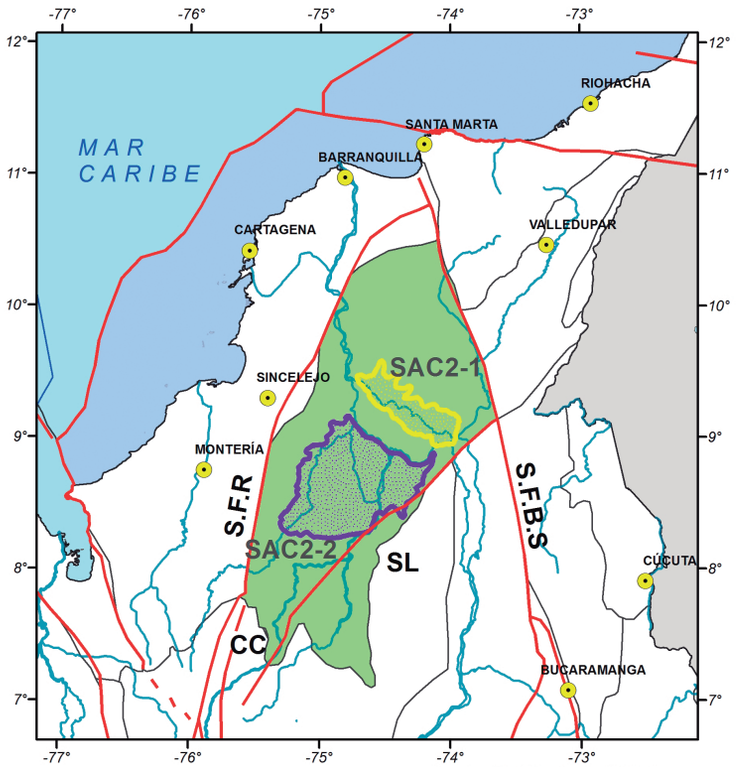
**LÍMITE**

Norte: Sistema de fallas de Romeral (S.F.R)

Oeste: Sistema de fallas de Romeral (S.F.R)

Sur y Sureste: Cordillera Cental (C C) y Serranía de San Lucas (SL)

Este: Sistema de fallas de Bucaramanga-Santa Marta (S.F.B.S)




**SISTEMAS ACUÍFEROS**

SAC 2-1. Banco Mompos
SAC 2-2. Mojano

Fuente: Modificado de ANH, 2007

**Figura 4. 46.** Ubicación de la provincia hidrogeológica de Valle Bajo del Magdalena. Modificado de ANH, 2007.

Corresponde a la zona estable o de plataforma de la Llanura del Caribe en la cual se disponen los elementos tectónicos reconocidos como Alto El Difícil y Cicuco (compuestos de rocas ígneas félsicas y metamórficas precretácicas a cretácicas) que se encuentran cubiertos de manera discordante por sedimentos terciarios de tipo detrítico y carbonatado y por sedimentos fluvio-lacustres de edad reciente que alcanzan espesores hasta de 1500 metros. Se distinguen además las depresiones de Plato y Sucre rellenadas con sedimentos de un espesor aproximado de 7000 metros o más. La cobertura reciente está constituida por 1000 a 1500 metros de sedimentos fluviolacustres y más de 3000 metros de turbiditas de edad Mioceno a Plioceno (Ingeominas, 1988). (En Vargas, N.O., 2001). Figuras 4.47 y 4.48.

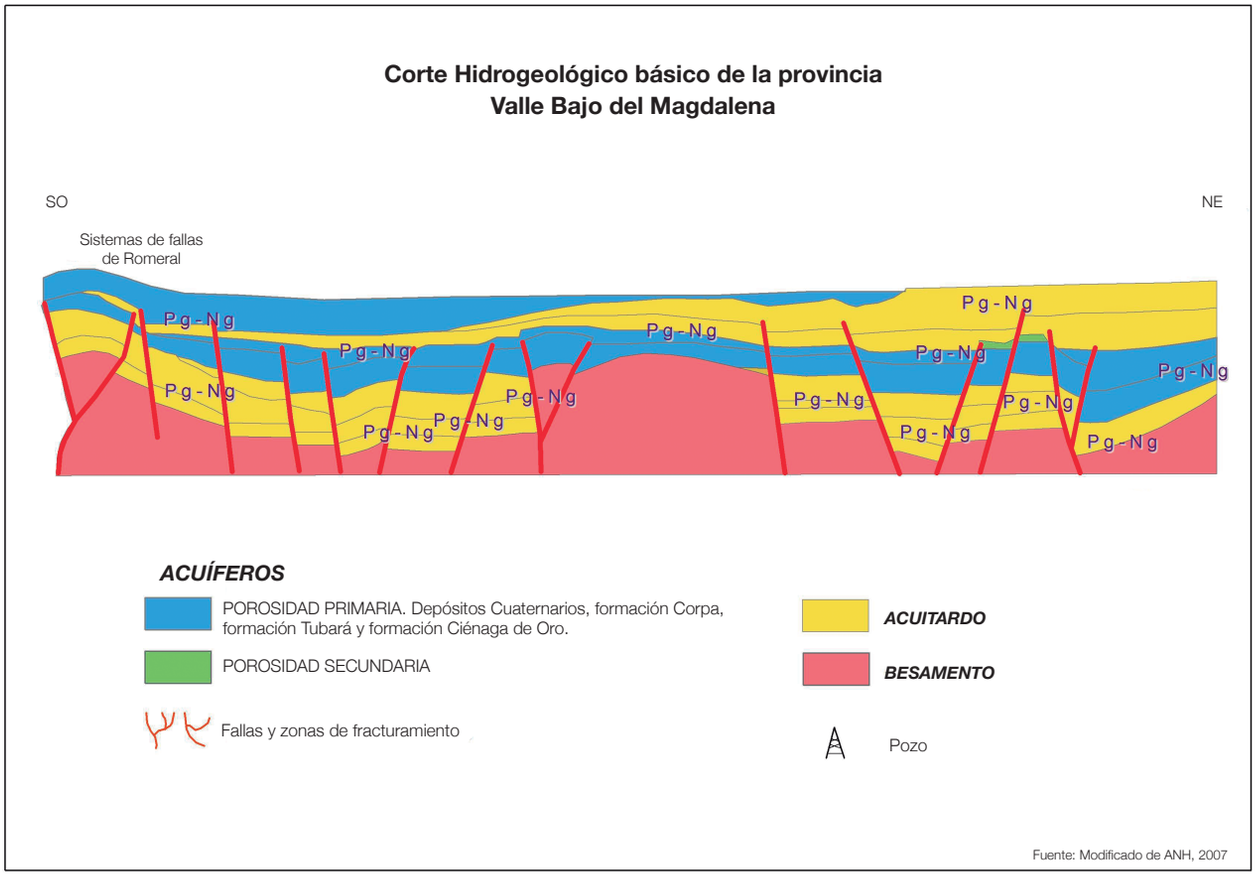



**Figura 4. 47.** Corte hidrogeológico básico de la provincia Valle Bajo del Magdalena. Modificado de ANH, 2007

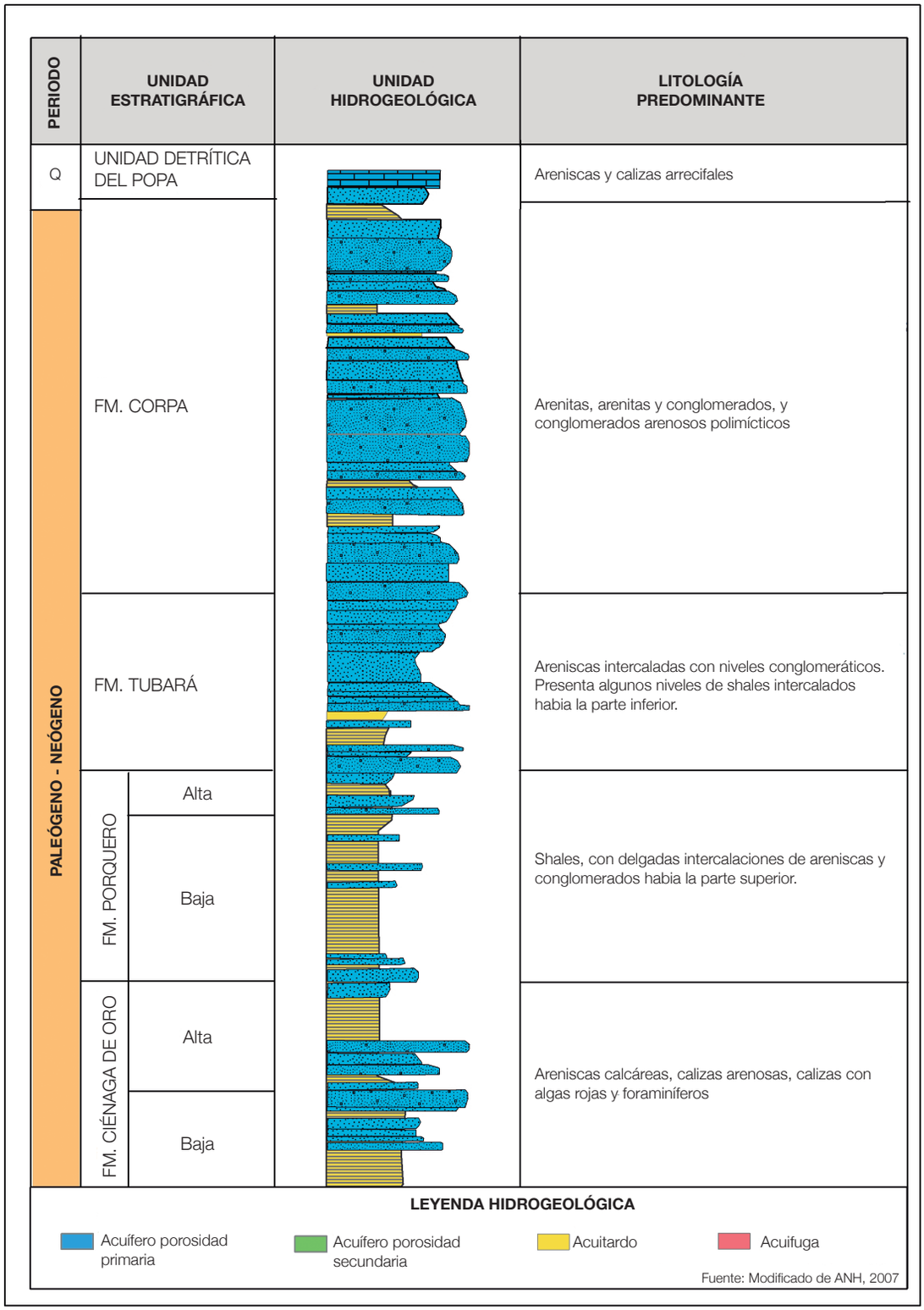



**Figura 4. 48.** Columna estratigráfica generalizada de la provincia Valle Bajo del Magdalena. Modificado de ANH, 2007

De acuerdo con las características hidrogeológicas se distinguen las siguientes tipo de unidades roca-sedimento:

*I. Acuíferos en los cuales la porosidad primaria es intergranular:*

En este grupo se encuentran los sedimentos arenosos y de gravas de la Formación Betulia que localmente también se comporta como acuitardo por las interdigitaciones de arcillas. Además los sedimentos de terraza, aluviales recientes, de cauce aluvial y de ciénaga que conforman acuíferos libres a semiconfinados y los depósitos arenoso del grupo Tubará-Porquero.

*II. Acuíferos en rocas consolidadas con porosidad primaria y fisuradas con porosidad secundaria:*

A esta clasificación se asocian los acuíferos de poca extensión y espesor que se desarrollan en las areniscas y conglomerados de la Formación San Jacinto que dan lugar a acuíferos libres a confinados.

*III. Rocas granulares o fisuradas que forman acuíferos insignificantes con recursos limitados o sin recursos:*

A esta categoría corresponden los niveles arcillosos de las formaciones Betulia, Porquera, San Jacinto y Turbiditas de Luruaco. Actúan como acuicludo las lutitas de la Formación Cansona y como acuífuga las rocas que conforman el basamento precretáceo. (En Vargas, N.O., 2001).

En el sector del Atlántico las transmisividades varían de 80 a 200 $m^2$/día con caudales de explotación entre 5 y 25 lps. Hacia el suroccidente del Atlántico y norte de Bolívar tienen transmisividades de 10 $m^2$/día y caudales de explotación entre 1 y 5 lps con capacidades específicas promedio de 0.05 l/s/m. En los pozos de Santiago Apóstol y Caimito se midieron niveles estáticos entre 0.70 y 6.5 metros, caudales entre 3.25 y 5.27 lps, transmisividades entre 30 y 280 $m^2$/día, coeficientes de almacenamiento de $1.3*10^{-5}$- $7.4*10^{-1}$, capacidades específicas de 0.21-1.23 lps. Pruebas de bombeo en Tacasaluma y Tacamochito permitieron reconocer niveles estáticos entre 5.1 y 9.3 metros, caudales de 4,8 a 5.3 lps, transmisividades entre 155 y 245 $m^2$/día, coeficientes de almacenamiento entre $4.9*10^{-4}$ y $3.7*10^{-6}$ y capacidades específicas de 0.86-1.09 l/s/m (Robles et ál. 19889). (En Vargas, N.O., 2001).

Se ha determinado para el área cercana a Caimito y Santiago Apóstol que el agua es dulce, blanda a moderadamente dura, de tipo clorurada o bicarbonatada sódica a cálcica con bajo peligro de salinización y sodización. Las muestras obtenidas presentan contaminación por fertilizantes (Robles, et ál. 1988).

Al sur de sucre el agua es bicarbonatada cálcica o sódica, moderadamente dura a muy dura con peligro medio a lato de salinización y bajo de salinización. (En Vargas, N.O., 2001).

En 1990 se realizó un inventario de puntos de agua en la ribera oriental del Rio Magdalena entre las localidades de Plato y Sitio Nuevo (Magdalena) encontrándose 106 puntos de agua: 26 pozos, 73 algibes y 7 manantiales. Los pozos se ubican en las formaciones cuaternarias en los depósitos de terraza aluvial, cauce abandonado y ciénaga. En general, los pozos se construyeron en PVC con

profundidades hasta de 106 metros y niveles estáticos entre 1 y 10 metros. Los algibes se localizan en unidades de terraza y aluviales recientes con profundidades hasta de 14 metros con niveles estáticos entre 2 y 14 metros. Estas captaciones se utilizan para consumo doméstico y abrevadero de animales (Barrera, Cañas, Manjarrés. 1990). En los corregimientos de Santiago Apóstol y el Municipio de Caimito (Sucre) se inventariaron 33 algibes con profundidades entre 3 y 10 metros y cuatro pozos con profundidades entre 30 y 100 metros con caudales entre 1.5 y 2.5 lps (Huguett et ál. 1988). El agua se utiliza para consumo doméstico y abrevadero de animales y es explotada de las unidades arenosas recientes (Miembro Betulia Arenoso).

Entre Tacamochito y Tacasaloma (Bolívar) se inventariaron 8 pozos y 37 algibes con niveles estáticos entre 4 y 23 metros. Los pozos se construyeron con tubería de acero en 6 pulgadas y explotan entre 3 y 5 lps para consumo doméstico, abastecimiento público y para ganado (Ibídem). (En Vargas, N.O., 2001).

### *4.4.2.1. Sistema Acuífero Banco-Mompós SAC2.1*

En la Figura 4. 49 se presenta un corte hidrogeológico para los Sistemas Acuíferos Banco-Mompós y La Mojana.

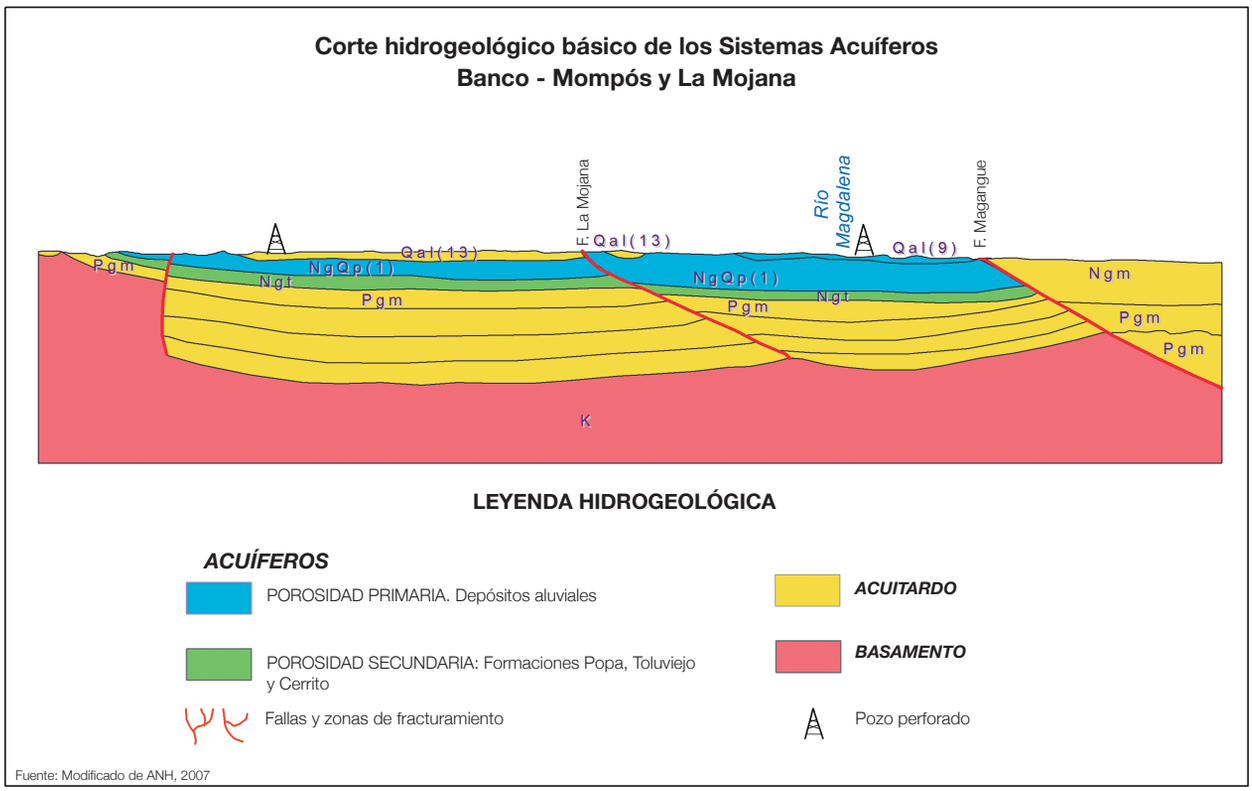



**Figura 4.49.** Corte hidrogeológico básico de los Sistemas Acuíferos Banco, Mompós y La Mojana. Modificado de ANH, 2007

### 4.4.2.2. Sistema Acuífero Mojana SAC2.2

No se encuentra información sobre este Sistema Acuífero.

### 4.4.3. Provincia hidrogeológica de La Guajira PC3

La provincia se localiza en el extremo nororiental de Colombia limitando al norte y oeste con el Mar Caribe y al este con Venezuela. Al Sur el límite corresponde a la Falla de Oca que la separa de la Provincia Hidrogeológica Santander-Cesar-Perijá. (En Vargas, N.O., 2001). Figura 4.50.

La provincia hidrogeológica de la Guajira corresponde únicamente a la Cuenca de La Guajira, la cual puede subdividirse en las subcuentas de Baja, Media y Alta Guajira con limites en las Fallas de Oca y Cuiza.

La Cuenca Hidrogeológica de La Guajira ha sido objeto de estudios hidrogeológicos principalmente en su parte baja y media, sin que se tenga un modelo hidrogeológico conceptual completo por falta de integración de la información y necesidades de estudios hidrológicos adicionales.



Provincia de La Guajira

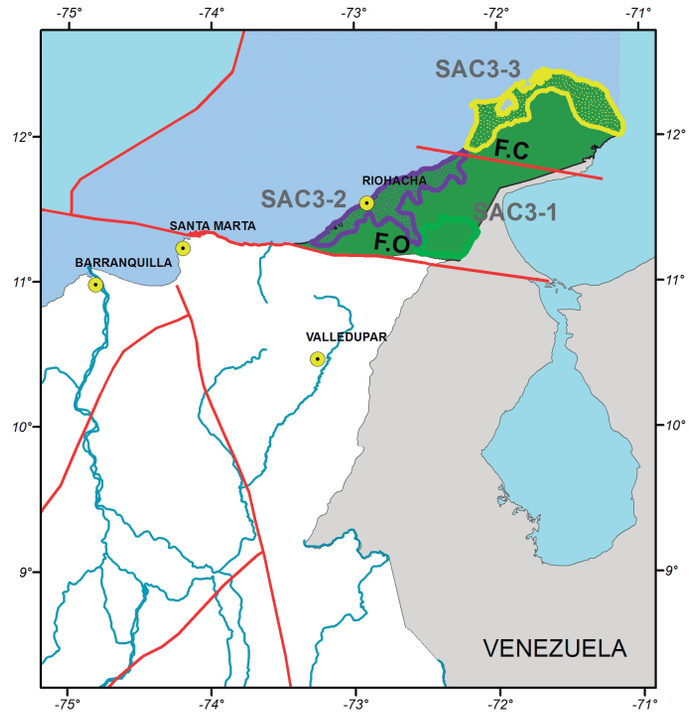
**LÍMITE**

Norte y Noreste: Línea de costa del Caribe

Noreste: Línea de costa del Caribe

Sur: Falla de Oca (F.O)

Sureste: Límite Internacional con Venezuela




**SISTEMAS ACUÍFEROS**

SAC3-1. Maicao
SAC3-2. Riohacha-Manaure
SAC3-3. Alta Guajira

Fuente: Modificado de ANH, 2007

**Figura 4. 50.** Ubicación de la provincia hidrogeológica de La Guajira. Modificado de ANH, 2007.

En las etapas tempranas de la evolución geológica de la Guajira se presentaron actividad ígnea y depositación de sedimentos detríticos que se manifiesta en las rocas metamórficas más antiguas de la península (Formación Corual, Cheterlo, Jipi, Batolito de Patillal, Riodacita de los Tabanos, Volcanitas de Ipapure). Esta actividad se extiende hasta el cretácico. En el Cretacico superior ocurre una transgresión marina y se depositan las rocas calcáreas Guaralumay, La Luna, Cogollo, Yurima. A comienzos del Paleógeno-Neógeno se presenta una orogenia que ocasiona el retiro del mar y la depositación de las formaciones Macarao y Siamana y el desarrollo de la falla de Oca y Cuisa. En el Mioceno se presenta la depositación de sedimentos por ingreso del mar representado en la formación Uitpa, Posteriormente se depositaron los sedimentos de la Formación Monguí que cubre la Media Guajira. En el pleistoceno cesa la depositación marina y comienza una depositación continental litoral, fluvial y eólica que da origen a las geoformas actuales (Ingeominas, 1988b). Figura 4.51 y 4.52.

Desde el punto de vista hidrogeológico se han definido dos Sistemas Acuíferos (Ingeominas, 1983):

Un acuífero libre conformado por las unidades recientes (depósitos de llanura aluvial, de cauce aluvial, de playón, de barra y de dunas). Un acuífero confinado formado por el conjunto detrítico terciario Uitpa y Monguí. (En Vargas, N.O., 2001).

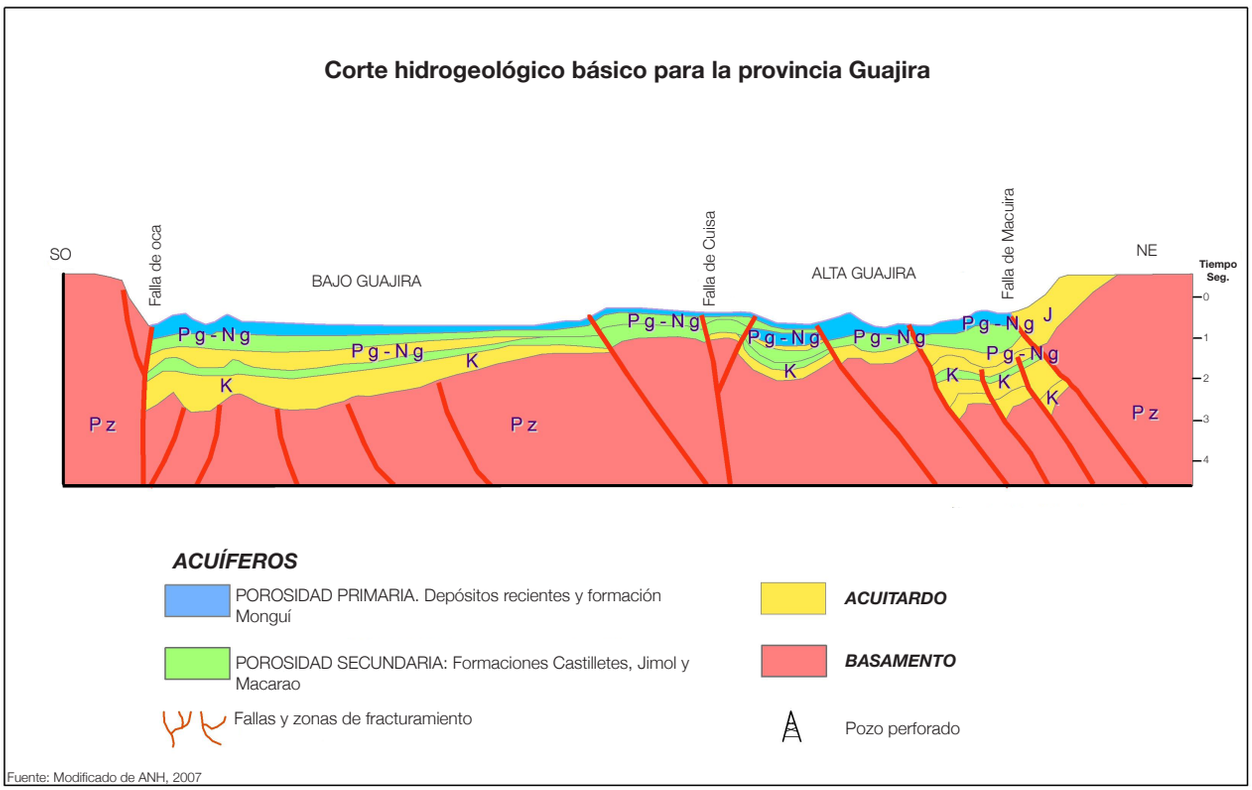



**Figura 4. 51.** Corte hidrogeológico básico de la provincia La Guajira. Modificado de ANH, 2007.

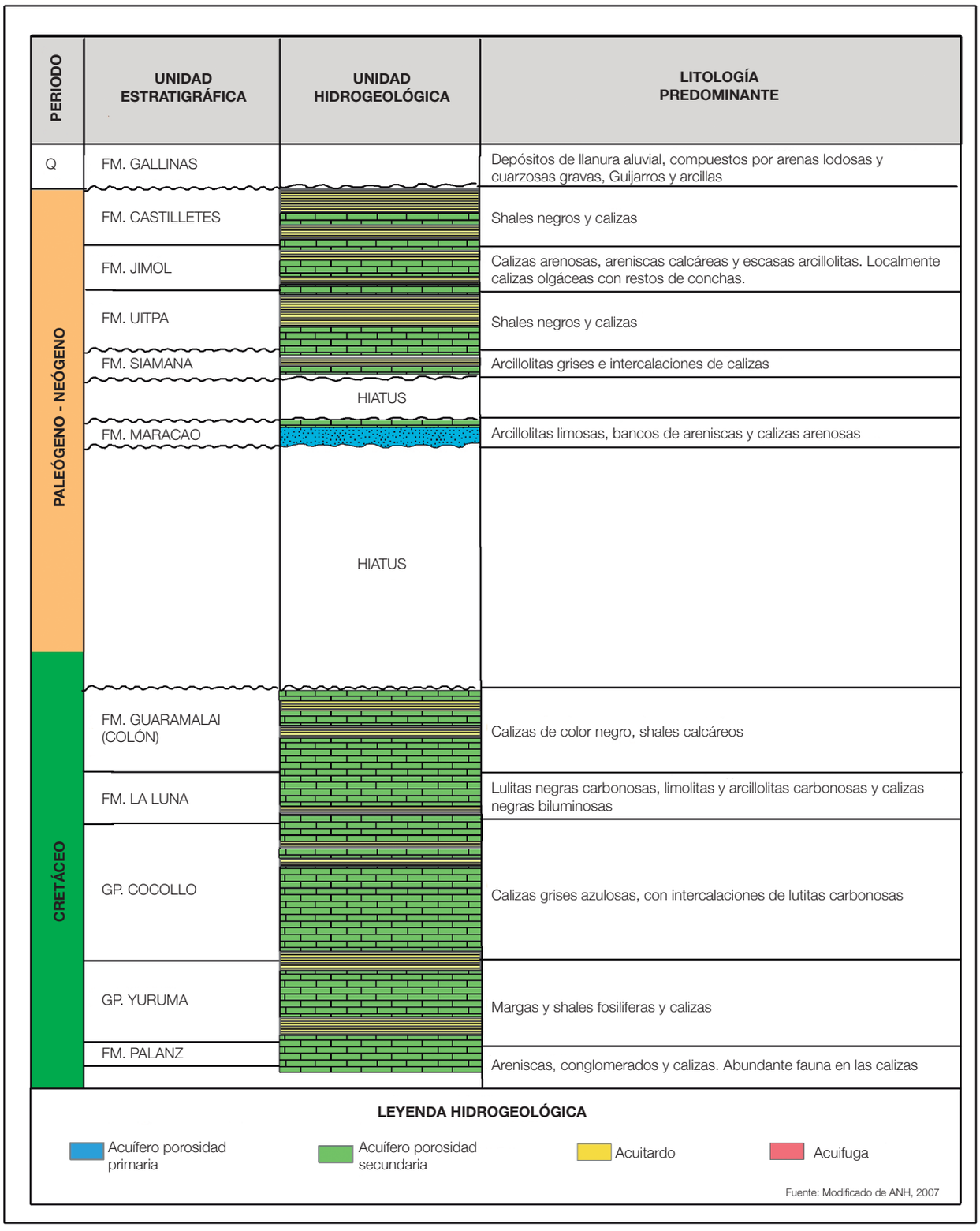



**Figura 4. 52.** Columna estratigráfica generalizada de la provincia La Guajira. Modificado de ANH, 2007.

De acuerdo con las características de porosidad, permeabilidad y litología podemos definir las siguientes unidades hidrogeológicas y caracterizar el tipo de almacenamiento que forman cada una de estas: (En Vargas, N.O., 2001).

*I. Acuíferos en los cuales la porosidad primaria es intergranular:*

En esta categoría se agrupan las unidades recientes aluviales, de playón de barras, de cauces aluviales que pueden alcanzar hasta 100 metros de profundidad y que tiene un contenido de cloruros entre 300 a 600 ppm. Esas unidades conforman el Acuífero libre el cual es recargado por la precipitación y algunas corrientes superficiales perennes. Actualmente es explotado por más de 420 pozos (Ingeominas,1988b).

*II. Acuíferos en rocas consolidadas con porosidad primaria y fisuradas con porosidad secundaria:*

La unidad detrítica del Paleógeno-Neógeno conformada por las formaciones Uitpa y Monguí conforman el Acuífero confinado de La Guajira que aparece entre los 180 y 190 metros de profundidad desconociéndose su espesor. El agua de esta unidad es potable en cercanías de la zona de recarga e impotable hacia el norte donde el contenido de cloruros sobrepasa los 2000 ppm. Se recarga a través de flujos subterráneos regionales provenientes de la Falla de Oca, por donde se infiltra agua superficial de la Sierra Nevada de Santa Marta (Ingeominas, 1988b). La formación Mongui esta compuesta por arcillolitas arenosas semicompactas, intercaladas con areniscas de grano medio y conglomerados semicompactos en matriz areno-arcillosa. La formación Uitpa aflora en las regiones de Hipanaruhu y Orochón y está compuesta por arcillolitas grises e intercalaciones de calizas.

Cabe esperarse almacenamientos por porosidad secundaria en las unidades calcáreas Macarao, Siamana, La Luna, Cogollo y Yurima.

*III. Rocas granulares o fisuradas que forman acuíferos insignificantes con recursos limitados o sin recursos:*

En esta categoría se incluyen las secuencias de carácter predominantemente arcilloso entre las cuales se destacan el conjunto detrítico del Mesozoico, las rocas sedimentarias precretácicas y las rocas de origen ígneo metamórfico conformadas por la Granulita de los Mangos, la Formación Corual, el batolito de Patillal, la riodacita de los Tabano y las Vocanitas de Ipapure.

El acuífero libre en la zona sur y central presenta aguas poco dulces, clorurado sódico, bicarbonatado sódico, bicarbonatado clorurado sódico y clorurado cálcico. En la zona norte contiene agua salobres a saladas de tipo clorurado que sobrepasan los 600 ppm de cloruros y por los tanto se clasifican como impotables (Ibídem).

