I-2222.5
vol. 1

INGEOMINAS

CONVENIO INTERADMINISTRATIVO

CORPOCESAR - INGEOMINAS

PROYECTO

EVALUACION DEL AGUA SUBTERRANEA EN EL DEPARTAMENTO DEL CESAR

INFORME FINAL
TEXTO

Por:
Carlos E. Angel - Alcides Huguett G.

Santafé de Bogotá, Mayo de 1995

INGEOMINAS

C O N T E N I D O

Página

RESUMEN

1. INTRODUCCION 1

1.1 ANTECEDENTES 1

1.2 OBJETIVOS 2

1.3 LOCALIZACION Y EXTENSION 3

1.4 INFRAESTRUCTURA 5

1.5 CLIMA, VEGETACION Y AGUAS SUPERFICIALES 7

1.6 POBLACION Y ECONOMIA 12

1.7 ACTUAL ABASTECIMIENTO DE AGUA PARA EL CONSUMO HUMANO . . 16

1.8 OTROS USOS DEL AGUA 19

1.9 METODOLOGIA DEL TRABAJO 20

1.10 ESTUDIOS HIDROGEOLOGICOS ANTERIORES 23

1.11 PARTICIPACION Y PRESENTACION DEL ESTUDIO 27

2. GEOMORFOLOGIA 31

2.1 GENERALIDADES 31

2.2 PROVINCIA DE PAISAJES DE ORIGEN ESTRUCTURAL 31

2.2.1 Sistema de Macizos Cristalinos. 33

2.2.2 Sistema de Serranías. 36

2.2.3 Sistema de Cerros Aislados. 38
2.3 PROVINCIAS DE PAISAJES DE ORIGEN DENUDATIVO 39
2.3.1 Sistema de Colinas Redondeadas. 39
2.3.2 Sistema de Sabanas. 41
2.3.3 Sistema de Abanicos Aluviales. 42
2.3.4 Sistema de Llanura Aluvial. 44
2.4 PROVINCIA DE PAISAJES DE ORIGEN DEPOSICIONAL 45
2.4.1 Sistema Depresión Cenagosa. 46
3. GEOLOGIA 48
3.1 REGION SIERRA NEVADA DE SANTA MARTA 50
3.1.1. Rocas Metamórficas Precámbricas (PEm). 50
3.1.2. Rocas Igneas. 51
3.1.3. Rocas Sedimentarias. 57
3.2 REGION SERRANIA DE PERIJA 61
3.2.1. Rocas Metamórficas. 61
3.2.2 Rocas Sedimentarias. 62
3.3 REGION NORTE DE LA CORDILLERA ORIENTAL 69
3.3.1. Rocas metamórficas. 69
3.3.2. Rocas Igneas. 70
3.3.3 Rocas Sedimentarias. 71
3.4 REGION PLANICIE DEL CESAR 75
3.5. ESTRUCTURAS GEOLOGICAS 79
4. EVALUACION DE LA RECARGA POTENCIAL PROVENIENTE DE LA PRECIPITACION 81
4.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ÁREA 81

4.2. METODOLOGIA 84
4.3. PRECIPITACION 85
4.3.1. Información utilizada. 85
4.3.2. Precipitación media multianual. 87
4.3.3. Precipitación de los años húmedo y seco. 89
4.3.4. Distribución de la precipitación durante el año. . . 92
4.4. EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL 100
4.4.1. Información utilizada. 101
4.4.2. Cálculo de la evapotranspiración potencial. 101
4.4.3. Variación de la ETP con la elevación. 104
4.4.4 Variación de la ETP durante el año. 108
4.4.5. Estimación de la ETP para los años húmedo y seco. . . 108
4.5. ESCORRENTIA 111
4.5.1. Hidrografía. 111
4.5.2. Información utilizada. 113
4.5.3. Escorrentía media multianual y para los años tipo. . 115
4.5.4. Distribución estacional de la escorrentía. 118
4.5.5. Estimación de la escorrentía directa. 124
4.6 SUELOS 127
4.6.1. Generalidades. 127
4.6.2. Los suelos del Departamento del Cesar. 129
4.7. BALANCES HIDRICOS Y ANALISIS DE LOS RESULTADOS 132
5. INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA 138
5.1. METODOLOGIA Y GENERALIDADES 138
5.2 PARTICULARIDADES DE LOS POZOS INVENTARIADOS 142

5.3 PARTICULARIDADES DE LOS ALJIBES INVENTARIADOS 149
5.4 PARTICULARIDADES DE LOS MANANTIALES 154
6. PROSPECCION GEOELECTRICA 157
6.1 OBJETIVOS 157
6.2 METODOLOGIA 158
6.3 ANALISIS DE LOS RESULTADOS 160
6.3.1 Corte Geoeléctrico 1-1'. 160
6.3.2 Corte Geoeléctrico 2-2'. 163
6.3.3 Corte Geoeléctrico 3-3'. 164
6.3.4 Corte Geoeléctrico 4-4'. 165
6.3.5 Corte Geoeléctrico 5-5'. 167
6.3.6 Corte Geoeléctrico 6-6'. 168
6.3.7 Corte Geoeléctrico 7-7'. 169
6.3.8 Corte Geoeléctrico 8-8'. 170
6.3.9 Corte Geoeléctrico 9-9'. 171
6.3.10 Corte Geoeléctrico 10-10'. 172
6.4 MODELO GEOELECTRICO DEL AREA 173
6.4.1 Cuenca del Cesar. 173
6.4.2 Cuenca del Magdalena. 174
7. HIDROGEOQUIMICA 177
7.1. OBJETIVOS 177
7.2. METODOLOGIA 178
7.2.1 Muestreo. 178
7.2.2 Preservación. 179
7.2.3 Análisis. 180

a) Análisis de Campo. 180

7.2.4 Resultados 182

7.3 . INTERPRETACION DE RESULTADOS 183

7.3.1. Calidad del Agua para Consumo Humano. 183

7.3.1.1 Unidades acuíferas de edad cuaternaria. 186

7.3.1.2 Otras unidades acuíferas. 193

7.3.2. Calidad del Agua para Irrigación. 193

7.3.2.1 Relación de Adsorción de Sodio. 194

7.3.2.2. Conductividad. 196

7.3.2.3 Carbonato de Sodio Residual. 197

7.3.2.4 Síntesis de Resultados de Clasificación del Agua Subterránea para Riego. 198

7.3.2.4.1 Distribución Geográfica de las Aguas Subterráneas, de los Acuíferos de Edad Cuaternaria, en el Departamento del Cesar, en función de su calidad para irrigación. . . 199

7.3.2.4.2 Agua para riego en unidades acuíferas de edad Terciaria. 201

7.3.2.4.3 Agua para riego en unidades del Cretáceo. 201

7.3.2.5 Otros factores incidentes en la calidad de agua para riego. 202

7.3.3 Calidad del Agua para usos Industriales. 203

7.3.3.1 Corrosión e Incrustación. 204

7.3.3.2 Otros factores. 206

7.3.3.2.1 Hierro y Manganeso. 206

7.3.3.2.2 Potencial Redox. 209

7.3.3.2.3 Relación entre el Contenido de Hierro y Manganeso y el Potencial Redox. 210
7.3.3.2.4 Oxígeno Disuelto. 212
7.3.3.2.5 Cloruros. 213
7.3.3.2.6 Sulfatos. 214
7.3.4 Hidrogeoquímica. 215
7.3.4.1 Conductividad. 215
7.3.4.1.1 Unidades acuíferas del Cuaternario. 215
Dirección del flujo subterráneo en los acuíferos libres cuaternarios. 217
7.3.4.1.2 Unidades acuíferas del Terciario 219
7.3.4.1.3. Unidades acuíferas de Cretáceo 219
7.3.4.1.4 Unidades acuíferas del Jurásico. 219
7.3.4.2 Clasificación Geoquímica. 219
7.3.4.2.1 Unidades Acuíferas de edad Cuaternaria. 220
Relación entre las Unidades Acuíferas del Cuaternario y las Características Físico-químicas de sus Aguas Subterráneas. 220
7.3.4.2.2 Unidades Acuíferas de edad Terciaria 229
7.3.4.2.3 Unidades acuíferas de edad Cretácea. 229
7.3.4.2.4 Unidades Acuíferas del Jurásico. 229
8. HIDROGEOLOGIA 231
8.1 METODOLOGÍA 231
8.1.1 Pruebas de Bombeo 232
8.1.2 Mapa Hidrogeológico. 235

8.1.2.1 Subprovincias Hidrogeológicas. 236
8.1.2.2 Clasificación y Descripción Hidrogeológica. 239
8.1.2.3 Importancia Hidrogeológica Relativa. 241
8.2 LEYENDA DEL MAPA HIDROGEOLOGICO 241
8.3 DESCRIPCION DE LAS SUBPROVINCIAS HIDROGEOLOGICAS 243
8.3.1 Subprovincia Hidrogeológica Sierra Nevada de Santa Marta. 243
8.3.2. Subprovincia Hidrogeológica Serranía Perijá. 244
8.3.3. Subprovincia Hidrogeológica Norte de la Cordillera Oriental. 246
8.3.4. Subprovincia Hidrogeológica Planicie del Cesar. . . . 247
8.4. DESCRIPCION DE GRUPOS HIDROGEOLOGICOS Y SISTEMAS ACUIFEROS ASOCIADOS 249
8.4.1. Grupo de Sedimentos y Rocas Porosas con Importancia Hidrogeológica Relativa Grande a muy Pequeña. 249
8.4.1.1 Sistema Acuífero Llanura Aluvial (Qlla). 250
8.4.1.1.1 Sector del Bloque del Río Cesar. 251
8.4.1.1.2 Sector del Bloque Los Venados. 257
8.4.1.1.3 Sector del Bloque Ariguaní. 259
8.4.1.1.4 Sector del Bloque Codazzi-Sicarare. 262
8.4.1.1.5 Sector del Bloque Becerril - La Loma. 264
8.4.1.1.6 Sector del Bloque Rincón Hondo. 266
8.4.1.1.7 Sector del Bloque Astrea - San Alberto. 267
8.4.1.2 Sistema Acuífero Aluviones Recientes. (Qal). 269
8.4.1.3 Sistema Acuífero Abanicos Aluviales (Qcal). 273

8.4.1.4 Sistema Acuífero Terrazas (Qt). 283
8.4.1.5 Sistema Acuífero Sedimentitas de Arjona (Tpaa). . . 285
8.4.1.6 Sistema Acuífero Formación Cuesta (Tmc). 291
8.4.1.7 Sistema Acuífero Formación Barco (Tpb). 294
8.4.2. Grupo de Rocas Fracturadas y Porosas con Importancia Hidrogeológica Relativa Grande a Pequeña. 296
8.4.2.1 Sistema Acuífero Formación La Luna (Ksl). 297
8.4.2.2 Sistema Acuífero Grupo Cogollo (Kmc). 302
8.4.2.3 Sistema Acuífero Formación Rionegro (Kir). 306
8.4.2.4 Sistema Acuífero Formación Los Cuervos (Tec). . . . 308
8.4.3 Grupo de Sedimentos y Rocas Porosas o Fracturadas con muy Pequeña Importancia Hidrogeológica o sin Importancia. 310
8.4.3.1 Sistema Acuífero Depósitos Fluviolacustres (Qfl). . 312
9. RECARGA Y DESCARGA DE LOS SISTEMAS ACUÍFEROS 314
9.1 EVALUACIÓN DE LA RECARGA REAL 314
9.1.1 A partir de Precipitación. 314
9.1.2 A partir de Escorrentía e Irrigación. 328
9.1.3 Análisis de Resultados. 329
9.2 DESCARGA 330
9.2.1 Descarga Natural. 330
9.2.2 Extracción. 332
10. CUANTIFICACIÓN DE LAS RESERVAS DE AGUA SUBTERRÁNEA EN LOS SISTEMAS ACUÍFEROS 336
10.1 METODOLOGÍA 336

10.2 RESULTADOS 340
11. REGIONES CON MEJORES POSIBILIDADES PARA LA EXPLOTACIÓN Y EL DESARROLLO DEL RECURSO AGUA SUBTERRANEA 348
11.1 CRITERIOS DE SELECCION 348
11.1.1 Profundidad de Captación. 349
11.1.2 Productividad. 350
11.1.3 Calidad Físico-Química del Agua Actualmente. 350
11.1.4 Reservas. 351
11.1.5 Recarga. 352
11.1.6 Importancia Hidrogeológica Relativa. 353
11.1.7 Riesgo de Salinización de suelos y acuíferos. 353
11.1.8. Grado de explotación. 355
11.2 RESULTADOS 357
11.2.1 Análisis de los resultados. 359
12. CONCLUSIONES 364
Geología 364
Hidrología 364
Calidad del agua 366
Hidrogeología 367
Explotación 369
Reservas 371
13. RECOMENDACIONES 373

INGEOMINAS

L I S T A D E F I G U R A S

		Página
1.	Localización del Area de Estudio	4
2.	Esquema Geomorfológico del Departamento del Cesar	32
2a.	Distribución de la nomenclatura litológica utilizada en el Departamento	49
3a.	Distribución estacional de la precipitación durante el año	93
3b.	Distribución estacional de la precipitación durante el año	94
3c.	Distribución estacional de la precipitación durante el año	95
3d.	Distribución estacional de la precipitación durante el año	96
3e.	Distribución estacional de la precipitación durante el año	97
4.	Variación de la ETP con la elevación	106
5.	Distribución estacional de la ETP	110
6a.	Distribución estacional de la escorrentía	121
6b.	Distribución estacional de la escorrentía	122

6c. Distribución estacional de la escorrentía 123
7. Localización de cortes Geoeléctricos 161
8. Distribución clasificación geoquímica aguas de acuíferos cuaternarios 218
9. Diagrama Flujo Procesos Salinización Acuífero libre Cuaternario 227
10. Subprovincias Hidrogeológicas 238
11. Regiones Climatológicas - Geológicas 240
12. Bloques Tectónicos en la Subprovincia Hidrogeológica Planicie del Cesar 252
13. Columna Estratigráfica del Sistema Acuífero Llanura Aluvial, en el Bloque Tectónico del Río Cesar. 255
14. Columna litológica generalizada del sistema acuífero sedimentitas de Arjona 287
15. Esquema de relación de tipos suelo con una subzona dada del subsuelo cuaternario 319
16. Esquema distribución sistemas acuíferos superficiales, para evaluación de reservas 343
17. Distribución sistemas acuíferos profundos para evaluación Reservas, Bloques Cesar, Venados, Codazzi - Sicarare, Becerril - Loma y Rincón Hondo. 344
18. Distribución de acuíferos profundos para evaluación de reservas. Bloques Ariguaní y Astrea - San Alberto 345

INGEOMINAS

L I S T A D E T A B L A S

		Página
1.	Estaciones meteorológicas	88
2.	Parámetros estadísticos de la precipitación	91
3.	Distribución estacional de la precipitación	98
4.	Estaciones climatológicas e información disponible por períodos de años	102
5.	Resumen de la Información Climatológica utilizada para el cálculo de la ETP	103
6.	Valores de la ETP y de Evaporación	105
7.	Distribución estacional de la ETP	109
8.	Estaciones Hidrométricas	114
9.	Parámetros estadísticos de la escorrentía	117
10.	Distribución estacional de la escorrentía	120
11.	Caudales mínimos y flujo base	126
12.	Constantes físicas resultantes para cada grupo de suelos.	133
13.	Recarga Potencial Anual (mm)	135
14.	Pozos en el Departamento del Cesar, discriminados por condición, uso primario y municipio	144

15. Características de construcción de pozos en el Departamento del Cesar 145
16. Sistemas de operación de los pozos en el Departamento del Cesar 147
17. Extracción de agua subterránea en pozos, discriminada por usos y municipios 148
18. Características de construcción y producción de los aljibes en el Departamento del Cesar 152
19. Sistemas de operación usados en los aljibes 153
20. Extracción de agua subterránea a partir de aljibes, discriminada por usos y municipios 155
20a. Modelo Geoeléctrico para cuenca Río Cesar. 174
20b. Modelo Geoeléctrico para cuenca Río Magdalena. 175
21. Preservación de muestras 179
22. Métodos Analíticos 181
23. Normas y criterios de calidad física y química del agua potable 185
24. Normas de calidad para el agua potable. OMS, 1971 186
25. Muestras en las cuales un Parámetro sobrepasa el máximo permisible de las normas OMS (1971) 188
26. Muestras en las cuales más de un parámetro sobrepasa el máximo permisible de la OMS (1971) 189
27. Rangos de concentración hallados en las muestras de las tablas 25 y 26 190

28. Criterios físico-químicos de calidad en agua para uso agrícola 194
29. Clasificación de las aguas respecto al riesgo por salinidad 197
30. Muestras que contienen más de 2 mg Fe/litro 206
31. Muestras que contienen más de 1 mg/L de Mn 207
32. Relación entre el potencial Redox y el contenido de hierro y manganeso en pozos 211
33. Aguas corrosivas por valores de cloruros mayores de 500 mg/L 213
34. Parámetros hidráulicos en sistemas acuíferos del Departamento del Cesar 234
35. Volúmenes de recarga potencial total para el Departamento 316
36. Zonas y subzonas del subsuelo cuaternario, con sus respectivos factores, para el cálculo de la recarga real. 318
37. Volumen Recarga Real, Bloque Cesar 321
38. Volumen Recarga Real, Bloque Los Venados 322
39. Volumen Recarga Real, Bloque Codazzi - Sicarare 323
40. Volumen Recarga Real, Bloque Ariguaní 324
41. Volumen Recarga Real, Bloque Becerril - La Loma 325
42. Volumen Recarga Real, Bloque Rincón Hondo 326
43. Volumen Recarga Real, Bloque Astrea - San Alberto 327

43a. Explotación actual en los sistemas acuíferos en el Bloque Cesar 332

43b. Explotación actual en los sistemas acuíferos del Bloque Los Venados 332

43c. Explotación actual en los sistemas acuíferos del Bloque Codazzi - Sicarare 333

43d. Explotación actual en los sistemas acuíferos del Bloque Becerril - La Loma 333

43e. Explotación actual en los sistemas acuíferos del Bloque Rincón Hondo 334

43f. Explotación actual en los sistemas acuíferos del Bloque Ariguaní 334

43g. Explotación actual en los sistemas acuíferos del Bloque Astrea - San Alberto 334

44. Cálculo reservas Bloque Río Cesar 340

45. Cálculo reservas Bloque Los Venados 340

46. Cálculo reservas Bloque Codazzi - Sicarare 341

47. Cálculo reservas Bloque Becerril - La Loma 341

48. Cálculo reservas Bloque Rincón Hondo 341

49. Cálculo reservas Bloque Ariguaní 342

50. Cálculo reservas Bloque Astrea - San Alberto 342

51. Calificación de los sistemas acuíferos según su aptitud para ser explotados 357

INGEOMINAS

ANEXOS I

(En volumen separado)

A. Hidrometeorología y balances hídricos

A.1 Registro de precipitación

A.2 Ajuste Ley de distribución lognormal (Precipitación)

A.3 Cálculo de la evapotranspiración potencial

A.4 Registro de caudales

A.5 Ajuste de distribución lognormal (Caudales)

A.6 Balances hídricos

B. Gráficos de Pruebas de Bombeo realizadas en pozos, con sus cálculos de transmisividad

INGEOMINAS

ANEXOS II

(Planchas. En volumen separado)

1. Mapa Geológico del Departamento del Cesar. Parte Norte.
   Mapa Geológico del Departamento del Cesar. Parte Sur.
2. Mapa de isoyetas multianuales (mm/año), período 1968-1986, y localización de estaciones meteorológicas
3. Mapa de isoyetas para el año húmedo
4. Mapa de isoyetas para el año seco
5. Red hidrográfica y localización de estaciones hidrométricas
6. Mapa de isolíneas de escorrentía multianuales (1968-1986)
7. Mapa de isolíneas de escorrentía. Año húmedo
8. Mapa de isolíneas de escorrentía. Año seco
9. Mapa de rezonificación de suelos
10. Cortes Geoeléctricos
11. Mapa Hidrogeológico (Parte Norte)
    Mapa Hidrogeológico (Parte Sur)
12. Cortes Hidrogeológicos
13. Mapa de distribución del tipo de subsuelo, para el cálculo de Recarga Real
14. Regiones con mejores posibilidades para la explotación y desarrollo del Recurso Agua Subterránea (Parte Norte y Parte Sur).

INGEOMINAS

RESUMEN

Este proyecto se realizó con base en el convenio suscrito en agosto de 1992, entre CORPOCESAR e INGEOMINAS. Comprende la totalidad del área del Departamento del Cesar y sus objetivos principales son evaluar el potencial del recurso agua subterránea, definir las zonas donde potencialmente se puede explotar y suministrar la información técnica básica para que CORPOCESAR o la institución correspondiente pueda planificar y ejecutar proyectos de suministro, con base en el recurso hídrico subterráneo. Para lograr lo anterior se utilizaron técnicas de cartografía geológica, inventario de puntos de agua, prospeccción geoeléctrica, hidrogeoquímica, hidrología e hidrogeología.

Se diferenciaron rocas metamórficas, ígneas y sedimentarias, con edades desde el Precámbrico hasta el Reciente, con base en lo cual se separaron regiones con características hidrogeológicas diferentes, a partir de las cuales se determinaron los sistemas acuíferos con mejores posibilidades.

INGEOMINAS

En un cálculo considerado "conservador" se estima que la principal fuente de recarga para los sistemas acuíferos es la precipitación(834 millones de m^3/año como recarga real, en un año tipo medio). Se determinaron como áreas principales de recarga, aquellas ubicadas principalmente en el piedemonte o sectores planos aledaños a él y como zonas de descarga los ríos principales(Cesar, Ariguaní y Magdalena) y el sector de ciénagas.

A escala departamental se calcularon en 405.000 millones de metros cúbicos, las reservas totales de agua subterránea, que existen hasta una profundidad promedio de 350 m bajo la superficie. Regionalmente hablando, la denominada Subprovincia Hidrogeológica Planicie del Cesár, constituye la parte del Departamento donde están almacenadas éstas reservas.

Se determinó que un porcentaje entre el 70% y el 80% de las aguas subterráneas muestreadas en el Departamento, son aptas por naturaleza para el consumo humano y el uso en riego, desde el punto de vista físico- químico. En cuanto a su uso para la industria se caracterizan por ser en general agresivas.

La extracción total de agua subterránea en el Departamento del Cesár se calcula en 41 millones de m^3/año(83% a partir de pozos), es decir corresponde al 5% de la recarga real total(por precipitación) en un año medio, ó a un 16% de ella en un año seco. Las áreas donde actualmente se realiza una mayor extracción

corresponden a los denominados bloques tectónicos Río Cesar y Codazzi-Sicarare. El agua extraída se usa principalmente para riego y consumo humano.

Con base en los valores y carácterísticas encontradas para los acuíferos objeto de este estudio, y mediante una metodología nueva que se propone, la cual analiza y valora ocho criterios diferentes de tipo hidrogeológico y económico, se seleccionaron, delimitaron y agruparon en tres categorías, los sistemas acuíferos del Departamento con mejores posibilidades para su explotación. Estas categorías se proponen a CORPOCESAR, como una guía para su plan de gestión del recurso agua subterránea. Igualmente se da una serie de recomendaciones, a esta misma entidad, para que pueda planificar, desarrollar, administrar y controlar proyectos de suministro de agua subterránea en el Departamento del Cesár, con base en los presentes resultados.

INGEOMINAS

1. INTRODUCCION

1.1 ANTECEDENTES

Con base en el Convenio Interadministrativo suscrito el 28 de agosto de 1992, entre la Corporación Autónoma Regional del Cesar "CORPOCESAR" y el Instituto de Investigaciones en Geociencias, Minería y Química "INGEOMINAS", se realizó el proyecto denominado Evaluación del Agua Subterránea en el Departamento del Cesar. Las actividades de oficina se iniciaron el día 27 de octubre de 1992, fecha en la que fue recibido el valor del anticipo determinado en el contrato, las cuales estuvieron circunscritas a la recopilación de la información geológica e hidrogeológica del departamento. Las actividades de campo comenzaron el 20 de noviembre de 1992 con los estudios de geología e inventario de puntos de agua.

El presente informe contiene el resumen de resultados de los estudios de geología, hidrología, geoeléctrica e hidroquímica, elaborados durante la ejecución del proyecto y básicos para la interpretación hidrogeológica del área. Contiene además la descripción de la interpretación hidrogeológica, soportada también con el análisis de datos obtenidos durante el inventario de puntos de agua, pruebas de bombeo y la cartografía hidrogeológica, para

llegar a una aproximación sobre la evaluación y el desarrollo del agua subterránea en el área del Departamento.

1.2 OBJETIVOS

Los objetivos fundamentales del proyecto son:

- Evaluar el potencial del recurso agua subterránea en el área del Departamento del Cesar, mediante la ejecución de los estudios básicos de hidrogeología.

- Definir las zonas potencialmente acuíferas que se pueden utilizar en la explotación de las aguas subterráneas, aptas para el consumo humano, el riego y la industria.

- Suministrar la información técnica básica para que CORPOCESAR u otras instituciones gubernamentales puedan planificar y desarrollar proyectos de suministro de agua para diferentes usos, con base en el recurso hídrico subterráneo, mediante la implementación de un banco de datos hidrogeológicos donde estará archivada toda la información recogida durante el inventario de puntos de agua.

1.3 LOCALIZACION Y EXTENSION

El área del proyecto corresponde al Departamento del Cesar, localizado en el noreste del país, en la región del Caribe, delimitada por las siguientes Coordenadas: al norte 10°52' de latitud norte en el río Surivaca; al sur 7°41' del latitud norte en la confluencia de las quebradas Pata de Vaca y Caño de Hoyo y entre los 72°52' y 74°08' del longitud al oeste del meridiano de Greenwich. El extremo occidental se localiza en la quebrada La Culebra y el oriental en el punto donde convergen los límites con el Departamento de la Guajira y la República de Venezuela (IGAC, 1993). Geográficamente el Departamento limita al norte con los departamentos del Magdalena y la Guajira, al oriente con la República de Venezuela y el departamento de Norte de Santander, y al occidente con los departamentos del Magdalena. Bolívar y Santader. (Figura No. 1).

El Departamento comprende una región plana a semiplana, rodeado por las estribaciones montañosas de la Sierra Nevada de Santa Marta en su parte norte y la Serranía de Perijá y el extremo Norte de la Cordillera Oriental en el borde oriental. Su extensión total es de 22.213 Km^2, donde a la región plana y semiplana le corresponden 13.828 Km^2 y a la región montañosa 8.385 Km^2.

1.4 INFRAESTRUCTURA

En la actualidad el Departamento del Cesar cuenta con 24 municipios, 133 corregimientos y 5 inspecciones de policía. Las principales poblaciones son: Valledupar capital del departamento, Aguachica, Agustin Codazzi, Bosconia, Curumaní, El Copey, Chimichagua y San Diego.

La red vial del departamento está constituida por un total de 4.451,7 Km de carreteras, de las cuales el 28% son nacionales y el 72% caminos vecinales (IGAC, 1993). Sólo el 28% de las vías se encuentran pavimentadas, correspondiendo el resto a carreteables destapados, donde se dificulta el tránsito durante la época de fuerte invierno.

La principal carretera del Departamento es la Troncal del Oriente, la cual lo atraviesa de norte a sur y los comunica con el interior y el norte del país. Otra vía de importancia es la que une a Valledupar con la Troncal del Oriente en el municipio de Bosconia y la que se desprende de la Troncal del Oriente al norte de Curumaní y pasa por Rincón Hondo, La Jagua de Ibirico, Becerril, Codazzi, San Diego y la Paz, hasta llegar a Valledupar. Además de estos ejes viales existen otros ramales secundarios que comunican a las diversas poblaciones ubicadas en la carretera Troncal del Oriente con los puestos situados sobre el río Magdalena.



En el Departamento del Cesar existen dos aeropuertos, al Alfonso López Pumarejo, en la ciudad de Valledupar que comunica con las principales ciudades capitales del país y otro de menor importancia situado en Aguachica. El transporte fluvial se realiza por el río Magdalena, destacándose Gamarra como el puerto de mayor importancia.

Por último existe una vía férrea, hoy en día en proceso de rehabilitación, que atraviesa el Departamento de norte a sur en su borde occidental, uniendo a Santa Marta con la capital del país.

En cuanto a las telecomunicaciones todas las cabeceras municipales, y la mayoría de los corregimientos e inspecciones de policía cuentan con servicio telefónico, incorporado a la red automática nacional. Con respecto al servicio de energía eléctrica, las cabeceras con mayor cubrimiento (más del 85%) corresponden a Valledupar, San Diego, La Paz, Becerril y Manaure en el noreste del departamento, y Aguachica, Gamarra, Río de Oro y San Alberto en el sur. Los cubrimientos más bajos se presentan en el noroeste y la zona central del departamento (IGAC, 1993). CORELCA atiende a todas las poblaciones, excepto Aguachica, Gamarra, Pelaya, San Alberto, San Martín, González, y Río de Oro, que son servidas por Centrales Eléctricas de Norte de Santander y la Electrificadora de Santander.

INGEOMINAS

1.5 CLIMA, VEGETACION Y AGUAS SUPERFICIALES

CLIMA: Varios tipos de clima prevalecen en el Departamento del Cesar. La región plana y semiplana tiene un clima seco de latitudes bajas o un clima de estepas calientes, conocido como BSh' según la clasificación de Koppen , con una temperatura de 30°C en el mes de mayo y 27.8°C en octubre. Hacia los flancos de la Sierra Nevada de Santa Marta y la Serranía de Perijá hasta una elevación promedio de 1.100 m, el clima es templado con temperaturas que varían de 21.2°C para el mes de marzo hasta 19.5°C en el mes de diciembre. Entre los 1.100 y 3.000 m de altura el clima es frío con temperaturas que varían de 19 a 12°C y para alturas mayores de 3.000 m la temperatura es inferior a los 12°C.

La precipitación en el departamento por lo general es de tipo convectivo, presentándose las lluvias como resultado de un calentamiento local y un aumento de la humedad del aire. Hacia la Sierra Nevada de Santa Marta, la Serranía de Perijá y la Cordillera Oriental, las lluvias son de carácter orográfico, incrementándose paulatinamente con la altura de esas montañas. La mayor precipitación media anual (2.500 mm) ocurre en el extremo sur-occidental del Departamento.

VEGETACION: De acuerdo con el Mapa de Bosques de Colombia (IGAC, 1984,en IGAC 1993) en el Departamento del Cesar solo se encuentran



pequeñas zonas de bosques en la Serranía de Perijá, correspondientes al bosque de piso subandino. En el resto del Departamento los tipos de vegetación más abundantes son el graminoide de páramo y de zona seca, y las regiones sin vegetación arbórea de agricultura establecida.

El bosque de pisos subandino se desarrolla sobre regiones con relieve abrupto, con alturas que van de 1.000 a 3.000 m.s.n.m y un promedio anual de lluvias de 1.000 a 2.000 mm. En este bosque predominan los árboles de buena forma y las especies maderables con un sotobosque conformado por abundante helecho común. Esta vegetación cubre el 1.8% de la superficie del Departamento y es de gran importancia en la conservación de los recursos hídricos y la protección contra la erosión pero, desafortunadamente sigue siendo intervenida por el hombre. La vegetación graminea de páramo, se encuentra únicamente en la Sierra Nevada de Santa Marta, por encima de los 3.000 m.s.n.m., desarrollada en un relieve abrupto con lluvias promedio anuales hasta de 1.000 mm, siendo el freilejón la especie dominante.

La vegetación de zonas secas aparece en el piso subandino entre los 1.000 y los 2.000 m.s.n.m., hacia el municipio de González, con un promedio anual de lluvias de 1.000 mm. Aquí el bosque natural ha sido destruido casi en su totalidad por acción antrópica, para dedicarlo al pastoreo y el cultivo. La poca vegetación existente

es achaparrada y de porte bajo, siendo las especies dominantes la Acacia, el Bejuco y el Pimiento.

Por último, las regiones sin vegetación arbórea, de agricultura establecida o con cultivos migratorios, ocupan la casi totalidad del Departamento (97%), en donde el bosque ha sido talado para uso agropecuario. Sin embargo, se encuentran pequeñas zonas aledañas a las ciénagas. En esta región dominan los pastizales y los cultivos de arroz, sorgo, ajonjolí y algodón que requieren para su desarrollo suministro de agua con riego supletorio, ante la escasez de agua superficial primordialmente en los extensos períodos de verano.

Hacia las estribaciones de las regiones montañosas además del café y los frutales propios del clima templado se cultiva maíz, plátano y malanga.

La mayor deforestación del Departamento ocurre actualmente en la parte alta de la cuenca del río Cesar donde la vegetación arbórea también ha sido destruida casi completamente para dedicar los terrenos al pastoreo y al cultivo. Finalmente en las estribaciones occidentales de la serranía de Perijá y la Cordillera Oriental donde ocurre la destrucción parcial de su bosque natural, para establecer cultivos migratorios característicos de los asentamientos localizados por los colonos.

AGUAS SUPERFICIALES: El Departamento del Cesar hace parte en su región norte de las subcuencas de los ríos Cesar y Ariguaní y en la región sur, de la gran cuenca del río Magdalena a la que pertenece la subcuenca del Cesar.

El colector principal de la subcuenca del río Cesar lo conforma éste río que nace en la parte oriental de la Sierra Nevada de Santa Marta en el Departamento de la Guajira y desemboca en el río Magdalena, después de formar la ciénaga de Zapatosa y de recorrer 280 Km.

De acuerdo con las series de datos en estaciones hidrométricas del HIMAT, el caudal promedio del río Cesar es de 35 m^3/seg, aguas abajo de la confluencia con el río Guatapurí y después de recibir las aguas de los ríos Seco y Badillo que también nacen en la Sierra Nevada de Santa Marta. Este caudal se aumenta a 53 m^3/seg a la altura del municipio de Chiriguaná, después de recoger las aguas de los demás ríos que nacen en la Sierra Nevada, como son el Garupal, Diluvio, Pesquería, Ariguaní, Los Clavos, Serenoso, Mocho, Cesarito y Guatapurí, también de los ríos provenientes de la serranía de Perijá: Manaure, Chiriaimo, Tocaimo, Viejo, Magiriaimo, Fernanbuco, Sicarare, Calenturas y La Mula. Los caudales promedio anuales de ríos de la Sierra Nevada de Santa Marta oscilan entre 2.0 y 15 m^3/seg, mientras los que nacen en la Serranía de Perijá tienen promedio entre 2.0 y 19 m^3/seg.