En el acuífero confinado las aguas son poco dulces y se clasifican como cloruradas sódicas y bicarbonatadas sódicas. Al norte de Uribia el agua subterránea del acuífero es salobre con un contenido de cloruros entre 1200 y 2000 ppm (Ibídem).

Los seis pozos que explotan el acuífero confinado en cercanías de Riohacha contienen aguas tolerables para consumo humano (Ibídem). (En Vargas, N.O., 2001).

En el acuífero libre se han reportado hasta 420 pozos que se explotan con molinos de viento, siendo el agua utilizada para consumo de la población indígena dispersa en pequeñas rancherías y para el abrevadero de sus animales con producciones de 1 a 7 lps, capacidades específicas de 0.01-1.6 l/s/m y transmisividades promedio de 30 $m^2$/día (Ibídem). (En Vargas, N.O., 2001).

El acuífero confinado se encuentra prácticamente inexplotado. En la actualidad se extrae agua de este acuífero en menos de 5 pozos ubicados en la ciudad de Riohacha que producen caudales de 25-85 lps, utilizándose el agua para consumo de población. Las capacidades específicas de estos pozos varían entre 0.78 y 1.4 l/s/m. La transmisividad promedio del acuífero se ha estimado en 800 $m^2$/día.

Los pozos de producción, en general, tienen profundidades entre 57 y 305 metros, entubados con tubería ciega y filtros PVC de 6 y 4 pulgadas de diámetro. (En Vargas, N.O., 2001).

El nivel estático del acuífero superficial se encuentra a 8 metros. El nivel piezométrico del acuífero confinado se halla a 25 metros (Ibídem). (En Vargas, N.O., 2001).

#### *4.4.3.1. Sistema Acuífero de Maicao SAC3.1*

El municipio de Maicao constituye la parte sur oriental de la denominada Península de La Guajira. El área de estudio comprende 650 kilómetros cuadrados. (CORPOGUAJIRA, 2003).

- Generalidades hidroclimáticas:

El clima es semiárido y los vientos predominantes vienen del nororiente, procedentes del Golfo de Venezuela. El régimen de precipitación es bimodal, con los periodos de lluvia comprendidos entre los meses de abril a junio, y agosto a diciembre. La mayor corriente superficial es el río Carraipía-Paraguachón que, al igual que los otros drenajes del área de estudio, nace en la Serranía del Perijá. (CORPOGUAJIRA, 2003).

- Geología:

Se presentan rocas desde el Cretácico hasta el Cuaternario. Las unidades más antiguas se encuentran en el límite sur del municipio de Maicao, y constituyen la Serranía del Perijá. La Falla de Oca, principal rasgo estructural del área de estudio, pone en contacto las rocas del Mesozóico (al sur) con rocas del Terciario y Cuaternario al norte. (CORPOGUAJIRA, 2003).

- Unidades hidroestratigráficas:

Tres unidades hidroestratigráficas están presentes en el Sistema Acuífero:

*Grupo Calcáreo (Ksc):*

Data del cretácico y están conformadas por rocas sedimentarias, principalmente calizas de color negro a gris, macizas y compactas. (CORPOGUAJIRA, 2003). Representan por ahora el acuífero más promisorio desde el punto de vista de suministro de agua dulce a la población de Maicao. De hecho, el 70% (100 litros/segundo) del agua que se desplaza por la red de suministro público proviene de dos pozos construidos en esta unidad geológica.

*Formación Monguí (Tpm):*

Son rocas del Paleógeno-Neógeno y están compuestas por arcillolitas arenosas semicompactas, intercaladas con areniscas de grano medio a grueso y conglomerados semicompactos, con cantos hasta de cinco centímetros de origen ígneo, encerrados en una matriz areno arcillosa. Mosquera et ál. (1976). El espesor total de esta secuencia sedimentaria en el área de estudio se estima en 200 metros. (Repúblicas de Colombia y Venezuela, 1991).

*Sedimentos del cuaternario:*

Sobre la Formación Monguí, y en forma concordante, se hallan los sedimentos del Cuaternario, los cuales están representados por depósitos de llanura aluvial, de cauce aluvial y dunas. En general, los sedimentos varían desde gravas hasta arcillas. El espesor de esta secuencia sedimentaria está en el orden de 60 metros en el área de estudio. Los sedimentos cuaternarios representan el acuífero más explotado en el municipio de Maicao. Se estima que de 300 captaciones existentes, el 90% estaría captando aguas de estos sedimentos. (CORPOGUAJIRA, 2003).

Los resultados del trabajo realizado por CORPOGUAJIRA (2003) (Figura 4. 53) presentan el siguiente modelo conceptual.

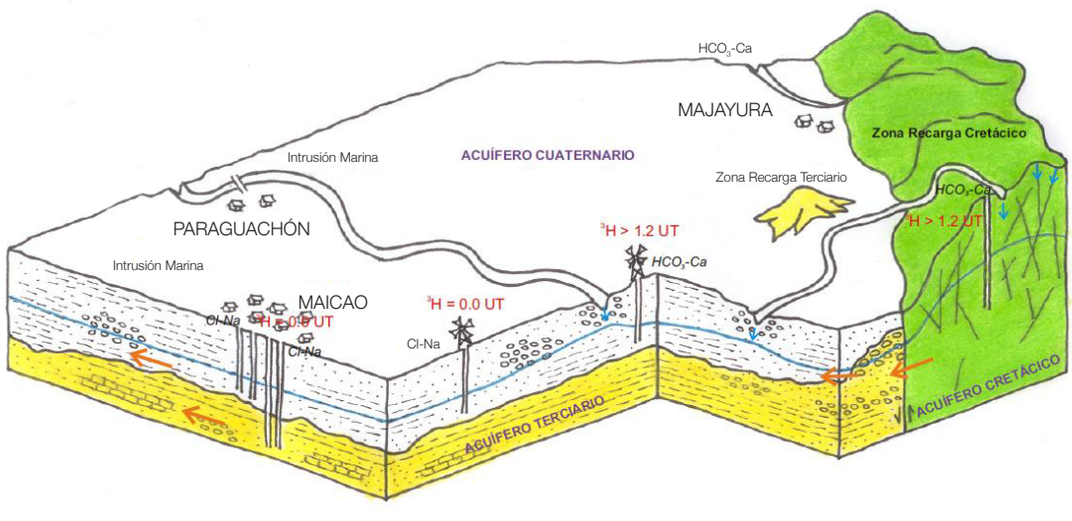



**Figura 4. 53.** Bloquediagrama sistema hidrogeológico Maicao. (CORPOGUAJIRA, 2003)

- Dinámica de flujo y recarga:

Solo se conoce la dirección del flujo regional para el acuífero Cuaternario. En términos generales, el agua se desplaza en sentido suroeste a noreste, pero se esperan variaciones significativas a escala local. Se estima que la dirección del flujo regional del acuífero Paleógeno-Neógeno presente una configuración similar. (CORPOGUAJRA, 2003).

La infiltración directa de agua lluvia parece no jugar un papel de preponderancia en la recarga del acuífero Cuaternario, al parecer por el predominio de sedimentos finos en superficie y más generalmente en la secuencia sedimentaria. Por consecuencia, la recarga a través de los bordes del río Carraipía parecer ser el único mecanismo importante de recarga actual para el acuífero cuaternario. (Taupin et ál., 2009)

- Calidad del agua:

Dos tipos de agua: el primero corresponde a aguas bicarbonatadas (grupo A) cálcicas de baja mineralización, obtenidas en los pozos del Cretácico y en las captaciones del Cuaternario ubicadas en cercanías al cauce actual del río Carraipía. El segundo tipo de agua (grupo B), el cual predomina hacia el sector noreste y norte del área de estudio, corresponde a aguas cloruradas sódicas (semejantes al agua de mar). (CORPOGUAJRA, 2003).

- Resultados estudios isotópicos:

De acuerdo a los resultados isotópicos obtenidos por CORPOGUAJIRA (2003) se obtiene que los dos tipos de agua (bicarbonatada cálcica y cloruradas sódicas), tienen un origen común. Además al menos una parte importante del agua subterránea correspondiente al Grupo A tiene su origen en las aguas de escorrentía superficial.

El manantial y los pozos ubicados en las calizas cretácticas, así como los pozos cercanos al cauce del río Carraipía presentan un tiempo de renovación que se puede contextualizar a la escala humana. El otro tipo de agua puede llegar a tener más de 2.000 millones de años. (Taupin et ál., 2009).

#### *4.4.3.2. Sistema Acuífero de Riohacha – Manaure SAC3.2*

No se encuentra información sobre este acuífero.

#### *4.4.3.3. Sistema Acuífero de la Alta Guajira SAC3.3*

No se encuentra información sobre este acuífero.

### *4.4.4. Provincia hidrogeológica Cesar-Ranchería PC4*

La provincia limita, hacia el norte, por la Falla de Oca. Al oriente y suroriente, con la serranía de Perijá. Al suroccidente, con la Falla Bucaramanga-Santa Marta, y al noroccidente, con el piedemonte de la Sierra Nevada de Santa Marta (Figura 4.54). (IDEAM, 2010a).

Al norte, se separa de la provincia de La Guajira por la Falla de Oca. Al occidente, está delimitada por las rocas precretáceas (acuifugas), de la Sierra Nevada de Santa Marta. Al suroccidente, está limitada por la Falla Bucaramanga-Santa Marta. Al oriente, limita con las rocas volcánicas (acuifugas) y sedimentarias (acuitardos), del Triásico y Jurásico. (IDEAM, 2010a).



Provincia Cesar - Ranchería

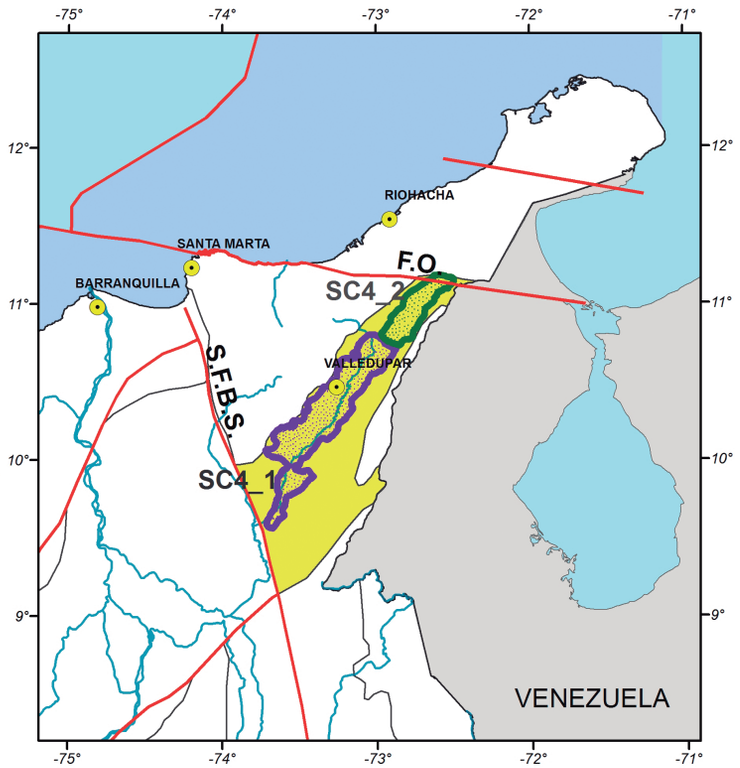
**LÍMITE**

SO: Sistema de fallas de Bucaramanga - Santa Marta (S.F.B.S.)

E-SE: Rocas Precretácicas de la Serranía de Perijá (22); límite internacional Colombia-Venezuela

NE: Falla de Oca (F.O.)

NO: Rocas Precretácicas de la Sierra Nevada de Santa Marta (23)




**SISTEMAS ACUÍFEROS**

SC4-1. Cesar
SC4-2. Ranchería

Fuente: Modificado de ANH, 2007

**Figura 4. 54.** Ubicación de la provincia hidrogeológica de Cesar-Ranchería. Modificado de ANH, 2007.

La cuenca hidrogeológica del Cesar está conformada por una sucesión de areniscas, lutitas y calizas que fueron depositadas durante el Paleozoico sobre un basamento metamórfico. Esta secuencia está suprayacida por las rocas cretácicas y terciarias, y de manera discordante por depósitos recientes.

La secuencia cretácica alcanza los 1.000 m y está constituida por arenitas, lutitas y calizas comúnmente ricas en materia orgánica, depositadas en ambiente marino. La secuencia clástica de arenitas y lodolitas con mantos de carbón fue depositada en ambientes continentales y transicionales durante el Terciario. Su espesor alcanza los 1.000 m (Figura 4.55 y Figura 4.56). (IDEAM, 2010a).

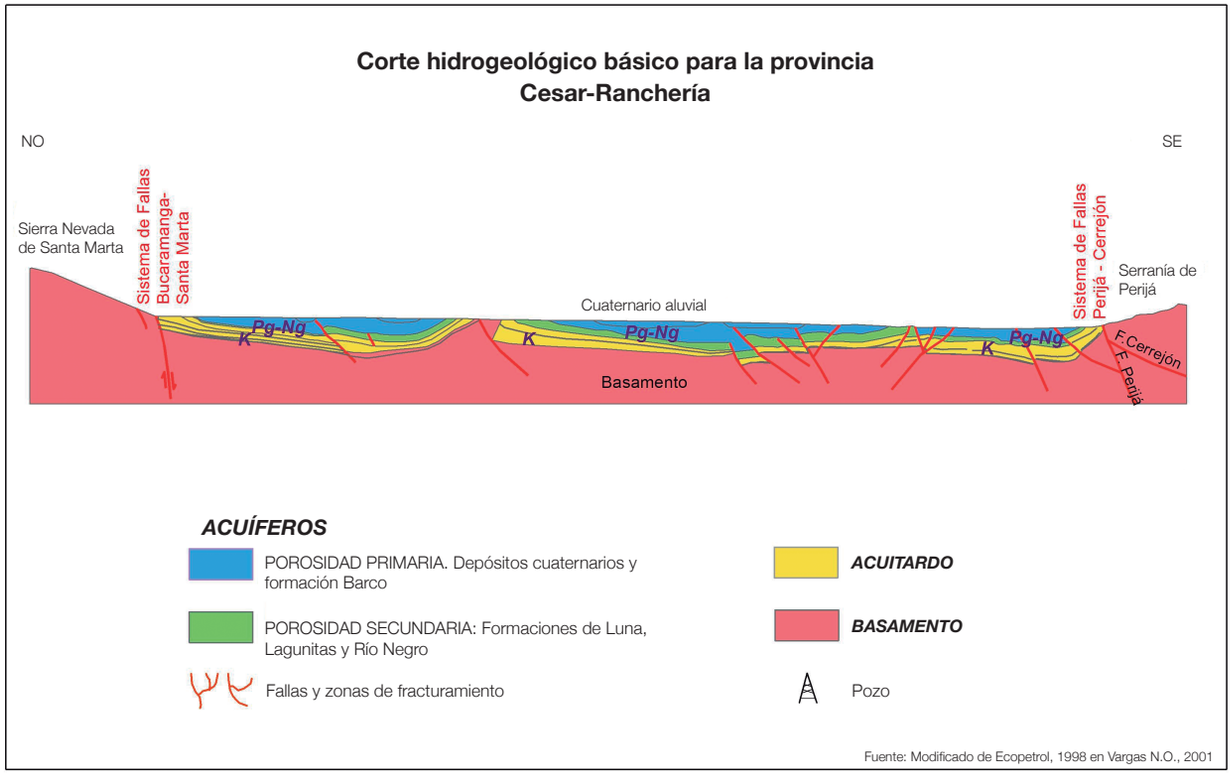



**Figura 4. 55.** Corte hidrogeológico básico de la provincia Cesar-Ranchería. Modificado de ECOPETROL, 1998 en Vargas N. O., 2001.

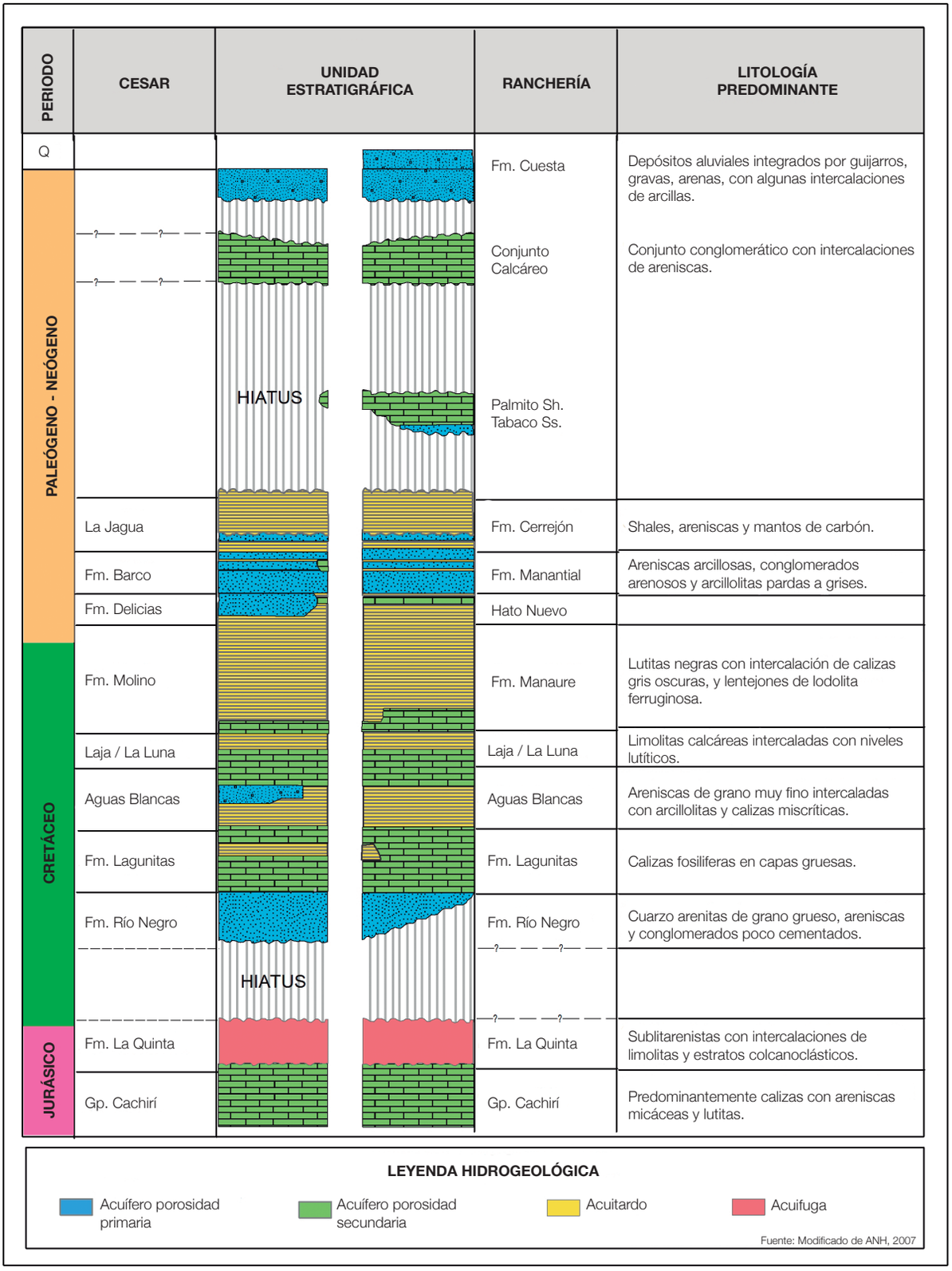



**Figura 4. 56.** Columna estratigráfica generalizada de la provincia Cesar-Ranchería. Modificado de ANH, 2007.

### 4.4.4.1. Sistema Acuífero de Cesar SAC4.1

Del estudio realizado por IDEAM & CORPOCESAR (2007) se tiene que el área de estudio abarca 54478 ha, y se localiza principalmente en territorio de los corregimientos de Valencia de Jesús y Aguas Blancas, destacándose el área urbana del primero y los caseríos de Las Casitas y Los Calabazos. Se incluye además la zona urbana de la ciudad de Valledupar, ubicada al norte del área. Figura 4.57. (Polígono azul).

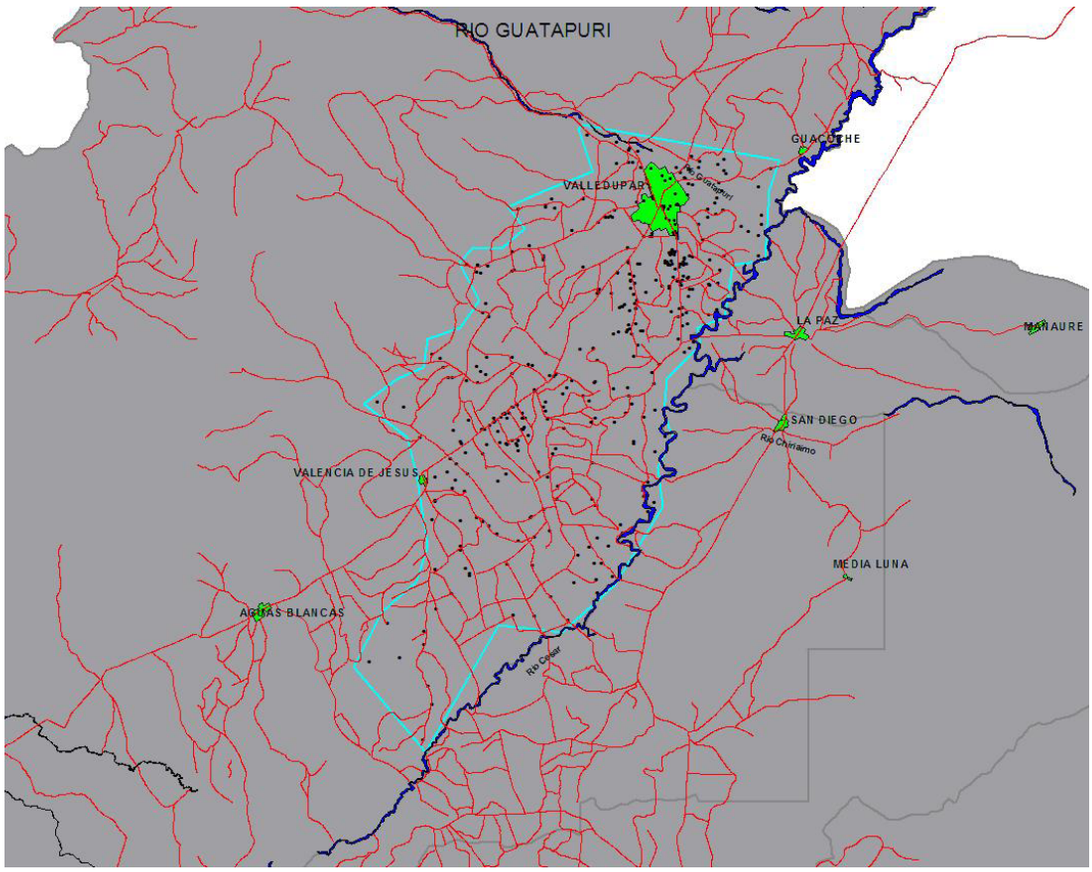



**Figura 4. 57.** Localización del Sistema Acuífero del Cesar. Modificado de IDEAM & CORPOCESAR (2007)

- Generalidades hidroclimáticas:

El río Cesar es el principal afluente y desemboca en el río Magdalena. El río Guatapurí es otro cauce importante de la red de drenaje de la cuenca. Modificado de IDEAM & CORPOCESAR (2007).

- Geología:

"En el área de estudio afloran unidades rocas ígneas y sedimentarias no consolidadas, cuyas edades varían desde el Jurásico hasta el reciente, conformando lo que se ha denominado Región de la Sierra Nevada de Santa Marta y Región Planicie del Cesar respectivamente". IDEAM & CORPOCESAR (2007 p. 39).

En este sentido el informe presentado por IDEAM & CORPOCESAR (2007) presenta dos regiones:

*Región de la Sierra Nevada de Santa Marta:*

Para el área de estudio esta región comprende afloramientos de rocas ígneas ubicados en el piedemonte o en las estribaciones de la Sierra Nevada de Santa Marta o a Cerros Aislados ubicados en este mismo sector o en la parte plana de la Planicie del Cesar.

*Región Planicie del Cesar:*

Para el área de estudio corresponde al área plana y semiplana de la cabecera y área rural del municipio de Valledupar rellenada por sedimentos del Paleógeno-Neógeno y Cuaternario. Corresponden a los Depósitos de Llanura Aluvial (Qlla), Abanico Aluvial de Valledupar (Qca), Aluviones Recientes (Qal) y Terrazas (Qt). Los Depósitos de Llanura Aluvial (Qlla) están constituidos por una secuencia de capas de arenas, limos y gravas de texturas finas a gruesas.

Para el área de estudio las principales corrientes y sus afluentes que transportan los sedimentos corresponden al río Cesar, Guatapurí y sus afluentes como el río Cesarito.

El Abanico Aluvial se originó por procesos físicos y químicos de rocas preexistentes en la Sierra Nevada de Santa Marta, las cuales fueron transportadas y depositadas gradiente abajo y finalmente los Aluviones Recientes (Qal) corresponden a acumulaciones de sedimentos en los cauces principales y los afluentes actuales de los principales ríos que drenan el área de estudio constituidos por arenas, gravas y arcillas.

- Unidades hidroestratigráficas:

Con base al informe presentado por IDEAM & CORPOCESAR (2007) en el área urbana y rural de Valledupar, se establecieron grupos hidrogeológicos, a los cuales asocian unos Sistemas Acuíferos:

- Sedimentos y Rocas Porosas con Importancia Hidrogeológica Relativa Grande a Muy pequeñas.

- **Sistema Acuífero Llanura Aluvial (Qlla):**

Está compuesto por sedimentos inconsolidados de origen aluvial que se extienden superficialmente y en el subsuelo con un área de aproximadamente 600 $km^2$, constituidos básicamente por intercalaciones de gravas, arenas y arcillas provenientes de la erosión de rocas ígneo metamórficas, volcánicas y volcano-sedimentarias de la Sierra Nevada de Santa Marta. (Ibíd.).

Este sistema forma acuíferos regionales continuos uno superior de tipo libre a semiconfinado constituido por arenas finas a gruesas y el inferior de tipo semiconfinados constituido por intercalaciones de arenas y gravas. El acuífero superior tiene un espesor que varia de 15 a 20 m y el acuífero semiconfinado o inferior, presenta niveles piezométricos entre 5 y 8 m de profundidad. (Ibíd.).

- **Sistema Acuífero Abanicos Aluviales de Valledupar (Qcal).**

Es un abanico de origen aluvial que circunda la ciudad de Valledupar y ocupa una extensión de 125 km$^2$, constituidos por capas de gravas gruesas, arenas y cantos de rocas ígneas y volcánicas en una matriz limo arcillosa con espesores entre 30 a 50 m, conformando un acuífero de tipo libre a semiconfinado. (Ibíd).

- **Sistema Acuífero Cuaternario Aluvial Reciente (Qal).**

Está constituido por bloques de gravas, arenas y limos que afloran sobre el cauce actual de las principales corrientes que drenan el área, en este caso los Ríos Guatapurí, el río Cesar, y sus afluentes como el río Cesarito. (Ibíd).

- **Sistema Acuífero Terrazas (Qt).**

Son cantos y bloques angulares a subredondeados de rocas intrusivas y volcánicas dentro de una matriz arenosa de grano medio a grueso, provenientes de la Sierra Nevada de Santa Marta que afloran al nororiente de la ciudad de Valledupar, ocupando las márgenes de los ríos Cesar y Guatapurí.

- Sedimentos y Rocas Porosas o Fracturadas con muy pequeña importancia Hidrogeológicao sin importancia. (Ibíd).

Está compuesto por rocas sedimentarias y volcanosedimentarias de edades triásico jurásicas con poca porosidad primaria y secundaria y escasa permeabilidad que pueden formar acuíferos locales de extensión limitada con conductividades hidráulicas bajas, en algunos casos son considerados acuifugas.

- Características hidráulicas y productivas:

Las características hidráulicas de los acuíferos en la zona se presentan en la Tabla 4. 11.

**Tabla 4.11.** Condiciones hidráulicas de los principales acuíferos del Cesar.

| Acuífero | Profundidad de captación (m) | Caudales (l/s) | Régimen de bombeo | Conductividad (m/día) |
|---|---|---|---|---|
| Acuífero superior de la llanura aluvial | Aljibes: 2-15 | Aljibes: 0,1-5,0 | Aljibes: 4 horas al día | 1,0 |
| | | Pozos profundos: 40-80 | Pozos profundos: 24 horas en época de verano | 0,2-144,0 |
| Acuífero Abanico aluvial de Valledupar | Aljibes: 5-15 | Aljibes: 0,5-15,0 | 4 horas al día | 15,0 |

Fuente: (tomado de IDEAM & CORPOCESAR, 2007)

El Sistema Acuífero Abanico Aluvial de Valledupar se encuentra reposando discordantemente sobre el acuífero semiconfinado correspondiente al Sistema Acuífero Llanura Aluvial.

- Dinámica de flujo y recarga:

Para el depósito cuaternario cono aluvial de Valledupar (Qca) el agua subterránea se mueve desde el norte hacia el sur, partiendo de las estribaciones de la Sierra Nevada de Santa Marta, transitando por el área de estudio y finalmente establece una zona de recarga en el río Cesar. (IDEAM & CORPOCESAR, 2007).

Igualmente para el depósito de llanura aluvial del río Cesar (Qlla), el agua subterránea fluye desde el noroeste hacia el sur con igual zona de tránsito y descarga que los depósitos anteriores.

- Calidad del agua:

Con mucha frecuencia se encuentran pozas sépticas cercanas a los aljibes ubicados en las viviendas de las fincas, lo que incrementa la amenaza a la contaminación debido a que se estas se encuentran interceptando la dirección de flujo de la tabla de agua o nivel freático que previamente ha sido contaminada por las pozas. (IDEAM & CORPOCESAR, 2007).

Adicionalmente el agua subterránea podría verse contaminada por los vertimientos industriales, por las gasolineras, por las intensas actividades mineras y por las actividades agropecuarias.

- Usos del agua subterránea:

De acuerdo al inventario realizado por IDEAM & CORPOCESAR, 2007, en el área urbana y rural de Valledupar se presentaron 442 captaciones de agua subterráneas correspondientes en un 8.60% a pozos profundos, 90.04 % a aljibes, 1.13% a aljibe pozos, y 0.22% a manantial, siendo la mayoría captadas de los depósitos de llanura aluvial del río Cesar (Qlla) y Depósito de Cono Aluvial de Valledupar (Qca).

El agua proveniente de los aljibes es empleada en un alto porcentaje para el consumo doméstico, especialmente en medianas a pequeñas fincas y en la cabecera municipal, aunque en estas últimas el agua es proveniente del acueducto de Valledupar. Otro consumo importante es el de abrevadero para animales, principalmente del ganado. En menor proporción el agua de los aljibes se utiliza para irrigación de cultivos. (IDEAM & CORPOCESAR, 2007).

INGEOMINAS & CORPOCESAR (1995) cita que la explotación que se hace en esta ecorregión, que es del orden de 39´331.050 $m^3$/año, se encuentran discriminados de la siguiente manera: 569.000 $m^3$/año para uso público, 7´785.450 $m^3$/año para uso doméstico, 23´242.200 $m^3$/año para irrigación y 1´213.700 $m^3$/año para uso industrial ganadero), todo lo anterior mediante pozos profundos; mientras que mediante aljibes, se extrae 2´253.700 $m^3$/año para uso doméstico, 3´295.200 $m^3$/año para industrial ganadero, 369.000 $m^3$/año para irrigación y 603.200 $m^3$/año para uso público.

#### *4.4.4.2. Sistema Acuífero Ranchería SAC4.2*

La cuenca del río Ranchería está situada en la parte central y occidental del departamento de La Guajira, abarcando una superficie de 4.223 $km^2$. Esta a su vez se encuentra comprendida entre los

municipios de Riohacha, San Juan del Cesar, Distracción, Fonseca, Barrancas, Hato Nuevo, Albania, Maicao y Manaure. (Universidad de Antioquia & CORPOGUAJIRA, 2011).

- Generalidades hidroclimáticas:

La precipitación media anual es de 967 mm/año con valores que oscilan entre 580 mm/año hacia el norte y 1.156 mm/año al sur. Universidad de Antioquia & CORPOGUAJIRA (2011).

El río más importante del departamento de La Guajira es el río Ranchería, que nace en la Sierra Nevada de Santa Marta a una altura de 3.800 m.s.n.m, y atraviesa la cuenca en sentido oeste este, luego en sentido noreste hasta la Falla de Oca y finalmente hacia el noroeste hasta desembocar en el Océano Atlántico en la ciudad de Riohacha. El río Ranchería en épocas de estiaje registra flujos intermitentes en algunos tramos, debido a procesos de infiltración y posterior afloramiento en superficie. Universidad de Antioquia & CORPOGUAJIRA (2011).