De los anteriores ríos, los principales afluentes del Cesar son los ríos Ariguaní y Guatapurí. El río Ariguaní nace al suroccidente de la Sierra Nevada de Santa Marta y recibe a lo largo de su curso los ríos Chimichagua y Ariguanicito. El río Guatapurí también nace en la Sierra Nevada al noroeste de Valledupar y en su recorrido recibe las aguas de los ríos Capitanejo, Donachui, Curiba y Los Mangos.

La cuenca del río Magdalena se localiza en el suroccidente del Departamento, dicho río sirve de límite con el departamento de Bolívar en una longitud de 98 Km, desde Simití hasta la Isla de Betaye al sureste del municipio de El Banco (Magdalena). A diferencia de la subcuenca del río Cesar, ésta cuenca no presenta ríos de gran recorrido, estando conformado el drenaje por numerosas quebradas que nacen en la serranía de Perijá y la Cordillera Oriental, gran parte de ellas intermitentes. Las principales quebradas, de norte a sur, de tipo perenne, que llevan un caudal promedio, en las épocas de verano, de 1.0 a 3.0 m^3/seg son: Honda, La Floresta, Simaña, Butarama, Las Guaduas, Torcoroma y San Alberto.

Uno de los afluentes principales del río Magdalena es el río Lebrija, que sirve de límite con el Departamento de Santander en la parte suroccidental del Departamento del Cesar, en una longitud aproximada de 69 Km. En éste sector, el río Magdalena en sus

grandes crecidas represa las aguas del río Lebrija dando lugar a la formación de Caños, Ciénagas y Pantanos.

Las zonas lacustres del departamento del Cesar están conformadas por las ciénagas aladañas al río Magdalena, siendo la de mayor importancia la de Zapatosa, situada en el municipio de Chimichagua y perteneciente al grupo de la Depresión Momposina, con una capacidad total de 28.144 millones de m^3 de agua, (HIMAT, 1986). Otras Ciénagas de importancia ubicadas de norte a sur son: La Ciénaga de El Paso, en el municipio del mismo nombre, Ciénaga Limpia, en el municipio de Chiriguaná, las Ciénagas de Cascajo, del Cristo, El Consuelo, El Leña, Sahaya y Morales en el municipio de Tamalameque; las ciénagas del Polo, Morrocoy y Doña María en el municipio de Aguachica y la ciénaga del Medio en el municipio de San Martín.

1.6 POBLACION Y ECONOMIA

Según el Censo realizado por el DANE (1993), la población del Departamento del Cesar es de 757.100 personas de las cuales el 59% se encuentra en las zonas urbanas y el 41% en las rurales, destacándose las cabeceras municipales de Valledupar (247.942), Aguachica (44.873) y Agustín Codazzi (27.389) habitantes, como los mayores centros poblacionales.

La población rural se distribuye en pequeños núcleos de vivienda localizados a lo largo de las vías de comunicación o cerca de las mayores regiones agrícolas, distribución que se relaciona con medianas y grandes propiedades de algodón, sorgo, palma africana, arroz y una extensa actividad ganadera. Hacia la parte media de la Sierra Nevada de Santa Marta, la Serranía de Perijá y la Cordillera Oriental la distribución poblacional está relacionada con la fragmentación de la tierra y una actividad agrícola tradicional, en la cual sobresale el cultivo de café.

La densidad de población media municipal en el Departamento del Cesar se ha calculado en 26 Hab/Km², presentándose los valores máximos en González (118 Hab./Km²) y mínimos en Becerril (11 Hab/Km²). Un poco más de la tercera parte de los municipios tienen densidades de menos de 20 Hab/Km² debido a la gran extensión de los municipios, a la concentración de la tierra, a la presencia de ciénagas en el valle del río Magdalena y a la abrupta topografía de la parte montañosa.

En cuanto al aspecto económico, la balanza económica del Departamento del Cesar está basada en su estructura agraria. Según la información catastral (IGAC, 1987) en este departamento se evidencia el fenómeno de concentración de la tierra, ya que los predios mayores de 200 ha (grandes propiedades) componen el 55.1 de la superficie departamental, los que tienen entre 50 y 200 ha

ocupan el 33% y aquellos menores de 50 ha (pequeña propiedad) ocupan tan solo el 11.7%.

Los municipios que presentan los más altos índices de concentración de la tierra son Chiriguaná, Curumaní, Gamarra, Río de Oro, San Diego y Tamalameque, siendo los tres primeros, los principales cultivadores de Sorgo. Los de concentración media son Valledupar, Aguachica, Codazzi y Becerril, los cuales son ganaderos y productores de arroz, sorgo y algodón. Los de más baja concentración son Pailitas y El Copey donde sus principales cultivos son yuca, cítricos, café, plátano, aguacate y palma africana.

En términos generales las regiones más desarrolladas presentan una alta y media concentración de la tierra, hallándose notoriamente tecnificada. Los pequeños propietarios son muy reducidos y se constituyen en la mano de obra de las regiones más desarrolladas.

Las tierras para agricultura ocupan una extensión de 1'703.789 ha (URPA, 1990), de las cuales solo el 16.4% se encuentran en uso debido a una notable reducción en las áreas dedicadas a los cultivos de arroz, sorgo y en especial de algodón, por problemas de comercialización, problemas sociales con relación a la concentración de la tierra y a la falta de agua superficial perenne para riego.

Otros renglones importantes de la economía del Cesar son la ganadería y la minería. En al año 1992 la población ganadera era de 1'346.544 cabezas, destinándose el 60.8% a la producción de leche y el resto a la producción de carne, que disminuyó en los dos últimos años debido a la baja en la compra por parte de Venezuela.

El carbón es el principal renglón de la minería departamental, cuyos principales yacimientos se encuentran en alrededores de la Jagua de Ibirico, La Loma, Chiriguaná, Becerril y El Paso. Las reservas existentes se estiman en 1.280 millones de toneladas de carbón térmico subbituminoso, el cual se exporta y se comercializa en el mercado internacional. Otros productos mineros que se encuentran en el departamento son: Barita en los municipios de Río de Oro y San Alberto, Mármol en Bosconia, gibsita en Río de Oro y Aguachica, fluorita en San Martín, Uranio en San Alberto, Calizas y Barita en Aguachica.

El desarrollo Industrial se encuentra relacionado con la agroindustria, siendo las empresas más importantes Cicolac (Procesadora de leche), Aceites del Cesar e Indupalma (procesadoras de semillas de algodón y de palma). La mayor parte de los productos comercializados son provenientes del sector agropecuario, mientras que los artículos de consumo y algunas materias primas son adquiridos en otros departamentos o en forma ilegal a través del contrabando, dado el escaso desarrollo industrial del departamento.



1.7 ACTUAL ABASTECIMIENTO DE AGUA PARA EL CONSUMO HUMANO

En el Departamento del Cesar los sistemas actuales de abastecimiento de agua para el consumo humano, se pueden agrupar en dos (2) categorías: la primera corresponde a los abastecimientos a partir de aguas superficiales, fundamentalmente de ríos y quebradas y la segunda a partir de fuentes subterráneas mediante la explotación de pozos profundos y artesanales (aljibes).

Las corrientes superficiales abastecen a todas las poblaciones que se encuentran dentro de las regiones montañosas de la Sierra Nevada de Santa Marta, la serranía de Perijá y la Cordillera Oriental, incluyendo a las cabeceras municipales de Manaure, González y Río de Oro. Muchas de estas corrientes también abastecen a los acueductos de las poblaciones situadas al pie de estas montañas como son Valledupar, Badillo, Río Seco, Valencia de Jesús, Mariangola, Caracolí, El Copey y Caracolicito, que captan el agua de ríos o quebradas provenientes de la Sierra Nevada de Santa Marta, mientras que poblaciones importantes como la Paz, San Diego, Codazzi, Curumaní, Pailitas, Aguachica, San Martín y San Alberto, obtienen el agua de quebradas que nacen en la Serranía de Perijá y la Cordillera Oriental.

Otras fuentes superficiales utilizadas para los acueductos son el río Magdalena, el río Lebrija y algunas Ciénagas. El río Magdalena

abastece a los acueductos de dos importantes cabeceras municipales, La Gloria y Gamarra y a varias localidades menores como Sagoc, Carolina, Pailas y Puerto Mosquito, mientras que el río Lebrija aporta agua a las localidades de Loma de Corredor y Barranca de Lebrija. A partir de las Ciénagas se abastecen pequeños caseríos aledaños a ellas, mediante el acarreo directo de agua de mala calidad, en diversos utensilios.

A partir del agua subterránea se surten la gran mayoría de las poblaciones, caseríos, haciendas y fincas ubicadas en la parte plana y semiplana del departamento que equivale al 62% de su superficie total, mediante la explotación de pozos profundos operados con bombas eléctricas y de combustible o por compresor, o a través de aljibes con o sin aditamentos de explotación. Cabeceras municipales como Bosconia, El Paso, Arjona, Chiriguaná, Chimichagua y Tamalameque que tienen un número de habitantes que fluctúan ente 7.000 y 35.000 personas y gran parte de los corregimientos, algunas inspecciones de policía y la mayoría de las grandes haciendas, consumen agua subterránea mediante la explotación de pozos profundos. A nivel de localidades pequeñas como son algunas inspecciones de policía, veredas, caseríos y fincas, el agua subterránea se obtiene de pozos artesanales (aljibes).

En resumen, de las 24 cabeceras municipales con que cuenta el Departamento del Cesar, 16 son abastecidas con agua superficial y 8 con agua subterránea. Unicamente los acueductos de Valledupar, Codazzi, Aguachica, San Alberto, Manaure y Pailitas, que se abastecen con agua superficial, tienen planta de tratamiento en buenas condiciones con sus procesos de sedimentación, aireación, filtración y cloración. Los demás acueductos tienen plantas de tratamiento en mal estado, que producen agua no apta para el consumo humano como el caso de los acueductos de La Gloria y Gamarra, que obtienen agua del río Magdalena y prácticamente la suministran cruda, por que en el mejor de los casos únicamente la filtran y le agregan sulfato de aluminio. El DANE (1993), estableció en el censo poblacional que un 69% de las viviendas del Departamento están conectadas a acueductos y también que un 37.5% de ellas tienen servicio de alcantarillado.

Las poblaciones que se abastecen con agua subterránea no tienen plantas de tratamiento, pero tampoco las necesitan por que el agua extraída es generalmente de buena calidad físico-química y bacteriológica para su consumo. Se exceptúan aquellas pequeñas comunidades como por ejemplo los corregimientos de Zapatosa (municipio de Tamalameque) y San Roque (municipio de Curumaní), las inspecciones de policía de La Soledad (municipio de El Paso), Los Tupes y Patillas (municipio de San Diego) y otras veredas y caseríos donde el abastecimiento de agua subterránea se efectúa a

través de pozos artesanales (aljibes), individuales por viviendas o comunitarios, con profundidades que por lo general no sobrepasan los 8 m, considerados potencialmente contaminados debido a la presencia de pozos sépticos en sus alrededores, ya que esas comunidades carecen del servicio de alcantarillado.

Por último, un número reducido de manantiales localizado principalmente en la zona de colinas del municipio de Aguachica y en las estribaciones de la serranía de Perijá, descargan pequeñas cantidades de agua, suficiente para el uso doméstico de pequeñas fincas.

1.8 OTROS USOS DEL AGUA

En el Cesar el agua superficial de ríos y quebradas perennes también es utilizada en una relativa alta proporción en el regadío de cultivos, mediante su desviación por canales y zanjas. La principal área de irrigación se encuentra entre las poblaciones de Valledupar, La Paz y Los Corazones, al nororiente del departamento, donde a partir del río Guatapurí se riegan 1.200 ha para el cultivo de arroz. El río Ariguaní también es captado mediante zanjas o canales no revestidos, para la irrigación de cultivos de sorgo, algodón y palma africana.

Un alto porcentaje de las quebradas o arroyos perennes que nacen en la Serranía de Perijá, con un caudal promedio que en época de verano no sobrepasa los 3 m^3/seg, son desviadas a través de zanjas para el riego de pequeños cultivos y el abrevadero de animales.

Otro tipo de uso de las corrientes superficiales es para el transporte fluvial, siendo el río Magdalena y las Ciénagas los más utilizados.

En cuanto al agua subterránea a pesar de tener el Departamento del Cesar buenos reservorios, se utiliza en una baja proporción en el regadío, debido tal vez a la carencia de una política de desarrollo agrícola tecnificado. Actualmente se viene utilizando de manera complementaria en el riego de grandes cultivos de palma africana, como sucede en los municipios de Codazzi, Valledupar, San Martín y San Alberto. En el resto del departamento se utiliza en el riego de pequeñas parcelas y en el abrevadero de animales.

1.9 METODOLOGIA DEL TRABAJO

Para cumplir con los objetivos del presente trabajo, se planearon y ejecutaron las siguientes actividades:

- Recopilación, análisis y procesamiento de la información existente, especialmente en lo referente a los estudios geológicos, geoeléctricos y de construcción de pozos.

- CARTOGRAFIA GEOLOGICA. El levantamiento geológico de campo se realizó con base en planchas topográficas del IGAC en escala 1:25.000, con la ayuda de fotografías aéreas convencionales e imágenes de satélite en escala aproximada 1:250.000. Estuvo enfocada a la diferenciación y separación de unidades permeables e impermeables, basándose para esto en su composición textura y también en su disposición estructural.

- INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA. En el se determinaron la localización y características de construcción, explotación y uso de las captaciones de agua subterránea presentes en el área (pozos, aljibes y manantiales), para llegar a una evaluación preliminar de los acuíferos, calidades de agua, direcciones de flujo, geología del subsuelo y una aproximación del volumen de agua extraída a partir de los diferentes acuíferos. La información se recolectó en el campo, mediante encuesta personal y en formularios diseñados para su sistematización; posteriormente se ingresó al Banco Nacional de Datos Hidrogeológicos, se revisó y luego se transformó a los formatos ASCII y DBF, los cuales se ajustan a las herramientas con que cuenta CORPOCESAR para su procesamiento y consulta.

- PROSPECCION GEOELECTRICA. Encaminada a precisar en el subsuelo del sector plano del Departamento, los

almacenamientos de agua subterránea, su geometría, distribución y su posible calidad (dulce o salada). Se utilizaron como método de campo los sondeos eléctricos verticales, tratando de dar un cubrimiento de un sondeo por cada 25 Km².

- HIDROGEOQUIMICA. En ésta actividad se llevó a cabo el muestreo directo de ciertos puntos de agua subterránea previamente inventariados y seleccionados y de algunos de agua superficial, con el fin de determinar la calidad físico-química del agua y su origen, lo mismo que su trayectoria y relación con los acuíferos que la contienen. Una parte del análisis físico-químico se realizó en el campo y el resto en los laboratorios de INGEOMINAS, Bogotá.

- HIDROLOGIA. Tuvo como objeto determinar el balance hídrico regional del área, esencialmente con base en la información hidrometeorológica recopilada en el HIMAT, y posteriormente procesada para determinar la precipitación, la evapotranspiración, escorrentía y finalmente a partir de estos la recarga potencial hacia los acuíferos. Los anteriores cálculos fueron soportados con medidas de caudal hechas en campo para un gran número de corrientes superficiales, con el fin de conocer mejor la magnitud de la infiltración debida a escorrentía, como también mediante la estimación de campo de

los valores de permeabilidad de las diversas unidades geológicas del área y de los suelos.

- HIDROGEOLOGIA. Permitió integrar, analizar y complementar los resultados obtenidos en las actividades anteriormente enumeradas, incluyendo varias pruebas de bombeo ejecutadas en el campo, con el fin de definir las características de los acuíferos, la evaluación de sus reservas y zonas con mejores posibilidades para captación del agua subterránea y por último la ejecución de una nivelación topográfica en una zona previamente seleccionada, donde se escogieron puntos de agua para una red de monitoreo de niveles, con los cuales se dibujarían mapas de curvas isopotenciales del agua subterránea con el fin de elaborar un modelo matemático en dicha zona piloto, que servirá como patrón en el manejo futuro de los acuíferos.

1.10 ESTUDIOS HIDROGEOLOGICOS ANTERIORES

Preferencialmente en la parte norte del departamento del Cesar, se han realizado algunos estudios hidrogeológicos a nivel regional, para evaluación del recurso subterráneo y algunos de carácter local encaminados a la solución o mejoramiento del servicio de acueductos.

Diezemann, W. (1955) estudia las posibilidades para la construcción de acueductos con base en la explotación de agua subterránea en las poblaciones de Chiriguaná y Chimichagua.

López Casas, J. (1958) construye varios pozos exploratorios en la región de Codazzi para determinar el espesor de las capas acuíferas hasta los 90 m de profundidad y conocer sus características hidráulicas, con el fin de implementar un plan de construcción de pozos de producción para fines agrícolas. El mismo autor en el año 1962 elabora un informe hidrogeológico preliminar para la irrigación con agua subterránea en el municipio de Codazzi.

La Moreaux Associates (1964) lleva a cabo para la Corporación Autónoma Regional de los Valles del Magdalena y del Sinú (CVM) un estudio sobre los recursos de agua subterránea en el área de Codazzi. En 1968 la firma CIEPS Ltda, basada en estudio de la firma La Moreaux, investigada las condiciones del agua subterránea para el desarrollo de proyecto agrícolas en la región Codazzi y algunos otros sectores del valle del río Cesar, concluyendo que es evidente el gran almacenamiento de agua subterránea en ésta región y recomendando varias medidas para su desarrollo.

Lobo - Guerrero, A. (1966) realiza un estudio hidrogeológico para el abastecimiento de agua de la población de Pelaya, donde analiza la geología de la zona, la hidrología, el volumen de agua

almacenada en el acuífero y la calidad físico - química del agua. Igualmente en el año 1971 elabora un informe sobre la hidrogeología del Valle del río Ariguaní, encaminado a conocer la factibilidad de utilización del agua subterránea en el desarrollo agrícola de esa zona.

En el año 1972, la firma Tahal Consulting Engineers Ltd. ejecutó el mayor estudio hidrogeológico regional hecho hasta el presente en el Departamento, el cual cubrió un área de 400 Km^2 en el valle del río Cesar. El estudio incluyó la cartografía del área, la hidrología, el estudio de suelos, el inventario de pozos y aljibes, análisis físico-químicos del agua subterránea y el levantamiento de sondeos eléctricos verticales para la ubicación de pozos exploratorios. En total se construyeron cinco (5) pozos con profundidad promedio de 135 m, de donde se obtuvieron los parámetros hidráulicos de los acuíferos, para finalmente llegar a estimar el volumen de agua subterránea almacenada y la capacidad de extracción.

Carreño, J. (1974) estudia las posibilidades de abastecimiento con agua subterránea a la Granja Motilonia, perteneciente al ICA y situada en el municipio de Agustin Codazzi, fundamentalmente a partir de una interpretación geoeléctrica.

Araque, G. (1982) elabora con el Servicio TNO de Aguas Subterráneas de Holanda y el Insfopal, un estudio hidrogeológico de la región

ubicada entre los ríos Cesar, Ariguaní y las estribaciones de la Sierra Nevada de Santa Marta, donde presenta una evaluación cualitativa del recurso subterráneo para fines de abastecimiento con agua potable a poblaciones ubicadas en la citada región.

Geoamérica Ltda. (1980) ejecuta para la firma Ingeniería e Hidrosistemas, un estudio de geoeléctrica en la zona carbonífera de La Loma, con el objeto de conocer la geometría aproximada del depósito cuaternario que cubre las formaciones terciarias.

Por último Lobo-Guerrero, A. (1991) realiza para la Corporación Autónoma Regional del Cesar, una investigación hidrogeológica en las cabeceras municipales de Chiriguaná, La Loma y El Paso, con el fin de tratar de solucionar los problemas de abastecimiento de sus acueductos, con agua subterránea.

Para la elaboración del presente informe, también se han tenido en cuenta varios informes técnicos sobre la perforación y construcción de pozos, elaborados por el INGEOMINAS y diversas empresas particulares en diferentes localidades, haciendas y fincas del Departamento.

INGEOMINAS

1.11 PARTICIPACION Y PRESENTACION DEL ESTUDIO

El presente informe hidrogeológico es el resultado del análisis y la interpretación de varios estudios ejecutados en un orden secuencial, donde participaron una serie de profesionales y técnicos del INGEOMINAS especializados en cada uno de los temas. Como producto de estos estudios se elaboraron los siguientes informes que sirvieron de base fundamental para la interpretación y descripción de la hidrogeología del Departamento del Cesar.

- **Geología.** La cartografía geológica y la elaboración del respectivo informe estuvo a cargo de los geólogos Alfonso Arias y Carlos Morales con el apoyo logístico de la oficina regional con sede en la ciudad de Bucaramanga. Los resultados están en el denominado "Informe Geológico", del cual se ha extractado un resumen para el presente trabajo.

- **Inventario de Puntos de Agua y Nivelación Topográfica.** El trabajo de campo estuvo dirigido por el hidrogeólogo Carlos Angel con la colaboración de técnicos de la sede central y de la Oficina de Medellín. El señor Hernán Velázquez fue el encargado de introducir y manejar los datos del inventario en el computador para su organización sistemática en el Banco Nacional de Datos Hidrogeológicos. Los resultados y el

análisis de ésta información aparecen consignados en el presente informe.

- **Prospección Geoeléctrica.** El levantamiento de los sondeos eléctricos verticales, estuvo dirigido por el geofísico Luis Vásquez con la colaboración de técnicos de la sede Central de Bogotá. El geofísico Vásquez estuvo a cargo de la interpretación y redacción del informe final titulado "Prospección Geoeléctrica en el Departamento del Cesar" el cual sirvió de base para la interpretación hidrogeológica que aquí se presenta; adicionalmente también se incluye en el presente informe un capítulo resumiendo los resultados de esta actividad.

- **Hidrogeoquímica.** El muestreo de los puntos de agua y su análisis, fueron llevados a cabo por el químico Alvaro Vargas con la colaboración de laboratoristas de la sede central y el apoyo logístico de la Oficina Operativa de Bucaramanga.En la interpretación y elaboración del respectivo informe denominado "Investigación Hidrogeoquímica en el Departamento del Cesar", se contó con la colaboración del hidrogeólogo Carlos Angel. Se anexa aquí un capítulo con un resumen de los respectivos resultados.



Hidrología. El análisis de la información hidrometeorológica y la redacción de el capítulo consignado en el presente informe, estuvo a cargo de la hidróloga Olga de Bermoudes, quien a su vez supervisó el manejo y procesamiento de dicha información, el cual estuvo a cargo de la tecnóloga Dora Reyes.

- **Implementación Banco de Datos Hidrogeológicos.** La Ingeniera de Sistemas Flor Rocha, transformó ésta base de datos a los formatos ASCII y DBF y, definió las pautas para el modelo ENTIDAD - RELACION, que necesita, CORPOCESAR para el manejo de dicha información. Esto se plasmó en el informe "Guía para la implementación del Banco de Datos Hidrogeológicos CORPOCESAR".

- **Hidrogeología.** Esta etapa que incluyó la caracterización hidrogeológica de las unidades geológicas y suelos, lo mismo que la ejecución de pruebas de bombeo, en pozos seleccionados, tuvo en la parte de caracterización de campo la participación de los hidrogeólogos Carlos Angel, Alcides Huguett, Gloria Hincapié, y Jaime Manjarrés. En lo referente a la ejecución de campo de las pruebas de bombeo estuvieron a cargo del técnico Hebert Cortés, los mismo que el manejo de la base de datos correspondiente. La coordinación general, supervisión e interpretación de resultados obtenidos en esta etapa fue realizada por el hidrogeólogo Carlos Angel.



- Entre noviembre 1992 y abril de 1993 este proyecto fue dirigido por la hidrogeóloga Graciela Rodríguez, de allí en adelante esta función la asumió el hidrogeólogo Carlos Angel, quien además participó con el hidrogeólogo Alcides Huguett en el análisis, la interpretación general y la redacción del presente informe hidrogeológico del Departamento del Cesar.

- Los autores agradecen especialmente la colaboración de todos y cada uno de los técnicos y especialistas que tomaron parte en las diferentes actividades ejecutadas dentro del proyecto. También dan sus agradecimientos a los hidrogeólogos Camilo Martínez, Jaime Manjarrés y Hugo Cañas por los valiosos aportes y discusiones que dieron a los conceptos expresados a continuación.

INGEOMINAS

2. GEOMORFOLOGIA

2.1 GENERALIDADES

El área correspondiente al Departamento del Cesar, se puede agrupar en tres provincias geomorfológicas mayores, donde se han desarrollado grandes paisajes con características muy definidas, debido a la acción de procesos y fenómenos naturales con diferentes orígenes.

Estas provincias han sido designadas como: provincia de paisajes de origen estructural, provincia de paisajes de origen denudativo y provincia de paisajes de origen deposicional. Figura No. 2.

El relieve y la forma de los paisajes constituyen a su vez los diversos sistemas geomórficos que dependen de la constitución litológica de los terrenos, del clima, de la intensidad de meteorización mecánica y química y del recubrimiento vegetal.

2.2 PROVINCIA DE PAISAJES DE ORIGEN ESTRUCTURAL

Esta provincia se distingue por su carácter montañoso y por estar constituida por rocas de litología heterogénea, donde los sistemas

geomorfológicos predominantes son: macizos cristalinos, serranía y cerros aislados, los cuales han sido modelados especialmente por procesos tectónicos, que han originado relieves abruptos de fuertes pendientes, con niveles altimétricos que sobrepasan en algunos lugares los 5.700 m.s.n.m.

2.2.1 Sistema de Macizos Cristalinos. El sistema geomórfico en mención, se encuentra representado por la Sierra Nevada de Santa Marta, localizada al norte del departamento. Este macizo cristalino de forma triangular, es el resultado del solevantamiento de un basamento de edad precámbrica o arcaica, migmatizado e intruído por un magmatismo ácido a intermedio y en menor proporción básico, acompañado de un metamorfismo regional, razón por la cual las rocas que se encuentran son granulíticas, plutónicas, volcánicas y en menor proporción por rocas sedimentarias, estas últimas presentes hacia sus flancos.

En este sistema hay una marcada zonificación geomórfica vertical, como respuesta a la acción de eventos glaciares y factores climáticos. Esas zonas según Tschanz y otros (1969) son: la supraglacial, la glacial, la subglacial, las pendientes boscosas y las tierras bajas. La meteorización mecánica prevalece en las tres primeras y la química en las dos últimas.

La zona supraglacial corresponde a las partes más elevadas del macizo cristalino, siendo los picos nevados más importantes, en lo que concierne al Departamento del Cesar, el Cristóbal Colón y el Simón Bolívar con 5775 m.s.n.m. cada uno, el Simons con 5.550 m, La Reina con 5535 m, Nevaditos con 5375 y Codazzi con 5150 m. La topografía es excesivamente abrupta con pendientes muy inclinadas y esculpidas por la acción del hielo. Aquí la litología no ejerce ningún control sobre las geoformas, donde el drenaje está prácticamente ausente, manifestándose uno de carácter irregular en alrededor de los casquetes de hielo.

La zona glacial se encuentra bordeando a la supraglacial, y es formada por la abrasión del hielo que ha destruido la expresión geomórfica original, dejando cerros subredondeados con superficies lisas. La roca se encuentra en muchos sectores enmascarada por la presencia de morrenas laterales y terminales con la formación de glaciares. Aquí el drenaje comienza a desarrollarse y a pesar de ser notable, no presenta un patrón definido, manifestándose en algunos sectores como de tipo radial donde las corrientes corren por profundas hendiduras.

La zona subglacial está marcada por el predominio de la meteorización mecánica que ha originado cuchillas alargadas de fuertes pendientes con numerosos valles angostos en forma de v y abruptas divisorias de agua aún en los tributarios menores. En

esta zona la litología controla el relieve pero se encuentra enmascarada por una densa vegetación. El patrón de drenaje predominante es el dentrítico de textura fina, debido a la presencia de rocas plutónicas.

La zona de pendientes boscosas se encuentra dominada por la meteorización química, debido al incremento progresivo de las lluvias, las cuales alcanzan sus máximos entre los 1.200 y los 3.000 m.s.n.m. y debido también a factores orográficos, desarrollando extensas áreas húmedas, donde nacen las corrientes superficiales que conforman la vertiente noroccidental del valle del río Cesar. las geoformas están representadas por Cerros con terminaciones facetadas de fuertes pendientes, dominadas por un patrón de drenaje subparalelo a enrejado de textura media, controlado en parte por el intenso fracturamiento.

Por último, se encuentra la zona de tierras bajas donde prevalece el clima cálido y las geoformas corresponden a cerros semicirculares de fuertes pendientes constituidos en su mayor parte por rocas volcánicas e intrusivos hipoabisales, con drenaje de tipo radial a subparalelo de textura fina a media. Las rocas sedimentarias que también hacen parte de esta zona, originan una topografía relativamente baja que refleja la erosión diferencial y la inclinación de los estratos.

2.2.2 Sistema de Serranías. Este sistema se encuentra representado por la Serranía de Perijá y el extremo norte de la cordillera oriental, localizados en el límite oriental del Departamento. El sistema se caracteriza por la presencia de una topografía montañosa, alargada en una dirección casi norte-sur, correspondiente a la prolongación más septentrional de la cordillera oriental. Sus alturas varían desde los 150 m.s.n.m. cerca al piedemonte, hasta los 3.500 m.s.n.m, particularmente en el extremo nororiental muy cerca a los límites con la Guajira, en la división de agua entre la cuenca del Lago de Maracaibo y la de los ríos Cesar y Magdalena.

El sistema en referencia se puede dividir a partir de su parte central en dos regiones donde las geoformas responden al predominio, de dos diferentes tipos de litología, la región norte (Serranía de Perijá) donde predominan las rocas sedimentarias y la sur (Cordillera Oriental), donde prevalecen las rocas volcánicas, plutónicas y metasedimentarias. Las dos regiones están separadas por una importante fractura conocida como Falla de Arenas Blancas, que pasa a la altura de la población de Rincón Hondo, en el municipio de Chimichagua.

En la región norte se encuentran esencialmente rocas sedimentarias de edad Terciaria hasta Paleozoica, donde se desarrollan relieves montañosos de cerros alargados con alturas que varían de 1.000 a

3.500 m.s.n.m., fuertemente disectados y plegados con profundos cañones, conformando estrechas estructuras de flancos inclinados, limitadas por fallas transversales. En esta región norte la topografía se levanta muy rápidamente desde el valle del río Cesar (municipio de La Paz 157 m.s.n.m.) hacia su culminación con la frontera Venezolana, donde la altitud es de 3.500 m.s.n.m., en un trayecto de apenas 30 Km en línea recta. Por consiguiente el relieve es muy accidentado, mostrando un ciclo juvenil de erosión con ríos muy encajonados de cursos torrentosos con algunos afluentes menores intermitentes, conformando drenaje subparalelo de textura gruesa. En las partes más altas también se observan remanentes de pequeñas glaciaciones cuaternarias (Wokittel, 1957) constituidos por algunos valles inclinados en forma de U, pequeñas lagunas, pantanos y bloques de roca pulida.

La región sur se extiende desde la falla de Arenas blancas hasta el municipio de San Alberto. Allí las geoformas están desarrolladas sobre rocas volcánicas, metasedimentarias y plutónicas de edades cretácicas hasta peleozoicas, constituyendo cerros semicirculares o alargados pero con crestas subredondeadas con pendientes poco inclinadas. El drenaje en general es de tipo subdendrítico y de textura media, con un predominio de tipo dendrítico y textura fina en el extremo meridional por la mayor frecuencia de rocas volcánicas. Las corrientes superficiales perennes corren por

cañones poco profundos, con afluentes menores de corto recorrido, en su gran mayoría intermitentes.

2.2.3 Sistema de Cerros Aislados. El sistema de mención se encuentra representado por una serie de cerros aislados, agrupados en dos tipos de geoformas controlados por la litología.

El primer tipo aparece al borde la Sierra Nevada de Santa Marta, representado por cerros semicirculares con terminaciones subredondeadas, de escasa vegetación y fuertes pendientes, por donde discurre un drenaje radial de textura gruesa. Están constituidos por rocas ígneas extrusivas, aisladas como producto de un tectonismo que afectó a grandes cuerpos de roca situados al borde la sierra, acompañado de una fuerte etapa de erosión diferencial.

El segundo tipo se encuentra en la parte baja de río Cesar, en su margen izquierda y está conformado por una serie de cerros alargados y alineados en una dirección noreste-suroeste, con inclinaciones que dan lugar en algunos casos a pendientes estructurales muy largas, compuestas por gruesas capas de limolitas y areniscas rojas de edad jurásica, donde se desarrolla un drenaje irregular de densidad gruesa de fuerte disección que da lugar a valles estrechos y profundos. Estos cerros cuyas alturas en general no sobrepasan los 200 m sobre el nivel circundante, son

producto de un levantamiento producido por la Falla Media Luna, que facilitó la acción de una etapa de erosión a la que actualmente se encuentran sometidos.

2.3 PROVINCIAS DE PAISAJES DE ORIGEN DENUDATIVO

Los paisajes de origen denudativo, constituyen en extensión, la mayor provincia geomorfológica del área departamental. Su contacto topográfico con la provincia de paisajes de origen estructural es nítido debido principalmente al desnivel altimétrico existente entre ambas provincias.

En general, la provincia de paisajes de origen denudativo presenta una planicie baja desarrollada por procesos erosivos múltiples que originan cierta diversificación de geoformas, que da la posibilidad de dividirla en cuatro sistemas principales: colinas redondeadas, sabanas, abanicos aluviales y llanura aluvial.

2.3.1 Sistema de Colinas Redondeadas. Se puede observar este sistema en el extremo centro occidental del departamento (municipio de Astrea), al occidente de la Jagua de Ibirico y hacia el noroccidente del municipio de Pailitas. Figura 2.

En el extremo centro occidental, se encuentran constituidas por rocas predominantemente arcillosas, semiconsolidadas, poco

plegadas, de origen marino y edad terciaria en colinas que tienen alturas entre 10 y 50 m sobre el nivel circundante, originando un relieve fuertemente ondulado de suaves pendientes, con suelos medianamente evolucionados donde se desarrolla una vegetación arbústica. El drenaje es dendrítico muy denso, con valles poco profundos y corrientes intermitentes.