- Geología:

En la Tabla 4. 12 se resumen el tipo de rocas que afloran en la zona:

**Tabla 4. 12.** Tipos de rocas presentes en la cuenca del río Ranchería. (Tomado de Universidad de Antioquia & CORPOGUAJIRA, 2011).

| Tipo de roca | Ocurrencia |
|---|---|
| Ignea | Sierra Nevada de Santa Marta |
| Metamórfica | En pequeños cuerpos al suroccidente de la zona de estudio |
| Sedimentaria | Al norte de la Falla de Oca y paralelo al curso del río Ranchería |
| Depósitos recientes | Fundamentalmente terrazas, depósitos aluviales y depósitos eólicos |

La falla Oca, es la falla más importante del sistema E-W a NW, se extiende aproximadamente por 300km desde el extremo noroccidental de la Sierra Nevada de Santa Marta, donde se cruza con la Falla Santa Marta-Bucaramanga, hasta la isla de Toas y, posiblemente, se prolonga hasta su intersección con la Falla Bocono en Venezuela, para posteriormente unirse con la Falla San Sebastián-El Pilar.

- Unidades hidroestratigráficas:

En la Figura 4. 58 se presenta la distribución de las formaciones hidrogeológicas para el Sistema Acuífero del río Ranchería.

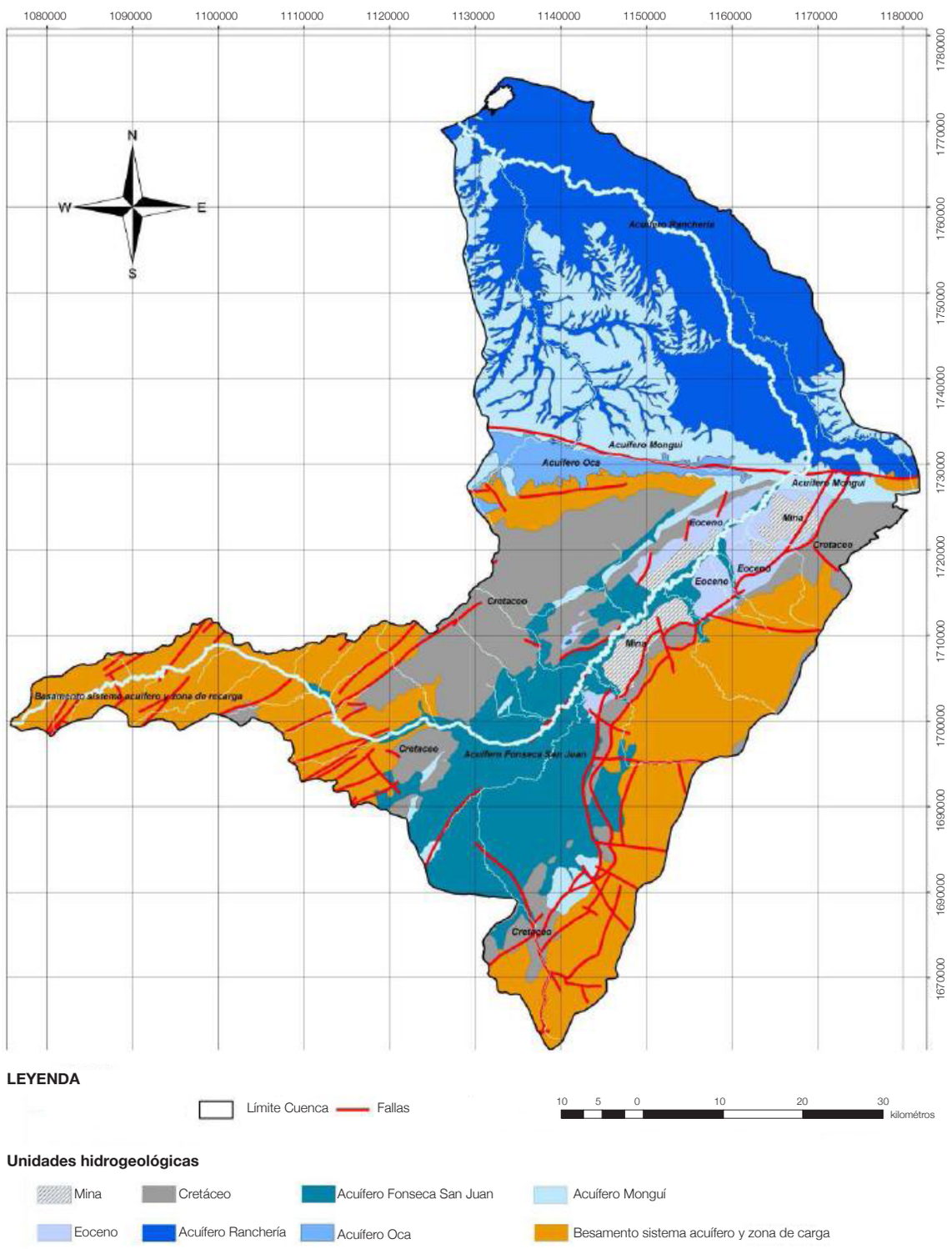



**Figura 4. 58.** Formaciones hidrogeológicas del Sistema Acuífero Ranchería. Universidad de Antioquia & CORPOGUAJIRA, 2011).

- Unidades hidrogeológicas situadas al norte de la Falla de Oca:

*-Acuífero libre de Ranchería:*

Se agrupan como una única unidad hidrogeológica, con carácter de acuífero libre todos los depósitos cuaternarios que se localizan al norte de la Falla de Oca, esto es terrazas, depósitos de abanico y grava, los depósitos aluviales y las arenas eólicas. Posee un espesor entre 0 y 78.4m y un área de 9.600 km$^2$. (Universidad de Antioquia & CORPOGUAJIRA, 2011).

*-Acuífero Multicapa de Monguí:*

Esta unidad que se identifica fundamentalmente al norte de la Falla de Oca (aun cuando tiene pequeñas manifestaciones al sur de la misma), subyace a los depósitos del Cuaternario. La unidad geológica coincidiría con una unidad hidrogeológica de carácter acuífero multicapa, que poseería subunidades confinadas. Registra profundidades máximas entre 81 y 304 m distribuidos en un área de 14.800 km$^2$. (Universidad de Antioquia & CORPOGUAJIRA, 2011).

- Unidades hidrogeológicas situadas al sur de la Falla de Oca:

*-Acuífero libre de Oca:*

Los depósitos aluviales del arroyo El Salado, cuyo curso sigue la dirección de la Falla de Oca hasta su desembocadura en el Ranchería, constituyen esta unidad hidrogeológica que tiene una extensión superficial de 93 km$^2$. (Universidad de Antioquia & CORPOGUAJIRA, 2011).

*-Acuífero libre de Fonseca:*

Formado por los depósitos de llanura aluvial que se encuentran asociados al río Cañaverales y al río Ranchería, al sur de la Falla de Oca. Esta unidad hidrogeológica tiene una extensión en superficie de 6.500 Km$^2$ con espesores entre 0 y 80 m y una profundidad media de 30 m. (Universidad de Antioquia & CORPOGUAJIRA, 2011).

*-Acuífero multicapa del Eoceno:*

Las formaciones sedimentarias del Eoceno (Formación Manantial, Formación Cerrejón y Formación Aguas Nuevas) se conjugan en una única unidad hidrogeológica que tendría el carácter de acuífero multicapa con algunos niveles confinados. La fuerte intervención antrópica asociada a la minería de El Cerrejón ha removido material sólido desconfigurado las propiedades texturales y estructurales de los depositos y ha modificado el curso de corrientes superficiales, Ocasionando la desaparición del acuífero hacia el norte de este dominio hidrogeológico. El acuífero Eoceno subyace al acuífero de Fonseca. (Universidad de Antioquia & CORPOGUAJIRA, 2011).

*-Acuífero Cogollo:*

Las referencias hechas por el INGEOMINAS en relación con la presencia de aguas dulces a profundidades que superan los 150 m, y que estarían circulando a través de rocas calcáreas hacen pensar en la importancia de explorar las potencialidades hidrogeológicas del Grupo Cogollo, ya que al subyacer a las formaciones sedimentarias del Terciario tanto al norte como al sur de la Falla de Oca, constituiría un acuífero confinado. Esta unidad podría almacenar las más importantes y considerables reservas de agua subterránea en la región. (Universidad de Antioquia & CORPOGUAJIRA, 2011).

- Dinámica de flujo y recarga:

Hacia el flanco sur-oriental de la cuenca, en la zona delimitada por la serrana del Perijá se registra una recarga potencial importante (226 mm/ano en promedio). Sin embargo, no se evidencia el mismo comportamiento hacia la región sur-occidental (delimitada por la Sierra Nevada de Santa Marta). Hacia la parte media de la cuenca, los valores de recarga potencial generalmente disminuyen, registrándose valores de recarga nula en los dominios mineros de El Cerrejón, sin embargo en la estación La Arena, localizada en la zona de la Falla de Oca, donde las características litológicas, climáticas, edáficas y de cobertura favorecen la recarga potencial, constituyéndose en una zona importante para la recarga. Universidad de Antioquia & CORPOGUAJIRA (2011).

- Características productivas:

Las más importantes reservas de agua en el medio subterráneo de la cuenca del río Ranchería estarían asociadas a la formación Cogollo; esta unidad poco explotada y escasamente explorada no ha podido ser completamente descrita al no contarse con información que permita identificar su espesor promedio, por lo que nos se cuenta con insumo suficientes para efectuar un estimativo responsable de la cantidad de agua almacenada en ella. Asumiendo unos magnitudes mínimas respecto a geometría y características hidráulicas se esperarían volúmenes disponibles que sobrepasarían varios millones de $m^3$. Universidad de Antioquia & CORPOGUAJIRA (2011).

- Calidad del agua:

Se observa una amplia distribución de facies hidroquímicas en las aguas subterráneas, correspondientes a diferentes unidades hidrogeológicas, a distintas profundidades de captación y diferentes grados de evolución a lo largo de las direcciones de flujo subterráneo. En las aguas superficiales priman las facies bicarbonatadas cálcicas a sódicas, seguramente relacionadas a la mayor o menor relación con el medio subterráneo, una muestra clorurada sódica corresponde a agua de mar.

- Usos del agua subterránea:

De acuerdo con el inventario realizado entre 2006-2008 por la Universidad de Antioquia y CORPOGUAJIRA, en la cuenca del río Ranchería existían hasta la fecha 1641 captaciones de aguas subterráneas, siendo Rioacha el municipio que más se abastece de este recurso.

Para 517 de los 1641 puntos de agua identificados en este estudio se cuenta con registro del tipo de uso que se da al agua subterránea, de ellos el 74,5% corresponden al sector doméstico, 4,85 % al agricola, 6,97% corresponde a captaciones que usan el recurso en actividades hoteleras y hospitalarias, para uso pecuario se reporta un 13,28%, en la industria 0.4%. Universidad de Antioquia y CORPOGUAJIRA (2011).

De acuerdo con la información consignada en el RURH se pudo establecer que el volumen de agua subterránea extraído en la cuenca del río Ranchería alcanzó 41917,26 $m^3$/d, siendo Albania el municipio que mayor explotación hace del recurso (69%), seguido de Fonseca y Riohacha (cada uno con 8%). Es necesario recordar que la información del RURH corresponde a 821 de las captaciones identificadas en este estudio, y por lo tanto la dependencia del recurso subterráneo asciende a cifras mayores de las aquí reportadas. Universidad de Antioquia y CORPOGUAJIRA (2011).

- Vulnerabilidad y problemas socioambientales:

Los resultados obtenidos por Universidad de Antioquia y CORPOGUAJIRA (2011), utilizando el método GOD para determinar la vulnerabilidad, permiten caracterizar la susceptibilidad del las unidades hidrogeológicas a ser adversamente afectadas por cargas contaminantes. De acuerdo con estos resultados los acuíferos ranchería, Fonseca y Oca registran un grado extremo de Vulnerabilidad y las unidades Monguí, Eoceno y Cogollo un grado de alto.

### *4.4.5. Provincia hidrogeológica Urabá PC5*

La zona de interés hidrogeológico de Urabá se ubica entre las serranías de Abibe y Las Palomas al este, el litoral del mar Caribe al norte, el Golfo de Urabá al oeste y el rio León al sur. De esta área solo 2000 $km^2$ corresponden a la zona plana. Figura 4.59. (En Vargas, N.O., 2001)

En esta parte del país el recurso hídrico subterráneo es de relativa importancia dadas las condiciones de demanda de la región. En este sentido, debe resaltarse que el acueducto de Chigorodó se abastece de dos pozos que producen 30 y 60 litros por segundo para cubrir una demanda de 116 litros por segundo y el municipio de Carepa de un pozo de 20 litros por segundo para una demanda de 53 litros por segundo. El municipio de Apartado se abastece de una corriente superficial que en época seca genera un caudal de 135 litros por segundo, insuficiente para cubrir una demanda cercana a los 235 litros por segundo (Ríos y Martínez,1995). (En Vargas, N.O., 2001)

El agua subterránea en la región de Urabá se extrae de unidades geológicas del Palógeno-Neógeno y cuaternarias que se disponen en estructuras plegadas amplias limitadas ocasionalmente por fallas longitudinales en la que afloran areniscas y lutitas de las formaciones terciarias que descansan de manera discordante sobre secuencias igneo-metamórficas. (En Vargas, N.O., 2001).



Provincia de Urabá

**LÍMITE**

Norte-Noreste: Límite internacional con Panamá

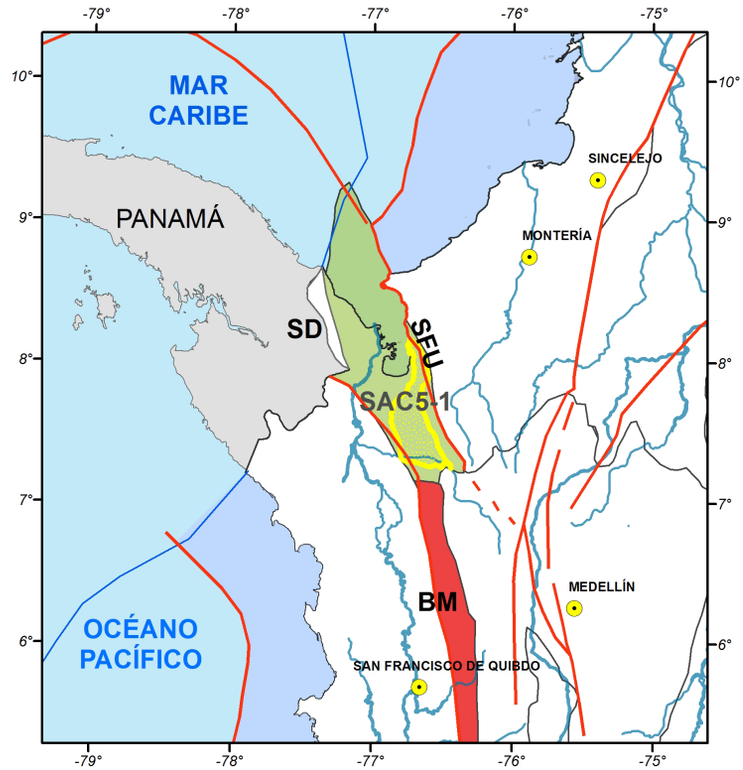
Sureste: Batolito de Mandé (B.M.) y falla de Murindó

Este: Sistema de fallas de Uramita (S.F.U.)

Oeste: Serranía del Darién (SD)

Sur: Rocas cretácicas de la Cordillera Occidental (CO)

N.P.D.B. Cinturón deformado del Norte de Panamá




**SISTEMAS ACUÍFEROS**

SAC5-1. Golfo de Urabá

Fuente: Modificado de ANH, 2007

**Figura 4. 59.** Ubicación de la provincia hidrogeológica de Urabá. Modificado de ANH, 2007.

La región de Urabá se enmarca en una tectónica de pliegues longitudinales con orientación general N20°E, conocida como anticlinorio Abibe-Las Palomas en las que aflora una secuencia monótona de edad terciario y de tipo turbidítico (lutitas y areniscas). Esta secuencia reposa sobre sedimentos marinos constituidos por areniscas y lutitas consolidadas del cretácico y rocas igneas plutónicas que intruyen rocas sedimentarias metamorfoseadas que se extienden desde el Paleozoico hasta el Mesozóico (INGEOMINAS, 1988a). (En Vargas, N.O., 2001) Figuras 4.60 y 4.61.

La ocurrencia de aguas subterráneas se reconoce en las rocas terciarias que se describirán a continuación (Ríos y Martínez. 1995) (En Vargas, N.O., 2001):

- Formación San Cayetano

Esta unidad reposa de manera discordante sobre conglomerados de la Formación Cansoná. Consta de una secuencia monótona de lutitas con variaciones laterales a areniscas conglomeráticas. Su espesor varia entre 0 y 2000 metros.

- Formación La Risa

Suprayaciendo la unidad anterior se distingue una secuencia que varia entre 0 y 500 metros de areniscas intercaladas con lutitas grises, limolitas y arcillolitas dispuestas en capas cuneiformes.

- Formación Pavo o Ciénaga de Oro

Esta unidad está compuesta por capas medias a gruesas de areniscas con matriz arcillosa que presenta variaciones laterales a areniscas arcillosas y lutitas. Su espesor es variable entre 0 y 600 metros.

- Formación Floresante

Sobre la anterior unidad yace una secuencia espesa y monótona de lutitas oscuras con delgados niveles arenosos que se conoce como Formación Porquero o Floresante, cuyo espesor varia entre 0 y 6500 metros.

- Formación Pajuil o Tubará

Se trata de una secuencia turbidítica en la que se destacan gruesos paquetes discontinuos de areniscas alternando con niveles de lutitas.

- Formación Carpa

Conforma capas discontinuas de lutitas con lentes arenosos y su espesor varía entre 0 y 3000 metros.

- Depósitos recientes

En el área se encuentran depósitos de terraza de los ríos Chigorodó, Carepa, Apartadó, Grande y Currulao. De igual manera se destaca la llanura aluvial de los ríos Mutatá y Turbo.

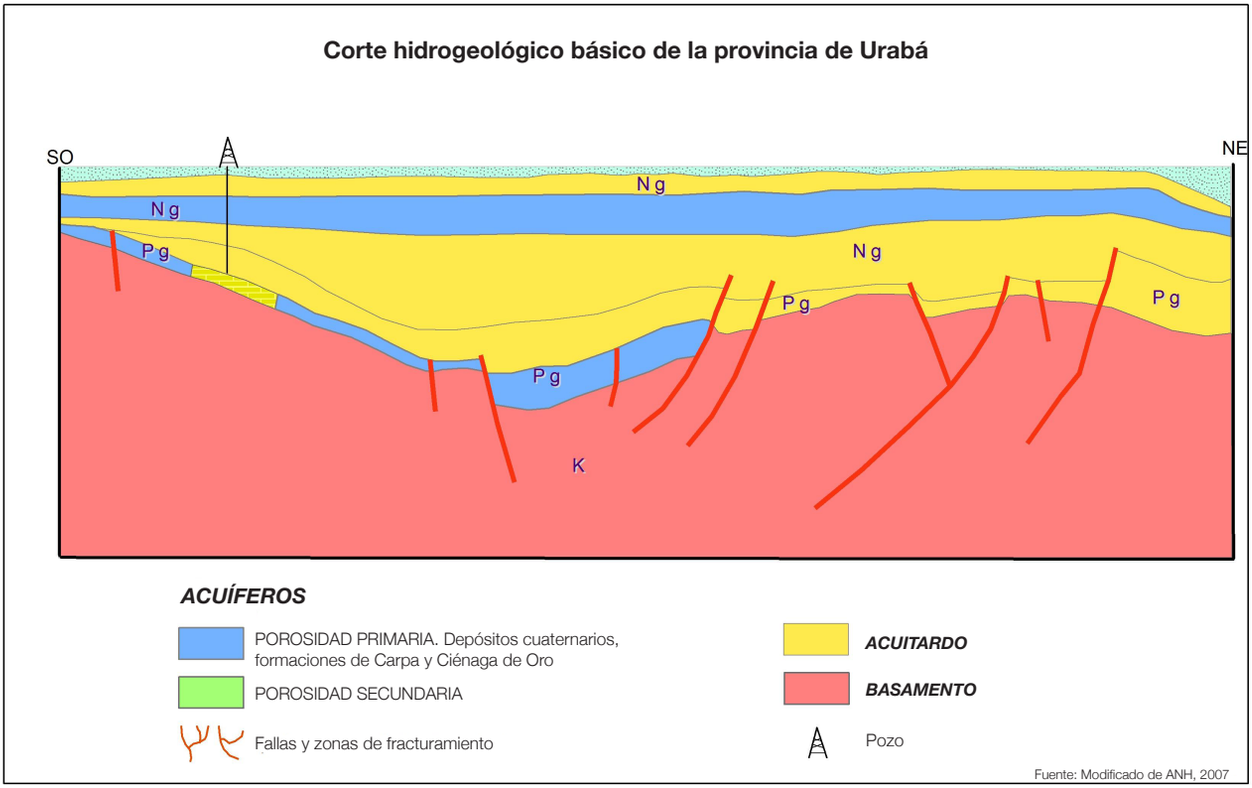



**Figura 4. 60.** Corte hidrogeológico básico de la provincia Urabá. Modificado de ANH, 2007.

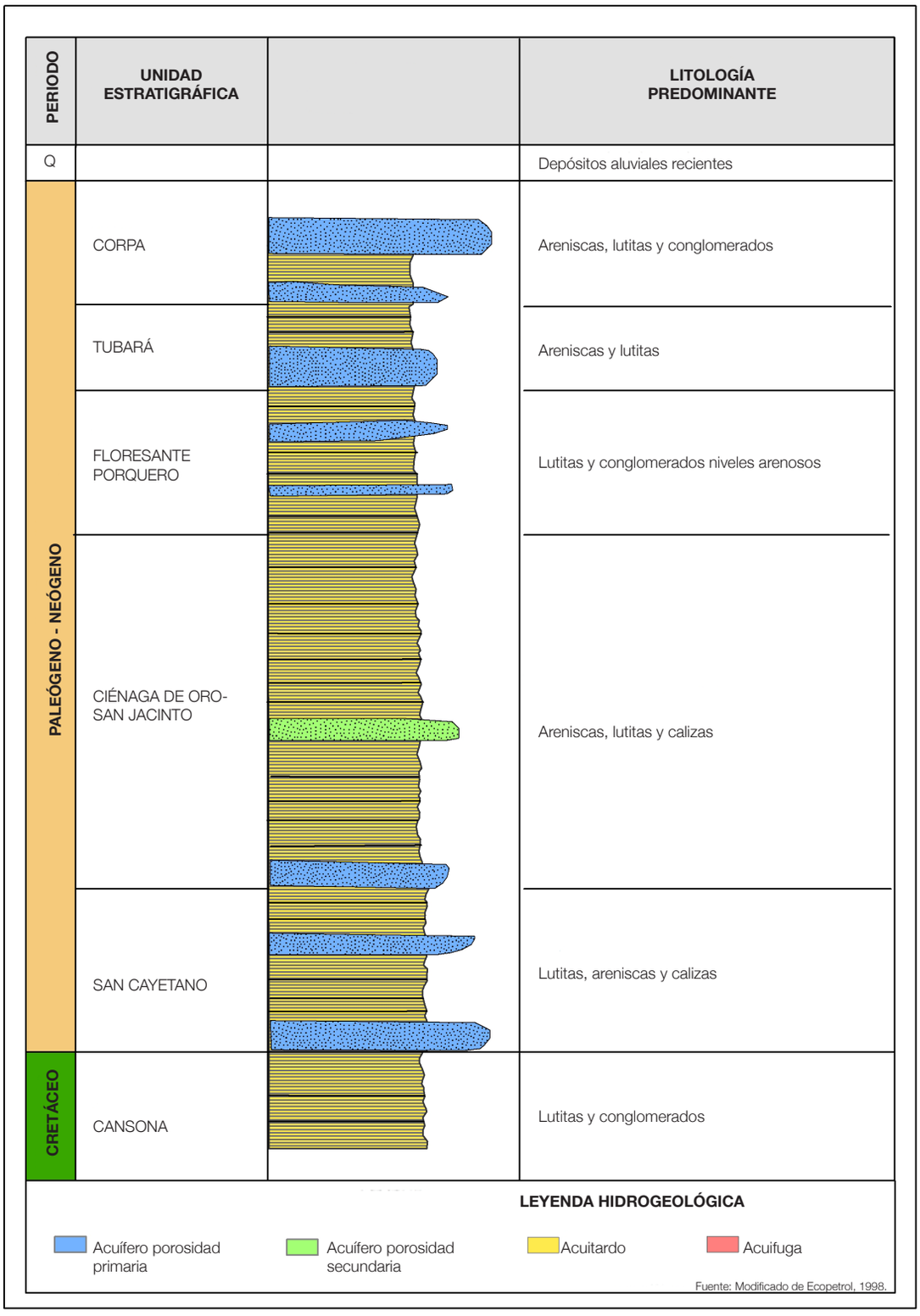



**Figura 4.61.** Columna estratigráfica generalizada de la provincia Urabá. Modificado de ECOPETROL, 1998.

Desde el punto de vista hidrogeológico las unidades del terciario descritas anteriormente se han agrupado en dos para facilitar su caracterización hidrogeológica (Ríos, Martínez, 1995):

**UNIDAD T1**

Está constituida por delgadas capa de arenisca en matriz arcillosa, interestratificadas con lentes de conglomerado y lodolitas.

Agrupa las formaciones La Risa, Ciénaga de Oro, Floresanto y Tubará.

**UNIDAD T2**

Se trata de la Formación Carpa que por su importancia hidrogeológica se dividió en:

- Conjunto T2A, constituido por intercalaciones de lodolitas y areniscas de matriz arcillosa, con un promedio de espesor de 165 metros.

- Conjunto T2B, conformado por capas de areniscas y conglomerados con delgadas intercalaciones de arcillolitas y limolitas. Su espesor varía entre 20 y 210 metros.

- Conjunto T2C, compuesto por intercalaciones de lodolitas y conglomerados en matriz arenosa. Su espesor varía entre 20 y 115 metros.

De acuerdo con las características hidrogeológicas en la zona de Urabá se distinguen las siguientes tipo de unidades roca-sedimento (En Vargas, N.O., 2001):

*I. Acuíferos en los cuales la porosidad primaria es intergranular:*

En este grupo se encuentran los sedimentos de la Llanura Aluvial Mutata-Turbo y la unidad T2b.

En los sedimentos de la llanura Aluvial Mutatá-Turbo se desarrollan acuíferos libres con extensión variable que presentan espesores de 5-45 en Turbo y Juradó y de 10-80 metros en la zona de Necoclí-Arboletes.

La importancia hidrogeológica de estos acuíferos se ha clasificado como moderada.

En la Unidad T2b se identifican acuíferos libres, semiconfinados y confinados de extensión regional.

En esta unidad se han estimado con pruebas de bombeo conductividades hidráulicas de 3-19 m/día y se explota con caudales de 0.3-4.7 litros por segundo.

Las aguas correspondientes a las unidades geológicas anteriores son de dulces a débilmente dulces y blandas a muy duras.

*II. Acuíferos en rocas consolidadas con porosidad primaria y fisuradas con porosidad secundaria:*

A esta clasificación se asocian los acuíferos de poca extensión y espesor que se desarrollan en la Unidad T1 conformada por lutitas con intercalaciones de areniscas arcillosas y areniscas conglomeráticas, los sedimentos de Terraza compuestos por gravas en matriz areno arcillosa, limos, arcillas y arenas conglomeráticas y las areniscas de grano fino a medio en matriz arcillosa y lodolitas de la Unidad T2a (Ríos y Martínez, 1995).

**III. Rocas granulares o fisuradas que forman acuíferos insignificantes con recursos limitados o sin recursos:**

Hacia el occidente de la cuenca se presentan rocas volcánicas terciarias de composición intermedia, básica y ultrabásica y rocas sedimentarias de ambiente marino que tienen porosidades primarias y secundarias bajas. Las rocas ígneas se consideran impermeables y las sedimentarias de baja permeabilidad y por estas razones las unidades geológicas carecen de interés hidrogeológico. Asimismo las unidades de carácter lutítico no incluidas en las categorías anteriores se comportan como acuicludos.

Los parámetros hidráulicos se han determinado con base en 33 pruebas de bombeo a caudal constante realizadas en convenio Ingeominas-Corpourabá y empresas particulares.

Se definieron conductividades hidráulicas de 1.26-21.25 m/día La transmisividad para toda la región en las unidades terciarias de importancia hidrogeológica varía entre 57 $m^2$/día-500$m^2$/día. De igual manera es estimaron niveles estáticos en 77 puntos de agua y se determinó que este varía para diferentes épocas del año entre 2.33 y 17.08 metros. Las capacidades específicas se determinaron entre 0.3 y 4.68 l/s/m. Los coeficientes de almacenamiento para las unidades terciarias se estimaron entre $2*10^{-3}$ y $8*10^{-4}$ . (En Vargas, N.O., 2001).

En el estudio más actualizado realizado en la región de Urabá se inventariaron 777 puntos de agua, de los cuales 368 son pozos, 362 algibes y 47 manantiales (Rios y Martínez,1995).

Los pozos se localizan principalmente en los municipios de Turbo y Chigorodó. Captan de las Unidades T2C y T2b. Su profundidad varía entre 22 y 300 metros. Los aljibes inventariados tienen espesores variables entre 1 y 10 metros y captan depósitos y terrazas aluviales cuaternarias y se usan para abastecimiento doméstico y ganadería. Los manantiales se identificaron en la zona de Turbo-Arboletes en depósitos aluviales y están asociados con fracturas de la Unidad T1. (En Vargas, N.O., 2001).

Se extraen caudales que varían entre 1.91 y 4.87$m^3$/hora para una descarga total estimada de 57.947.97 $m^3$. Este volumen se aprovecha en un 70.6% en agricultura, un 13.6% para abastecimiento doméstico, un 10.66% para abastecimiento público, un 2.21% para uso industrial y el resto para irrigación y ganadería. (En Vargas, N.O., 2001).

### *4.4.5.1. Sistema Acuífero Golfo de Urabá SAC5.1*

"El Sistema Acuífero costero del Golfo de Urabá, está localizado al noroccidente del departamento de Antioquia, Colombia. Este acuífero cubre aproximadamente 1.030 km²". (Paredes et ál., 2010, p. 54). Figura 4. 62.

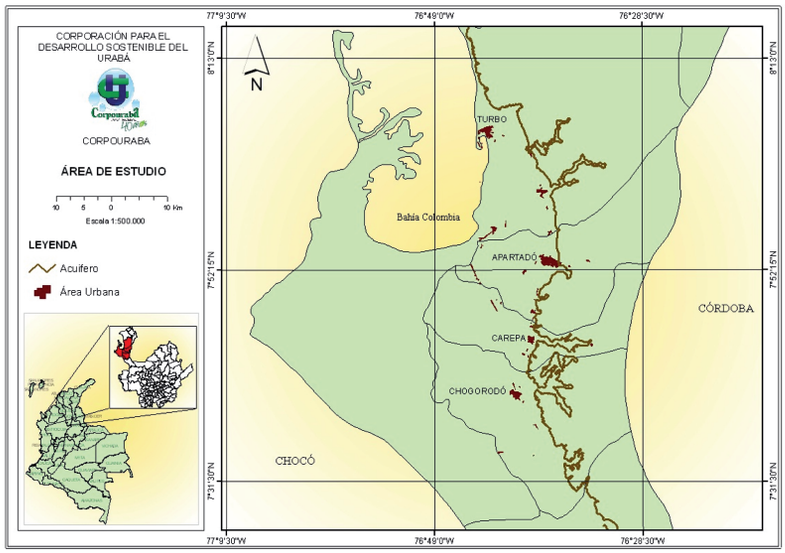



**Figura 4.62.** Localización del Sistema Acuífero Golfo de Urabá. (Villegas y Vivas, 2009)

- Generalidades hidroclimáticas:

"El clima de la región de Urabá es cálido semihúmedo; la precipitación promedio anual aumenta en el sentido noreste-suroeste desde 2.200 mm hasta los 3.800 mm, alcanzando una recarga de 29.1 millones de metros cúbicos anuales" (Paredes et ál., 2010, p. 54).

- Geología:

De acuerdo a (ROJAS, 1966; HAFFER, 1967) citado por INGEOMINAS (1995), en el área afloran rocas sedimentarias marinas del Oligoceno al Plioceno constituidas principalmente por arcillolitas y areniscas, y depósitos aluviales de edad Cuaternaria.

Dentro del Paleógeno-Neógeno, no se ha diferenciado las distintas unidades; solamente se ha separado las de ambiente de formación netamente marino (unidad T1) de las de ambiente netamente continental (unidad T2), siendo más joven la segunda. La unidad T2 se ha divido en tres conjuntos A, B y C, debido a su importancia hidrogeológica, marcada por el contenido de gravas. (INGEOMINAS, 1995).

La unidad T1 agrupa las rocas de edad Paleógeno-Neógeno de las formaciones La Risa, Ciénaga de Oro o Areniscas del Pavo, Floresanto o Porquero y Tubará o Pajuil (Haffer 1967) en INGEOMINAS (1995).

La unidad T2 agrupa parte de las rocas de la formación Corpa (HAFFER,1965 y 1967) de edad Plioceno Superior al Holoceno.

*Conjunto A:*

Está conformado por areniscas de color amarillo grisáceo, de tamaño de grano fino a medio. Se presentan en capas de 10 a 20 centímetros de espesor continuas paralelas, estratificadas con capas de lodolitas de color gris azuloso claro, friables que se presentan en capas de 5 a 10centímetros. El espesor de este conjunto en el sector de Carepa - El Roble alcanza los 165 metros.

*Conjunto B:*

Conformado por capas de arenisca y conglomerado. Se presentan en capas discontinuas no paralelas, de 1 a 15 metros de espesor, con estratificación cruzada hacia el tope de las capas. Presentan láminas delgadas de lodolitas.

Las capas de conglomerados están conformadas por gránulos y guijos de cuarzo, chert y roca volcánica (basaltos), en una matriz arenosa de color amarillo grisáceo, de grano medio a grueso. El espesor de este conjunto en el sector de Carepa es de 210 metros.

*Conjunto C:*

Conformado por lodolitas de espesor 1 a 2 metros de espesor, intercaladas con capas discontinuas de conglomerados, con guijo de cuarzo, chert y roca volcánica en una matriz arenosa. El espesor de este conjunto en el sector de El Tres-El Alto es 115 metros.

*Sedimentos cuaternarios:*

Además de los anteriores (INGEOMINAS, 1995) cita los sedimentos cuaternarios como una unidad que cubre la parte plana del área de estudio, es decir, desde el piedemonte de la Serranía de Abibe hacia el occidente, constituye el acuífero más superficial en la región y presenta espesores máximos 30 m. Localmente en algunas partes se observan terrazas de material más grueso, como arenas gruesas y gravas finas, pero el común es encontrar depósitos de finos.

En la Figura 4.63 se presenta un corte geológico para la zona de estudio

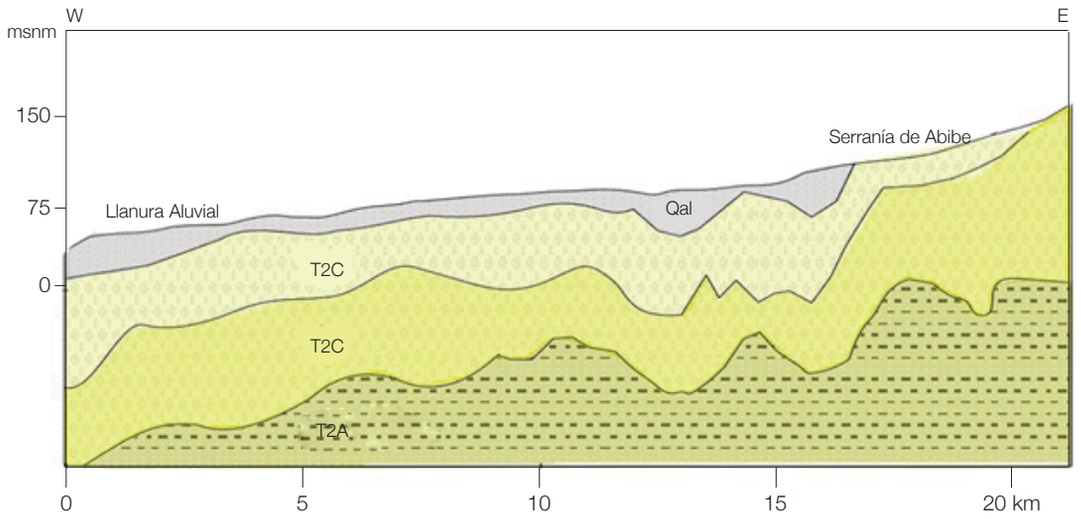



**Figura 4. 63.** Corte geológico del Sistema Acuífero del Golfo de Urabá. (INGEOMINAS, 1995)

## Unidades hidroestratigráficas:

De acuerdo a (INGEOMINAS, 1995) en el área se distinguen las siguientes unidades hidrogeológicas:

*Unidad T2C:*

Corresponde a la subunidad superior de la unidad geológica T2, aflora en superficie al sureste del área de estudio y hacia el norte como una franja delgada en dirección sur-norte; infrayace a la unidad Qal y se encuentra por encima de la unidad T2B. Los espesores de esta unidad varían entre 5 y 70 m y la profundidad a la cual se encuentra su base alcanza un máximo de 75 m entre Turbo y Apartadó.

*Unidad T2B:*

Corresponde a la subunidad media de la unidad geológica T2 y aflora hacia el oriente del área de estudio. En profundidad infrayace a la unidad T2C y suprayace a la T2A. El conjunto presenta espesores que varían entre 20 y 190 m, siendo máximos entre Carepa y Chigorodó donde constituye el núcleo principal del anticlinal de Chigorodó.

*Unidades T2A y T1:*

Corresponden a la subunidad inferior de la unidad geológica T2 y a la unidad T1 respectivamente, se clasifican como unidades de importancia hidrogeológica relativa muy pequeña a nula.

*Depósitos de Llanura Aluvial (Qal):*

La unidad cubre la parte plana del área de estudio, es decir, desde el piedemonte de la Serranía de Abibe hacia el occidente, constituye el acuífero más superficial en la región y presenta espesores máximos de 30 m.

- Dinámica de flujo y recarga:

A partir de análisis de la variación en el contenido de cloruros y la distribución de la conductividad eléctrica INGEOMINAS (1995) estableció que existe un sistema de flujo en la Unidad Qal con una tendencia desde la Serranía hacia el occidente y hacia el Golfo de Urabá.

El área de recarga del Acuífero del Golfo de Urabá se localiza al occidente del área de estudio, es decir en las estribaciones de la serranía de Abibe entre los 50 y 200 metros de altura sobre el nivel del mar, cubre 22.350 hectáreas, correspondiente a los sitios donde afloran las unidades T2B y T2C; al considerar que la infiltración varía entre los 49,7 y 387,1 mm/año, se calcula que la oferta anual de agua subterránea asciende a 29.103.905 m³/año (INGEOMINAS, 1995).

- Características hidráulicas:

En la zona existen alrededor de 550 pozos activos, en su mayoría para satisfacer la demanda del cultivo del banano. Las conductividades hidráulicas calculadas son variables; van desde 2 m/día (Noreste de la región) y hasta 20 m/día (en el sur). El coeficiente de almacenamiento es del orden de $10^{-4}$, lo que indica el confinamiento del acuífero, con caudales de hasta 150 l/s. (Paredes et ál., 2010, pp. 54)

- Calidad del agua:

De acuerdo al estudio de hidrogeoquímica por parte de INGEOMINAS (1995) se tiene que las aguas provenientes de los Depósitos Cuaternarios y de los Conjuntos B y C de la Unidad T2 presentan una mayor proporción del ión $HCO^3$ y en algunos casos de Cl, y de los cationes Ca, Mg y Na y por lo tanto se clasifica como $HCO^3$-NaCaMg, $HCO^3$-CaMgNa, $HCO^3$-MgNaCa, $HCO^3$-Na, $HCO^3$-Ca, $HCO^3$-Mg, $ClHCO^3$-Na o Fe-Na.

Se tiene que la distribución espacial de la mayoría de los iones en solución en el agua subterránea muestra una tendencia de aumento en el sentido sur-norte y oriente- occidente, presentando las mayores concentraciones en los alrededores de Turbo y en el sector comprendido entre Turbo y Apartadó.

En el área de estudio el agua subterránea de mejor calidad en cuanto a potabilidad se encuentra en los aljibes y pozos ubicados en alrededores de Barranquillita que cumplen, a excepción de la turbiedad, los requisitos físico-químicos para agua potable.

- Usos del agua subterránea:

En la Tabla 4. 13 se presenta la distribución de los pozos por uso para cada municipio, donde se evidencia que las actividades agrícolas hacen un mayor uso del recurso.

**Tabla 4. 13.** Distribución del número de pozos por uso en los municipios del Golfo de Urabá. Tomado de (Villegas P & Vivas, 2009)

| Uso | Apartadó | Carepa | Chigorodó | Turbo |
|---|---|---|---|---|
| Público | 29 | 27 | 19 | 20 |
| Agrícola | 117 | 117 | 82 | 86 |
| Industrial | 16 | 7 | 7 | 8 |
| Pecuario | 2 | 5 | 2 | 11 |
| Inactivo | 3 | | 8 | 11 |
| Abandonados | 30 | 24 | 14 | 33 |
| **Total** | **197** | **180** | **132** | **169** |

La distribución de la conductividad hidráulica del acuífero del Golfo indica que las mejores características para almacenar y ceder agua se encuentra en la zona sur (municipio de Chigorodó con caudales máximos explotados hasta de 150 l/s), disminuyendo hacia la zona norte (municipio de Turbo con caudales máximos explotados hasta 40 l/s, entre el corregimiento de Currulao y la zona urbana de este municipio). Entre el corregimiento de río Grande y el corregimiento El Reposo en el municipio de Apartadó, el caudal máximo explotado para pozos de más de 150 metros de profundidad alcanza los 70 l/s, mientras que en Carepa se han explotado caudales hasta de 100 l/s. (CORPOURABÁ, 2008).

En la Figura 4. 64, se presenta un piezómetro saltante.



**Figura 4. 64.** Piezómetro saltante en el Sistema Acuífero del Golfo de Urabá. Foto cedida por CORPOURABÁ

- Vulnerabilidad y problemas socioambientales:

Esta región se caracteriza por ser agrícola y pecuaria, lo que origina que existan muchas actividades que pueden llegar a ser contaminantes sumado a que muchos centros poblados de gran importancia poblacional no cuentan con cobertura de alcantarillado y plantas de tratamiento de aguas residuales. Dentro de las actividades que pueden llegar a ser contaminantes se encuentran: (Villegas P. & Vivas A., 2009).

- La ganadería en la zona sur podría aportar nitrato que por infiltración contaminarían las aguas subterráneas.
- Las estaciones de servicio en las que se han evidenciado restos de grasas y aceites en pozos artesanales cercanos a las mismas.
- También existe un relleno sanitario clausurado en el municipio de Apartadó, que fue construido en la zona de recarga del acuífero y que podría generar lixiviados. Para monitorear una posible contaminación la Corporación construyó piezómetros cerca de esta zona.
- Pozos artesanales y pozos profundos abandonados constituyen puntos para que fácilmente ingresen contaminantes al acuífero, pues no cuentan con protección; ya en los primeros se han encontrado residuos sólidos y envases de agroquímicos.
- Degradación del área de recarga
- Riesgo de contaminación por agroquímicos
- Pozos abandonados
- Localización inadecuada de pozos y mal diseño
- Incremento de la demanda
- Ilegalidad de pozos

### *4.4.6. Provincia Hidrogeológica Chocó PC6*

Esta provincia se localiza en el borde occidental del territorio nacional y se extiende hasta la plataforma continental en el Océano Pacífico. (En Vargas, N.O., 2001). Figura 4.65.

En la zona norte del Chocó no se ha realizado una etapa de prospección que permita un diagnóstico y evaluación en cantidad y calidad del recurso hídrico subterráneo. Sin embargo, se conoce de la existencia de un acuífero libre conformado por aluviones cuaternario en el valle del bajo río Atrato. En este acuífero se han perforado pozos entre 40 y 100 metros. El nivel estático se encuentra los 10 metros de profundidad y la

producción es de 10-50 litros por segundo con capacidad específica promedio de 1 l/s/m, se desconoce la calidad química del agua subterránea (Huguett et ál.,1989). Se presume que el acuífero es continuo de extensión regional en sedimentos no consolidados con permeabilidad alta a moderada. (En Vargas, N.O., 2001).



Provincia Chocó

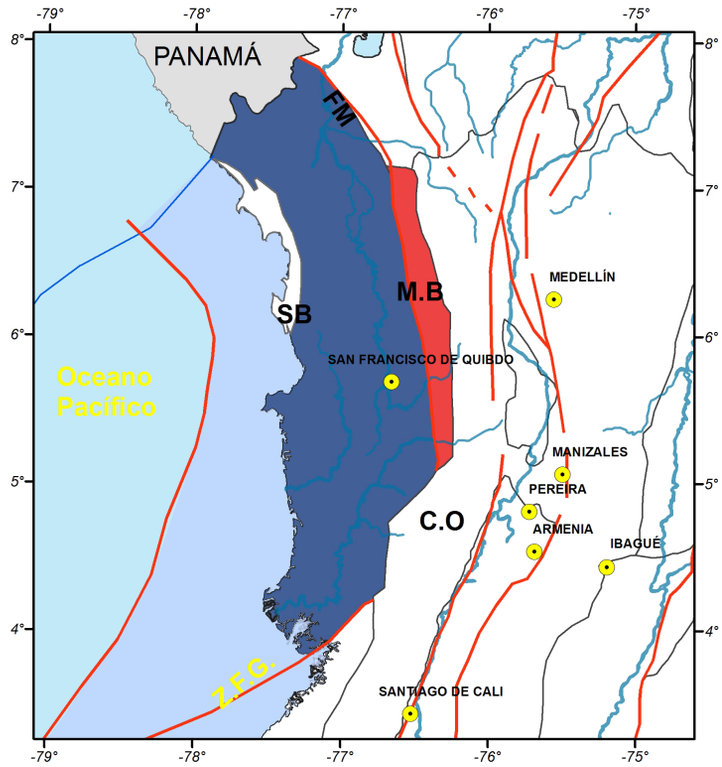
**LÍMITE**

N-NO: Límite internacionalmente con Panamá
Sur: Zona de fallas de Garrapatas (Z.F.G.)

NO: Serranía de Baudó (SB)

SO: Línea de costa actual del Pacífico

Este: Rocas quarzodiaritas del Batolito de Mande (M.B.), rocas cretácicas de la Cordillera Occidental (C.O) y parcialmente de Falla de Murindó (F.M.)




Fuente: Modificado de ANH, 2007

**Figura 4. 65.** Ubicación de la provincia hidrogeológica de Chocó. Modificado de ANH, 2007.

Corresponde a estructuras sinclinales alargadas que forman parte de una depresión de dirección norte a nordeste. La secuencia estratigráfica está suprayacida por depósitos fluviales y lacustres y corresponde a secuencias turbidíticas que superan los 6000 metros de espesor. Las rocas sedimentarias de la cuenca están incluidas dentro de las formaciones Uva (calizas con foraminíferos), Napipi (lodolitas nodulares y calizas), Sierra (limolitas calcáreas y lodolitas), Munguidó (lodolitas calcáreas que incluyen areniscas de grano medio y algunos conglomerados). (En Vargas, N.O., 2001). Figura 4.66.

De acuerdo con las características de porosidad, permeabilidad y litología podemos definir las siguientes unidades hidrogeológicas y caracterizar el tipo de almacenamiento que forman cada una de estas (En Vargas, N.O., 2001):

*I. Acuíferos en los cuales la porosidad primaria es intergranular:*

En esta categoría se pueden agrupar los sedimentos fluviales y transicionales del cuaternario localizados en la márgenes de los ríos Atrato, Baudó y San Juan.

*II. Acuíferos en rocas consolidadas con porosidad primaria y fisuradas con porosidad secundaria:*

Los niveles arenosos de las formaciones Quibdó y Munguidó podrían representar potencialmente acuíferos libres a confinados.

*III. Rocas granulares o fisuradas que forman acuíferos insignificantes con recursos limitados o sin recursos:*

En esta categoría se incluyen las secuencias de carácter predominantemente arcilloso entre las cuales se destacan las formaciones Sierra, Napipi, Uva y Salaquí que se comportarían como acuicludos. La secuencia de la Formación Barroso se debe comportar como acuifuga.

En el área del bajo Atrato en un acuífero libre conformado por aluviones cuaternario se explotan pozos con profundidades entre 40 y 100 metros. El nivel estático se halla a 10 metros de profundidad y la producción se encuentra entre 10 y 50 lps con capacidades específicas promedio de 1 l/s/m (Huguett, 1989). (En Vargas, N.O., 2001).

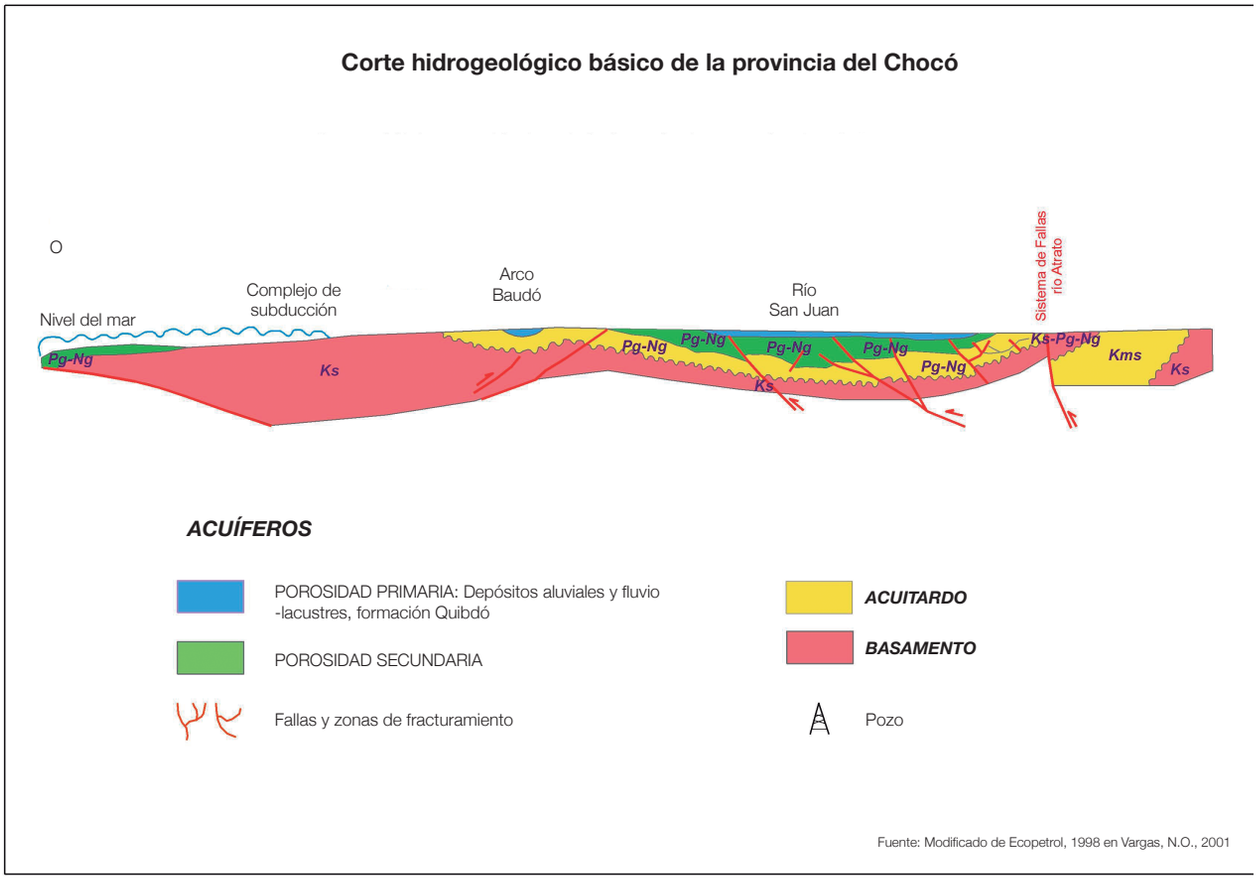



**Figura 4. 66.** Corte hidrogeológico básico de la provincia Chocó. Modificado de ECOPETROL, 1998 en Vargas, N. O., 2001.

### *4.4.6.1. Valles Aluviales*

No se encuentra información disponible.

## *4.4.7. Provincia hidrogeológica Tumaco PC7*

Esta cuenca no ha sido objeto de estudios hidrogeológicos. Se conoce que el recurso hídrico subterráneo se explota mediante algibes con agua de regular calidad química, extraída de depósitos de playa de muy poco espesor y baja permeabilidad. Se puede inferir que por la alta precipitación de la cuenca, las formaciones terciarias y los sedimentos cuaternarios presentan buenas posibilidades como acuíferos (Ingeominas, 1988a). (En Vargas, N.O., 2001). Figura 4.67.



Provincia de Tumaco

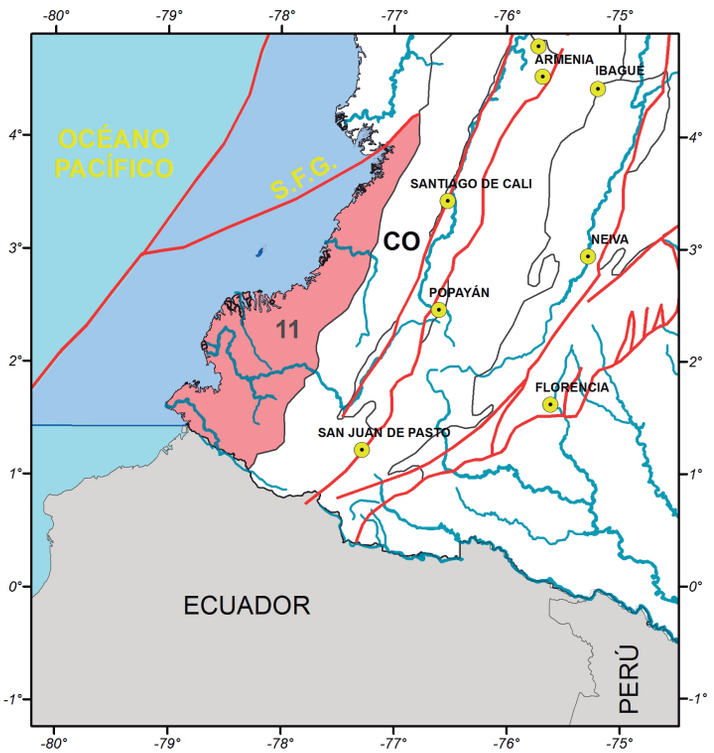
**LÍMITE**

Norte: Sistema de fallas de Garrapatas (S.F.G.)

Sur: Límite Internacional con Ecuador

Este: Rocas volcánicas de la Cordilllera Occidental (C.O)

Oeste: Línea de costa del Oceano Pacífico




Fuente: Modificado de ANH, 2007

**Figura 4. 67.** Ubicación de la provincia hidrogeológica de Tumaco. Modificado de ANH, 2007.

La Cuenca de Tumaco está constituida por sedimentitas que se extienden hacia el sur del río Atrato dentro de la Cuenca Geológica Chocó Pacífico donde litológicamente se han separado en las formaciones Suruco (Calizas, chert, areniscas calcáreas, lutitas y conglomerados a la base), Buenaventura (areniscas y Arcillolitas), Tumaco (lutitas calcáreas, areniscas y calizas fosilíferas), La Pato (conglomerados, limolitas, tobas y cenizas). En el borde occidental de la Cordillera Occidental se han diferenciado las formaciones Raposo y Mallorquín que corresponden a secuencias fluviatiles derivadas de la erosión de la Cordillera Occidental. (En Vargas, N.O., 2001). Figura 4.68.

De acuerdo con las características de porosidad, permeabilidad y litología podemos definir las siguientes unidades hidrogeológicas y caracterizar el tipo de almacenamiento que forman cada una de estas (En Vargas, N.O., 2001).

*I. Acuíferos en los cuales la porosidad primaria es intergranular:*

En esta categoría se pueden agrupar los sedimentos fluviales y de playa que se comportan como acuíferos libres a semiconfinados pobres con limitaciones por interdigitaciones de arcilla y reducido espesor.

*II. Acuíferos en rocas consolidadas con porosidad primaria y fisuradas con porosidad secundaria:*

Los niveles arenosos de las formaciones San Agustín, Tumaco y localmente Raposo, Mallorquín, Chaguí y Naya podrían representar potencialmente acuíferos discontinuos y pobres libres a confinados.

*III. Rocas granulares o fisuradas que forman acuíferos insignificantes con recursos limitados o sin recursos:*

En esta categoría se incluyen las secuencias de carácter predominantemente arcilloso entre las cuales se destacan las formaciones Suruco, Buenaventura, Cayapes,Viche, Naya, Chaguí, Napi, La Pato, que se comportarían como acuicludos. La secuencia del Grupo Diabásico se debe comportar como acuifuga por sus características litológicas.

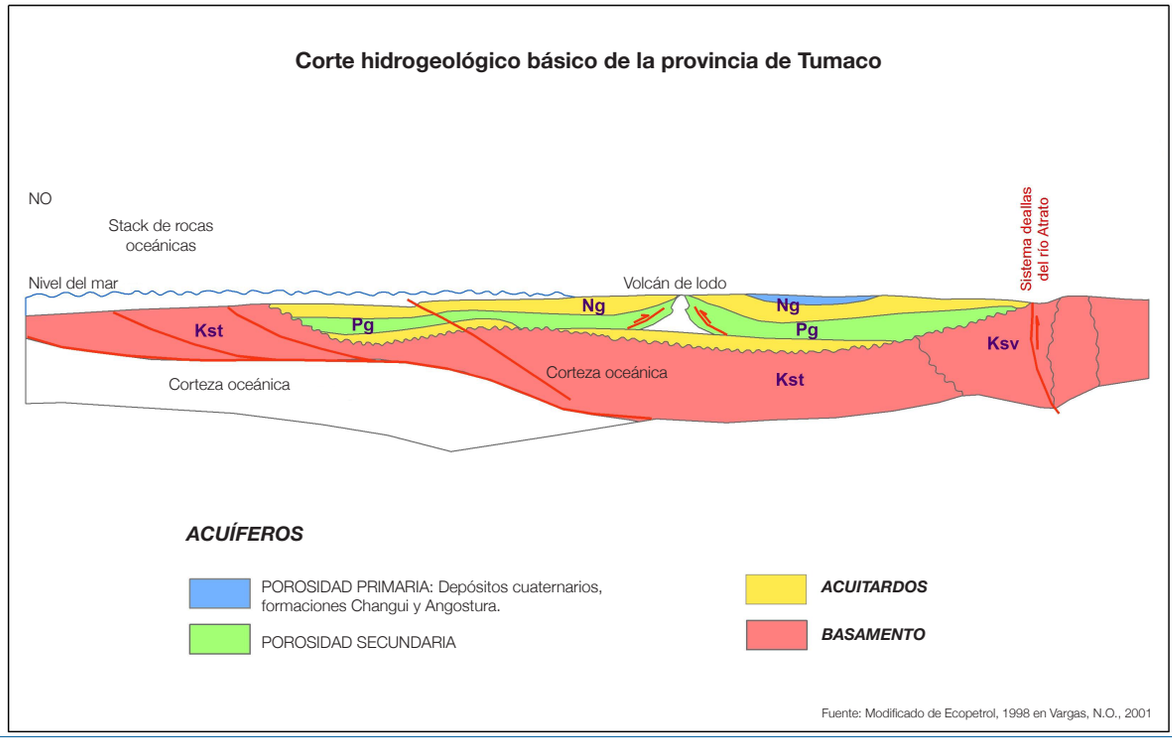



**Figura 4. 68.** Corte hidrogeológico básico de la provincia Tumaco. Modificado de ECOPETROL, 1998 en Vargas, N. O., 2001.

### *4.4.8. Provincia hidrogeológica San Andrés PC8*

Se encuentra situada a 691.6 km al noroeste de Cartagena en el Mar Caribe y consta de un conjunto de cayos e islotes que cubren cerca de 500 km$^2$ de los cuales San Andrés ocupa solo 27 km$^2$. (En Vargas, N. O., 2001). Figura 4.69.

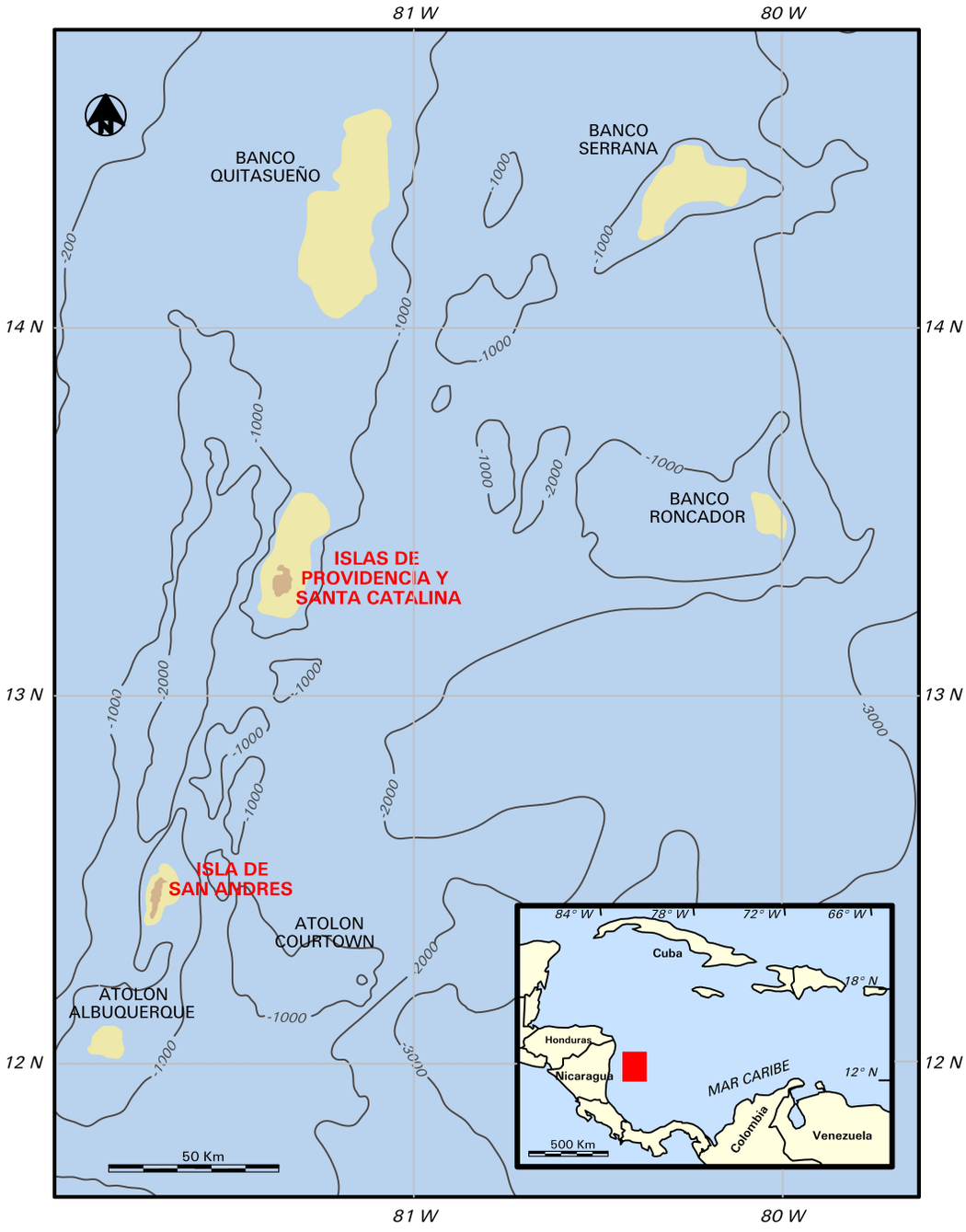



**Figura 4. 69.** Ubicación de la provincia hidrogeológica de Isla de San Andrés y Providencia.

San Andrés hace parte de un grupo de islas oceánicas, atolones y barreras coralinas, los cuales conforman el Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, de la República de Colombia. Su primer estado de formación se remonta a finales del periodo Cretácico (Geister y Díaz, 1996). San Andrés es la isla de mayor extensión con un área aproximada de 27 km$^2$. Su forma es alargada en dirección norte - sur con una longitud y ancho máximos de 12.5 km y 3.0 km, respectivamente. Por su centro corren dos pequeñas colinas con elevaciones máximas de 86 metros sobre el nivel del mar. Las zonas adyacentes a la línea de costa son generalmente planas con elevaciones no mayores de 5 m" (Toro, et ál. 1999). (En Vargas, N. O., 2001).

La isla de San Andrés está constituida principalmente por calizas y en su origen debió ser un atolón. hace veinte millones de años. El espesor total de estas rocas no se conoce con precisión. Una reciente exploración sísmica sugiere que las antiguas rocas volcánicas podrían situarse a 200 m de profundidad. No obstante, hasta ahora se cree que sólo las rocas calcáreas juegan un papel importante en la naturaleza de las aguas subterráneas de la Isla" (Ibidem). Figura 4.70 y 4.71.

"Dos formaciones geológicas sobresalen: Formación San Andrés y Formación San Luis. Ambas están constituidas por corales *in situ* y por una secuencia de rocas sedimentarias (conglomerados a arcillolitas) formadas por granos de composición calcárea y fragmentos de corales (Ibídem).

La Formación San Andrés es de edad Miocena, aflora en la parte central del territorio insular, ocupa el 57% de la superficie y conforma el sistema de colinas de la Isla. Las principales reservas de agua dulce subterránea (conductividades eléctricas menores de 1000 µS/cm) se hallan allí, principalmente bajo la Cuenca del Cove. Del acuífero de esta formación se abastecen los pozos del acueducto y algunos pozos privados de índole comercial; en esta zona normalmente no se encuentran pozos domésticos. La recarga está representada principalmente por el agua lluvia, y la zona de mayor interés es el Valle del Cove.