Las colinas que se presentan al occidente de la población de la Jagua de Ibirico, están representadas por areniscas y arcillolitas del Terciario, algo plegadas, con suelos poco evolucionados. En general estas colinas son de muy baja altura con largas pendientes de poca inclinación lo que da al paisaje un relieve suavemente ondulado, siendo por ello su contacto difuso con el sistema de sabanas que la rodea. El drenaje no tiene un patrón definido, estando constituido por corrientes intermitentes, afluentes de un río perenne principal (río Calenturas).

Hacia el noroccidente del municipio de Pailitas las colinas son de origen ígneo extrusivo, de edad probablemente jurásica, somedidas a un profundo estado de meteorización. La altura de estas colinas varía entre 5 y 15 m sobre el nivel circundante, presentando suaves pendientes con terminaciones subredondeadas y drenaje subdendrítico de textura gruesa con corrientes de trayectos cortos, poco profundas e intermitentes.



2.3.2 Sistema de Sabanas. Se caracteriza por presentar un relieve totalmente plano, algunas veces con muy suaves ondulaciones, producto de una etapa de peneplanización originada por la erosión, acarreo y depositación de material transportado por las numerosas corrientes superficiales provenientes de la Provincia de Paisajes de Origen Estructural, sobre un paleorelieve ondulado. Por esta razón, las sabanas se encuentran aledañas a la región montañosa, bordeando la parte central del departamento, finalizando al norte de la población de El Burro, donde se pone en contacto con el gran Abanico aluvial de Aguachica.

El drenaje en las sabanas es muy escaso, produciéndose encharcamiento e inundaciones en las épocas de lluvias. Algunos pequeños arroyos de cauces muy poco profundos y de cortos recorridos las cruzan para ir a desembocar a una corriente principal de cauce ancho y profundo, que separa en muchos casos a una sabana de otra. Los suelos son limo-arenosos, poco evolucionados donde crece una vegetación dominantemente herbácea, interrumpida por una vegetación arbórea situada a lo largo de los cauces de las corrientes principales. Al norte de la localidad de El Paso hasta cerca a la población de Caracolí y en alrededores de La Loma, el suelo de la Sabana toma una coloración blancuzca, debido probablemente a la presencia de sales.

2.3.3 Sistema de Abanicos Aluviales. En el Departamento del Cesar los Abanicos aluviales de mayor importancia provienen de la Serranía de Perijá y de la Cordillera Oriental y se encuentran, de norte a sur, en cercanía a las poblaciones de Valledupar, Manaure, Codazzi, Casacará, La Jagua de Ibirico, Pailitas y Aguachica, extendiéndose éste último, hasta el sur de la población de San Martín. Fig. 2. Los Abanicos posiblemente representan el resultado final de la última desglaciación cuaternaria, probablemente en parte afectada por efectos tectónicos, ocasionando grandes avenidas de agua que transportaban a través de algunos valles encañonados de dirección predominantemente este-oeste, rocas y sedimentos de diversos tamaños, derivadas de las diversas unidades de roca de la Serranía de Perijá y la Cordillera Oriental.

El Abanico aluvial de Manaure se desprende del cañón que da lugar al cauce del río Manaure, presentando una dirección este-oeste con su ápice apuntando hacia el este. La longitud máxima del abanico desde su ápice hasta su terminación en cercanías a la población de La Paz, es de 14 Km. con ancho promedio de 7 Km. Este abanico presenta un relieve de colinas longitudinales, de laderas quebradas con suelos poco evolucionados donde crece una vegetación achaparrada de porte bajo. La altura de las colinas varía de 150 a 500 m.s.n.m. El drenaje es de tipo radial en una dirección, conformado por corrientes intermitentes de cauces profundos. De similares características morfológicas y litológicas son los

abanicos aluviales de Valledupar, Codazzi y Casacará, pero en los dos últimos su área y altura son mucho más reducidas.

El Abanico aluvial de la Jagua de Ibirico cuenta con una longitud de aproximadamente 5 Km y un ancho máximo de 5 Km. Está constituido por colinas bajas con terminaciones semiplanas, compuestas por gravas y cantos subangulares a subredondeados de rocas sedimentarias, provenientes de la serranía de Perijá, a través de un cañón por donde discurren actualmente los arroyos Caudaloso, San Antonio y Fondas. El suelo se encuentra medianamente evolucionado con crecimientos de una vegetación de arbustos cortos y rastrojo. El drenaje es radial de corrientes poco profundas e intermitentes.

El abanico de Pailitas cuyo ápice coincide con la población del mismo nombre, se extiende longitudinalmente unos 13 Km, alcanzando casi el borde de las ciénagas. Tiene 9 Km de ancho, una pendiente suave inclinada al oeste y formación de cárcavas.

El de mayor importancia en el departamento, es el complejo de abanicos de Aguachica que se extiende desde cercanías a la población de El Burro, en su parte norte, hasta inmediatamente al sur de la cabecera municipal de San Martín con un ancho total de 108 Km. Longitudinalmente va desde las estribaciones de la Cordillera Oriental hasta la región de Ciénagas aledañas al río

Magdalena, con una extensión variable, en el norte cercana a los 18 Km, alcazando los 30 Km al sur de Aguachica y apenas 4 Km al norte de Pelaya. Tiene múltiples ápices en contacto con el Sistema de serranías adyacente al oriente.

Este complejo de abanicos de Aguachica presenta un relieve de Terrazas longitudinales con terminaciones planas, de alturas que oscilan entre 5 y 40 m sobre el nivel circundante, separadas por estrechos valles con pendientes rugosas o algunas veces por anchos valles por donde corren arroyos que al infiltrarse pierden su caudal por largos trayectos, para volver a aparecer aguas abajo.

El drenaje es de tipo paralelo a subparalelo, siguiendo la dirección de las terrazas, con cauces algo profundos de corrientes perennnes, en general el suelo es medianamente evolucionado con una vegetación arbórea y las cimas de las colinas y los valles tienen vegetación herbácea.

2.3.4 Sistema de Llanura Aluvial. Este sistema aparece en la parte nor-central del departamento, conformado principalmente por el valle del río Cesar y sus principales afluentes que nacen tanto en la Sierra Nevada de Santa Marta, como en la serranía de Perijá. La llanura aluvial tiene una dirección noreste-suroeste, extendiéndose desde las poblaciones de Valencia de Jesús y Codazzi hasta el norte de la Ciénaga de Zapatosa. Se encuentra rodeada por

el sistema de sabanas y su contacto es difuso. La llanura aluvial está compuesta principalmente por limos, arcillas y arenas. Su relieve es semiplano a ligeramente ondulado, interrumpido por el cauce de los ríos que son anchos y en forma de U. Según Tahal (1972), la llanura tiene una inclinación hacia el suroeste de menos de 3%, con suelos algo evolucionados y bien drenados donde gran parte de la vegetación arbórea ha sido destruida para dedicar el terreno al pastoreo y al cultivo intensivo. El drenaje es de tipo subparalelo con textura gruesa, donde los tributarios principales del río Cesar convergen en ángulo agudo.

Dentro del sistema de la llanura aluvial se pueden observar dos geoformas: las terrazas y los aluviones recientes. Las terrazas ocupan una posición intermedia entre los aluviones recientes y las sabanas , con un relieve no muy claramente expresado. Los aluviones recientes muestran un microrelieve compuesto por sedimentos finos, y están sujetos a inundaciones temporales y es donde la vegetación arbórea es más espesa.

2.4 PROVINCIA DE PAISAJES DE ORIGEN DEPOSICIONAL

Corresponde esta denominación a una geoformología conformada por acumulaciones de sedimentos cuaternarios de origen fluvial y lacustre, en una zona baja que se desarrolla a los dos lados del cauce principal del río Magdalena. Se caracteriza además, por

representar el medio físico más conservado del departamento del Cesar, cuya dinámica está fundamentalmente determinada por la omnipresencia del factor hidrológico, con variaciones en la intensidad de las inundaciones del río Magdalena. Es la provincia de menor extensión en el departamento, pero con características tan bien definidas que hace prevalecer sobre ella a un único sistema geomorfológico, denominado Depresión Cenagosa.

2.4.1 Sistema Depresión Cenagosa. Este sistema se extiende desde la parte norte de la Ciénaga de Zapatosa hasta los límites con el departamento de Santander, formando una banda relativamente delgada casi paralela al río Magdalena, la cual tiene una longitud de 172 Km y un ancho promedio de 6 Km.

El fenómeno dominante en el citado sistema es la cantidad de Ciénagas existentes, casi todas de carácter permanente. Los cambios de cauce, las divagaciones y las inundaciones tienen allí una frecuencia de seis meses o algo menos. El relieve es plano - cóncavo con poca dirección y una formación de diferentes niveles de acumulación en función del arrastre y la depositación de sedimentos transportados esencialmente por el río Magdalena, constituyendo una unidad en la que diques sumergibles en los bordes de los cauces y ciénagas entre esos diques, ocupan una gran zona.

En la depresión cenagosa los suelos son moderadamente profundos o superficiales por fluctuación del nivel freático. Como el relieve es plano-cóncavo el agua satura el suelo en forma casi permanente dando lugar a suelos con fuerte hidromorfismo, lo que permite el crecimiento de pasto en el verano. Aledaños a las ciénagas se presentan los playones, tierras bajas y planas anegadas en épocas de lluvia donde se desarrollan suelos formados por arenas finas blancuzcas, algunas veces con ciertos contenidos de sal, donde crece una vegetación rala y achaparrada. En el resto de la depresión, el tipo de vegetación dominante es de galería, desarrollada en los diques sumergibles.

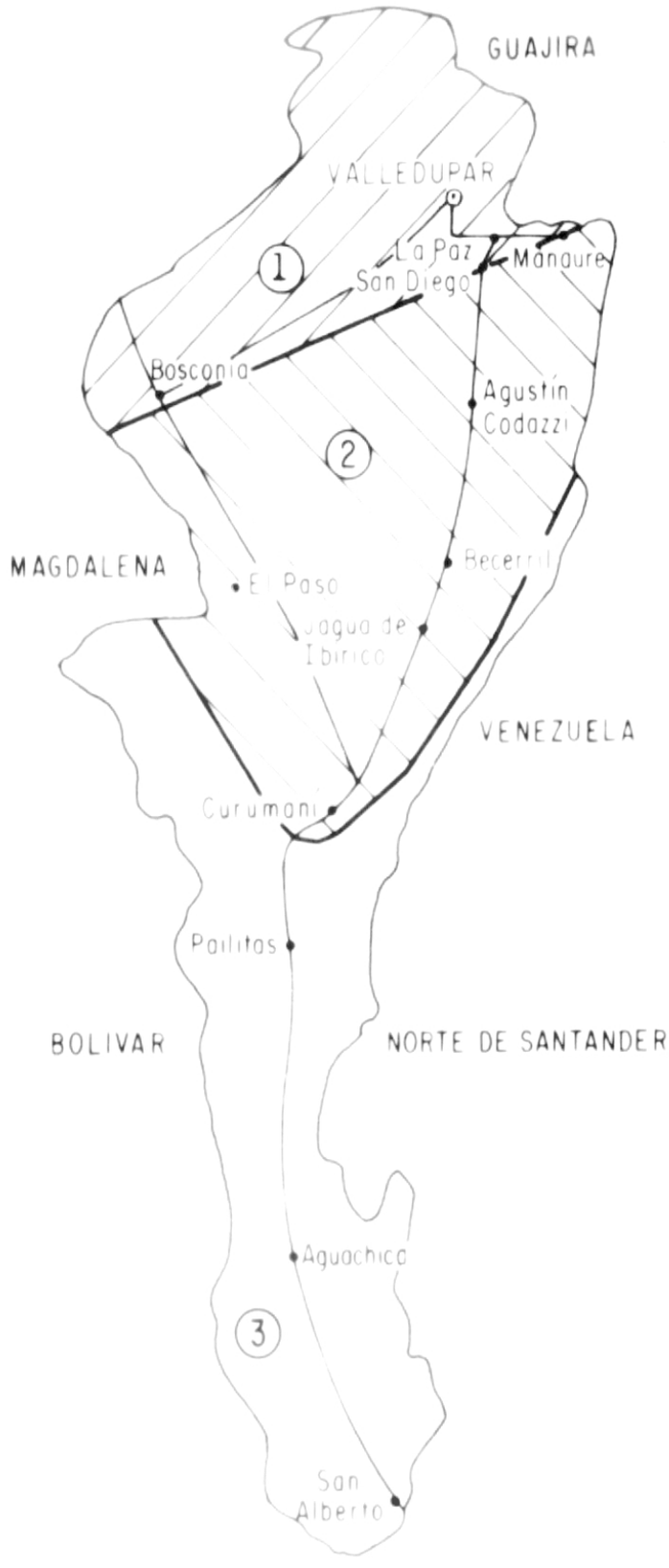
INGEOMINAS

3. GEOLOGIA

Para evaluar los recursos hídricos subterráneos, de un área, es indispensable la información geológica. La descripción litológica de los diferentes tipos de roca, su estratigrafía y la geología estructural, suministran la información básica para una clara interpretación hidrogeológica.

El presente capítulo corresponde a un resumen del estudio geológico llevado a cabo durante el proyecto, el cual está consignado en un informe elaborado por los geólogos Arias y Morales (1994).

En el área departamental afloran rocas metamórficas, ígneas y sedimentarias, cuyas edades varían desde el Precámbrico hasta el Reciente (Planchas No. 1 Norte y Sur); como resultado de esto se presentan tres regiones con características geológicas diferentes, por lo cual la descripción de las unidades litológicas se hizo de acuerdo con ellas, que son en su orden: Sierra Nevada de Santa Marta, Serranía de Perijá y Norte de la Cordillera Oriental (figura 2a). No obstante lo anterior y para efectos de el presente informe se agrega una cuarta región denominada Planicie del Cesar, correspondiente morfológicamente hablando, a la parte plana - semiplana del Departamento; en esta se incluyen esencialmente



1 INGEOMINAS
Tschanz ... tros 1968

2 ECOPETROL
Govea y Dueñas 1975
García, C... 1990

3 INGEOMINAS
Mard y otros 1977

CONVENIO CORPOCESAR - INGEOMINAS

EVALUACION DEL AGUA SUBTERRANEA EN EL DEPARTAMENTO DEL CESAR

DISTRIBUCION DE LAS NOMENCLATURAS LITOLOGICAS UTILIZADAS EN EL DEPARTAMENTO DEL CESAR

Autor: Alfonso Arias T. Carlos Julio Morales A.	Dibujó Cartografía - Ingeominas	
Escala 1: 2'000.000 Aprox.	Fecha Octubre 1994	Fig. **2a**

I-2222.5 vol. 1 ORIGINAL

unidades Cuaternarias que ocupan allí su mayor extensión, pero bajo ellas, en el subsuelo se encuentran cubiertas las unidades descritas en las otras tres regiones geológicas mencionadas. La distribución areal de las unidades geológicas en superficie se puede ver en la Plancha 1.

3.1 REGION SIERRA NEVADA DE SANTA MARTA

En la región Sierra Nevada de Santa Marta afloran rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias siendo más abundantes las primeras, mientras que las últimas están restringidas a la parte más sur de la sierra. La edad de estas rocas varía del Arqueano al Cretáceo, encontrándose además sedimentos del Terciario Superior.

3.1.1. Rocas Metamórficas Precámbricas (PEm). Las rocas metamórficas precámbricas (PEm) están representadas por rocas con alto grado de metamorfismo y comprenden la granulita de los Mangos y el Neiss de los Muchachitos (Tschanz y otros, 1969).

La Granulita de los Mangos aflora en el río Los Mangos (hoy río Nevado) afluente del Guatapurí, y se prolonga por éste río aguas abajo hasta el oriente del caserío Sabanas de Manuela. Hacia el norte de la desembocadura del Río Nevado se observa por los ríos Donachui y Guatapurí. Está formada por neises bien bandeados de color gris oscuro a ligeramente verdoso con intercalaciones de

color gris claro. En los alrededores del Río Templado predominan neises con bandas oscuras compuestas por hornblenda, biotita y plagioclasa y bandas claras constituidas por cuarzo y microclina. Hacia el contacto con la Formación Guatapurí, la unidad tiene aspecto de ortoneis o neis granítico. Diques graníticos y diabásicos cortan la granulita en varios sitios.

El Neis de los Muchachitos aflora alrededor del pico nevado El Guardian y está compuesto por neises bandeados con alguna evidencia de metamorfismo y esquistos y filitas de origen cataclástico derivados del mismo Neis.

3.1.2. Rocas Igneas. Las rocas ígneas ocupan la mayor extensión en la región sur de la Sierra Nevada, comprenden las rocas intrusivas de los batolitos más notorios y las rocas volcánicas que las acompañan. Su descripción se hizo tomando como base el informe de Tschanz y otros (1969), sin embargo, algunas unidades que tienen una extensión muy pequeña no son representativas en el mapa geológico que se presenta, por lo cual se unieron con otras de edad, origen y características semejantes.

De acuerdo con la edad se describen, de más antiguas a más modernas, las siguientes unidades: Pórfidos Keratofídicos Verdes, Granitoides Jurásicos, Batolito de Atanquez, Pluton de Nueva Lucha, Pórfidos Cretáceos y Lacolito de Atanquez.