La Formación San Luis tiene una edad de 1 a 5 millones de años. Conforma los terrenos topográficamente más bajos de la Isla. Esta constituida por calizas coralinas arrecifales. Su espesor máximo se calcula en 20 m. Estas rocas representan el 37% del área emergida. Los mayores asentamientos humanos se han desarrollado sobre esta formación, especialmente hacia el norte de la Isla.

El acuífero de la Formación San Luis se caracteriza por presentar predominantemente agua salobre. La mayoría de los pozos hoteleros y casi todos los pozos domésticos captan agua de este acuífero. Su recarga proviene de tres fuentes: El agua lluvia que directamente se infiltra en estas rocas, agua subterránea proveniente del acuífero de la Formación San Andrés, y aguas residuales procedentes de los pozos sépticos y otras actividades domésticas" (Ibídem).

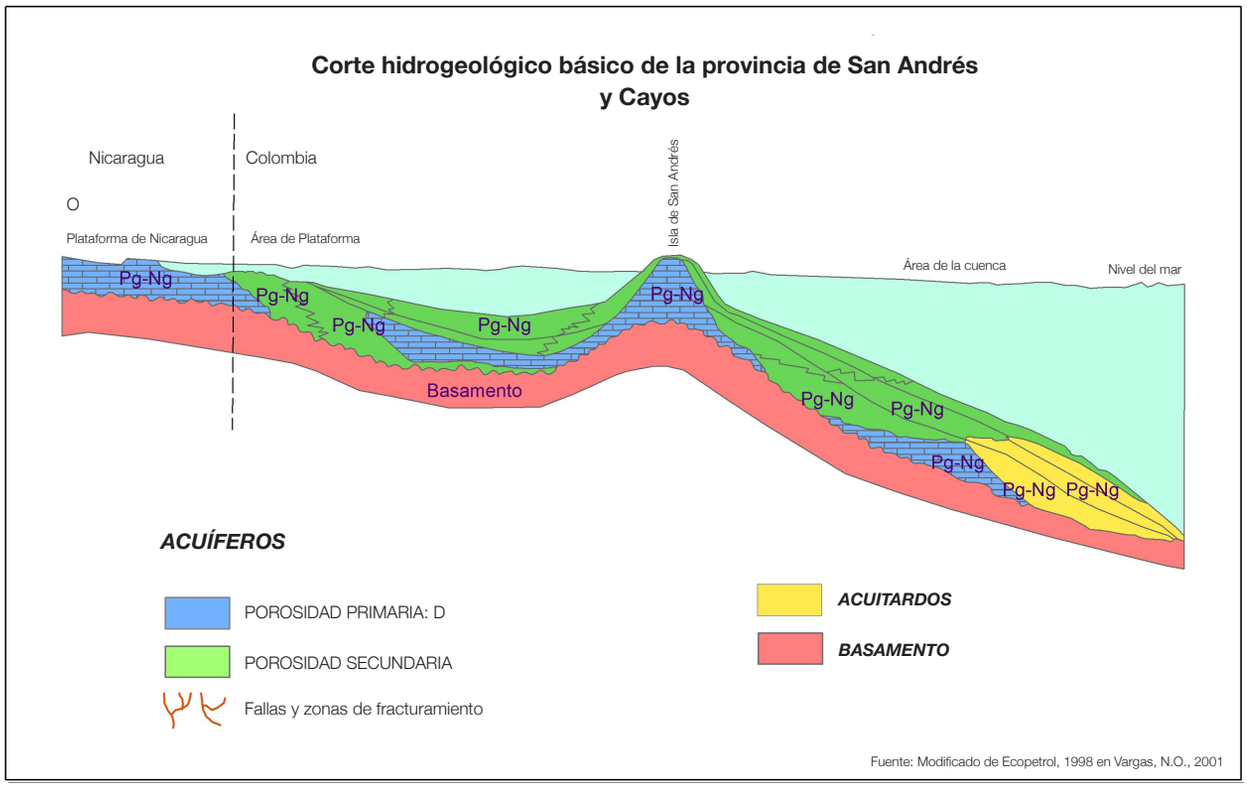



**Figura 4. 70.** Corte hidrogeológico básico de la provincia de San Andrés y Cayos. Modificado de ECOPETROL 1998 en Vargas, N. O, 2001.

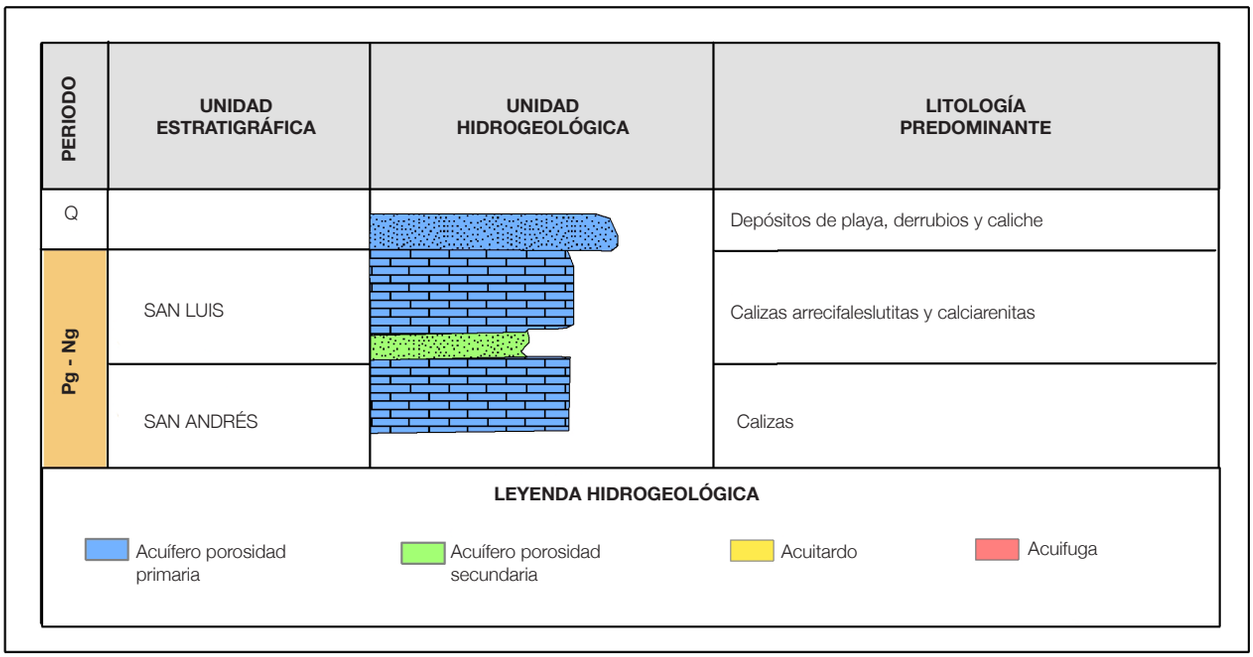



**Figura 4. 71.** Columna estratigráfica generalizada de San Andrés. Modificado de Ecopetrol, 1998.

"San Andrés posee una población residente estimada de 60.000 personas para el año 2000, lo cual la convierte en una de las islas más densamente pobladas del Mar Caribe. Más 70% de su población se concentra en la parte norte de la Isla generando allí una fuerte demanda de servicios básicos, la mayoría de ellos insatisfechos por la baja capacidad de atención de las entidades prestadoras de dichos servicios. (En Vargas N.O., 2001).

La mayor demanda acumulada la ejercen los residentes de la Isla. Se estima que el consumo *per cápita* en esta población es de 150 litros/día/habitante. En contraste, el consumo *per cápita* de la población flotante es casi el doble (189 litros/día/turista), pero el valor acumulado sólo equivale al 11% del consumo total del sector residente. La demanda acumulada de las entidades gubernamentales y los establecimientos educativos es similar a la del sector hotelero. La demanda atendida en el sector agropecuario es muy baja. Para subsanar la carencia en la prestación del servicio de agua a esta población, los agricultores han tenido que acomodar las actividades de siembra al régimen de lluvias en la Isla, el cual comienza a finales de mayo y termina a mediados de diciembre. (Ibídem).

Solo el 1% de la demanda total es atendida con agua potable; ésta proviene de cinco empresas embotelladoras de agua y de algunas plantas desalinizadoras de hoteles. El 30% de la demanda es atendida con agua ligeramente contaminada por materia fecal; aquí se incluye el agua suministrada por la red de acueducto, y el agua lluvia captada mediante techos canalizados y almacenada en cisternas. El resto de la demanda total es atendida con agua muy contaminada, ya sea por aguas residuales domésticas o por residuos de hidrocarburos. De toda el agua utilizada en la Isla, el 18% es agua lluvia, mientras que casi el 82% es agua subterránea extraída de aproximadamente 5900 pozos. Menos del 0.01% del agua proviene de manantiales" (Ibídem).

"La contaminación química y microbiológica del agua subterránea asociada a la expansión urbana es uno de los aspectos ambientales más sobresalientes en la isla de San Andrés. Los altos niveles de polución en el agua subterránea observados en algunos sectores del territorio insular se deben en parte a la altísima vulnerabilidad que presentan los acuíferos de la Isla al ingreso de esas sustancias. El caso más dramático concierne a la Formación San Luis por la poca profundidad del nivel freático (en promedio 5 m). Los asentamientos humanos desarrollados sobre esta formación, sumado a la carencia de un sistema de recolección y tratamiento de las aguas residuales domésticas, han deteriorado enormemente la calidad de las aguas subterráneas. (Ibídem).

La distribución de los nitratos en el agua subterránea muestra que en las zonas rurales las concentraciones son inferiores a 15 mg/litro (expresados como $NO_3^-$), mientras que dentro del perímetro urbano los valores ascendieron a más de 200 mg/litro, expresados como $NO_3^-$. Otros indicadores de contaminación mostraron patrones similares en su distribución, como es el caso de los coliformes fecales en donde se detectaron concentraciones superiores a 6000 unidades formadores de colonias por 100 ml de muestra en el sector urbano. (Ibídem).

Una segunda amenaza a la contaminación está representada por la explotación desmedida de algunos pozos que ha favorecido el avance la de la cuña marina. Algunos pozos de suministro público y privados se han salinizado durante los últimos años" (Ibídem).

### *4.4.8.1. Sistema Acuífero Isla de San Andrés SAI1*

La isla de San Andrés está situada en el Mar Caribe entre latitud 81º43' y longitud 12 º32' con una extensión de aproximadamente 26 $Km^2$. (UNAL, 2010).

- Generalidades hidroclimáticas:

La temperatura promedio en la isla es de 26°C y la precipitación promedio anual es 1900 mm. La Isla se caracteriza por un ciclo unimodal de la lluvia y se pueden definir fácilmente dos temporadas; una temporada de déficit de lluvias entre los meses de diciembre y mayo y una temporada de excesos de lluvias entre los meses de junio y noviembre. El mes más lluvioso es octubre con un promedio de 338 mm y el más seco es marzo con un promedio de 22 mm (UNAL, 2010).

- Geología:

De acuerdo a (UNAL, 2010) en la Isla de San Andrés se presentan 4 unidades:

*Basamento ígneo-volcánico:*

El basamento, aunque no aflora, probablemente está constituido por rocas similares a las aflorantes en la isla de Providencia, compuestas por andesitas, traqui-andesitas, diabasas y basaltos e intruídas por diques verticales de rocas ácidas a intermedias, de tipo cuarzo-dioritas (Burgl, 1957 citado por UNAL 2010) de edad Oligoceno y Mioceno Inferior (Geister, 1975 citado por UNAL, 2010).

*Formación San Andrés:*

Se encuentra sobre el basamento ígneo-volcánico conformada por calizas heterogéneas, de edad Mioceno, que afloran en la parte central de la isla y representan la zona de colinas suaves con alturas máximas de 87 msnm (Vargas, 2004).

*Formación San Luis:*

La edad de esta formación se encuentra entre el Plioceno y el Pleistoceno. (UNAL, 2010)

La Formación San Luis se encuentra constituida predominantemente por calizas cristalinas coralinas y localmente, en las zonas de transición continental a marino, por areniscas calcáreas de grano grueso. (UNAL, 2010).

Además de las anteriores, se presentan igualmente suelos residuales y depósitos cuaternarios. Estos últimos están compuestos por depósitos de arenas de playa, depósitos de laderas, depósitos de zonas lacustres y depósitos de manglares. (UNAL, 2010).

En la isla se destacan tres fallas: del Cove, de San Andrés y de Punta Hansa (Vargas, 2004 citado por UNAL, 2010). En la Figura 4.72 se presenta el mapa geológico de la Isla de San Andrés.

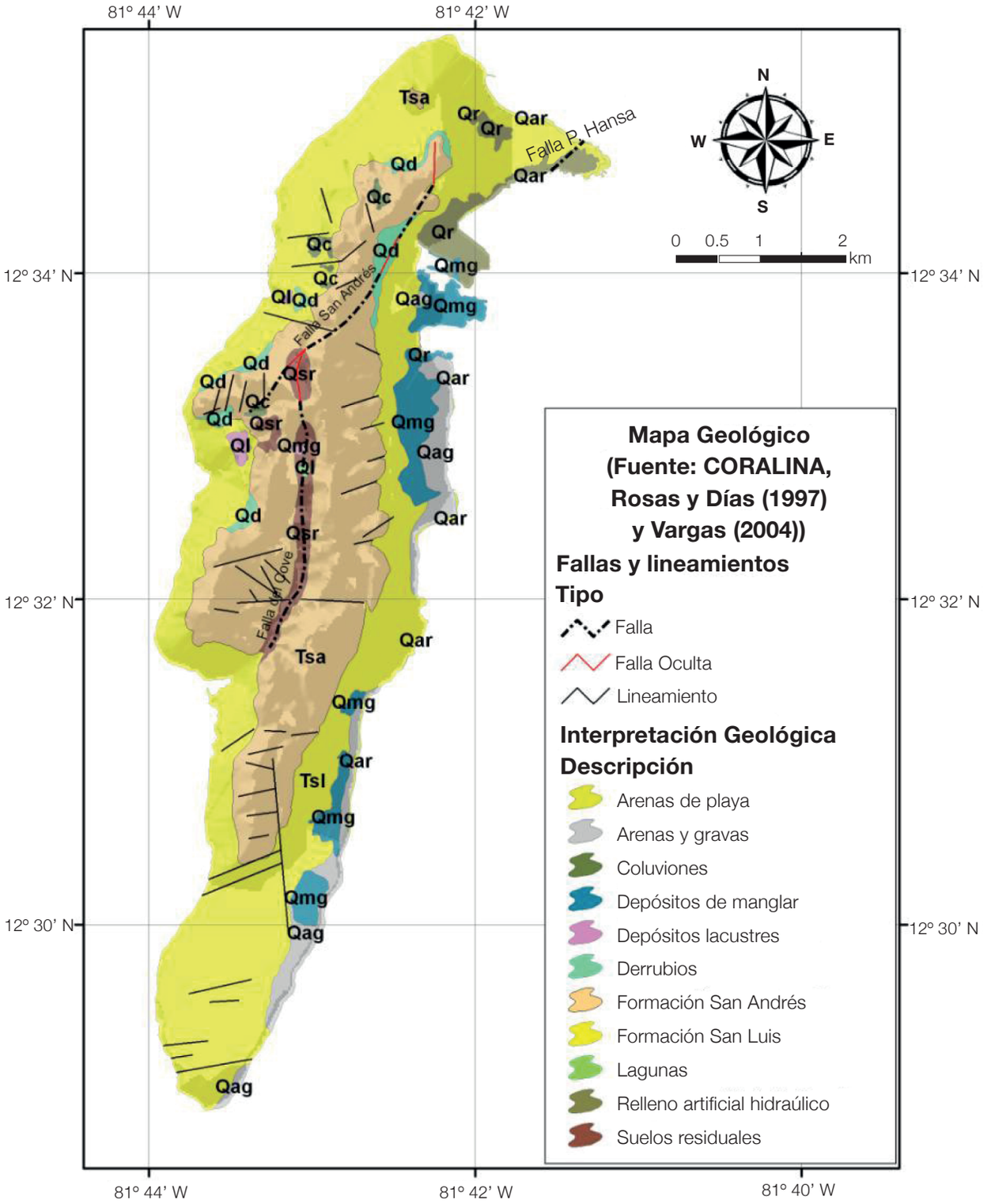



**Figura 4. 72.** Mapa geológico de la Isla de San Andrés. (UNAL, 2010).

## Unidades hidroestratigráficas:

El acuífero de la isla consiste en dos unidades hidroestratigráficas con características geológicas cársticas ambas clasificadas como acuíferos libres, denominadas Acuífero San Andrés (Tsa) con una extensión de 17,13 km$^2$ y Acuífero San Luis (Tsl) con un área de 9,89 km$^2$. (UNAL, 2010)

En la Figura 4.73 se presenta el modelo hidrogeológico conceptual del acuífero de La Isla de San Andrés.

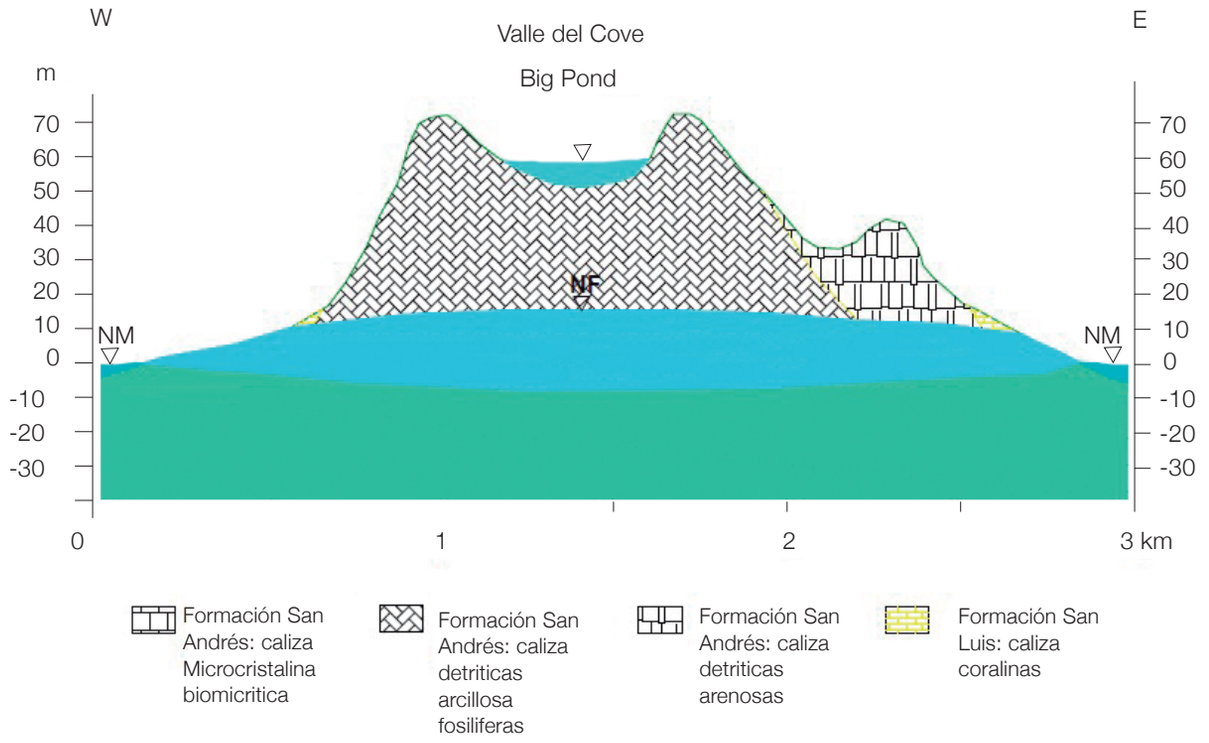



**Figura 4. 73.** Modelo hidrogeológico conceptual del acuífero de la Isla de San Andrés. (UNAL, 2010)

## Dinámica de flujo y recarga:

Las direcciones de flujo en la isla presentan dos líneas predominantes: Un flujo radial divergente desde la divisoria de la cuenca del Cove hacia el resto de la isla evidenciándose zonas de descarga en la línea de costa, y una zona convergente desde los límites de la cuenca del Cove hacia la zona de la Falla del Cove (longitud de aproximada de 4 km e incidencia de fracturamiento de 40%), que funciona como zona de receptora del flujo. (UNAL, 2010).

Los procesos más importantes de recarga se presentan sobre la formación San Andrés especialmente en la Cuenca del Cove donde la rápida respuesta de los niveles a las intensidades de la lluvia, muestran el alto dinamismo del acuífero. (UNAL, 2010).

Se ha comprobado la influencia de eventos macroclimáticos como el ENSO sobre la hidrología de la Isla, que en sus diferentes fases puede alterar las tasas de recarga considerablemente debido a la disminución o aumento de la precipitación observándose diferencias hasta de 60mm a escala mensual entre años La Niña y años Promedio. (UNAL, 2010). En este sentido el mismo autor estima valores de 810mm/año para fase fría, 480mm/año para un año Normal y para una fase cálida de 255mm/año de recarga.

- Características hidráulicas:

Se presentan zonas de mayores permeabilidades asociadas a la zonas aledañas a la Falla del Cove con valores de 30 m/d, mientras en zonas más alejadas, se presentan valores con un orden de magnitud menor. Además, se presentan mayores transmisividades al Suroeste de esta falla respecto a los valores encontrados en el Nororiente. (UNAL, 2010).

- Calidad del agua:

En general, se observa que en los pozos ubicados en la cuenca del Cove predominan aguas con facies bicarbonatadas, mientras que en pozos por fuera de la cuenca dentro de la misma zona pueden presentar tendencias intermedias a facies cloruradas debido a la proximidad al mar. Al norte de la isla, las aguas se mueven en el rango de facies bicarbonatadas cálcicas a cloruradas sulfatadas, esto es debido a la presencia de una zona de mezcla lineal intensa en donde en la zona occidental predomina la influencia del mar (salma, Alicia, halley), mientras en la zona oriental existe influencia de recarga proveniente de la formación San Andrés y de recarga directa de la lluvia y de vertimientos. Al Oriente de la Isla, se observa un comportamiento con tendencias bicarbonatadas cálcicas al Nororiente respecto al Suroriente, donde predominan facies cloruradas sulfatadas. (*Ibíd*.).

- Usos del agua subterránea:

En la zona del Cove se encuentra la principal fuente de agua dulce de San Andrés. Durante la historia del acueducto de la Isla, en la denominada Cuenca del Cove, se han construido un total de 33 pozos profundos, 17 de ellos con concesión aprobada por CORALINA hasta el año 2010. (UNAL, 2010).

Existen también en la isla alrededor de 6.035 aljibes y pozos barrenados, distribuidos de la siguiente manera: 5.837 en el sector residencial, 79 en el sector comercial y restaurantes, 44 en instituciones oficiales, 31 en hoteles, 23 destinados a la venta de agua por medio de carrotanques, 17 del acueducto y 4 de la planta desalinizadora. (UNAL, 2010).

La cuenca del Cove es la zona de mayor importancia, con pozos profundos perforados en la zona de la falla del Cove. El campo de pozos se empezó a explotar desde 1966 con caudales iniciales de 25 l/s, alcanzando valores de 50 l/s para el año 1985 en donde se presentaron síntomas de sobreexplotación en el acuífero y se tomaron medidas de gestión para lograr un caudal concesionado actual de 30 l/s. (UNAL, 2010).

En la formación San Luis la explotación consiste principalmente en extracción del agua subterránea por medio de aljibes y barrenos, con caudales bajos de explotación y en muchos casos extrayendo agua salada para procesos de desalinización. (UNAL, 2010).





# Capítulo V

## Aguas subterráneas frente a afecciones antrópicas y variabilidad climática

Este capítulo aborda el tema de las aguas subterráneas frente a las condiciones de afectación antrópica de aguas superficiales y suelos expresada en indicadores hídricos y su posible alteración por variabilidad y cambio climático, teniendo en cuenta su papel como posible medida de adaptación para suplir demandas en épocas críticas y en regiones que son afectadas de manera importante por efectos de fenómenos extremos como El Niño y La Niña o por variabilidad climática y cambio climático.

## 5.1. Contexto

La gestión integrada del agua presupone que la gestión considera de una manera sistémica las distintas dimensiones del agua: superficial y subterránea, y cuantitativa y cualitativa, teniendo como un aspecto clave que el agua representa un sistema ecológico que contiene partes interrelacionadas que interactúan y se influencian mutuamente. Esto implica que la planificación y gestión de los recursos hídricos debe tomar en consideración estas relaciones con miras a lograr la seguridad y calidad del agua. (OMM, 2011).

En un nivel amplio la gestión integrada del agua debe orientarse a considerar las interrelaciones entre la economía, la sociedad y el medio ambiente, donde el agua es un componente que en gran medida puede facilitar o dificultar el desarrollo económico, reducir la pobreza, mejorar la salud y el bienestar y proteger el patrimonio (OMM, 2011).

El enorme potencial hídrico nacional, tanto en la distribución espacial como temporal, se restringe en su aprovechamiento por la confluencia de múltiples factores antrópicos que han generado efectos en los componentes del ciclo hidrológico y, en especial, sobre la calidad del agua por la incorporación de residuos a las fuentes hídricas superficiales abastecedoras, principalmente. También lo afectan en buena medida los patrones de aprovechamiento, caracterizados por mecanismos de uso poco eficientes del recurso hídrico.

Como se puede deducir de lo tratado en capítulos anteriores de este documento, en el país hay diferencias importantes en el grado de conocimiento que se tiene sobre el agua superficial y el agua subterránea. En gran medida debido a que Colombia se caracteriza por tener una significativa riqueza hídrica superficial en la mayoría de sus regiones. Por lo cual los esfuerzos no se han concentrado en evaluar las características hidrogeológicas y la potencialidad hídrica subterránea en términos de oferta y disponibilidad, condiciones de calidad, usos actuales, demanda hídrica, presiones por contaminación, amenazas y vulnerabilidad de este recurso.

Sin embargo, con los resultados del último Estudio Nacional del Agua 2010 (IDEAM, 2010a) y con la información secundaria presentada en este documento, síntesis de los aportes de diferentes instituciones que han desarrollado estudios e investigaciones con miras a divulgar lo que se conoce de los Sistemas Acuíferos de Colombia, se dan pasos importantes en la evaluación del potencial hídrico subterráneo y sus características. Esto constituye un soporte para avanzar hacia una evaluación que apoye la gestión del agua integrada en todas sus dimensiones, así como identificar elementos sobre el estado y necesidades de información y conocimiento.

En este capítulo se analiza la problemática ya identificada a nivel superficial (ENA 2010), con la existencia de Sistemas Acuíferos en estas zonas de interés, donde el agua subterránea podría significar

una alternativa para suplir las necesidades y resolver esta problemática asociada. En particular con la pérdida de regulación hídrica; disminución de la disponibilidad de agua en las fuentes para suplir las necesidades sociales, económicas y ambientales, tanto actuales como sus tendencias; las cambios en las condiciones de calidad y limitaciones por contaminación; y los efectos de la variabilidad y el cambio climático sobre los ecosistemas y el recurso.

## 5.2. Enfoque metodológico

Para el análisis de las aguas subterráneas frente a las condiciones de afectación del agua superficial en el país, se considera en primer lugar y como referente el sistema de indicadores hídricos del ENA 2010 utilizados para la evaluación del estado y tendencias del agua en unidades hídricas superficiales de análisis, incorporando la coincidencia entre la problemática del agua superficial y las potencialidades de los Sistemas Acuíferos identificados. Como complemento se compara la existencia de Sistemas Acuíferos con las zonas de mayores afectaciones por déficit o por excedentes de agua por efectos en la hidrología de fenómenos como el Niño y la Niña. Por último se hace una comparación muy general e indicativa de las zonas donde, según los escenarios posibles por cambio climático, se experimentarían mayores cambios en la escorrentía basados en lo publicado en el ENA 2010 y Segunda Comunicación Nacional de Cambio Climático (IDEAM, 2011)

En el proceso de evaluación de Sistema Acuíferos frente a recursos hídricos superficiales con diferentes grados de afectación por acción antrópica y efectos de la variabilidad y cambio climático, se consideran los indicadores que dan cuenta del régimen hidrológico natural y el grupo de indicadores que incorpora además de factores climáticos e hidrológicos, la interacción con las actividades antrópicas para condiciones hidrológicas promedio y de año seco (ENA 2010) y su agregación y espacialización para las 309 subzonas hidrográficas y para unidades hídricas fuente de abastecimiento de las cabeceras municipales. Se hace una integración espacial, utilizando técnicas de SIG con base en la zonificación hidrogeológica que el IDEAM publicó en el Estudio Nacional del Agua 2010 (IDEAM, 2010a) y los Sistemas Acuíferos definidos en este documento.

Los indicadores hídricos seleccionados para esta evaluación son: el índice de retención y regulación hídrica (IRH) el índice de aridez, el índice de uso del agua (IUA), índice de vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico (IVH), e índice de alteración potencial de la calidad del agua (IACAL). Estos indicadores hídricos establecen un estado de referencia de las condiciones actuales que dan cuenta de variables determinantes para explicar las características del régimen hídrico, las relaciones entre la oferta y la demanda del agua en las unidades de análisis mencionadas, las condiciones de calidad y las presiones por contaminación.

### *Indicadores de régimen hídrico*

*Índice de retención y regulación hídrica, IRH:*

El ENA 2010 incorporó este índice para evaluar la capacidad de la cuenca para mantener un régimen de caudales, producto de la interacción del sistema suelo-vegetación con las condiciones climáticas y con las características físicas y morfométricas de la cuenca. Este indicador permite evaluar la capacidad de regulación del sistema en su conjunto. (IDEAM, 2010a).

Se calcula a partir de la curva de duración de caudales diarios la cual sintetiza las características y la interacción de las condiciones geomorfológicas, geológicas, del suelo, de la vegetación, clima e intervención antrópica. (*Ibíd*.)

Se establece calificación en cinco rangos donde una capacidad de retención y regulación muy alta está dada para aquellas cuencas donde el indicador es mayor a 0.85 y muy baja cuando es menor de 0.5, como se ilustra en la Tabla 5. 1.

**Tabla 5. 1.** Calificación de los rangos de valores del IRH (IDEAM, 2010a).

| Rango de valores del Indicador | Calificación | Descripción |
|---|---|---|
| >0.85 | MUY ALTA | Muy alta retención y regulación de humedad |
| 0.75 – 0.85 | ALTA | Alta retención y regulación de humedad |
| 0.65 – 0.75 | MODERADA | Media retención y regulación de humedad media |
| 0.50 – 0.65 | BAJA | Baja retención y regulación de humedad |
| <0.50 | MUY BAJA | Muy baja retención y regulación de humedad |

*Índice de Aridez, (IA):*

El índice representa una característica cualitativa del clima, que permite medir el grado de suficiencia o insuficiencia de la precipitación para el sostenimiento de los ecosistemas de una región. Identifica áreas deficitarias o de excedentes de agua, calculadas a partir del balance hídrico superficial.

***Indicadores que incorporan además de factores climáticos e hidrológicos, la interacción con actividades antrópicas.***

*Índice de Uso de Agua (IUA):*

Este indicador representa la relación porcentual entre la cantidad de agua utilizada por los diferentes sectores usuarios, en un período determinado (anual, mensual) y unidad espacial de análisis (área, zona, subzona, otras.) en relación con la oferta hídrica superficial disponible para las mismas unidades de tiempo y espaciales.

En el ENA 2010 se sugiere que en sentido estricto el indicador debería considerar la oferta hídrica superficial y subterránea en forma unitaria. Sin embargo, mientras se tienen avances en la conceptualización sobre la oferta de agua subterránea, se debe seguir considerando solamente la oferta hídrica superficial.

Se establecen cinco rangos que representan las presiones de la demanda con respecto a la oferta disponible, desde muy altas (IUA >50) hasta presiones no significativas cuando el IUA es ≤ 1 (Tabla 5. 2).

**Tabla 5. 2.** Rangos y categorías del Índice de Uso del Agua, IUA. (IDEAM, 2010a)

| Rango (Dh/ Oh)*100 IUA | Categoría IUA | Significado |
|---|---|---|
| >50 | Muy alto | La presión de la demanda es muy alta con respecto a la oferta disponible |
| 20.01 - 50 | Alto | La presión de la demanda es alta con respecto a la oferta disponible |
| 10.01 - 20 | Moderado | La presión de la demanda es moderada con respecto a la oferta disponible |
| 1 - 10 | Bajo | La presión de la demanda es baja con respecto a la oferta disponible |
| ≤ 1 | Muy bajo | La presión de la demanda no es significativa con respecto a la oferta disponible |

*Índice de vulnerabilidad hídrica por desabastecimiento (IVH):*

Este indicador representa, en forma cualitativa e indicativa, el grado de fragilidad del sistema hídrico para mantener una oferta para el abastecimiento de agua, que ante amenazas –como períodos largos de estiaje o eventos como el Fenómeno cálido del Pacífico (El Niño)– podría generar riesgos de desabastecimiento. El IVH se determina a través de una matriz de relación de rangos del Índice de regulación hídrica (IRH) y el Índice de uso de agua (IUA). Las categorías de este índice se presentan en la Tabla 5. 3.

**Tabla 5. 3.** Matriz de relación para categorizar el Índice de vulnerabilidad al desabastecimiento, IVH. (IDEAM, 2010a).

| Categorías Índice de vulnerabilidad al desabastecimiento (IVH) | | |
|---|---|---|
| **Índice de uso de agua** | **Índice de regulación** | **Categoría Vulnerabilidad** |
| Muy bajo | Alto | Muy baja |
| Muy bajo | Moderado | Baja |
| Muy bajo | Bajo | Media |
| Muy bajo | Muy bajo | Media |
| Bajo | Alto | Baja |
| Bajo | Moderado | Baja |
| Bajo | Bajo | Media |
| Bajo | Muy bajo | Media |
| Moderado | Alto | Media |
| Moderado | Moderado | Media |
| Moderado | Bajo | Alta |
| Moderado | Muy bajo | Alta |

| Categorías Índice de vulnerabilidad al desabastecimiento (IVH) | | |
|---|---|---|
| **Índice de uso de agua** | **Índice de regulación** | **Categoría Vulnerabilidad** |
| Alto | Alto | Media |
| Alto | Moderado | Alta |
| Alto | Bajo | Alta |
| Alto | Muy bajo | Muy alta |
| Muy alto | Alto | Media |
| Muy alto | Moderado | Alta |
| Muy alto | Bajo | Alta |
| Muy alto | Muy bajo | Muy alta |

La categoría de vulnerabilidad muy alta está dada cuando la capacidad de regulación es baja o muy baja y la presión de la demanda sobre la oferta disponible es alta o muy alta.

*Índice de alteración potencial de la calidad (IACAL):*

Este indicador tiene como propósito determinar las amenazas potenciales por alteración de la calidad en las unidades de análisis. En el ENA se generó a escala municipal y su agregación para subzonas hidrográficas. El indicador es un referente de la presión sobre las condiciones de calidad de agua en los sistemas hídricos superficiales del país a partir de variables representativas de contaminación por materia orgánica y nutrientes: demanda biológica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), sólidos suspendidos totales (SST), nitrógeno total (NT) y fósforo total (PT).

Para la generación del indicador se establecen jerarquías asignadas a las cargas contaminantes y a cada rango se da una categoría de uno (1) a cinco (5) para obtener una escala cualitativa de presión: baja (1), moderada (2), media (3), alta (4) y muy alta (5). Por lo tanto, la amenaza debida a la alteración de la calidad a escala municipal y por subzonas hidrográficas se clasifica de la siguiente manera: Tabla 5. 4.

**Tabla 5. 4.** Categoría y descriptor del IACAL.

| IACAL | |
|---|---|
| **Promedio categoría** | |
| **(NT+PT+SST+DBO+(DQO-DBO)/5** | |
| **Categoría** | **Valor** |
| Baja | 1 |
| Moderada | 2 |
| Media Alta | 3 |
| Alta | 4 |
| Muy Alta | 5 |

Estas categorías de los indicadores son las que se utilizan en la construcción de las tablas 5.6 y 5.7.

*Afectación de la escorrentía promedio anual por efecto de condiciones climáticas e hidrológicas extremas (Fenómenos El Niño y La Niña) en subzonas coincidentes con Sistemas Acuíferos*

Para esta evaluación se tuvo en cuenta el estudio que realizó el IDEAM en el 2012 sobre porcentajes de variación de la escorrentía, años 2009 y 2010, con respecto al promedio (1974-2007) y teniendo en cuenta que en estos dos años se presentó un fenómeno del Niño, seguido de un fenómeno de la Niña y tuvo efectos importantes de disminución y aumento de caudales con respecto a la media mensual multianual. Se hizo el análisis comparativo con los Sistemas Acuíferos desde el porcentaje de afectación promedio en trimestres representativos.

*Afectación sobre la escorrentía promedio anual en las principales subzonas hidrológicas por efectos del cambio climático*

El IDEAM en el ENA 2010 analiza los recursos hídricos en el contexto de variabilidad y cambio climático. Parte de que se espera que el cambio global y la variabilidad climática afecten la magnitud y los ritmos de la escorrentía superficial y la humedad del suelo (IPCC, 2007). Las estimaciones cuantitativas de los efectos del cambio climático son esenciales para entender y resolver los problemas potenciales del recurso hídrico que podrían ocurrir en el futuro (Guo y Ying, 1997) en (IDEAM, 2010a)

En particular el análisis presentado en el ENA se relaciona con posibles afectaciones de la escorrentía superficial por los efectos del cambio climático en el territorio nacional, en las principales zonas hidrológicas del país y establece una relación entre los escenarios generados por el IDEAM para variables meteorológicas bajo escenarios de cambio climático y los balances hídricos en diferentes unidades hidrológicas.

La tabla de rangos de afectación utilizada en el ENA para la interpretación de resultados considera los siguientes rangos de evaluación de cambio en la escorrentía media respecto al promedio actual, Tabla 5. 5.

**Tabla 5. 5.** Rangos de interpretación de los resultados para afectación de la escorrentía en el territorio nacional bajo escenarios de cambio climático. (IDEAM, 2010a).

| Descripción | Rango | Interpretación |
|---|---|---|
| Disminuciones mayores del 30% | <-30% | Reducción fuerte respecto al promedio actual de escorrentía |
| Disminuciones entre el 10% y el 30% | -30, -10 | Reducción respecto al promedio actual de escorrentía |
| Disminuciones menores del 10% y aumentos menores del 10% | -10, +10 | Similar a la escorrentía promedio |
| Aumentos entre el 10% y el 30% | +10, +30 | Aumento respecto al promedio actual de escorrentía |
| Aumentos mayores del 30% | >30 | Aumento fuerte respecto a la escorrentía actual |

En este contexto y con el propósito de identificar las zonas donde las aguas subterráneas podrían constituirse en una medida importante de adaptación para el manejo de la afectación sobre la escorrentía promedio anual en las principales subzonas hidrológicas en Colombia se considera los Sistemas Acuíferos identificados frente a la espacialización de estas posibles afectaciones de escorrentía.

## 5.3. Análisis comparativo de indicadores hídricos superficiales y afectaciones por variabilidad y cambio climático frente a Sistemas Acuíferos

La comparación de los resultados de indicadores y síntesis de las afectaciones que se muestran en las Tablas 5.6 y 5.7 permite identificar subzonas y fuentes hídricas abastecedoras con condiciones críticas, donde el agua subterránea podría significar una alternativa muy importante para disminuir riesgos de desabastecimiento y constituirse en una medida de adaptación ante los efectos en la hidrología de la variabilidad y cambio climático en estas cuencas.

De acuerdo con esta información se identifica la necesidad de priorizar estas subzonas y realizar evaluaciones para el manejo integrado agua superficial y subterránea y considerar la utilización del agua de Sistemas Acuíferos como una posible medida de adaptación a los efectos en la escorrentía y disponibilidad de agua por fenómenos extremos, variabilidad y cambio climático en aquellas subzonas con mayores posibilidades de afectación.

Las tablas muestran en conjunto las subzonas con condiciones críticas de afectación de agua superficial (categorías alta o muy alta) donde se evidencia, a partir de los resultados, grandes presiones por utilización de agua o por contaminación y condiciones de vulnerabilidad al desabastecimiento.

Es importante resaltar los grandes efectos del fenómeno del Niño de disminuciones en la escorrentía en la mayoría de las subzonas asociadas a los Sistemas Acuíferos en el segundo, tercer y cuarto trimestre del 2009 y primero de 2010. Siendo particularmente severo el déficit, la mayoría del tiempo superior a 40% con valores que alcanzaron en algunos casos alrededor del 70% por debajo del promedio para el trimestre (Tabla 5.6).

Teniendo en cuenta lo anterior se torna relevante estudiar las características y potencialidades de acuíferos como Barranquilla-Sabanalarga, Maicao, César, Purificación –Saldaña; San Gil-Barichara, Yopal-Tauramena, entre otros.

**Tabla 5. 6.** Porcentaje de variación trimestral de la escorrentía años 2008, 2009 y 2010 con respecto a la media 1974 – 2007.

| | | % VARIACIÓN TRIMESTRAL DE LA ESCORRENTÍA AÑO 2009 CON RELACIÓN AL PROMEDIO 1974 - 2007 | | | | % VARIACIÓN AÑO 2009 | % VARIACIÓN TRIMESTRAL DE LA ESCORRENTÍA AÑO 2010 CON RELACIÓN AL PROMEDIO 1974 A 2007 | | | | % VARIACIÓN AÑO 2010 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **SISTEMA ACUÍFERO** | **SUBZONA HIDROGRÁFICA** | 1 TRIMESTRE | 2 TRIMESTRE | 3 TRIMESTRE | 4 TRIMESTRE | | 1 TRIMESTRE | 2 TRIMESTRE | 3 TRIMESTRE | 4 TRIMESTRE | |
| Sincelejo-Morroa | Bajo San Jorge - La Mojana | 26,2 | -5,0 | -9,6 | -36,1 | **-7,5** | -52,8 | 2,6 | 72,8 | 85,5 | **39,0** |
| | Directos Caribe Golfo de Morrosquillo | 51,9 | -8,6 | -15,2 | -35,2 | **-14,7** | -37,4 | -1,7 | 75,1 | 102,9 | **47,0** |
| Golfo de Morrosquillo | Directos Caribe Golfo de Morrosquillo | 51,9 | -8,6 | -15,2 | -35,2 | **-14,7** | -37,4 | -1,7 | 75,1 | 102,9 | **47,0** |
| Arroyo Grande | Arroyos directos al Caribe | 91,2 | -22,9 | -39,7 | -52,8 | **-27,1** | -39,4 | -12,1 | 81,7 | 109,7 | **51,8** |
| Turbaco | María La Baja | 53,6 | -11,1 | -18,2 | -37,7 | **-18,6** | -38,2 | -5,9 | 81,6 | 107,0 | **50,1** |
| | Arroyos directos al Caribe | 91,2 | -22,9 | -39,7 | -52,8 | **-27,1** | -39,4 | -12,1 | 81,7 | 109,7 | **51,8** |
| Barranquilla-Sabanalarga | Bajo Magdalena - Canal del Dique | 52,8 | -12,7 | -20,5 | -39,0 | **-22,3** | -40,7 | -10,9 | 84,6 | 109,2 | **52,0** |
| | Directos al Bajo Magdalena (mi) | 40,6 | -6,2 | -16,7 | -34,7 | **-17,3** | -34,4 | -16,9 | 80,0 | 108,4 | **53,9** |
| | Arroyos directos al Caribe | 91,2 | -22,9 | -39,7 | -52,8 | **-27,1** | -39,4 | -12,1 | 81,7 | 109,7 | **51,8** |
| Santa Marta | Cga. Grande de Santa Marta | 54,8 | -10,1 | -12,5 | -37,4 | **-13,5** | -43,2 | -19,3 | 61,6 | 104,4 | **43,6** |
| Ciénaga de Oro | Bajo Sinú | 49,7 | -5,5 | -13,2 | -32,8 | **-12,5** | -48,4 | 3,3 | 58,6 | 102,8 | **39,1** |
| | Medio Sinú | 44,2 | -1,3 | -11,5 | -28,4 | **-9,2** | -47,0 | 7,4 | 46,0 | 108,8 | **35,9** |
| Banco Mompós | Arroyo Corozal | 26,1 | -7,0 | 0,6 | -34,5 | **-7,3** | -34,9 | -6,5 | 105,7 | 111,5 | **60,2** |
| | Directos Bajo Magdalena | 53,6 | -12,6 | -17,6 | -37,7 | **-17,5** | -44,2 | -0,2 | 102,5 | 101,7 | **54,4** |
| Mojana | Directos Bajo Magdalena | 53,6 | -12,6 | -17,6 | -37,7 | **-17,5** | -44,2 | -0,2 | 102,5 | 101,7 | **54,4** |
| | Bajo San Jorge - La Mojana | 26,2 | -5,0 | -9,6 | -36,1 | **-7,5** | -52,8 | 2,6 | 72,8 | 85,5 | **39,0** |
| | Directos Bajo Cauca - Cga. La Raya | 33,0 | -4,3 | -5,6 | -40,9 | **-6,5** | -43,5 | 6,4 | 82,0 | 85,2 | **44,1** |
| Maicao | Directos Caribe - Arroyo Sharimahana Alta Guajira | 67,2 | -21,8 | -23,6 | -41,6 | **-25,4** | -42,6 | -24,5 | 125,2 | 146,5 | **72,2** |
| | Río Carraipia - Paraguachón, directos al Golfo Maracaibo | 73,2 | 9,6 | -4,0 | -48,2 | **-3,5** | -45,6 | -25,7 | 125,0 | 145,9 | **72,9** |
| | Río Ranchería | 71,6 | -20,3 | -19,0 | -42,2 | **-24,5** | -34,3 | -21,5 | 145,2 | 176,6 | **83,4** |

| SISTEMA ACUÍFERO | SUBZONA HIDROGRÁFICA | % VARIACIÓN TRIMESTRAL DE LA ESCORRENTÍA AÑO 2009 CON RELACIÓN AL PROMEDIO 1974 - 2007 | | | | % VARIACIÓN AÑO 2009 | % VARIACIÓN TRIMESTRAL DE LA ESCORRENTÍA AÑO 2010 CON RELACIÓN AL PROMEDIO 1974 A 2007 | | | | % VARIACIÓN AÑO 2010 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 TRIMESTRE | 2 TRIMESTRE | 3 TRIMESTRE | 4 TRIMESTRE | | 1 TRIMESTRE | 2 TRIMESTRE | 3 TRIMESTRE | 4 TRIMESTRE | |
| Riohacha-Manaure | Directos Caribe - Arroyo Sharimahana Alta Guajira | 67,2 | -21,8 | -23,6 | -41,6 | **-25,4** | -42,6 | -24,5 | 125,2 | 146,5 | **72,2** |
| | Río Camarones y otros directos Caribe | 80,7 | -21,7 | -2,9 | -46,7 | **-22,1** | -33,4 | -23,9 | 149,2 | 157,4 | **77,4** |
| | Río Ranchería | 71,6 | -20,3 | -19,0 | -42,2 | **-24,5** | -34,3 | -21,5 | 145,2 | 176,6 | **83,4** |
| | Río Tapias | 92,1 | -17,4 | -5,3 | -45,2 | **-20,1** | -39,4 | -27,7 | 170,6 | 159,2 | **78,6** |
| Alta Guajira | Directos Caribe - Arroyo Sharimahana Alta Guajira | 67,2 | -21,8 | -23,6 | -41,6 | **-25,4** | -42,6 | -24,5 | 125,2 | 146,5 | **72,2** |
| | Río Carraipia - Paraguachón, directos al Golfo Maracaibo | 73,2 | 9,6 | -4,0 | -48,2 | **-3,5** | -45,6 | -25,7 | 125,0 | 145,9 | **72,9** |
| Cesar | Alto Cesar | 75,2 | -25,4 | -24,8 | -43,8 | **-24,4** | -38,1 | -16,2 | 111,1 | 129,5 | **60,7** |
| | Medio Cesar | 50,4 | -13,2 | -23,0 | -37,1 | **-19,9** | -48,5 | -16,7 | 142,4 | 120,2 | **66,6** |
| Ranchería | Río Ranchería | 71,6 | -20,3 | -19,0 | -42,2 | **-24,5** | -34,3 | -21,5 | 145,2 | 176,6 | **83,4** |
| Golfo de Urabá | Directos Bajo Atrato | 40,1 | -0,5 | -14,0 | -21,9 | **-5,4** | -50,7 | -0,4 | 26,9 | 94,5 | **24,0** |
| | Río Sucio | 42,3 | 3,6 | -5,8 | -21,3 | **-0,3** | -51,6 | 2,0 | 51,0 | 63,0 | **24,3** |
| | Río León | 31,2 | -4,1 | -18,7 | -23,1 | **-13,2** | -59,0 | -5,8 | 12,3 | 74,6 | **12,7** |
| | Río Mulatos | 29,3 | -6,3 | -16,8 | -25,2 | **-15,4** | -48,3 | 8,1 | 33,1 | 178,7 | **45,3** |
| Sistema Acuífero Nare- Berrío - Yondó | Directos al Magdalena Medio | 45,4 | -9,3 | 10,3 | -38,2 | **-5,7** | -36,4 | 7,5 | 64,6 | 53,3 | **26,6** |
| | Directos Magdalena Medio (mi) | 54,1 | 12,7 | 7,5 | -18,2 | **9,0** | -36,2 | 7,6 | 57,2 | 58,8 | **26,8** |
| | Río San Bartolo y otros directos al Magdalena Medio | 46,2 | -0,3 | 8,3 | -33,1 | **-1,0** | -28,1 | 16,3 | 59,0 | 58,2 | **32,8** |
| | Río Carare (Minero) | 36,2 | -4,2 | 3,3 | -38,4 | **-7,4** | -52,6 | 1,3 | 73,7 | 45,4 | **20,8** |
| | Río Cimitarra | 46,5 | -4,1 | -3,0 | -31,2 | **-5,6** | -44,6 | 10,5 | 68,0 | 67,6 | **35,9** |
| | Río Nare | 45,0 | 9,7 | 13,7 | -23,0 | **5,8** | -43,2 | 7,2 | 52,5 | 53,4 | **23,4** |
| | Río Opón | 44,0 | -0,3 | 1,5 | -31,4 | **-4,2** | -44,9 | 15,4 | 79,9 | 66,7 | **37,6** |

| SISTEMA ACUÍFERO | SUBZONA HIDROGRÁFICA | % VARIACIÓN TRIMESTRAL DE LA ESCORRENTÍA AÑO 2009 CON RELACIÓN AL PROMEDIO 1974 - 2007 | | | | % VARIACIÓN AÑO 2009 | % VARIACIÓN TRIMESTRAL DE LA ESCORRENTÍA AÑO 2010 CON RELACIÓN AL PROMEDIO 1974 A 2007 | | | | % VARIACIÓN AÑO 2010 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 TRIMESTRE | 2 TRIMESTRE | 3 TRIMESTRE | 4 TRIMESTRE | | 1 TRIMESTRE | 2 TRIMESTRE | 3 TRIMESTRE | 4 TRIMESTRE | |
| Mariquita-Dorada-Salgar | Río Lagunilla y otros directos al Magdalena | 71,4 | 7,4 | -3,5 | -32,3 | **7,3** | -48,9 | 9,8 | 67,1 | 101,2 | **36,0** |
| | Río Seco y otros directos al Magdalena | 57,4 | 9,2 | 11,7 | -30,2 | **7,8** | -60,6 | 3,1 | 30,6 | 61,6 | **14,5** |
| | Río Totaré | 58,6 | 25,0 | 29,7 | -17,2 | **20,4** | -49,9 | 17,5 | 53,5 | 69,6 | **27,1** |
| | Directos al Magdalena (md) | 45,4 | 3,1 | 3,9 | -33,1 | **0,3** | -43,9 | 4,3 | 54,5 | 58,6 | **22,9** |
| | Directos Magdalena (mi) | 59,2 | 15,0 | 13,3 | -26,0 | **10,5** | -42,7 | 2,7 | 52,7 | 69,8 | **25,0** |
| | Río Gualí | 56,1 | 38,8 | 21,8 | -27,1 | **18,5** | -53,4 | 7,4 | 76,5 | 110,8 | **39,3** |
| | Río Guarinó | 44,2 | -1,8 | 2,8 | -35,6 | **-2,8** | -37,1 | 14,8 | 67,0 | 160,4 | **58,0** |
| | Río Samaná | 40,2 | -10,0 | 1,0 | -43,0 | **-8,6** | -30,1 | 8,7 | 66,9 | 86,8 | **37,2** |
| Simití | Brazo Morales | 63,6 | -4,6 | -7,4 | -37,1 | **-8,1** | -38,4 | 7,4 | 90,0 | 89,1 | **47,3** |
| Ibagué | Río Coello | 54,7 | -12,8 | -6,3 | -44,6 | **-9,9** | -56,5 | 3,4 | 34,6 | 46,7 | **11,2** |
| | Río Luisa y otros directos al Magdalena | 36,5 | -14,1 | -14,9 | -44,5 | **-14,6** | -54,2 | 7,9 | 26,4 | 34,4 | **8,6** |
| | Río Opía | 33,6 | -2,5 | -0,8 | -42,3 | **-6,8** | -52,0 | 38,2 | 41,8 | 46,5 | **23,5** |
| | Río Totaré | 58,6 | 25,0 | 29,7 | -17,2 | **20,4** | -49,9 | 17,5 | 53,5 | 69,6 | **27,1** |
| Purificación-Saldaña | Directos Magdalena | 54,8 | -14,1 | -0,6 | -36,8 | **-4,4** | -48,8 | 16,1 | 17,5 | 43,2 | **12,7** |
| | Río Aipe y otros directos al Magdalena | 57,3 | -1,0 | -2,2 | -33,7 | **-0,1** | -49,8 | 12,7 | 20,5 | 40,8 | **10,6** |
| | Río Bogotá | 62,3 | 4,9 | 1,1 | -36,6 | **3,4** | -59,8 | 1,8 | 19,3 | 47,1 | **9,8** |
| | Río Coello | 54,7 | -12,8 | -6,3 | -44,6 | **-9,9** | -56,5 | 3,4 | 34,6 | 46,7 | **11,2** |
| | Río Luisa y otros directos al Magdalena | 36,5 | -14,1 | -14,9 | -44,5 | **-14,6** | -54,2 | 7,9 | 26,4 | 34,4 | **8,6** |
| | Río Prado | 64,4 | -4,0 | -5,4 | -44,8 | **-3,6** | -56,3 | 16,1 | 16,7 | 33,8 | **8,4** |
| | Río Seco y otros directos al Magdalena | 57,4 | 9,2 | 11,7 | -30,2 | **7,8** | -60,6 | 3,1 | 30,6 | 61,6 | **14,5** |
| | Río Sumapaz | 29,3 | -13,0 | -13,7 | -46,1 | **-16,1** | -68,0 | 13,8 | 36,9 | 52,7 | **17,2** |
| | Bajo Saldaña | 45,9 | 21,6 | 11,9 | -27,1 | **10,3** | -45,0 | 10,5 | 30,6 | 43,8 | **14,4** |
| | Río Cucuana | 50,6 | -4,3 | -4,3 | -40,6 | **-4,2** | -51,1 | 4,0 | 25,6 | 41,4 | **9,5** |
| | Río Tetuán | 59,9 | 2,8 | -7,2 | -46,9 | **-3,0** | -47,0 | 6,2 | 37,1 | 48,2 | **14,8** |

| SISTEMA ACUÍFERO | SUBZONA HIDROGRÁFICA | % VARIACIÓN TRIMESTRAL DE LA ESCORRENTÍA AÑO 2009 CON RELACIÓN AL PROMEDIO 1974 - 2007 | | | | % VARIACIÓN AÑO 2009 | % VARIACIÓN TRIMESTRAL DE LA ESCORRENTÍA AÑO 2010 CON RELACIÓN AL PROMEDIO 1974 A 2007 | | | | % VARIACIÓN AÑO 2010 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 TRIMESTRE | 2 TRIMESTRE | 3 TRIMESTRE | 4 TRIMESTRE | | 1 TRIMESTRE | 2 TRIMESTRE | 3 TRIMESTRE | 4 TRIMESTRE | |
| Neiva-Tatacoa | Juncal y otros ríos directos al Magdalena | 25,6 | 0,5 | -5,8 | -31,2 | **-3,9** | -47,3 | 12,0 | 9,8 | 36,7 | **6,4** |
| | Rio Fortalecillas y otros | 82,2 | 13,2 | -5,6 | -36,9 | **11,5** | -47,5 | 12,6 | 8,4 | 36,3 | **6,4** |
| | Rio Neiva | 53,2 | 2,0 | -4,4 | -34,7 | **1,2** | -43,8 | 0,4 | -8,5 | 18,3 | **-5,8** |
| | Río Aipe y otros directos al Magdalena | 57,3 | -1,0 | -2,2 | -33,7 | **-0,1** | -49,8 | 12,7 | 20,5 | 40,8 | **10,6** |
| | Río Baché | 58,0 | 1,7 | -3,6 | -36,2 | **1,4** | -54,9 | 12,7 | 7,0 | 27,6 | **2,0** |
| | Río Cabrera | 52,7 | -2,7 | -0,8 | -34,6 | **-0,5** | -52,3 | 15,7 | 0,9 | 38,7 | **7,4** |
| Valle del Cauca | Directos al Río Cauca (mi) | 52,8 | 17,6 | -1,5 | -36,3 | **5,7** | -48,0 | 2,5 | 38,7 | 53,1 | **14,3** |
| | Directos Río Cauca (md) | 51,1 | 13,3 | 6,3 | -19,8 | **7,3** | -43,0 | 12,1 | 64,4 | 72,5 | **30,5** |
| | Directos Río Cauca (mi) | 51,2 | 6,5 | -4,6 | -38,0 | **0,8** | -43,1 | 13,7 | 62,6 | 66,1 | **28,5** |
| | Río Amaime | 40,7 | 11,2 | -3,5 | -40,9 | **-0,5** | -45,9 | 10,2 | 36,0 | 49,9 | **16,3** |
| | Río Bugalagrande | 51,8 | 10,4 | 1,5 | -33,8 | **3,8** | -46,9 | 7,6 | 35,6 | 57,5 | **17,9** |
| | Río Cerrito y otros directos al Cauca | 66,5 | 43,9 | 3,5 | -34,6 | **19,5** | -48,2 | 8,5 | 40,6 | 54,8 | **17,3** |
| | Río Claro | 20,1 | -27,1 | -15,7 | -23,1 | **-13,0** | -41,5 | 12,7 | 74,3 | 59,4 | **26,2** |
| | Río Desbaratado | 42,6 | 8,0 | -6,2 | -15,8 | **1,0** | -42,0 | 12,2 | 35,1 | 44,6 | **15,8** |
| | Río Fraile y otros directos al Cauca | 56,1 | 11,3 | 5,5 | -26,7 | **7,5** | -44,5 | 11,4 | 37,2 | 46,6 | **16,1** |
| | Río Guadalajara | 48,3 | 11,0 | -0,4 | -35,3 | **2,7** | -57,0 | 10,9 | 50,1 | 61,4 | **18,2** |
| | Río La Vieja | 61,4 | 23,1 | 20,4 | -23,8 | **15,9** | -52,6 | 13,7 | 79,7 | 83,7 | **34,6** |
| | Río Morales | 48,6 | 7,7 | -3,8 | -39,4 | **-0,2** | -43,8 | 7,8 | 41,8 | 58,5 | **20,0** |
| | Río Paila | 56,0 | 15,8 | 7,7 | -28,9 | **8,7** | -43,7 | 9,0 | 46,3 | 62,4 | **22,7** |
| | Río Palo | 50,1 | -8,6 | -5,5 | -43,2 | **-5,0** | -49,5 | 9,5 | 25,5 | 41,8 | **10,1** |
| | Río Pance | 36,1 | -3,2 | -7,4 | -35,6 | **-5,1** | -44,4 | 11,8 | 64,9 | 59,2 | **23,4** |
| | Río Quinamayó y otros directos al Cauca | 25,5 | -22,9 | -12,0 | -25,7 | **-10,7** | -49,6 | 18,5 | 70,3 | 46,9 | **20,4** |
| | Río Tuluá | 48,2 | 8,1 | 1,7 | -29,8 | **3,7** | -48,7 | 5,2 | 40,7 | 60,0 | **17,7** |

| SISTEMA ACUÍFERO | SUBZONA HIDROGRÁFICA | % VARIACIÓN TRIMESTRAL DE LA ESCORRENTÍA AÑO 2009 CON RELACIÓN AL PROMEDIO 1974 - 2007 | | | | % VARIACIÓN AÑO 2009 | % VARIACIÓN TRIMESTRAL DE LA ESCORRENTÍA AÑO 2010 CON RELACIÓN AL PROMEDIO 1974 A 2007 | | | | % VARIACIÓN AÑO 2010 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 TRIMESTRE | 2 TRIMESTRE | 3 TRIMESTRE | 4 TRIMESTRE | | 1 TRIMESTRE | 2 TRIMESTRE | 3 TRIMESTRE | 4 TRIMESTRE | |
| Patía | Río Guachicono | 22,8 | -11,6 | -9,3 | -34,4 | **-9,0** | -57,8 | -4,9 | -1,6 | 43,8 | **-1,1** |
| | Río Mayo | 34,1 | -8,0 | -4,7 | -29,6 | **-3,1** | -48,7 | -8,2 | -20,9 | 27,9 | **-9,3** |
| | Río Patía Alto | 42,0 | -11,0 | -7,8 | -41,4 | **-6,5** | -56,6 | -1,6 | 14,3 | 51,3 | **5,2** |
| Acuífero San Gil Barichara | Río Chicamocha | 30,6 | -9,4 | -6,0 | -37,4 | **-11,3** | -58,8 | -1,5 | 31,7 | 42,6 | **13,4** |
| | Río Fonce | 30,9 | -16,9 | -20,8 | -41,2 | **-18,7** | -52,3 | -2,4 | 70,3 | 43,8 | **21,0** |
| | Río Suárez | 52,6 | -6,5 | -2,0 | -35,0 | **-5,2** | -56,6 | 9,4 | 78,5 | 49,3 | **27,3** |
| Bucaramanga - Piedecuesta | Río Lebrija | 51,7 | -2,9 | -4,5 | -33,7 | **-6,2** | -45,6 | -0,1 | 90,6 | 92,7 | **43,7** |
| Tunja | Río Chicamocha | 30,6 | -9,4 | -6,0 | -37,4 | **-11,3** | -58,8 | -1,5 | 31,7 | 42,6 | **13,4** |
| Duitama - Sogamoso | Río Chicamocha | 30,6 | -9,4 | -6,0 | -37,4 | **-11,3** | -58,8 | -1,5 | 31,7 | 42,6 | **13,4** |
| Ubaté - Chiquinquirá | Río Suárez | 52,6 | -6,5 | -2,0 | -35,0 | **-5,2** | -56,6 | 9,4 | 78,5 | 49,3 | **27,3** |
| Sabana de Bogotá | Río Bogotá | 62,3 | 4,9 | 1,1 | -36,6 | **3,4** | -59,8 | 1,8 | 19,3 | 47,1 | **9,8** |
| Cúcuta-Villa del Rosario | Río Pamplonita | 80,0 | 1,4 | -8,5 | -46,9 | **-5,6** | -56,4 | 4,7 | 136,5 | 156,9 | **76,6** |
| | Río Zulia | 91,2 | -2,3 | -15,7 | -48,4 | **-9,6** | -53,8 | 20,5 | 151,4 | 130,5 | **74,8** |
| Sistema Acuífero Glacis del Quindío | Río La Vieja | 61,4 | 23,1 | 20,4 | -23,8 | **15,9** | -52,6 | 13,7 | 79,7 | 83,7 | **34,6** |
| | Río Otún | 71,4 | 11,3 | 5,4 | -32,5 | **7,7** | -45,8 | 18,0 | 84,2 | 73,3 | **34,5** |
| Santagueda | Río Chinchiná | 63,3 | 20,5 | 17,0 | -26,1 | **13,4** | -44,3 | 18,1 | 103,9 | 103,7 | **48,9** |
| Valle de Aburrá | Río Porce | 45,3 | 9,1 | 2,1 | -21,9 | **3,3** | -34,2 | 11,8 | 61,9 | 63,8 | **32,7** |
| Santa Fe de Antioquia | Directos Río Cauca (md) | 37,8 | 10,2 | -2,1 | -21,6 | **1,6** | -38,1 | 10,3 | 70,3 | 65,6 | **33,8** |
| | Directos Río Cauca (mi) | 46,5 | 2,7 | -7,0 | -45,6 | **-3,4** | -46,9 | 10,5 | 72,5 | 65,2 | **33,6** |
| Bajo Cauca Antioqueño | Bajo San Jorge - La Mojana | 26,2 | -5,0 | -9,6 | -36,1 | **-7,5** | -52,8 | 2,6 | 72,8 | 85,5 | **39,0** |
| | Directos Bajo Cauca - Cga. La Raya | 33,0 | -4,3 | -5,6 | -40,9 | **-6,5** | -43,5 | 6,4 | 82,0 | 85,2 | **44,1** |
| | Directos al Cauca (md) | 49,8 | -2,7 | -6,1 | -32,7 | **-6,9** | -41,9 | 16,7 | 59,4 | 58,4 | **31,2** |
| | Río Tarazá - Río Man | 41,8 | 5,7 | -3,2 | -22,7 | **-0,4** | -48,5 | 26,4 | 51,2 | 45,1 | **27,4** |
| | Alto Nechí | 45,7 | 1,7 | -1,2 | -29,2 | **-2,9** | -31,9 | 13,0 | 60,1 | 61,0 | **32,0** |
| | Bajo Nechí | 43,0 | 2,5 | -3,4 | -27,5 | **-2,9** | -38,8 | 10,0 | 67,8 | 71,0 | **36,5** |
| | Directos al Bajo Nechí | 40,7 | -22,2 | -5,8 | -46,3 | **-25,0** | -38,8 | 11,7 | 64,8 | 67,6 | **34,6** |
| | Río Porce | 45,3 | 9,1 | 2,1 | -21,9 | **3,3** | -34,2 | 11,8 | 61,9 | 63,8 | **32,7** |