Pórfidos Keratofidicos Verdes (TRp): Son considerados por Tschanz y otros (1969), como plutones hipoabisales de composición andesítica que intruyen sedimentos triásicos. Afloran al oeste de Valledupar en la Cuchilla de Cascajal, al sureste del arroyo Tierras Nuevas y en las cabeceras de los arroyos Las Palmas y El Comino. La edad es Triásico Superior o Jurásico.

Granitoides Jurásicos (Jgr): Estas rocas fueron consideradas como pertenecientes a la facies plutónica principal de la Sierra Nevada, incluyen los batolitos más ampliamente distribuidos en el área, tienen una composición semejante, son de una misma edad y presentan la misma relación con las rocas volcánicas contemporáneas. La unidad comprende intrusivos de la Franja Central y Noroccidental de Batolitos y diferenciados en el Mapa de Tshchanz y otros (1969) con los nombres de: Cuarzomonzonita y Granodiorita, Granito Leucocrático Miarolítico; Granito Leucocrático de Grano Fino, Batolito Central y Batolito Bolívar.

Batolito de Atanquez (Ja): Según Tschanz y otros (1969), se puede considerar como parte del Batolito Central aúnque puede ser más joven; tiene un área aproximada de 230 km² y se encuentra al noroeste de Valledupar disectado por los ríos Candela y El Potrero. La población de Atanquez de donde toma su nombre se localiza cerca al borde sur de este batolito. La cuarzodiorita que lo compone es

de color gris que pasa gradualmente a rosado por el aumento de feldespato de potasio.

Pluton de Nueva Lucha (Jnl). Aflora en la región occidental de la Sierra, al sureste del municipio de Copey, entre la Quebrada Arena y el Arroyo Maizmorocho formando la Loma Nueva Lucha de donde toma el nombre. Pequeños cuerpos de la unidad se localizan al norte de la quebrada Copey. Según Tschanz y otros (1969), el plutón está formado por rocas de apariencia gabroica, cortados por diques de rocas graníticas. Contiene: fenocristales de plagioclasa, piroxeno, anfibol y biotita, englobados en una matriz de grano fino compuesta por cristales de plagioclasa, cuarzo intersticial y ortoclasa. Estas rocas se consideran del Jurásico Superior.

Pórfidos Cretáceos (Kp): En la Sierra Nevada se encuentran cuerpos intrusivos pequeños de granito porfirítico y riolita porfirítica hipoabisales, cuya edad puede variar del Jurásico Medio al Cretáceo Inferior. Por su tamaño en el mapa, se muestra como una sola unidad a pesar de que Tschanz y otros (1969), distinguen dos grupos: uno más joven que se encuentra cerca al valle del Cesar y el más antiguo asociado al bloque montañoso; una característica de los dos grupos es presentar fenocristales de cuarzo euhedrales.

Locolito de Atanquez (Tla). Aflora a lo largo de la margen sureste del Batolito de Atánquez; el área de exposición es cerca de 16 km^2.

La unidad está formada por rocas porfiríticas de grano muy grueso que contiene fenocristales de plagioclasa mayores de 4 cm, en una matriz de color gris de grano fino a medio. La edad es considerada como del Terciario Superior.

Las rocas volcánicas están ampliamente distribuidas en la región sur de la Sierra Nevada y solo están presentes en muy pocos lugares en la parte norte de la Serranía de Perijá. Teniendo en cuenta que muchas de estas unidades son de poca extensión en el mapa que se presenta, se han unido en tres grupos principales: espilitas, ignimbritas y riodacitas.

Espilitas y otras Rocas Volcánicas o Hipoabisales (TRs): Se presentan en la región sur de la Sierra nevada como pequeños afloramientos cerca a la carretera entre Las Mercedes y Aguas Blancas. Las espilitas son de color gris marrón, carmelito marrón y menos común verde oscuro; son rocas de grano fino con tintes ligeramente rojizos. La edad más probable es Triásico Superior o Jurásico Inferior.

Volcánico Ignimbrítico (Jvi). Comprende las ignimbritas de la Paila, Caja de Ahorros, Los Clavos y La Piña de Tschanz y otros (1969). Comprende al grupo más antiguo de rocas volcánicas presentes en la parte sur de la Sierra Nevada que afloran cerca a la carretera desde Valencia de Jesús hasta el oeste de Maria

Angola. Contiene fragmentos de roca porfirítica, de limolitas y rocas volcánicas basálticas y cristales de plagioclasa, cuarzo y biotita.

La Brecha de Caja de Ahorros aflora al norte de Aguas Blancas y entre Caracoli y el río Diluvio y entre Aguas Blancas y Valledupar. La Brecha es de color gris o gris verdoso conteniendo fragmentos, generalmente de limolitas o wacas provenientes de la Formación guatapuri y del Pórfido Karatofídico.

La Ignimbrita de Los Clavos es una de las rocas que cubre más área de la región sur de la Sierra Nevada, presenta buenos afloramientos a lo largo del río Los Clavos y en las colinas cercanas al perímetro urbano de Valledupar. La unidad se presenta como una brecha de color negro a gris oscuro, constituída por cristales, fragmentos de cristales, fragmentos de rocas volcánicas y tobas, considerándose de origen volcánico-piroclástico.

La Ignimbrita de La Piña se encuentra en los alrededores del cerro del mismo nombre y entre los ríos Garupal y Diluvio. Esta subprayace a la Ignimbrita de Los Clavos y a la Formación Corual; se presenta como una roca de color gris ligeramente carmelito con abundantes fragmentos de rocas rojas, verdes oscuras y amarillo verdosas, dispersas en una matriz afanítica de vidrio.



Volcánico Riolítico (Jkvr): Corresponden a las rocas volcánicas más jóvenes que se presentan en la región sur de la Sierra nevada y que suprayacen a las ignimbritas. Comprenden las Riolitas de los Tábanos y El Golero, El Vitrofiro Riolítico Negro y otras rocas volcánicas no diferenciadas.

El Vitrofiro Riolítico, ocurre en afloramientos discontinuos a lo largo de las márgenes del Batolito de Atanquez en contacto con las rocas graníticas rosadas del Batolito de Patillal. El vitrofiro es una roca negra vitrea o semivitrea que contiene fenocristales de cuarzo redondeado, pertita rosada, oligoclasa y fragmentos de roca.

La Riodacita de Los Tábanos puede tener una amplia variación en su composición desde latita a riolita o desde traquita a riolita, en la parte basal presenta localmente líneas de flujo cada una de diferente color y textura; la roca predominante es de color rosado o lila con pequeños fenocristales de feldespato rosado.

La riolita del Golero es considerada como la única roca volcánica de edad Cretácea presente en la Sierra Nevada y Perijá, es fácilmente reconocible por su combinación de abundantes fragmentos de cuarzo cristalino y feldespato de potasio rosado, numerosos fragmentos de otras rocas y su característica compactación bandeada irregular; el color es generalmente rosado o salmón, o gris carmelito.

Las rocas volcánicas no diferenciadas abarcan aquellas que por una u otra razón no pudieron ser incluidas en otra unidad volcánica. El cuerpo de mayor tamaño se presenta al sur de Pueblo Bello en la cabecera del río María Angola, al oeste de Valencia de Jesús. En la unidad se observan lavas afaníticas gris rosadas suprayacidas por lavas púrpuras con abundantes fragmentos de color marrón y brechas ignimbríticas de color gris a gris oscuro.

En cuanto a la edad Tschanz y otros (1969), consideran que el vitrófiro es Jurásico Superior a Cretáceo Inferior; la Riodacita de los Tábanos es del Jurásico Superior, la Riolita del Golero es Pre-Aptiano, mientras que para las rocas volcánicas no diferenciadas su edad no pudo ser establecida claramente.

3.1.3. Rocas Sedimentarias. En cuanto a las rocas sedimentarias, en la Sierra Nevada de Santa Marta y en la parte correspondiente al Departamento del Cesar afloran rocas del Paleozoico, Triásico, Jurásico, Cretáceo y Terciario. El Devónico se encuentra en el área de Río Seco, al Triásico pertenecen la Formación Corual y los Indios, al Jurásico la Formación Guatapurí, al Cretáceo el Grupo Cogollo y al Terciario las Sedimentitas de Arjona.

Secuencia de la Cuchilla Carbonal (CD): En el drenaje de Río Seco y en la Cuchilla Carbonal se presentan rocas devónicas (?) que descansan de manera discordante sobre el basamento metamórfico

precambriano; la secuencia sedimentaria empieza con rocas síliceas muy compactas con aspecto de chert de origen incierto, sobre ellas existen lutitas verdosas, verde oscuras, grises o negras finamente bandeadas. Las lutitas están suprayacidas por una arenisca cuarzosa, dura, masiva de color blanco a bronceado, intercalada con capas delgadas de lutitas rojas, sobre estas afloran calizas fosilíferas de edad carboniano en aparente discordancia angular. Para esta sección se considera una edad del Devonico al Carbonífero.

Formación Corual y Los Indios (TRpc): Estas formaciones incluyen las rocas sedimentarias no metamorfizadas y las rocas volcánicas comprendidas entre las de edad carbonífera y los sedimentos rojos de la Formación guatapurí. Los afloramientos de la Formación Corual en el Cesar ocurre al sur de Atanquez y a lo largo de algunas corrientes al oeste de Valledupar. La Formación Los Indios está representada por afloramientos pequeños en la parte occidental de la Sierra, pocos kilómetros al sur del río Ariguanicito.

La sucesión litológica de la Formación Corual varía de un lugar a otro, en la región del arroyo Tierras Nuevas la parte basal consiste principalmente de rocas basálticas afaníticas, negras a grises oscuras, diabasas de grano fino a medio e intercalaciones de limolitas negras, densas con fractura concoidal. Esta secuencia se encuentra cubierta por 20 m de lutitas silicificadas con

intercalaciones de capas de chert el cual está suprayacido por rocas volcánicas. La edad de la formación no está bien determinada, se cree que puede ser Triásico Inferior o Permiano Superior (Tschanz y otros, 1969).

La Formación Los Indios está compuesta por un conglomerado basal formado por cantos de rocas ígneas y metamórficas de cuarcita de grano grueso a medio, de color gris a gris oscuro, alternando con capas de lutitas, localmente calcáreas, de color gris a negro, micáceas y silíceas. Los 70 m superiores de esta secuencia contienen fósiles marinos principalmente ostrácodos y restos de plantas. Los estratos fosilíferos están suprayacidos por arenisca, de color gris, grano medio, alternando con capas de cuarcita gris y caliza. La identificación inicial de los fósiles indica que la formación puede ser Permiano Superior o Triásico Inferior.

Formación Guatapurí (TRg): Aflora en la parte media del Río Guatapurí y desde el sitio de La Estación hasta el arroyo Lajas cerca a la carretera Valledupar - Bosconia. De una manera general la unidad se puede dividir en dos conjuntos: la parte basal predominantemente volcánica con algunas intercalaciones sedimentarias y la parte superior compuesta por limolitas rojizas a violáceas con intercalaciones de rocas volcánicas, la edad de la formación se fija tentativamente en el Triásico, probablemente medio a superior.



Grupo Cogollo (Kmc): Se presenta en la región sur de la Sierra Nevada al oriente de la hacienda Durania y de una manera continua en esta dirección hasta el arroyo Laja, en contacto fallado o discordante con la Formación Guatapuri. En esta zona la formación está compuesta por caliza arcillosa y lutita que es más abundante hacia el techo donde la cantidad de caliza decrece. La caliza es de color gris claro, en bancos delgados, algunos presentan abundantes conchas fósiles de bivalvos y están atravesados por venillas de calcita. Fósiles colectados en esta área fueron clasificados como pertenecientes al Coniaciano (Miller, 1962; en Tschanz y otros, 1969).

Sedimentitas de Arjona (Tpaa): Aflora en la parte occidental de la Sierra en pequeños parches considerados por Tashanz y otros (1969) como del Terciario Superior. Esta unidad será descrita mas ampliamente en la Región Planicie del Cesar.

Morrenas (Qm): Solo se cartografiaron en la parte alta de la Sierra Nevada, donde han existido fenómenos intensos de glaciación. Según Tschanz y otros (1969), se encuentran entre los 3000 y 4000 m de altura, formando morrenas terminales y laterales, y se componen de bloques angulares de muy diversos tamaños, dentro de una matriz más fina.

3.2 REGION SERRANIA DE PERIJA

Como se ha expresado anteriormente las formaciones rocosas de la Sierra nevada de Santa Marta y la serranía de Perijá, presentan algunas diferencias, que hacen conveniente que cada región se trate independientemente.

La región de Perijá, correspondiente al borde nororiental del Departamento (figura 2a), está formada por rocas metamórficas y sedimentarias cuyas edades están comprendidas entre el Cambro-Ordoviciano y el Terciario Superior. En superficie las rocas sedimentarias son altamente predominantes y cubren aproximadamente el 90% del área, le siguen en importancia las metamórficas y en último lugar las ígneas volcánicas asociadas con las primeras por lo cual se tratan en conjunto.

3.2.1. Rocas Metamórficas. Las rocas metamórficas están representadas por metasedimentos que presentan muy bajo grado de metamorfismo, y que se localizan al oriente de Manaure, en la Quebrada Virgen al oriente de Pailitas y al este de la Jagua de Ibirico.

Metasedimentos de Manaure y Quebrada la Virgen (Pzm-Pzmv). Los metasedimentos de Manaure fueron descritos por Forero (1970), quien divide la secuencia al oriente de este municipio y en el Alto del

Cielo en tres conjuntos de base a techo así: filitas, cuarcitas, y meta-arcosas con filitas cuarzosas. Las filitas son de grano fino y finamente estratificadas, en las que aún puede distinguirse la estructura sedimentaria. Es frecuente el óxido de hierro que da un color rojo a la secuencia la cual es cortada por venillas de cuarzo secundario. Las cuarcitas son blancas, duras, en bancos gruesos, localmente manchados por óxido de hierro e intercaladas con filitas. Las meta-arcosas son grano grueso, en parte conglomeráticas y están interestratificadas con filitas.

Las Metasedimentos de La Virgen cuyo nombre ha sido tomado de la Quebrada del mismo nombre localizada al este de Pailitas cerca ala frontera con Venezuela, son descritas por Royero y otros(1993), así: La unidad consta de rocas sedimentarias que han sido afectadas por metamorfismo regional de bajo a muy bajo grado, dispuestas ciclicamente en capas delgadas y medianas. Se trata de metareniscas metalimolitas, metalodolitas, metaconglomerados y en menor proporción filitas. Venas y venillas de cuarzo de segregación atraviesan localmente la secuencia.

3.2.2 Rocas Sedimentarias. Las rocas sedimentarias son las mas ampliamente distribuidas en la Serranía de Perijá y sus edades varían del Devonico al Terciario. De una manera general se puede decir que la mayor parte de las épocas geológicas están representadas en Perijá, sin embargo, en el mapa se han unido de

tal forma que sean arealmente significativas a la escala de publicación 1:250.000.

Grupo Cachiri (Pzc). Compuesto por sedimentos Devonico-Pérmicos. Aflora al oriente de Manaure en una franja continua con dirección aproximada norte-sur, al este de San José de Oriente y en el sitio La Central. De manera general la ocurrencia de base a techo, está conformada por: un conglomerado basal que puede tener 5 m de espesor; sobre él se encuentra una secuencia de areniscas ferruginosas y subgrauvacas, bien calibradas y de grano medio, las cuales contienen unas pocas capas de lutitas grises; a continuación se encuentran areniscas verdes micáceas de grano fino, que muestran manchas de oxidación rojas y que están cubiertas por lutita arenocalcárea de color gris oscuro y de grano muy fino. El techo de la unidad lo constituye caliza negra compacta, fosilífera en bancos delgados intercalados con arcillas calcáreas. Por el río Manaure la unidad continúa hacia el oriente hasta el arroyo Mi Ranchito donde se pone en contacto rocas mesozoicas. En la vereda El Milagro, en el arroyo Agua Fria se presenta principalmente la secuencia calcárea muy compacta en bancos medianos a gruesos con algunas intercalaciones de areniscas amarillas y arcillolitas verdes. Según Forero (1970), las rocas Devónico-Permicas alcanzan un espesor aproximado de 1.300 m.

Unidad La Quinta Sedimentaria (Jqs). En la secuencia Triásica-

Jurásica es la principal unidad estratigráfica y de mayor extensión en el área de Perijá. Está constituida por una sucesión monótona de limolitas rojas silíceas, a veces arenosas, masivas y ocasionalmente con láminas delgadas compuestas por arena fina, con venas de calcita y algo de malaquita. Se intercalan con estratos medianos a gruesos de areniscas blancas, pardas y rojizas de grano fino a grueso y niveles conglomeráticos con cuarzo lechoso y estratificación cruzada y acuñamientos. A veces esta unidad es atravesada por diques de ignimbritas oscuras y hacia el techo algunas intercalaciones de tobas líticas de color blanco crema.

En la Cuenca del Cesar el contacto con la formación suprayacente es de tipo paraconforme con la formación Rionegro, Forero (1970), pero en el filo El Avión en Sábana Rubia es discordante, esta apreciación fue confirmada por Ecopetrol en García (1990), empleando evidencia sísmica. Donde está en contacto con el Grupo Cogollo es discordante. El contacto inferior debe ser discordante o fallado sobre rocas Palozoicas en esta cuenca. Se cree que esta unidad alcanza 3.000 m de espesor.

En la región esta unidad se encuentra desde cerca a Manaure y se prolonga al sur hasta immediaciones de La Jagua de Ibirico.