| SISTEMA ACUÍFERO | SUBZONA HIDROGRÁFICA | % VARIACIÓN TRIMESTRAL DE LA ESCORRENTÍA AÑO 2009 CON RELACIÓN AL PROMEDIO 1974 - 2007 | | | | % VARIACIÓN AÑO 2009 | % VARIACIÓN TRIMESTRAL DE LA ESCORRENTÍA AÑO 2010 CON RELACIÓN AL PROMEDIO 1974 A 2007 | | | | % VARIACIÓN AÑO 2010 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 TRIMESTRE | 2 TRIMESTRE | 3 TRIMESTRE | 4 TRIMESTRE | | 1 TRIMESTRE | 2 TRIMESTRE | 3 TRIMESTRE | 4 TRIMESTRE | |
| Altiplano Nariñense | Río Guaitará | 30,4 | -9,6 | -1,0 | -28,0 | **-2,6** | -44,0 | -6,2 | 5,1 | 39,0 | **0,0** |
| Villavicencio-Granada-Puerto López | Río Ariari | 12,6 | -1,4 | 11,6 | -26,8 | **-1,2** | -40,3 | 24,1 | 6,8 | 30,8 | **12,3** |
| | Río Guejar | 24,4 | -13,2 | -2,3 | -32,2 | **-10,0** | -36,3 | 33,6 | -1,7 | 28,4 | **13,3** |
| | Directos Río Metica (md) | 7,1 | -28,0 | -2,3 | -40,5 | **-18,1** | -36,5 | 26,8 | 8,0 | 26,3 | **11,8** |
| | Río Metica (Guamal - Humadea) | 27,3 | -11,4 | -11,7 | -34,1 | **-12,9** | -33,0 | 26,1 | 7,2 | 31,6 | **14,6** |
| | Río Guacavía | 1,3 | -13,5 | -4,7 | -43,2 | **-15,6** | -41,0 | 19,4 | 5,2 | 33,0 | **10,2** |
| | Río Guatiquía | -15,4 | -18,0 | -8,3 | -45,3 | **-20,3** | -43,4 | 18,7 | 4,3 | 38,7 | **10,9** |
| | Río Guayuriba | 2,7 | -6,1 | -5,1 | -36,8 | **-11,6** | -48,3 | 14,3 | 0,4 | 32,0 | **6,0** |
| | Río Humea | 16,2 | -10,1 | -6,3 | -32,9 | **-11,6** | -40,4 | 18,5 | 2,0 | 22,4 | **6,7** |
| | Río Negro | 15,5 | -16,1 | -0,9 | -40,0 | **-13,3** | -36,5 | 23,2 | 3,5 | 27,8 | **10,1** |
| Yopal Tauramena | Caño Guanápalo y otros directos al Meta | 21,3 | -17,4 | -10,2 | -33,7 | **-14,8** | -52,9 | 22,5 | 20,8 | 32,7 | **15,6** |
| | Directos al Meta (md) | 20,7 | -16,9 | -7,6 | -38,7 | **-15,1** | -53,6 | 24,9 | 19,2 | 27,7 | **14,2** |
| | Directos al Meta (mi) | 13,6 | -20,2 | -9,4 | -26,6 | **-13,9** | -53,9 | 24,2 | 16,6 | 27,5 | **13,1** |
| | Directos al Río Meta | 19,4 | -17,4 | -11,5 | -35,1 | **-16,0** | -39,1 | 18,3 | 8,3 | 31,3 | **10,4** |
| | Directos Río Metica (md) | 7,1 | -28,0 | -2,3 | -40,5 | **-18,1** | -36,5 | 26,8 | 8,0 | 26,3 | **11,8** |
| | Río Cravo Sur | 5,6 | -22,3 | -10,2 | -37,2 | **-18,4** | -41,5 | 28,6 | 9,4 | 32,4 | **14,4** |
| | Río Cusiana | -2,9 | -24,9 | -10,5 | -40,1 | **-20,5** | -36,5 | 22,4 | 5,3 | 26,2 | **10,4** |
| | Río Manacacías | -7,9 | -26,0 | -9,9 | -40,1 | **-21,1** | -45,4 | 26,2 | 5,2 | 25,5 | **9,6** |
| | Río Túa | 17,4 | -21,2 | -13,9 | -36,5 | **-18,2** | -37,3 | 20,3 | 12,0 | 32,0 | **12,9** |
| | Río Upía | 7,6 | -8,5 | -3,6 | -40,1 | **-12,5** | -34,8 | 33,3 | 8,5 | 35,2 | **18,1** |
| | Río Yucao | 16,7 | -23,2 | 9,9 | -41,7 | **-12,0** | -40,5 | 37,9 | 3,3 | 11,7 | **8,4** |
| Arauca-Arauquita | Directos Río Arauca | 18,5 | -17,6 | -3,8 | -29,9 | **-11,6** | -40,7 | 16,8 | 44,5 | 48,4 | **27,2** |
| | Rio Banadia y otros directos al Río Arauca | 24,5 | -15,3 | -11,3 | -36,9 | **-15,5** | -48,6 | 5,6 | 47,0 | 57,3 | **26,6** |
| | Río Cravo Norte | 12,0 | -18,1 | -10,7 | -36,4 | **-17,3** | -49,8 | 17,3 | 31,5 | 38,0 | **20,6** |
| | Río Cinaruco y directos Río Orinoco | 43,3 | -6,8 | -12,6 | -34,7 | **-9,6** | -40,8 | 19,0 | 38,4 | 43,4 | **24,6** |

La gran variabilidad en el régimen de caudales se puede deducir en el contraste, en un mismo año, de los efectos que produjo en la escorrentía los dos fenómenos extremos (Tabla 5. 6). Esto se observa en los porcentajes de aumento de caudales con respecto al período de referencia, 1974 -2007, alcanzados para la mayoría de las subzonas durante el tercero y cuarto trimestre de 2010. Los mayores porcentajes se registraron en las subzonas que coinciden con los Sistemas Acuíferos de Maicao, Riohacha-Manaure, Alta Guajira, Cesar, Cúcuta- Pamplonita, entre otros, con valores en algunos casos superiores al 60%.

Las subzonas donde se combinan las mayores restricciones por disponibilidad de agua debido a las presiones por uso, con menores capacidades de regulación y con alta presión por contaminación sobre los sistemas hídricos se resaltan con color verde obscuro en la Tabla 5. 7. En un segundo nivel pero no menos importante se resaltan con verde claro aquellas donde estas condiciones siguen siendo críticas pero en un grado menor. Cada una de esta subzonas tiene asociado los acuíferos que en términos espaciales coinciden en el área y que se convierten en una posible alternativa para el manejo de los problemas relacionados con la cantidad, calidad y regulación hídrica. En este sentido son de particular relevancia los Sistemas Acuíferos de Barranquilla-Sabanalarga; Maicao, Riohacha-Manaure, Alta Guajira, Cesar, Ranchería, Ibagué, Mariquita-Puerto Salgar, Purificación–Saldaña; Sabana de Bogotá, entre otros.

**Tabla 5. 7.** Indicadores hídricos críticos en subzonas hidrográficas frente a Sistemas Acuíferos asociados.

| | INDICADORES HÍDRICOS EN SUBZONAS HIDROGRÁFICAS FRENTE A SISTEMAS ACUÍFEROS | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Sistema Acuífero | SUBZONA HIDROLÓGICA | INDICADOR USO AGUA | | | | ÍNDICE REGULACIÓN | | ÍNDICE VULNERABILIDAD | | IACAL | IACAL |
| | | IUA AÑO MEDIO | CATEG. IUA | IUA AÑO SECO | CATEG. IUA | ÍNDICE | CATEG. | AÑO Medio | AÑO SECO | AÑO MEDIO | AÑO SECO |
| Barranquilla-Sabanalarga | Bajo Magdalena - Canal del Dique | 74,92 | Muy Alto | 160,95 | Muy Alto | 0,60 | Bajo | Alto | Alto | Alto | Muy Alto |
| | Directos al Bajo Magdalena (mi) | 44,82 | Alto | 84,53 | Muy Alto | 0,61 | Bajo | Alto | Alto | Muy Alto | Muy Alto |
| | Arroyos directos al Caribe | 55,65 | Muy Alto | 102,02 | Muy Alto | 0,60 | Bajo | Alto | Alto | Muy Alto | Muy Alto |
| Sincelejo-Morroa | Bajo San Jorge - La Mojana | 19,54 | Moderado | 44,60 | Alto | 0,68 | Moderado | Medio | Alto | Medio Alto | Alto |
| | Directos Caribe Golfo de Morrosquillo | 30,87 | Alto | 113,45 | Muy Alto | 0,62 | Bajo | Alto | Alto | Medio Alto | Alto |
| Golfo de Morrosquillo | Directos Caribe Golfo de Morrosquillo | 30,87 | Alto | 113,45 | Muy Alto | 0,62 | Bajo | Alto | Alto | Medio Alto | Alto |
| Santa Marta | Cga. Grande de Santa Marta | 12,02 | Moderado | 28,02 | Alto | 0,66 | Moderado | Medio | Alto | Medio Alto | Alto |
| Ciénaga de Oro | Bajo Sinú | 22,65 | Alto | 60,94 | Muy Alto | 0,63 | Bajo | Alto | Alto | Alto | Muy Alto |
| Banco Mompós | Arroyo Corozal | 9,24 | Bajo | 36,02 | Alto | 0,65 | Bajo | Medio | Alto | Moderado | Moderado |
| | Directos Bajo Magdalena | 4,56 | Bajo | 14,94 | Moderado | 0,60 | Bajo | Medio | Alto | Moderado | Medio Alto |
| Mojana | Directos Bajo Magdalena | 4,56 | Bajo | 14,94 | Moderado | 0,60 | Bajo | Medio | Alto | Moderado | Medio Alto |
| | Bajo San Jorge - La Mojana | 19,54 | Moderado | 44,60 | Alto | 0,68 | Moderado | Medio | Alto | Medio Alto | Alto |
| Maicao | Directos Caribe - Arroyo Sharimahana Alta Guajira | 26,63 | Alto | 74,49 | Muy Alto | 0,45 | Muy bajo | Muy Alto | Muy Alto | Alto | Muy Alto |
| | Río Carraipia - Paraguachón, directos al Golfo Maracaibo | 8,74 | Bajo | 88,87 | Muy Alto | 0,45 | Muy bajo | Medio | Muy Alto | Alto | Muy Alto |
| | Río Ranchería | 24,02 | Alto | 73,23 | Muy Alto | 0,50 | Bajo | Alto | Alto | Alto | Muy Alto |
| Riohacha-Manaure | Directos Caribe - Arroyo Sharimahana Alta Guajira | 26,63 | Alto | 74,49 | Muy Alto | 0,45 | Muy bajo | Muy Alto | Muy Alto | Alto | Muy Alto |
| | Río Ranchería | 24,02 | Alto | 73,23 | Muy Alto | 0,50 | Bajo | Alto | Alto | Alto | Muy Alto |
| Alta Guajira | Directos Caribe - Arroyo Sharimahana Alta Guajira | 26,63 | Alto | 74,49 | Muy Alto | 0,45 | Muy bajo | Muy Alto | Muy Alto | Alto | Muy Alto |
| | Río Carraipia - Paraguachón, directos al Golfo Maracaibo | 8,74 | Bajo | 88,87 | Muy Alto | 0,45 | Muy bajo | Medio | Muy Alto | Alto | Muy Alto |
| Cesar | Alto Cesar | 16,92 | Moderado | 50,07 | Muy Alto | 0,60 | Bajo | Alto | Alto | Medio Alto | Alto |
| | Medio Cesar | 9,05 | Bajo | 51,53 | Muy Alto | 0,56 | Bajo | Medio | Alto | Alto | Muy Alto |
| Ranchería | Río Ranchería | 24,02 | Alto | 73,23 | Muy Alto | 0,50 | Bajo | Alto | Alto | Alto | Muy Alto |
| Golfo de Urabá | Río León | 1,83 | Bajo | 4,52 | Bajo | 0,57 | Bajo | Medio | Medio | Medio Alto | Alto |
| | Río Mulatos | 1,94 | Bajo | 8,68 | Bajo | 0,54 | Bajo | Medio | Medio | Moderado | Alto |
| Mariquita-Dorada-Salgar | Río Lagunilla y otros directos al Magdalena | 29,14 | Alto | 63,05 | Muy Alto | 0,69 | Moderado | Alto | Alto | Medio Alto | Alto |
| | Río Totaré | 26,32 | Alto | 66,50 | Muy Alto | 0,72 | Moderado | Alto | Alto | Muy Alto | Muy Alto |
| | Directos Magdalena (mi) | 3,02 | Bajo | 5,42 | Bajo | 0,69 | Moderado | Bajo | Bajo | Alto | Alto |
| | Río Gualí | 2,32 | Bajo | 5,46 | Bajo | 0,69 | Moderado | Bajo | Bajo | Medio Alto | Alto |

| | INDICADORES HÍDRICOS EN SUBZONAS HIDROGRÁFICAS FRENTE A SISTEMAS ACUÍFEROS | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Sistema Acuífero | SUBZONA HIDROLÓGICA | INDICADOR USO AGUA | | | | ÍNDICE REGULACIÓN | | ÍNDICE VULNERABILIDAD | | IACAL | IACAL |
| | | IUA AÑO MEDIO | CATEG. IUA | IUA AÑO SECO | CATEG. IUA | ÍNDICE | CATEG. | AÑO Medio | AÑO SECO | AÑO MEDIO | AÑO SECO |
| Ibagué | Río Coello | 16,88 | Moderado | 50,94 | Muy Alto | 0,74 | Moderado | Medio | Alto | Bajo | Moderado |
| | Río Luisa y otros directos al Magdalena | 82,52 | Muy Alto | 202,18 | Muy Alto | 0,66 | Moderado | Alto | Alto | Alto | Muy Alto |
| | Río Opía | 25,37 | Alto | 76,60 | Muy Alto | 0,58 | Bajo | Alto | Alto | Bajo | Bajo |
| | Río Totaré | 26,32 | Alto | 66,50 | Muy Alto | 0,72 | Moderado | Alto | Alto | Muy Alto | Muy Alto |
| Purificación-Saldaña | Directos Magdalena | 21,70 | Alto | 44,03 | Alto | 0,69 | Moderado | Alto | Alto | Moderado | Medio Alto |
| | Río Aipe y otros directos al Magdalena | 30,66 | Alto | 69,54 | Muy Alto | 0,70 | Moderado | Alto | Alto | Medio Alto | Alto |
| | Río Bogotá | 62,03 | Muy Alto | 207,97 | Muy Alto | 0,66 | Moderado | Alto | Alto | Muy Alto | Muy Alto |
| | Río Coello | 16,88 | Moderado | 50,94 | Muy Alto | 0,74 | Moderado | Medio | Alto | Bajo | Moderado |
| | Río Luisa y otros directos al Magdalena | 82,52 | Muy Alto | 202,18 | Muy Alto | 0,66 | Moderado | Alto | Alto | Alto | Muy Alto |
| | Río Prado | 109,99 | Muy Alto | 196,04 | Muy Alto | 0,67 | Moderado | Alto | Alto | Moderado | Medio Alto |
| | Río Seco y otros directos al Magdalena | 3,74 | Bajo | 11,15 | Moderado | 0,55 | Bajo | Medio | Alto | Moderado | Medio Alto |
| | Río Sumapaz | 6,46 | Bajo | 14,60 | Moderado | 0,64 | Bajo | Medio | Alto | Alto | Muy Alto |
| | Bajo Saldaña | 101,61 | Muy Alto | 219,61 | Muy Alto | 0,68 | Moderado | Alto | Alto | Alto | Muy Alto |
| | Río Tetuán | 7,47 | Bajo | 14,92 | Moderado | 0,70 | Moderado | Bajo | Medio | Medio Alto | Alto |
| Neiva-Tatacoa | Juncal y otros ríos directos al Magdalena | 63,48 | Muy Alto | 218,43 | Muy Alto | 0,67 | Moderado | Alto | Alto | Bajo | Bajo |
| | Rio Fortalecillas y otros | 35,53 | Alto | 83,61 | Muy Alto | 0,74 | Moderado | Alto | Alto | Muy Alto | Muy Alto |
| | Rio Neiva | 122,39 | Muy Alto | 215,76 | Muy Alto | 0,76 | Alto | Medio | Medio | Alto | Alto |
| | Río Aipe y otros directos al Magdalena | 30,66 | Alto | 69,54 | Muy Alto | 0,70 | Moderado | Alto | Alto | Medio Alto | Alto |
| | Río Baché | 41,88 | Alto | 83,32 | Muy Alto | 0,65 | Moderado | Alto | Alto | Medio Alto | Alto |
| Valle del Cauca | Directos al Río Cauca (mi) | 69,81 | Muy Alto | 178,38 | Muy Alto | 0,75 | Alto | Medio | Medio | Muy Alto | Muy Alto |
| | Directos Río Cauca (md) | 80,70 | Muy Alto | 182,35 | Muy Alto | 0,64 | Bajo | Alto | Alto | Alto | Alto |
| | Directos Río Cauca (mi) | 72,62 | Muy Alto | 139,76 | Muy Alto | 0,64 | Bajo | Alto | Alto | Alto | Alto |
| | Río Amaime | 45,57 | Alto | 99,19 | Muy Alto | 0,75 | Moderado | Alto | Alto | Muy Alto | Muy Alto |
| | Río Bugalagrande | 66,76 | Muy Alto | 153,89 | Muy Alto | 0,75 | Moderado | Alto | Alto | Medio Alto | Alto |
| | Río Cerrito y otros directos al Cauca | 49,02 | Alto | 120,66 | Muy Alto | 0,76 | Alto | Medio | Medio | Muy Alto | Muy Alto |
| | Río Claro | 26,61 | Alto | 49,80 | Alto | 0,69 | Moderado | Alto | Alto | Bajo | Bajo |
| | Río Fraile y otros directos al Cauca | 21,57 | Alto | 51,71 | Muy Alto | 0,70 | Moderado | Alto | Alto | Alto | Muy Alto |
| | Río La Vieja | 13,93 | Moderado | 31,26 | Alto | 0,73 | Moderado | Medio | Alto | Muy Alto | Muy Alto |
| | Río Morales | 44,07 | Alto | 102,41 | Muy Alto | 0,74 | Moderado | Alto | Alto | Bajo | Bajo |
| | Río Paila | 108,79 | Muy Alto | 253,40 | Muy Alto | 0,71 | Moderado | Alto | Alto | Alto | Muy Alto |
| | Río Palo | 3,43 | Bajo | 6,86 | Bajo | 0,70 | Moderado | Bajo | Bajo | Alto | Muy Alto |
| | Río Pance | 121,96 | Muy Alto | 275,82 | Muy Alto | 0,71 | Moderado | Alto | Alto | Muy Alto | Muy Alto |
| | Río Tuluá | 66,61 | Muy Alto | 151,17 | Muy Alto | 0,76 | Alto | Medio | Medio | Muy Alto | Muy Alto |
| Patía | Río Mayo | 6,08 | Bajo | 10,55 | Moderado | 0,76 | Alto | Bajo | Medio | Medio Alto | Alto |

| | INDICADORES HÍDRICOS EN SUBZONAS HIDROGRÁFICAS FRENTE A SISTEMAS ACUÍFEROS | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Sistema Acuífero** | **SUBZONA HIDROLÓGICA** | **INDICADOR USO AGUA** | | | | **ÍNDICE REGULACIÓN** | | **ÍNDICE VULNERABILIDAD** | | **IACAL** | **IACAL** |
| | | **IUA AÑO MEDIO** | **CATEG. IUA** | **IUA AÑO SECO** | **CATEG. IUA** | **ÍNDICE** | **CATEG.** | **AÑO Medio** | **AÑO SECO** | **AÑO MEDIO** | **AÑO SECO** |
| Acuífero San Gil Barichara | Río Chicamocha | 3,49 | Bajo | 12,48 | Moderado | 0,70 | Moderado | Bajo | Medio | Alto | Muy Alto |
| | Río Fonce | 4,31 | Bajo | 7,68 | Bajo | 0,75 | Alto | Bajo | Medio | Medio Alto | Alto |
| | Río Suárez | 2,89 | Bajo | 5,18 | Bajo | 0,65 | Moderado | Bajo | Bajo | Medio Alto | Alto |
| Bucaramanga - Piedecuesta | Río Lebrija | 6,29 | Bajo | 16,36 | Moderado | 0,72 | Moderado | Bajo | Medio | Alto | Muy Alto |
| Tunja | Río Chicamocha | 3,49 | Bajo | 12,48 | Moderado | 0,70 | Moderado | Bajo | Medio | Alto | Muy Alto |
| Duitama - Sogamoso | Río Chicamocha | 3,49 | Bajo | 12,48 | Moderado | 0,70 | Moderado | Bajo | Medio | Alto | Muy Alto |
| Ubate - Chiquinquira | Río Suárez | 2,89 | Bajo | 5,18 | Bajo | 0,65 | Moderado | Bajo | Bajo | Medio Alto | Alto |
| Sabana de Bogotá | Río Bogotá | 62,03 | Muy Alto | 207,97 | Muy Alto | 0,66 | Moderado | Alto | Alto | Muy Alto | Muy Alto |
| Cúcuta-Villa del Rosario | Río Pamplonita | 22,62 | Alto | 77,46 | Muy Alto | 0,67 | Moderado | Alto | Alto | Muy Alto | Muy Alto |
| | Río Zulia | 7,95 | Bajo | 22,64 | Alto | 0,69 | Moderado | Bajo | Alto | Moderado | Medio Alto |
| Sistema Acuífero Glacis del Quindío | Río La Vieja | 13,93 | Moderado | 31,26 | Alto | 0,73 | Moderado | Medio | Alto | Muy Alto | Muy Alto |
| | Río Otún | 12,47 | Moderado | 25,11 | Alto | 0,74 | Moderado | Medio | Alto | Alto | Muy Alto |
| Santagueda | Río Chinchiná | 10,33 | Moderado | 19,60 | Moderado | 0,75 | Moderado | Medio | Medio | Muy Alto | Muy Alto |
| Valle de Aburrá | Río Porce | 33,61 | Alto | 47,52 | Alto | 0,78 | Alto | Medio | Medio | Muy Alto | Muy Alto |
| Santa Fe de Antioquia | Directos Río Cauca (md) | 80,70 | Muy Alto | 182,35 | Muy Alto | 0,64 | Bajo | Alto | Alto | Alto | Alto |
| Bajo Cauca Antioqueño | Bajo San Jorge - La Mojana | 19,54 | Moderado | 44,60 | Alto | 0,68 | Moderado | Medio | Alto | Medio Alto | Alto |
| | Río Porce | 33,61 | Alto | 47,52 | Alto | 0,78 | Alto | Medio | Medio | Muy Alto | Muy Alto |
| Villavicencio-Granada-Puerto López | Río Guatiquía | 14,52 | Moderado | 31,97 | Alto | 0,68 | Moderado | Medio | Alto | Alto | Muy Alto |

Estos mismos indicadores pero relacionados con las cuencas abastecedoras de cabeceras municipales (Tabla 5. 8) muestran donde hay mayor vulnerabilidad al desabastecimiento de la población. En este contexto los Sistemas Acuíferos representan una alternativa para la seguridad hídrica ante la variabilidad en la disponibilidad, y ante las amenazas hidrológicas de origen natural: como sequías, inundaciones, avenidas torrenciales y posibles efectos asociados al cambio climático.

Los Sistemas Acuíferos identificados que también se constituyen en una alternativa de particular relevancia para disminuir esta vulnerabilidad son: Turbaco, Santa Marta, Valle del Cauca, Duitama-Sogamoso, Sabana de Bogotá, Glacis del Quindío, entre otros.

**Tabla 5. 8.** Indicadores hídricos crítico en cuencas abastecedoras de acueductos de cabeceras municipales y frente a Sistemas Acuíferos.

| Sistema Acuífero | POBLACIÓN CABECERA 2008 | CABECERA MUNICIPAL | SUBZONA HIDROGRÁFICA | NOMBRE FUENTE | Índice de regulación hídrica IRH | CONDICIONES HIDROLÓGICAS MEDIAS | | CONDICIONES HIDROLÓGICAS SECAS | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | Índice de Uso deAgua IUA | Índice vulnerabilidad al desabastecimiento IVH | IUA | IVH |
| Turbaco | 60279 | TURBACO | Maria La Baja | Canal del Dique | Bajo | Alto | Alto | Alto | Alto |
| Santa Marta | 91589 | CIÉNAGA | Cga. Grande de Santa Marta | Río Córdoba | Alto | Alto | Medio | Alto | Medio |
| Ciénaga de Oro | 7311 | SAN PELAYO | Bajo Siné | Río Siné | Bajo | Bajo | Medio | Bajo | Medio |
| Banco Mompós | 2995 | HATILLO DE LOBA | Directos Bajo Magdalena | Río Magdalena | Bajo | Muy bajo | Medio | Muy bajo | Medio |
| Banco Mompós | 33995 | EL BANCO | Directos Bajo Magdalena | Río Cesar | Bajo | Muy bajo | Medio | Muy bajo | Medio |
| Maicao | 92429 | MAICAO | Río Carraipia - Paraguachón - directos al Golfo Maracaibo | Río Carraipía | Bajo | Alto | Alto | Muy alto | Muy alto |
| Riohacha-Manaure | 161112 | RIOHACHA | Río Ranchería | Río Tapias | Bajo | Bajo | Medio | Bajo | Medio |
| Cesar | 324653 | VALLEDUPAR | Medio Cesar | Río Guatapurí | Bajo | Bajo | Medio | Medio | Alto |
| Cesar | 13769 | LA PAZ | Medio Cesar | Río Manaure | Bajo | Bajo | Medio | Bajo | Medio |
| Cesar | 7430 | SAN DIEGO | Medio Cesar | Río Chiriaimo | Bajo | Bajo | Medio | Bajo | Medio |
| Cesar | 5607 | EL MOLINO | Alto Cesar | Q. El Molino - Pozos | Bajo | Bajo | Medio | Alto | Alto |
| Cesar | 22110 | SAN JUAN DEL CESAR | Alto Cesar | Río Cesar | Bajo | Bajo | Medio | Bajo | Medio |
| Cesar | 8256 | URUMITA | Alto Cesar | Q. Mocho | Bajo | Bajo | Medio | Medio | Alto |
| Cesar | 18590 | VILLANUEVA | Alto Cesar | Río Villanueva - Pozos | Bajo | Bajo | Medio | Alto | Alto |
| Ranchería | 14353 | BARRANCAS | Río Ranchería | Río Ranchería - Pozos | Bajo | Muy bajo | Medio | Muy bajo | Medio |
| Ranchería | 4405 | DISTRACCIÓN | Río Ranchería | Río Ranchería | Bajo | Muy bajo | Medio | Muy bajo | Medio |
| Ranchería | 19399 | FONSECA | Río Ranchería | Río Ranchería | Bajo | Muy bajo | Medio | Bajo | Medio |

| Sistema Acuífero | POBLACIÓN CABECERA 2008 | CABECERA MUNICIPAL | SUBZONA HIDROGRÁFICA | NOMBRE FUENTE | Índice de regulación hídrica IRH | CONDICIONES HIDROLÓGICAS MEDIAS | | CONDICIONES HIDROLÓGICAS SECAS | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | Índice de Uso deAgua IUA | Índice vulnerabilidad al desabastecimiento IVH | IUA | IVH |
| Ranchería | 10265 | HATONUEVO | Río Ranchería | Q. Manantial | Bajo | Bajo | Medio | Medio | Alto |
| Golfo de Urabá | 123626 | APARTADÓ | Río León | Río Apartadó - Pozos | Bajo | Bajo | Medio | Alto | Alto |
| Golfo de Urabá | 54428 | CHIGORODÓ | Río León | Río León | Bajo | Bajo | Medio | Bajo | Medio |
| Golfo de Urabá | 51891 | TURBO | Río Mulatos | Río Turbo - Pozos | Bajo | Medio | Alto | Alto | Alto |
| Mariquita-Dorada-Salgar | 25651 | HONDA | Río Gualí | Q. Padilla | Bajo | Medio | Alto | Alto | Alto |
| Ibagué | 485606 | IBAGUÉ | Río Coello | Río Combeima | Alto | Alto | Medio | Muy alto | Medio |
| Purificación-Saldaña | 6487 | CARMEN DE APICALÁ | Río Lagunilla y otros directos al Magdalena | Q. Aguas Negras | Bajo | Medio | Alto | Alto | Alto |
| Purificación-Saldaña | 56931 | ESPINAL | Río Luisa y otros directos al Magdalena | Río Coello | Bajo | Bajo | Medio | Bajo | Medio |
| Valle del Cauca | 2158078 | CALI | | Río Cali | Medio | Muy alto | Bajo | Muy alto | Alto |
| Valle del Cauca | 25863 | LA UNIÓN | Directos Río Cauca (mi) | Q. El Rincón | Bajo | Alto | Alto | Muy alto | Muy alto |
| Valle del Cauca | 232914 | PALMIRA | Río Amaime | Río Nima | Medio | Alto | Alto | Muy alto | Alto |
| Valle del Cauca | 24440 | ROLDANILLO | Directos Río Cauca (mi) | Río Roldanillo, Q. La Cristalina | Bajo | Alto | Alto | Muy alto | Muy alto |
| Valle del Cauca | 87052 | YUMBO | Directos al Río Cauca (mi) | Río Yumbo | Alto | Alto | Medio | Alto | Medio |
| San Gil Barichara | 2637 | BARICHARA | Río Suárez | Represa El Comén | Bajo | Medio | Alto | Alto | Alto |
| Bucaramanga - Piedecuesta | 514553 | BUCARAMANGA | Río Lebrija | Río Tona - Río Frío - Q. Golondrinas | Bajo | Bajo | Medio | Medio | Alto |
| Bucaramanga - Piedecuesta | 248461 | FLORIDABLANCA | Río Lebrija | Río Tona - Río Frío | Alto | Muy alto | Medio | Muy alto | Medio |
| Bucaramanga - Piedecuesta | 130299 | GIRÓN | Río Lebrija | Río Tona - Río Frío | Alto | Medio | Medio | Alto | Medio |
| Bucaramanga - Piedecuesta | 101174 | PIEDECUESTA | Río Lebrija | Río Tona - Río Frío | Alto | Alto | Medio | Alto | Medio |
| Tunja | 156802 | TUNJA | Río Chicamocha | Río Teatinos - Pozos | Bajo | Muy alto | Muy alto | Muy alto | Muy alto |

| Sistema Acuífero | POBLACIÓN CABECERA 2008 | CABECERA MUNICIPAL | SUBZONA HIDROGRÁFICA | NOMBRE FUENTE | Índice de regulación hídrica IRH | CONDICIONES HIDROLÓGICAS MEDIAS | | CONDICIONES HIDROLÓGICAS SECAS | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | Índice de Uso deAgua IUA | Índice vulnerabilidad al desabastecimiento IVH | IUA | IVH |
| Tunja | 919 | CÓMBITA | Río Chicamocha | Q. Pena | Bajo | Bajo | Medio | Bajo | Medio |
| Tunja | 706 | MOTAVITA | Río Chicamocha | Nacimiento | Bajo | Bajo | Medio | Alto | Alto |
| Tunja | 290 | OICATÁ | Río Chicamocha | Q. La Mecha | Bajo | Bajo | Medio | Bajo | Medio |
| Tunja | 2342 | TUTA | Río Chicamocha | Río de Piedras | Bajo | Bajo | Medio | Bajo | Medio |
| Duitama - Sogamoso | 96788 | DUITAMA | Río Chicamocha | Río Surba | Medio | Muy alto | Alto | Muy alto | Alto |
| Duitama - Sogamoso | 5637 | NOBSA | Río Chicamocha | Río Penitente | Bajo | Bajo | Medio | Alto | Alto |
| Duitama - Sogamoso | 16548 | PAIPA | Río Chicamocha | Q. Tolbita | Medio | Medio | Medio | Alto | Alto |
| Duitama - Sogamoso | 4405 | TIBASOSA | Río Chicamocha | Q. Grande y Pequeña | Bajo | Alto | Alto | Muy alto | Muy alto |
| Ubaté - Chiquinquirá | 6232 | SIMIJACA | Río Suárez | Río Simijaca | Bajo | Bajo | Medio | Medio | Alto |
| Ubaté - Chiquinquirá | 5102 | SUSA | Río Suárez | Q. Nutrias | Bajo | Bajo | Medio | Bajo | Medio |
| Ubaté - Chiquinquirá | 23172 | UBATÉ | Río Suárez | Río Ubaté | Bajo | Bajo | Medio | Bajo | Medio |
| Sabana de Bogotá | 10311 | CHOCONTÁ | Río Bogotá | Río Tejar | Bajo | Medio | Alto | Medio | Alto |
| Sabana de Bogotá | 5839 | COGUA | Río Bogotá | Represa Neusa | Bajo | Bajo | Medio | Bajo | Medio |
| Sabana de Bogotá | 102826 | FACATATIVÁ | Río Bogotá | Río Botello - Río Andes | Alto | Muy alto | Medio | Muy alto | Medio |
| Sabana de Bogotá | 22586 | SIBATÉ | Río Bogotá | Q. Aguasclaras | Bajo | Medio | Alto | Alto | Alto |
| Sabana de Bogotá | 5307 | SUBACHOQUE - EL ROSAL | Río Bogotá | Q. Las Fuentes - Q. El Uval | Bajo | Bajo | Medio | Medio | Alto |
| Sabana de Bogotá | 7095 | SUESCA | Río Bogotá | Q. El Albercón | Alto | Alto | Medio | Alto | Alto |
| Sabana de Bogotá | 10518 | TABIO | Río Bogotá | Q. Tince | Bajo | Medio | Alto | Alto | Alto |
| Cúcuta-Villa del Rosario | 67791 | LOS PATIOS | Río Pamplonita | Q. La Honda | Bajo | Medio | Alto | Alto | Alto |
| Cúcuta-Villa del Rosario | 71698 | VILLA DEL ROSARIO | Río Pamplonita | Río Táchira | Bajo | Bajo | Medio | Medio | Alto |
| Sistema Acuífero Glacis del Quindío | 33091 | LA TEBAIDA | Río La Vieja | Q. La Jaramillo | Bajo | Muy alto | Alto | Muy alto | Muy alto |
| Sistema Acuífero Glacis del Quindío | 9883 | ALCALÁ | Río La Vieja | Q. Los Ángeles | Medio | Alto | Alto | Alto | Alto |

| Sistema Acuífero | POBLACIÓN CABECERA 2008 | CABECERA MUNICIPAL | SUBZONA HIDROGRÁFICA | NOMBRE FUENTE | Índice de regulación hídrica IRH | CONDICIONES HIDROLÓGICAS MEDIAS | | CONDICIONES HIDROLÓGICAS SECAS | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | Índice de Uso deAgua IUA | Índice vulnerabilidad al desabastecimiento IVH | IUA | IVH |
| Valle de Aburrá | 55340 | CALDAS | Río Porce | Q. Valeria | Medio | Muy alto | Alto | Muy alto | Alto |
| Santa Fe de Antioquia | 14270 | SANTA FE DE ANTIOQUIA | Directos Río Cauca (mi) | Q. La Pena | Bajo | Medio | Alto | Medio | Alto |
| Santa Fe de Antioquia | 3737 | SAN JERÓNIMO | Directos Río Cauca (md) | Q. La Muñoz | Bajo | Bajo | Medio | Bajo | Medio |
| Bajo Cauca Antioqueño | 6944 | CÁCERES | Directos al Cauca (md) | Q. Nicapá | Bajo | Bajo | Medio | Bajo | Medio |
| Bajo Cauca Antioqueño | 75766 | CAUCASIA | Bajo San Jorge - La Mojana | Lag. Colombia | Medio | Muy alto | Alto | Muy alto | Alto |
| Bajo Cauca Antioqueño | 25576 | EL BAGRE | Bajo Nechí | Q. Villa | Alto | Bajo | Bajo | Bajo | Bajo |
| Bajo Cauca Antioqueño | 20216 | TARAZÁ | Río Tarazá - Río Man | Q. Pozo Hondo | Medio | Alto | Alto | Muy alto | Alto |
| Altiplano Nariñense | 2175 | OSPINA | Río Guáitara | Q. El Comén | Bajo | Bajo | Medio | Bajo | Medio |
| Altiplano Nariñense | 2068 | POTOSÍ | Río Guáitara | Q. Yamuesquer | Alto | Bajo | Bajo | Bajo | Bajo |
| Altiplano Nariñense | 5458 | PUPIALES | Río Guáitara | Q. Piacén | Alto | Bajo | Bajo | Bajo | Bajo |
| Altiplano Nariñense | 1582 | SAPUYES | Río Guáitara | Q. Cuarriz | Alto | Bajo | Bajo | Bajo | Bajo |
| Altiplano Nariñense | 16844 | TÚQUERRES | Río Guáitara | Q. Azufral | Bajo | Medio | Alto | Medio | Alto |
| Yopal Tauramena | 100892 | YOPAL | Río Cravo Sur | Río Cravo Sur - Q. Calabaza | Bajo | Medio | Alto | Alto | Alto |
| Yopal Tauramena | 22950 | AGUAZUL | Río Cusiana | Q. Cupiagüero - únete | Bajo | Bajo | Alto | Medio | Alto |
| Yopal Tauramena | 11602 | TAURAMENA | Río Cusiana | Río Tauramena | Medio | Medio | Medio | Medio | Medio |