Formación Rionegro (Kir): Esta formación se apoya sobre capas de la Unidad La Quinta y está suprayacida por el Grupo Cogollo

(Miller, 1962). La Formación Rionegro es detritica, especialmente arcósica, su espesor máximo alcanza 1.600 m (Miller, 1962), con grandes espesores en la zona central y sur de la Serranía de Perija, de espesor moderado al E del Valle del Río cesar y falta o es muy delgada al norte de la Serranía. En la zona de estudio constituye la base de la sucesión Cretácea, aunque esta ausente en algunas localidades, estas amplias variaciones muestran su carácter transgresivo y discordante.

Consta de base a techo de: Un conglomerado basal de 1.5 m con cantos de cuarzo, el cual pasa a una arenisca de color pardo rojizo de grano grueso; más arriba se encuentra una secuencia arenosa gris clara, localmente verdosa, conglomerática, de grano grueso con cantos subredondeados de cuarzo lechoso, ahumado y ligeramente rojizo, cantos de limolitas y algunos de feldespato intercaladas con limolitas rojizas y arcillolitas verdosas en ocasiones limosas.

Grupo Cogollo (Kmc). Está constituído de base a techo por una potente secuencia de caliza gris azulosa y gris oscura en capas medianas hasta muy gruesas (mayores de 5 m) con intercalaciones ocasionales de lutitas negras carbonosas y abundante contenido de fósiles con mineralizaciones calcita y cantos de cuarzo esporádicos. Son frecuentes los dolinas y algunas cavernas con estalactitas y estalagmitas. De la parte media al techo se distingue un nivel delgado lodolítico carbonoso y muscovitico, otro

areno-arcilloso y uno más superior calcáreo, con calizas lumaquelicas de color gris claro, karstificadas y con mineralizaciones de calcita. Está en contacto concordante bajo la Formación la Luna y transicional sobre la Formación Río Negro, o discordante sobre La Quinta. Su edad es Aptiano-Barreniano. Puede alcanzar espesores de 1.200 a 3.000 m (Govea y Dueñas, 1975).

Formación La Luna (Ksl): En la serranía de Perijá reposa concordante y neto sobre el grupo Cogollo y en superficie no infrayace a ninguna otra unidad litoestratigráfica. Ecopetrol la registro en 6 pozos en la Cuenca del Cesar y reporta entre 150 y 450 m de espesor y postula un adelgazamiento en sentido oeste y noroeste.

Consta de una secuencia alternante de lutitas negras carbonosas, limolitas, arcillolitas, calizas negras bituminosas, que al partirlas expelen olor a petróleo, y capas delgadas de cherts y arenisca calcárea. Predomina la secuencia calcárea hacia el techo en estratos delgados a medianos. Con abundantes concreciones donde generalmente se encuentra pirita, localmente contienen fragmentos y restos de amonitas.

Aflora al noroeste y sureste del municipio de Becerril, en Puerto Lajas en la vía de Codazzi a Cuatro Vientos, al este de Casacará

hasta La Victoria de San Isidro. En esta última sección alcanza su mayor espesor con unos 180 m.

Formación Molino (Ksm). En el áreas de estudio se encuentra únicamente en el subsuelo y se observa solo en los pérfiles hidrogeológicos (plancha No. 12). La formación es una secuencia de lutitas grises azulosas, lutitas negras calcáreas, arenisca fina arcillosa de color amarillo con nódulos arenosos e intercalaciones de caliza negra algo arenosas, en estratos delgados con alto contenido fosilífero, glauconita y trazas de fosfatos. Se le asigna una edad Campaniano y un espesor máximo de 1.380 m en el pozo Paso-3. El contacto con la formación La Luna en la base y el Terciario Inferior en su techo es aparentemente de tipo transicional.

Formación Barco (Tpb). Aflora al norte de La Jagua de Ibirico. En los alrededores de La Jagua afloran areniscas amarillentas de grano fino, muy deleznables, ligeramente arcillosas y micáceas, se componen de cuarzo y en mínima proporción de feldespato y mica.

Hay delgadas intercalaciones de arcillolita amarillenta. Sobre esta secuencia descansa la Formación Los Cuervos.

Formación Los Cuervos (Tec). Aflora en el área de estudio al norte de la Jagua de Ibirico en la zona de explotación de carbón y en el

subsuelo se halla en el Descanso y La Loma según lo reporta Ecopetrol en los pozos Paso 2, Paso 3, Paso 4, Cesar F-IX y Río Maracas. Está constituída por arcillas negras, grises, verdosas y amarillentas con delgadas intercalaciones de arenisca gris de grano medio con matriz arcillosa y mantos de carbón. En el pozo Paso-3 se registraron 1066 m. de espesor. La edad va del Paleoceno Medio al Eoceno Inferior. (Ward y otros, 1973).

Se encuentra en contacto transicional con la Formación Molino en la base y en contacto discordante bajo la Formación Cuesta o depósitos del Cuaternario.

Formación Cuesta (Tmc). Sus afloramientos están en la localidad de Plan Bonito al oriente de La Loma, allí se compone por areniscas gris clara, semiconsolidadas, cuarzosas, de grano medio a grueso, con estratificación cruzada, intercaladas con conglomerados de cantos de 3 cm de diámetro, compuestos por cuarzo ahumado en matriz arenosa, areniscas con costra ferruginosa y arcillolitas. Su espesor varía entre 160 y 400 m al este de La Loma y reposa discordante sobre el Terciario Inferior. En el pozo El Paso-1 se reportan 619 m (García, 1990).

3.3 REGION NORTE DE LA CORDILLERA ORIENTAL

Corresponde a la parte mas septentrional de la Cordillera Oriental, conformada por rocas metamórficas, ígneas y sedimentarias cuyas edades varían desde el Precambrico hasta el Terciario.

3.3.1. Rocas metamórficas. Son rocas de alto a bajo grado de metamorfismo representadas por las unidades Neiss de Bucaramanga, Orteneiss, y Metasedimentos de la Quebrada La Virgen.

Neiss de Bucaramanga (pDb). Se presenta a lo largo del limite oriental con el departamento de Norte de Santander y desde el sureste de la localidad El Burro hasta cerca del corregimiento de Las Vegas, sobre la carretera troncal de Oriente. Esta compuesto por una secuencia metasedimentaria de alto grado de metamorfismo, que consiste en paraneiss pelítico, neiss calcáreo, neiss horblendico, mármol, y zonas de migmatitas. Su edad fué establecida como Precámbrica.

Ortoneiss. (pDo). Se encuentra en la margen occidental del río San Alberto y el suroeste de la población de Río de Oro. Esta formado por neiss biotíticos y anfibolicos y neiss cuarzo-feldespáticos con biotita. Localmente presenta abundantes granates. Según Ward y Otros (1973) su edad va del Devónico Inferior al Ordoviciano o podría ser parte del Precámbrico.

Metasedimentos de la Quebrada La Virgen (Pzmv). Aparecen en el cauce medio y bajo de la quebrada La Virgen situada al noreste del municipio de Pelaya. Se trata de una secuencia de metareniscas, metalimolitas, filitas y metaconglomerados. Esta secuencia tiene un grado muy bajo de metamorfismo con un espesor que puede superar los 2000 m. Aflora además al oriente de la falla de Bucaramanga donde se divide en dos bloques de gran extensión y al oriente de la Jagua de Ibirico. Probablemente pertenece al Silurico.

3.3.2. Rocas Igneas. Comprende las rocas intrusivas y volcánicas cuya edad varía del predevónico al Cretáceo Inferior. Las rocas intrusivas se han identificado como Diorita, Tonalitas, Rocas Graníticas y Complejo Intrusivo-Extrusivo. Las rocas volcánicas están representadas por Riolitas.

Diorita (pDd). Se considera como la roca plutónica más antigua del área, localizada al occidente del municipio de Rio de Oro. Es considerada como una metadiorita asociada al Neiss de Bucaramanga con evidencias de metamorfismo dinámico. Daconte y Salinas (1980) la sitúan en el Ordoviciano.

Tonalita (TRt). Granito (Jg) y Cuarzomonzonita (Jc). Afloran al oeste de la falla de Bucaramanga, al oriente de la localidad de El Besote y al noreste de San Pablo respectivamente. Su edad va del Triásico al Jurásico. Al Norte-nororiente de Chimichagua, formando

parte de la zona plana se encuentran pequeños afloramientos de roca intrusiva, muy meteorizada, que parece corresponder a una cuarzodiorita.

Complejo Intrusivo - Extrusivo (Jci). Corresponde a una fase intrusiva cuya composición predominante es cuarzo monzonítica y una serie de etapas de volcanismo efusivo-explosivo principalmente de carácter riolítico. Aflora en el límite con el departamento de Norte de Santander. La unidad incluye material piroclástico con presencia de toba, brechas y aglomerados. Diques de diabasa y basalto se encuentran dentro de este complejo, al cual se le asigna una edad Juratriásica.

Riolitas (Jr). Se presenta en el borde occidental de la zona montañosa entre la localidad de Minas y la Carretera Aguachica - Río de Oro. Aparentemente son rocas intrusivas y extrusivas formadas por riolitas afaníticas, brechosas y localmente aglomerados volcánicos y riodacitas. Su edad corresponde al Cretáceo Inferior.

3.3.3 Rocas Sedimentarias. Corresponden a unidades cuya edad está comprendida entre el Devónico y el Terciario, representadas por: Formación Floresta, la Formación Bocas, la unidad Quinta Volcanastica, la unidad Conglomerática de Arenal y las formaciones Tablazo, Simití, La Luna y Algodonal.

Formación Floresta (Df). Esta localizada sobre el límite con el departamento de Norte de Santander, al oriente del municipio de Pelaya. Se compone hacia la base por areniscas cuarzosas de grano fino a grueso, compactas, con delgadas intercalaciones arcillosas. También presenta lentes de lutitas negras, calizas y areniscas calcáreas con mucho contenido de pirita. Hacia el techo aparece un conglomerado con guijos de cuarzo lechoso y cuarcita y encima areniscas cuarzosa y arcillolita roja. Pertenece al Devónico Medio.

Formación Bocas (Jb). Aflora al norte del municipio de San Alberto y al oriente del municipio de Aguachica. Se encuentra constituída por limolitas con delgadas intercalaciones de areniscas de grano fino, ligeramente calcáreas, lutitas y un conglomerado con guijos de caliza y lutita, duro y masivo. En la carretera Aguachica - Río de Oro aparece una alternancia de arenitas, lodolitas con interposiciones aisladas de caliza y algunas capas de tobas y lavas. Su edad la sitúan en el Jurásico Inferior.

Unidad La Quinta Volcanoclástica (Jqv). Se utiliza éste nombre informal para describir la secuencia volcanoclástica que se presenta entre la Formación Bocas y las formaciones cretácicas. Una característica de esta unidad es la de presentar rápidos cambios en su composición y textura tanto vertical como horizontalmente. Es la unidad mas ampliamente distribuída en la

parte central y sur del departamento, aflorando desde el sureste del municipio de la Jagua de Ibirico, prolongándose hacia el sur hasta cerca de la quebrada Torcoromita.

Esta unidad presenta hacia la base un conglomerado muy compacto con cantos de caliza, arenisca, rocas volcanicas y chert, con cemento calcáreo. A continuación se encuentran tobas, lodolitas y arenistas tobáceas alternadas con lapillitas, aglomerados, lodolita, conglomerados y lavas dacíticas. Hacia el techo afloran rocas efusivas seudo estratificadas de composición riolítica y riodacítica con esporádicas intercalaciones de tobas, lapillitas y aglomerados. Las facies de ésta unidad indican una sedimentación continental-epicontinental influenciada por un volcanismo explosivo andesítico ocurrido a finales del Jurásico Medio. El espesor es de aproximadamente 5000 m.

Unidad Conglomerática de Arenal (Jsa). En una secuencia conformada por una alternancia de areniscas conglomeráticas arcósicas, lodolitas y conglomerados polimícticos derivados de la remoción de rocas efusivas, que afloran en una pequeña franja localizada al oriente del municipio de Aguachica. Su edad se ha establecido indirectamente como Jurásica Superior, por sus relaciones con las unidades adyacentes.

Formación Tablazo (Kit): Se encuentra al norte del corregimiento de Ayacucho y sobre la carretera troncal de Oriente, al norte de Pelaya, formando una delgada franja. Esta representada por calizas duras con abundantes conchas de bivalvos e intercalaciones delgadas de lodolitas calcáreas que descansan en la base sobre un conglomerado con cantos de caliza, chert y cuarzo. Se le ha asignado una edad Aptiano Superior-Albiano Inferior.

Formación Simití (Kis): Aflora como una franja relacionada con la formación Tablazo, al noroeste del corregimiento de Ayacucho. Está compuesta por arcillolitas físiles con intercalaciones de areniscas y calizas en capas delgadas. Pertenece al Albiano.

Formación La Luna (Ksl): En la región del Macizo de Santander, la formación La Luna aflora al noreste de la población de La Mata y al norte del municipio de San Alberto. Está conformada por lodolitas calcáreas grises oscuras, calizas arcillosas grises oscuras con nódulos y concreciones calcáreas y con intercalaciones de calcarenitas y chert gris oscuro. En varios afloramientos se encuentra que la caliza es arenosa. Su edad va desde el Turoniano Inferior hasta el Santonismo (Ward y Otros, 1973).

Formación Umir (Ksu) y Grupo Real (Tmr): Estas unidades geológicas corresponden a la Formación Molino y a la Sedimentitas de Arjona respectivamente, descritas en las regiones Serranía de



Perijá y Planicie del Cesar respectivamente. En esta parte sur del departamento aparecen en el subsuelo y solo se visualizan en los cortes geológicos al ser reportados por las perforaciones petroleras.

Formación Algodonal (Tpa): Está restringida a pequeños afloramientos que se localizan cerca al límite con el departamento de Norte de Santander. Se encuentra formada por conglomerados poco consolidados con cantos de rocas metamórficas, ígneas y cuarzo lechoso en una matriz arenosa, con intercalaciones de arcilla. La formación es de origen continental y pertenece al Mioceno o a lo sumo al Plioceno. (Arias y Vargas, 1980).

3.4 REGION PLANICIE DEL CESAR

Está región corresponde a la parte plana y semiplana del departamento del Cesar rellenada por sedimentos de edad Terciaria y Cuaternaria. En estos se incluyen: Las Sedimentitas de Arjona (Tpaa), Los Depósitos de Llanura Aluvial (Qlla), Abanicos Aluviales (Qcal); Aluviones Recientes (Qal); Terrazas (Qt); depósitos fluviolacustres (Qfl) y Depósitos de Pendiente (Qp).

Sedimentitas de Arjona (Tpaa): Son rocas poco consolidadas asociadas a la denominada Fosa del Ariguaní y que afloran especialmente en el sector centro oriental del Departamento entre

las poblaciones de Chimichagua y Arjona. Se compone por arcillolitas, gris verdosas, amarillentas, y rojizas, a veces ligeramente arenosas. Tienen intercalaciones de arenisca gris amarillenta, grano fino a grueso, a veces conglomerático, poco cementada, de granos subredondeados, compuesta por Cuarzo, máficos, feldespato y mica, localmente tiene láminas de costras con óxidos de hierro. Localmente las arcillolitas tienen láminas, hasta de 3 cm de longitud, de yeso. Hacia el techo de la unidad hay algunas intercalaciones de arcillolitas calcáreas y de bancos delgados de calizas fosilíferas (bivalvos). Estas rocas están en posición casi horizontal en donde afloran.

Depósitos de Llanura Aluvial (Qlla): Corresponden a depósitos acumulados por las corrientes superficiales en la zonas planas y semiplanas de ésta región. Se caracterizan por una granulometría fina a gruesa compuesta por limos, arenas finas hasta gruesas y gravas. Entre la Sierra Nevada de Santa Marta y la Serranía de Perijá, el río Cesar es el principal aportante junto con sus afluentes. Al occidente de la Sierra el río Ariguaní y sus afluentes han originado un depósito limo-arenoso de gran potencia en la denominada fosa del Ariguaní.

En la parte aledaña al Macizo de Santander, este depósito se encuentra asociado a la cuenca del río Magdalena y su composición se deriva de rocas volcánicas, intrusivas, metamórficas y

sedimentarias, con una granulometría mas fina que en la parte norte. Su espesor es muy variable siendo mayor a los 100 m en el sector del Río Cesar entre Valledupar y Río Garupal, mínimo en alrededores de El Paso - La Loma - La Jagua y Arjona - Chimichagua (Menos de 25 m), lo mismo que en alrededores de Pailitas.

Por ser éste depósito de gran importancia hidrogeológica su descripción geológica se amplia en el capítulo de hidrogelogía.

Abanicos Aluviales (Qcal): Representan una disminución repentina en el poder de transporte de una corriente de agua, sobresaturada de sedimentos y escombros de muy diverso tamaño, a medida que pasa de un gradiente abrupto a uno suave, vaciando su carga rápidamente (Leet y Judson 1990, en Arias y Morales, 1994). Provienen de las tres regiones montañosas anteriormente descritas y por su importancia hidrogeológica su descripción geológica aparece ampliada en el capítulo de hidrogeología.