## CONSIDERACIONES FINALES

En el territorio colombiano se reconocen 16 provincias hidrogeológicas delimitadas por rasgos tectono-estructurales del orden regional. Estas provincias se pueden agrupar en montanas e intramontanas, costeras e insulares y pericratónicas teniendo en cuenta el ambiente de formación geológica de cada una de ellas. En este contexto, el 74% del territorio colombiano tiene posibilidades de aprovechamiento de aguas subterráneas.

En estas provincias, y de acuerdo con el estado de conocimiento hidrogeológico se dlimitan y caracterizan 44 Sistemas Acuíferos con base en la información documentada disponible. De ellos el 89% se encuentra en ambientes sedimentarios y el 11% en dominios ígneo-metamórficos. El 41% de los Sistemas Acuíferos identificados se localizan en las provincias hidrogeológicas costeras e insulares y el 48% y 11% se encuentran en las provincias montanas e intramontanas y pericratónicas respectivamente.

Únicamente 10 de los 44 Sistemas Acuíferos identificados tiene un nivel de conocimiento adecuado para gestión del agua subterráneas (22,7%), 13 tienen un conocimiento aceptable (29,5%) y los 21 restantes (47.7%) tienen un nivel insuficiente de conocimiento técnico para la toma de decisiones. Esto hace necesario un fortalecimiento de las instituciones para la evaluación de las aguas subterráneas con fines de gestión integrada del recurso hídrico.

Las aguas subterráneas se constituyen en estrategia de adaptación para hacer frente a fenómenos extremos. Tal es el caso del fenómeno del Niño que en la mayor parte del país se caracteriza por disminucion de la escorrentía en la mayoría de las subzonas hidrográficas. Estas reducciones de caudal de corrientes superficiales que son fuente de abastecimiento y energía para diferentes sectores económicos alcanzan a ser del 70% en algunos casos. Las subzonas hidrográficas más afectadas coinciden con los Sistemas Acuíferos de Barranquilla-Sabanalarga, Maicao, César, Purificación-Saldaña; San Gil-Barichara, Yopal- Tauramena, entre otros. Ahora bien, las subzonas hidrográficas que presentan restricciones de uso debido a la alta presión por uso y por contaminación, tienen asociados Sistemas Acuíferos que se convierten en una posible alternativa para el manejo de los problemas relacionados con la cantidad, calidad y regulación hídrica. En este sentido son de particular relevancia los Sistemas Acuíferos de Barranquilla-Sabanalarga; Maicao, Riohacha-Manaure, Alta Guajira, Cesar, Ranchería, Ibagué, Mariquita-Puerto Salgar, Purificación-Saldaña; Sabana de Bogotá, entre otros donde los indicadores son más críticos.

Los Sistemas Acuíferos también representan una alternativa para la seguridad hídrica ante la variabilidad en la disponibilidad, y ante las amenazas hidrológicas de origen natural tales como sequías, inundaciones, avenidas torrenciales y posibles efectos asociados al cambio climático. Se constituyen en una alternativa de particular relevancia para disminuir esta vulnerabilidad los Sistemas Acuíferos de Turbaco, Santa Marta, Maicao, Valle del Cauca, Duitama-Sogamoso, Sabana de Bogotá, Glacis del Quindío, Golfo de Urabá, Mariquita-Dorada-Salgar entre otros.



# BIBLIOGRAFÍA


Acosta, R.; Obando, R. (1984). ***Desarrollo estructural del extremo sur del valle medio del Magdalena***. XXXIII Reconocimiento Geológico. Asociación Colombiana de geólogos y Geofísicos del Petróleo. Bogotá.

Agencia Nacional de Hidrocarburos - ANH. (2007). ***Colombian sedimentary basins: Nomenclature, bounderies an petroleum geology a new proposal***. 91 p.

Ángel, C. (1991). ***Estudio hidrogeológico en el valle del Patía***. Informe técnico de Ingeominas preparado para CRC.

Anón. (1977). Hydrogeological maps. In Unesco & WMO (Eds.). ***A contribution to the International Hydrological Studies and Decade Reports in Hydrology.*** 204 p.

_____. (1983). ***International leyend for hydrogeological maps***. Unesco. Technical Document. SC-84/WS/&. París. 51 p.

Área Metropolitana del Valle de Aburrá - AMVA (2011). ***Red de monitoreo ambiental en la cuenca hidrográfica del río Aburrá en jurisdicción del Área Metropolitana-Fase III***. Medellín, 186 p.

Aristizábal, E.; Yokota, S. (2008). Evolución geomorfología del Valle de Aburrá y sus implicaciones en los movimientos de masas. ***Boletín Ciencias de la Tierra***, 24:15.

Arizmendi, R., Salazar, J., Vélez, M.; Caballero (2004). ***Evaluación del potencial acuífero de los municipios de Puerto Berrío y Puerto Nare.*** Primer Congreso Colombiano de Hidrogeología, Medellín, Colombia.

Barrero, D., Pardo, A., Vargas, C.; Martínez, J. F. (2007). *Colombian sedimentary basins: nomenclature, boundaries and petroleum geology, a new proposal*. Bogotá, Colombia: Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH). Recuperado en http://www.anh.gov.co/es/index.php?id=25 [22 de octubre de 2012].

Barrera, O.; Cañas, H.; Daconte, R. (1988). *Hidrogeología en los corregimientos de Buenos Aires y La Victoria*. Departamento de Córdoba. Informe No. 2097. Ingeominas - TNO Holanda. Bogotá.

Barrera, R.; Cañas, H. (1989).*Geología e inventario de puntos de agua en los municipios de San Juan del Cesar, Villanueva y Uramita (Departamento de la Guajira)*. Informe 2095. Ingeominas-Corpoguajira. Bogotá.

Barrera, R.; Cañas, H.; Manjarrés, J. (1990).*Geología e inventario de puntos de agua en la ribera oriental del río Magdalena entre las poblaciones de Plato y Sitio Nuevo (Magdalena)*. Convenio Ingeominas-Gobernación del Magdalena. Bogotá

Bermoudes, O. (2009). *Evaluación hidrogeológica regional del altiplano nariñense*. Subdirección de Recursos del Subsuelo. Instituto Colombiano de Geología y Minería Servicio Geológico. Bogotá D. C. 67 p.

Betancur, T. (2008). *Una aproximación al conocimiento de un sistema de acuífero tropical. Caso de estudio: el Bajo Cauca antioqueño*. Trabajo de tesis para optar por el título de doctora en Ingeniería, Universidad de Antioquia, Medellín. 227 p.

Burgl. (1957). Contribución a la estratigrafía y litogénesis de la isla de San Andrés. Servicio geológico Nacional. *Boletín Geológico*. Volumen VII, 1-3:(5-25). Bogotá Colombia.

Camargo, J. y Atehortua, E. (2010). *Evaluación de las condiciones de oferta, uso y susceptibilidad a la contaminación de las aguas subterráneas en la región Andina de Colombia*. Tesis para optar el título de Ingeniera Ambiental. Bogotá. 168 p.

Campillo, A. (2012). ***Orígenes de la recarga de los acuíferos del Valle de Aburrá: Enfoque Geoquímico e Isotópico***. Informe para optar título de Máster de Investigación Agua y Medio Ambiente. Universidad Montpellier II. 53 p.

CAR. (2008). ***Plan de manejo ambiental de agua subterránea en la sabana de Bogotá y zona crítica***. Bogotá. 176 p.

CARDER. (1998). ***Estudio de oferta y demanda hídrica en la subregión 1 del departamento de Risaralda***. Pereira, Colombia, Empresas Públicas de Pereira, Comité Departamental de Cafeteros, Universidad Nacional, sede Medellín.

_____. (2007). ***Plan de manejo integrado de aguas subterráneas en Pereira y Dosquebradas***. Pereira, Colombia.

Cardique. (1998). ***Estudio hidrogeológico del área de Arroyo Grande – municipio de Cartagena***.

_____. (2006). ***Elaboración del Estudio Hidrogeológico y Determinación del Potencial Hídrico del Área Correspondiente al Acuífero de Turbaco***. Cartagena. 172 p.

Carrillo, J., Cardona, A., Huizar, R. y Graniel, E. (2007). Response of the interaction between groundwater and other components of the environment in Mexico. ***Enviromental Geology.***

Carrillo, L.E. (1996). Estructuración de una base de datos para la microzonificación sísmica y geotécnica del área metropolitana de Bucaramanga y sus aplicaciones en el estudio del jurásico en Colombia. ***Memorias del 2º Seminario Internacional del Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible***. Universidad Industrial de Santander.

Carsucre. (2005). *Proyecto de protección integral de aguas subterráneas "PPIAS". Acuífero de Morroa*.

_____. (2011). *Proyecto de protección integral de aguas subterráneas "PPIAS". Plan de Manejo Acuífero de Morrosquillo*. Sincelejo. 49 p.

Consorcio Hidrogeología del Llano (s. f.). *Determinación del modelo hidrogeológico conceptual del área urbana del municipio de Villavicencio*. Corporación para el Desarrollo Sostenible del Área de Manejo Especial La Macarena. 253 p.

Corpoboyacá (s. f.). *Formulación del Plan de Manejo y Protección del Acuífero de Tunja*. Universidad Santo Tomás, seccional Tunja. 378 p.

_____. (1999). *Caracterización Hidrogeológica de las formaciones en el sector centro sur del departamento de Boyacá*.

Corpoguajira (2003). *Proyecto de Manejo Integrado y Sostenible de Recursos Hídricos Subterráneos en América Latina - RLA|08|031*. 56 p.

Corpourabá (2008). *Informe Manejo de aguas subterráneas en la Región de Urabá*. [Informe interno].

Custodio, E. y Llamas M. (1976). *Hidrología subterránea*. Ediciones Omega. Barcelona. Volumen 2: (1-2350) (2ª. edic. 1985).

CVC (s. f.). *Caracterización hidrogeoquímica e isotópica acuífero aluvial Valle del Cauca*. Recuperado en http://www.cvc.gov.co/portal/images/CVC/Recurso_Hidrico/agua_subterranea/calidad_de_agua/CaracterizacionisotopicaeHidrogeoquimicaValledelCauca.pdf. [26 de octubre de 2012].

_____. (1996). *Aprovechamiento de las reservas de agua subterránea en el Valle del Cauca*. Cali.

_____. (2000). *Plan de Manejo para la Protección de las Aguas Subterráneas en el Departamento del Valle del Cauca*. Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC).

DAMA. (2005). *Actualización de herramientas para la regulación del aprovechamiento de aguas subterráneas en Bogotá*. Universidad Nacional – Facultad de Ingeniería. [40 Diapositiva].

EAAB. (2003). *Estudio del desarrollo sostenible del agua subterránea en la Sabana de Bogotá, II Seminario, convenio EAAB, ESP-JICA*.

Ecopetrol. (1998). *Opportunities for hydrocarbon exploration and production in Colombia.* Bogotá:

_____. (2000). *Atlas of sedimentary basins and petroleum geology of Colombia* [Atlas Digital]. Recuperado en www.accefyn.org.co/revista/volumen33/126/37-43.pdf [23 de octubre de 2012].

Etayo, F., D. Barrero, y otros. (1983). *Mapa de Terrenos de Colombia*. Publicaciones Geológicas Especiales del Ingeominas, 14(1):235

Freeze, R. A. y Cherry, J. A. (1979). *Groundwater*. Prentice-Hall, Englewood USA.

Geoint Ltda., (1998). *Estudio hidrogeológico y geoeléctrico para investigación de aguas subterráneas*. Trabajo para Occidental de Colombia.

Geoconsulta Ltda. (1984). *Abastecimiento de aguas subterráneas en la concesión Cravo Norte*. Trabajo para Occidental de Colombia.

Geister, J. (1975). *Mapa Geológico San Andrés*. 1:20000. Ingeominas.

_____. (1995). *Riffbau und geologische Entwicklungsgeschichte der Insel San Andrés (westliches Karibisches Meer, Kolumbien)*. Stuttgarter Beitr Naturk Ser B (Geol and Paläont).

Geister, J.; Díaz, J. M. (1996). *A Field Guide to the Atolls and Reefs of San Andres and Providencia (Colombia)*. 8TH International Coral Reef Symposium, June 24-29, Panamá.

Geotec (1988). *Mapa Geológico de Colombia*, Escala 1:1.200.000, Bogotá.

Geosub Ltda. (2009). *Estudio para el ajuste del modelo hidrogeológico conceptual del acuífero de Santágueda – km 41 en Manizales y Palestina*. 129 p.

Giraldo, Y. (2010). *Condiciones de oferta, uso y susceptibilidad a la degradación del recurso hídrico subterráneo en las zonas hidrogeológicas del Caribe colombiano*. Tesis para optar el título de Ingeniera Ambiental. Bogotá. 150 p.

Gómez, S., Gutiérrez, F. y Torres, C. (2011). Vulnerabilidad, amenaza y peligro a la contaminación de las aguas subterráneas en la región de Bucaramanga. *Revista UIS-Ingenierías*. Vol. 10: (1): 51-62.

Gómez, S., Colegial, J. (2006). *Modelo de recarga y flujo a través del sistema de fracturas del macizo de Santander en el sector de Bucaramanga*. Memorias del II Congreso Colombiano de Hidrogeología. UIS. Bucaramanga.

González, H.; Núñez, A. (1991). *Mapa geológico generalizado del departamento del Quindío*. Scale 1:100,000. Ingeominas, Bogotá.

Guo, S.; Ying, A. (1997). Uncertainty analysis of impact of climate change on hydrology and water resources. Quinta Asamblea Científica IAHS, en Rabat, Marruecos. *IAHS Publication* 240: (331-338).

Haffer, J. (1965). *On the stratigraphy of the upper Sinú - upper San Jorge region, northwestern Colombia*. Report GR-302 Ecopetrol. Bogotá.

_____. 1967. *On the geology of the Urabá and northern Chocó*. Report. 357 (mecanografiado). p. 1-105. Ecopetrol. Bogotá.

Hermelin. M. (2007). *Entorno natural de 17 ciudades de Colombia*. Universidad de EAFIT. Ed. Fondo Editorial Universidad Eafit. 237 p. ISBN 978-958-8281-70-4.

Herrera, H. (1994).*Vulnerabilidad a la contaminación del Acuífero de Morroa*. V Foro Institucional sobre el Agua Subterránea. Acoagua, Santafé de Bogotá.

Herrera, H.; Puentes, R. (1997). *Determinación de la contaminación salina del acuífero de Tolú*.

Sincelejo, 1997, 132 p. Trabajo de grado (Especialista en Ciencias Ambientales. Universidad de

Sucre, Universidad del Magdalena e Instituto Superior de Ciencias Agropecuarias de la Habana,

ISCAH).

Hidrogeocol Ltda. (1990). *Estudio del potencial de aguas subterráneas en la zona norte del Tolima*. Informe técnico. Cortolima. Bogotá.

_____. (1992). *Estudio del potencial de aguas subterráneas en la zona sur del Tolima*. Informe técnico. Cortolima. Bogotá.

_____. (2004). *Corporación Autónoma Regional del Cauca*. CRC.

Huguett, A. Cañas, H., Barrera R.; Daconte R. (1988). *Hidrogeología en los corregimientos de Tacamochito y Tacasaloma (Departamento de Bolívar)*. Informe No. 2090. Ingeominas. Bogotá.

Huguett, A., Mosquera, F. y Molano, C. (1989). ***Mapa hidrogeológico de Colombia. Escala 1:2.500.000***. Memoria explicativa. [Publicación especial]. Bogotá: Ingeominas.

IDEAM (1998). ***El medio ambiente en Colombia***.

_____. (2005). ***Atlas climatológico de Colombia***. Bogotá D.C.: Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales. 217 p.

_____. (2010a). ***Estudio Nacional del Agua 2010***. Bogotá D.C.: Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales.

_____. (2010b). ***Sistemas morfogénicos del territorio colombiano.*** Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Bogotá D.C. 2 anexo, 26 planchas en DVD. 252 p.

_____. (2011). *Segunda comunicación nacional ante la convención marco de las Naciones Unidas sobre cambio climático*. 244 p.

_____. (2013). *Lineamientos conceptuales y metodológicos para la evaluación regional del agua*. 218 p.

IDEAM; Corponor. (2007). *Plan de protección y aprovechamiento integral del recurso hídrico subterráneo departamento de Norte de Santander*. 160 pp.

IDEAM; Corpocesar. (2007). *Evaluación del potencial del agua subterránea para riego de los Sistemas acuíferos cono aluvial y llanura aluvial de Valledupar, Departamento del Cesar*. 181. pp.

IDEAM; Posada, F.; Gutierrez H. (1996). *Mapa de coberturas vegetales, uso y ocupación del espacio en Colombia*.

IGRAC. (s. f.). http://www.isarm.org/publications/303. Consultado el 3 de octubre de 2002.

Ingeominas. (1981). Geología del Cuadrangulo K-13 Tauramena, Geología del Cuadrángulo J-12 Tunja. *Boletín Geológico*. Vol. 24 (2): 1-48.

_____. (1983). *Estudio hidrogeológico de la media y baja Guajira*. Informe 1906. Bogotá.

_____. (1985). *Geología plancha 135 San Gil*.

_____. (1987). *Pruebas de bombeo de los pozos WS1, WSW2, WSW3 y WSW4 de Caño Limón-Arauca. Informes 2048 y 2049.* Bogotá.

_____. (1988a). *Mapa geológico de Colombia. Instituto Nacional de Investigaciones Geológico-Mineras*. Memorias explicativas. 71 p.

_____. (1988b). *Resumen del estudio hidrogeológico del flanco oriental de la Serranía de San Jacinto y de la zona Litoral del Golfo de Morrosquillo*. Resumen del estudio hidrogeológico de la media y baja Guajira, Resumen de la Hidrogeología de los Departamentos de Atlántico y Bolívar en el norte del Canal del Dique. Boletín Geológico. Bogotá. No. 1. 172 p.

_____. (1989). *Mapa Hidrogeológico de Colombia*. Escala 1:2.500.000. Bogotá.

_____. (1992a). *Mapa Geológico Generalizado del Valle del Cauca*. Escala 1:300000. Bogotá.

_____. (1992b). *Evaluación Hidrogeológica del Acuífero de Morroa*.

_____. (1993). *Estudio hidrogeológico cuantitativo de la Sabana de Bogotá*.

_____. (1995). *Evaluación de las aguas subterráneas de Urabá*. 295 p.

_____. (1997). *Evaluación hidrogeológica del Abanico de Ibagué. Informe Convenio Santafé de Bogotá*.

_____. (1999). *Estudio hidrogeológico y Plan de Manejo del Agua Subterránea, en el sector nororiental de la cuenca del río Magdalena en el departamento del Huila*. Informe Técnico CAM.

_____. (2000). *Atlas Geológico de Colombia*. Escala 1:500.000. Memoria Explicativa.

_____. (2004). *Programa de exploración de aguas subterráneas*. Instituto Colombiano de Geología y Minería Ingeominas. 42 p.

_____. (2009). *Informe hidrogeológico e hidrogeoquímico de la zona Guanentina*. Bogotá. 41 p.

Ingeominas; Corpocesar. (1995). *Evaluación del agua subterránea en el departamento del Cesar*.

Ingeominas-CAM. (1998). *Estudio hidrogeológico y plan de manejo de aguas subterráneas en el sector nororiental de la cuenca del río Magdalena en el departamento del Huila*. Convenio Ingeominas-CAM. Bogotá.

IPCC. (2007). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, UK y NY, EUA: Cambridge University Press .

ITGE. (1971). Programa Nacional de Investigación Minera. *Mapa hidrogeológico de España*. Escala 1:50.000. from http://aguas.igme.es/igme/publica/libros2_TH/libro31/pdf/lib31/1_int.pdf

_____. (1987). ***Mapa de normas de explotación de acuíferos***. Escala 1:50000. Madrid., recuperado en http://aguas.igme.es/igme/publica/libros2_TH/libro31/pdf/lib31/1_int.pdf [23 de octubre de 2012]

La contaminación del agua. Recuperado en http://130.206.170.118/servlet/SBReadResourceServlet?rid=1225108636975_1215147026_697&partName=htmltext [23 de octubre de 2012]

ITC. (1983). *Cartografía hidrogeológica*. Recuperado en www.mappinginteractivo.com/plantilla-ante.asp?id_articulo=267 [24 de octubre de 2012].

Manjarres, J. (1990). *Geología e inventario de puntos de agua en la población de Ciénaga y sus alrededores*. Ingeominas-Gobernación del Magdalena. Bogotá.

Martínez, D. (2009). *Evaluación y modelación hidrogeoquímica del acuífero costero de Morrosquillo*. Sucre, Colombia. Universidad de Antioquia. 94 p.

MAVDT. (2009). *Compilación e integración de la información hidrogeológica como insumo para el diagnóstico del componente aguas subterráneas en el marco de la formulación de la política hídrica nacional*. Bogotá. 55 p.

MAVDT. (2010). *Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico Bogotá*. 124 p.

Maya, M. & González, H. (1995). Unidades Litodémicas en la Cordillera Central de Colombia. *Boletín Geológico Ingeominas*. 35 (2-3):(44-57).

McCourt, W.J., 1984. *The geology of the Central Cordillera in the departments of Valle del Cauca, Quindío and NW Tolima*. British Geological Survey, Ingeominas, Cali, 37 p.

Meinzer, O. (1923). The Occurrence of Ground Water in the United States With a Discussion of Principles. *Geological Water-Supply Paper* 489. 321 p.

Mosquera M., F.; Arango C., J.L.; Valencia C., M; Carreño B., J. y Aguilera B., H. (1976). *Exploración de acuíferos de la Alta y Media Guajira*. Capítulo 1: Geología. Documento de Ingeominas. 140 p.

Mc Laughlin, Arce. (1975). *Mapa Geológico K11 Zipáquira*. Ingeominas.

Nivia, A., Gizelel, M. y Andrew, K. (1996). *El complejo quebradagrande una posible cuenca marginal intracratónica del Cretácico Inferior en la cordillera central de los Andes colombianos.* VII Congreso Colombiano de geología. Memorias 3:(108-123).

Otálvaro, L., Arias, G. y Vélez, M. (s. f.). Uso de métodos geofísicos e isotópicos en la construcción de un modelo hidrogeológico conceptual para los acuíferos de Pereira y Dosquebradas, Colombia. *Recursos Naturales y Ambiente*. 58:(89-96).

Organismo internacional de Energía Atómica-IAEA. (2009). *Estudios de hidrología isotópica en América Latina 2006*. Viena, Austria. 232 p.

Organización Meteorológica Mundial-OMM. (2011). *Guía de prácticas hidrológicas*. Gestión de recursos hídricos y aplicación de prácticas hidrológicas. Volumen II. Sexta Edición. 330 p.

Paredes, V., Vargas, I., Vargas, M. y Arellano, F. (2010). Hidrogeoquímica en el acuífero costero del Golfo de Urabá. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*. Vol. 9, No. 17:(51-62).

Palacio, P. y Betancur, T. (2007). Identificación de fuente y zonas de recarga a un sistema acuífero a partir de isótopos estables del agua caso de estudio Bajo Cauca Antioqueño. *Revista Gestión y Ambiente*. Volumen 10 No. 4:(167-182).

Páez, G. (2004). *Las aguas subterráneas importancia y perspectivas en el Valle del Cauca - Colombia*. Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC). 14 p.

Pérez, G.; Valencia, M. (1977). *Evaluación geológica del Valle Medio del Magdalena*. Informe 588. División de Exploración de Ecopetrol. Bogotá.

Proradam. (1979). *La Amazonía colombiana y sus recursos*. (5 tomos). Bogotá

Quiroz, O. y Cadavid, L. (1999). *Monitoreo al recurso hídrico subterráneo del km 41 y Santágueda*. Corporación Regional de Caldas.

Restrepo, J. y Toussaint, J. (1984). *Unidades litológicas de los alrededores de Medellín*. 1ª conferencia sobre riesgos geológicos del Valle de Aburrá. Memorias 1-26.

Restrepo-Pace, P. A. (1999). Fold and thrust belt along the western fl ank of the Eastern Cordillera of Colombia: style, kinematics and timing constraints derived from seismic data and detailed surface mapping. K. McClay (Ed.). *Thrust Tectonics Conference*. Royal Holloway University of London, pp. 112-115.

Repúblicas de Colombia y Venezuela. (1991). *Estudio conjunto del aprovechamiento integral y conservación de los recursos hídricos del río Carraipía Paraguachón*. Diagnóstico. 168 p.

Ríos, M.; Martínez, C. (1995). *Exploración y evaluación de aguas subterráneas en la región de Urabá*. Corpouraba-Ingeominas. Bogotá.

Rojas, O. (1966). *Geological traverses in the Chocó región (Northwestern Colombia)*. Ecopetrol GR. 360. p. 1-68. Bogotá.

Santa, D., Martínez, D.; Betancur, T. (2008). Uso de hidroquímica e isótopos ambientales para la evaluación de la conexión hidrológica entre el agua subterránea y el humedal Ciénaga Colombia. *Revista Gestión y Ambiental*. Volumen 11 No 2:(21-38).

Struckmeir, W.; Marat, J. (1995). Hydrogeological Maps: A Guideline and Standard Leyend. In IAH, IAHS, IHP & Unesco (Eds.), *Project M-1.3*. Hannover.: Verlag Heinz Heise.

Suter, F.; Neuwerth, R.; Gorin, G.; Guzmán, C. (2008). (Plio-)Pleistocene alluvial-lacustrine basin infill evolution in a strike-slip active zone (Northern Andes, Western-Central Cordilleras, Colombia). *Geologica Acta*. Vol. 6 (3):231-249.

Taborda, B. (1965). Guidebook to the Geology of the Mares concession. *Col. Soc. of Petr. Geol*. Bogotá.

Taupin, J. ; Toro, L. ; Vargas M. (2009). Etude géochimique et isotopique des aquifères dans la zone de Maicao (Colombie) / Study of the geochemistry and isotopic composition of aquifers in the Maicao region (Columbia). *Hydrological Sciences Journal*. 54 (3):(538-555).

TORO, L. E. 1999. Plan de manejo de las aguas subterráneas de la isla de San Andrés, 2000-2009. Documento interno de CORALINA.

Tóth, J. (1995). Hydraulic continuity in large sedimentary basins. *Hydrogeology Journal. 3*(4): (4-16).

Unesco. (2006). 2º Informe sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos del Mundo: *El agua una responsabilidad compartida*. from www.unesdoc.unesco.org/images0014/001144409s. pdf

Universidad de Antioquia e Integral (2002). *Estudio de zonas de recarga y acuíferos del Valle de Aburrá*. Medellín, 436 p.

Universidad de Antioquia y Corantioquia (2011). *Plan de manejo ambiental de acuíferos (PMAA) de la Dirección Territorial Panzenú*. 207 p.

Universidad de Antioquia y Corpoguajira (2011). *Modelo hidrogeológico y Sistema de Información en la cuenca del río Ranchería*. Medellín. 281 p.

Universidad Nacional (2010). *Modelación del acuífero San Andrés Islas bajo escenarios de cambio climático y usos del recurso*. Proyecto INAP-Colombia.

UPME. (2003). *Formulación de un programa básico de normalización para aplicaciones de energías alternativas y difusión: utilización de la energía geotérmica documento descriptivo*. Bogotá. 50 p.

Vargas, N. O. (2001). *Mapa hidrogeológico de Colombia. Escala 1:1.200.000.* Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

Vargas, G. (2004). Geología y aspectos geográficos de la Isla de San Andrés. *Geología Colombiana*. 29. Diciembre.

Vargas, N. O. (2006). Zonas Hidrogeológicas Homogéneas de Colombia. *Boletín Geológico y Minero*. 117 (1):47-61. ISSN: 0366-0176.

Vélez, M. y Rhenals, R. (2008). *Determinación de la recarga con isótopos ambientales en los acuíferos de Santafé de Antioquia*. Escuela de Geociencias y Medio Ambiente. Universidad Nacional Sede Medellín.

Villegas, P. y Pacheco, D. (2003). *Caracterización Hidráulica del acuífero Morroa utilizando pruebas de Bombeo*. Universidad de Sucre. Facultad de Ingeniería. Sincelejo. 100 p.

Villegas, P. y Vivas, A. (2009). *Hidrogeología del acuífero del Golfo de Urabá*. IV congreso colombiano de Hidrogeología. pp. 7

World Meteorological Organization (2012). *Glosario Hidrológico Internacional*. 461 p.




Carrera 66 No. 24-09
PBX: (571) 4578000
www.imprenta.gov.co