Aluviones Recientes (Qal): En su mayor parte corresponden a acumulaciones en zonas pequeñas y con delgados espesores que se han depositado en el fondo de los valles de algunos ríos y quebradas y en las sábanas donde de manera transitoria divagan y pierden energía dichas corrientes. En esta unidad se incluye el aluvión que aparece al sur de la quebrada Torcoroma que se extiende hasta el río San Alberto, límite con el departamento de Santander.

Su composición y textura es heterogenea, dependiendo del área de aporte de materiales y de las regiones de las corrientes que los han depositado. Su descripción geológica se amplía en el capítulo de hidrogeología.

Terrazas (Qt): Se encuentran al norte de Valledupar en los ríos Badillo, Seco, Guatapurí y Candela los cuales, nacen en la Sierra Nevada de Santa Marta. Están conformadas por cantos y bloques angulares y subredondeados de rocas intrusivas, volcánicas y limolitas rojas. En la Serranía de Perijá se observan con menores extensiones al suroriente de El Desastre, al oriente de Casacará y en la Jagua de Ibirico compuestas por gravas finas y cantos de rocas volcánicas y sedimentarias en una matriz areno-limosa. En la región del Macizo de Santander se observan pequeños niveles de terrazas no cartografiables a la escala del mapa geológico (Planchas No. 1 Norte y Sur).

Depósitos Fluviolacustres (Qfl): Aparecen en la zona suroccidental del departamento, asociados a las ciénagas y donde tiene influencia a la llanura de inundación del río Magdalena y la parte final del río Lebrija. Su composición dominante es de material limo-arcilloso, en ocasiones arenoso con intercalaciones de arcillas poco compactas.

Depósitos de Pendiente (Qp): El más importante está en el sector nororiental entre las poblaciones de Media Luna y El Desastre y tiene una pendiente de 8° hacia el W. Son acumulaciones producidas esencialmente por acción de la gravedad. Se componen de bloques subangulares a angulares, dentro de materiales lodosos, arcillosos y arenosos, con muy mala selección.

3.5. ESTRUCTURAS GEOLOGICAS

Los pliegues mas notorios en el área del departamento del Cesar están relacionados con la Región de la Serranía de Perijá por ser predominantemente sedimentaria, mientras que en las Regiones Sierra Nevada de Santa Marta y parte Norte de la Cordillera Oriental predomina una tectonica de bloques y fallas.

La Serranía de Perijá en general es un anticlinorio cuya núcleo esta formado por rocas paleozoicas y sus flancos por rocas Jurásicas cretáceas, las cuales se encuentran replegadas y falladas. Los pliegues mas importantes del área son el anticlinal y sinclinal que afectan a las rocas del Grupo Cogollo y a la unidad La Quinta Sedimentaria al oeste de la población de Manaure. Al Anticlinal de Becerril, presente en el subsuelo al oeste de la Jagua de Ibirico y cuyo núcleo lo constituyen rocas cretácicas. Los sinclinales de la Jagua y la Loma que afectan a la Formación

Los Cuervos de interés económico por su explotación carbonífera y a la Formación Cuesta.

En el departamento existen dos sistemas mayores de fracturamiento, el mas importante de dirección norte-noroeste dominado por la falla de Bucaramanga y otro de dirección noreste-suroeste a este-oeste, los cuales ponen de manifiesto una compleja tectónica de bloques. Las principales fallas correspondientes al primer sistema son las de Bucaramanga, Caracolicito, Garupal y Chimichagua y las del segundo la falla del río Cesarito, Media Luna, Chorro-Pital, San Diego-Cuatrovientos y Arenas Blancas. El trazo de estas fallas en la región correspondiente a la planicie del Cesar, esta cubierto por los sedimentos cuaternarios y ellas son principalmente de tipo inverso como lo muestra la interpretación hecha en cortes hidrogeológicos en la plancha 12.

INGEOMINAS

4. EVALUACION DE LA RECARGA POTENCIAL PROVENIENTE DE LA PRECIPITACION

4.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ÁREA

En el departamento del Cesar se pueden distinguir dos tipos de unidades orográficas: la montañosa y la de tierras bajas. La primera está representada por La Sierra Nevada de Santa Marta, La Serranía de Perijá y la parte norte de la Cordillera Oriental y la segunda, por las llanuras inundables o estacionalmente inundables de la depresión del río Magdalena y por las extensas llanuras centrales de los ríos Cesar y Ariguaní.

La Sierra Nevada de Santa Marta es la estructura montañosa más alta del país (sus alturas sobrepasan los 5.700 m.s.n.m.), de relieve muy escarpado, esta localizada al norte del departamento. En este sector nacen, entre otros, los ríos Ariguaní, Cesar y Guatapurí.

La Serranía de Perijá es la continuación de la cordillera oriental, que se extiende hacia el norte por el borde oriental del área y da origen a numerosos cursos de agua. Alcanza alturas hasta de 3.500 m.s.n.m., particularmente en el extremo nor-oriental del departamento (IGAC,1993).

Las tierras bajas son planos de inundación, periódicamente alimentados por desbordamiento de los ríos que aumentan la sedimentación y se caracterizan por un relieve plano-cóncavo y plano-convexo.

La parte sur del valle del río Cesar y tierras aledañas al río Magdalena se encuentran bajo los efectos de las inundaciones que durante varios meses dominan en estas zonas, debido a las crecidas del río Magdalena y al represamiento de las aguas del río Cesar y sus afluentes, lo que da origen a una serie de ciénagas, siendo de mayor importancia la de Zapatosa.

En el Departamento del Cesar se pueden encontrar varios tipos de clima, según la distribución de los pisos térmicos con diferente grado de humedad (clasificación climática de Caldas-Lang).

La mayor parte del departamento pertenece al piso térmico cálido (alturas hasta 1.000 m.s.m.n, temperatura media anual mayor de 24°C) con variaciones de clima que va desde cálido árido (áreas que se localizan en las cercanías de Valledupar, La Paz y San Diego, con precipitación anual menor de 1400 mm) hasta cálido semihúmedo (la franja alargada que comprende la llanura aluvial del río Magdalena desde la ciénaga Zapatosa hasta el extremo sur del departamento, con la precipitación anual que aumenta en el mismo sentido desde 1.900 mm hasta llegar a los valores superiores a

2.200 mm). El resto del departamento (con alturas menores de 1.000 m.s.n.m.) se identifica con el clima cálido semiárido (Eslava,1986).

Con el aumento de la altura en las vertientes de la Sierra Nevada de Santa Marta y la Serranía de Perijá se ve la presencia de los climas templado semihúmedo y templado húmedo (alturas entre 1.001 y 2.000 m.s.n.m., temperaturas mayores o iguales a 17.5°C), frío húmedo (alturas entre 2.001 y 3.000 m.s.n.m., temperaturas no inferiores a 12°C) y páramo bajo húmedo (áreas situadas sobre los 3.001 m.s.n.m. con las temperaturas en el intervalo de los 7°C a los 12°C) (Eslava,1986).

El Departamento del Cesar también se caracteriza por tener una relativa alta pluviosidad, especialmente en la Sierra Nevada de Santa Marta, donde la precipitación presenta valores entre 2.000 y 2.600 mm/año. Otra zona bastante húmeda es el suroccidente con una precipitación anual entre 1.900 y 2.200 mm. Las áreas más secas dentro del departamento son el valle del río Ariguaní (alrededor de Bosconia) y la parte alta del valle del río Cesar (zona de Valledupar) con valores de la precipitación menores a 1.400 mm/año.

INGEOMINAS

4.2. METODOLOGIA

El objetivo principal del análisis hidrometeorológico realizado para la zona de estudio es la estimación del potencial para la infiltración profunda o de recarga de los acuíferos, mediante la utilización del balance hídrico.

El balance hídrico es un análisis del ciclo hidrológico de un área determinada. Establece la relación entre las cantidades de agua entrantes y salientes y de esta manera estudia la variación de las reservas.

Igualmente el balance hídrico permite estimar algunos parámetros, que no pueden ser medidos directamente. El éxito de esta evaluación depende en un alto grado de la exactitud con la cual se determinan los parámetros involucrados en el balance.

La evaluación de la recarga se ejecutó empleando un modelo que contempla el balance hídrico de la superficie y el balance de humedad del suelo.

En lo referente a la dinámica del agua en el suelo y el cálculo de la evapotranspiración real, el modelo en mención conserva los conceptos expuestos por PENMAN-GRINDLEY (Shaw, 1983). Como se sabe, cada tipo de suelo tiene características físicas propias y de

acuerdo a estas una diferente capacidad de almacenamiento, regulando así la cantidad de agua disponible para la recarga, razón por la cual la zonificación de los suelos se utilizó como criterio de discretización del área estudiada para la realización de los balances de humedad del suelo.

El método toma la escorrentía directa para determinar la precipitación efectiva, que satisface cualquier déficit de humedad del suelo y que se convierte en recarga bajo condiciones de saturación. Además el modelo calcula la evapotranspiración real, la cual puede ser igual a la evapotranspiración potencial, cuando hay disponibilidad hídrica y las plantas pueden extraer agua libremente del suelo, o menor cuando hay restricción por estado deficitario.

Para la realización de los balances hídricos de superficie fue necesario determinar el comportamiento espacio-temporal de varios parámetros climatológicos, tales como la precipitación, la evapotranspiración potencial y la escorrentía directa y así poder obtener los valores ponderados de estos parámetros para las zonas con diferentes tipos de suelo.

4.3. PRECIPITACION

4.3.1. Información utilizada. En el Departamento del Cesar han funcionado durante períodos variables y no homogéneos,

INGEOMINAS

aproximadamente 60 estaciones meteorológicas de variadas categorías, instaladas y operadas por diferentes entidades.

En esta zona, al igual que en el resto del país, el período de observación, el sistema de medición, el procesamiento de los datos y la distribución de las estaciones han sido heterogéneas, lo cual dificulta determinar generalizaciones en algunas partes del área considerada.

Dados los fines de este estudio y para disponer de información comparable, se realizó un análisis preliminar de los registros de estaciones pluviométricas existentes, eliminando las estaciones con registros de corta duración y datos sospechosos en su calidad. Después se analizó la posibilidad de homogeneizar las series seleccionadas de datos pluviométricos y se eligió el período 1968-1986, para el cálculo de los parámetros característicos y de precipitación.

La complementación y la extensión de las series analizadas, se obtuvo mediante regresiones lineales a nivel mensual y el método de proporciones. Su depuración, verificación de la consistencia y homogeneidad se realizó aplicando el análisis de dobles masas, durante el cual se detectó irregularidad en los registros de algunas estaciones. De tal manera que finalmente se seleccionaron 23 estaciones para el análisis estadístico de la precipitación.

Sus coordenadas, los períodos de registro y otras características se presentan en la Tabla No. 1 y su localización en la Plancha No. 2. Los registros de las estaciones en mención obtenidos del banco de datos del HIMAT (hoy IDEAM), se pueden consultar en el Anexo A.

Utilizando la información de las series completadas y corregidas, se llevó acabo la estimación de las principales características, que describen el comportamiento del parámetro en mención, y que permiten, para cualquier punto del área estudiada, obtener la información referente a esta variable meteorológica, por ejemplo: precipitación media multianual, precipitación anual para los años húmedo y seco o la distribución de la precipitación durante el año.

4.3.2. Precipitación media multianual. Para su presentación espacial fue elaborado el mapa de isoyetas a escala 1:750.000 (Plancha No. 2), con base en los valores de precipitación media multianual (1968 - 1986), los cuales se resumen en la Tabla No. 2, y utilizando la técnica de interpolación lineal de Kriging. Para la aplicación de la técnica de Kriging se ha utilizado el software llamado GEOPACK.

Teniendo en cuenta el origen de las lluvias (orográfico o convectivo), en el área se observan varias zonas con un comportamiento espacial de la precipitación bien definido.

INGEOMINAS

TABLA No. 1. ESTACIONES METEOROLOGICAS

No.	ESTACION	CODIGO	CATEGOR	MUNICIPIO	COORDENAD		ALTITUD	FECHA	P MULTIANU
					NORTE	ESTE	m.s.n.m	INSTALACI	(1968-1986)
1	Sarachul	2801013	PM	Valledupar	1047	7324	1560	ABR - 1968	2854.3
2	Atanquez	2801036	PM	Valledupar	1042	7322	800	ABR - 1959	1714.9
3	Patillal	2801009	PM	Valledupar	1043	7313	450	DIC - 1962	1241.3
4	V. Carmelita	2801014	PM	Valledupar	1032	7318	450	SEP - 1968	1509.2
5	Cuevas	2804017	PM	Valledupar	1028	7334	1260	JUN - 1963	1960.3
6	Pueblo Bello	2804501	PM	Valledupar	1022	7338	1000	FEB - 1954	1979.9
7	Pueblo Bello	2804001	PM	Valledupar	1025	7335	1000	ENE - 1963	2171.2
8	Callao	2803502	PM	Valledupar	1023	7314	110	MAR - 1968	1078.7
9	El Rincón	2802502	PM	San Diego	1016	7310	350	FEB - 1964	1314.7
10	Pavas	2804006	PM	Bosconia	1004	7353	150	ENE - 1963	1428.7
11	Chimilaima	2804020	PM	Bosconia	1004	7346	120	AGO - 1962	1191.6
12	Santa Teresa	2802044	PM	Agustin Codazzi	0957	7318	80	ABR - 1959	1539.9
13	Los Llanos	2802023	PM	Becerril	0944	7318	100	SEP - 1962	1582.2
14	La Loma	2502028	PM	Chiriguana	0937	7336	30	OCT - 1963	1535.3
15	Jagua	2502023	PM	Jagua de Ibirico	0935	7317	170	AGO - 1963	2041.7
16	Astrea	2502022	PM	Chimichagua	0930	7359	50	ABR - 1962	1541.2
17	Canal	2502024	PM	Chimichagua	0923	7354	70	MAR - 1963	1438.0
18	Rincón Hondo	2502026	PM	Chiriguana	0924	7330	100	MAR - 1963	1958.8
19	Palmariguaní	2804007	PM	Bosconia	0956	7357	80	ENE - 1963	1306.6
20	Saloa	2502027	PM	Chimichagua	0912	7343	90	ABR - 1963	1946.4
21	Curumaní	2502025	PM	Curumaní	0912	7333	100	MAR - 1963	1830.6
22	Tamalameque	2502159	PM	Tamalameque	0852	7349	33	NOV - 1979	1982.9
23	Pto. Mosquito	2321001	PM	Gamarra	0812	7345	90	FEB - 1960	2220.9



En el norte, hacia la Sierra Nevada de Santa Marta, en la margen derecha del río Cesar la precipitación anual asciende con la elevación desde 1.500 mm hasta valores mayores de 2.600 mm. También se observa un incremento de la precipitación en la parte baja de la cuenca del río Cesar (margen izquierda) hacia la Serranía de Perijá. Este aumento se extiende por toda la zona del río Magdalena hasta el extremo suroccidental del departamento llegando a valores mayores de 2.200 mm/año.

Además se destacan dos zonas secas; una, en el valle del río Ariguaní alrededor de Bosconia y otra, en la parte alta del valle del río Cesar al norte del municipio de Agustín Codazzi, ambas con precipitación anual inferior a 1.400 mm.

4.3.3. Precipitación de los años húmedo y seco. Dado que la lluvia es un elemento meteorológico de carácter aleatorio y varía tanto en el espacio como en el tiempo, conviene conocer su valor probable para los años tipo (húmedo y seco). Estos años se determinan a partir de las leyes estadísticas de distribución y normalmente las probabilidades correspondientes se definen según el objetivo del estudio.

A partir de las series completadas y homogeneizadas se efectuó el análisis estadístico de los totales anuales de la precipitación, obteniéndose los descriptores estadísticos de cada serie tales

como la media (P), el coeficiente de variación (Cv) y la desviación estandar (σ) (Tabla No. 2), los cuales sirven como guía para seleccionar la función de distribución que más se ajuste a la muestra de datos.

El Cv es la medida de la variación relativa de una variable y si tenemos en cuenta que este parámetro es adimensional, se puede utilizar como parámetro de regionalización, que es muy útil en las áreas con la información deficiente.

Observando la Tabla No. 2, se puede notar que la variabilidad de la precipitación en el área va desde el grado bajo hasta el moderado (Cv esta comprendido entre 0.13 y 0.42), lo cual indica la existencia de zonas con diferente comportamiento de este parámetro con el tiempo. Realizando un análisis más detallado de los valores Cv, se destacan varias zonas, donde este parámetro es bastante similar para cada una de ellas : la cuenca del río Ariguaní, la parte norte del área correspondiente a las cuencas alta y media del río Cesar, la zona central que comprende la parte baja de la cuenca del río Cesar, y la parte sur del Departamento.

Las series analizadas fueron ajustadas a la ley de distribución log-normal. El ajuste y los valores de la precipitación anual de diferentes probabilidades se presentan en el Anexo A. Se observa, que la diferencia entre los valores de la precipitación anual se

INGEOMINAS

TABLA No. 2. PARAMETROS ESTADISTICOS DE LA PRECIPITACION

No.	CODIGO	ESTACION	ALTURA m.s.n.m.	CV	σ	PRECIPITACION m.m.		
						AÑO SECO	PROMEDIO MULTIANU	AÑO HUMEDO
1	2801013	Sarachuí	1560	0.25	721.6	1898.1	2854.3	3980.7
2	2801036	Atanquez	800	0.42	728.7	915.8	1714.9	2692.6
3	2801009	Patillal	450	0.19	233.7	973.0	1261.1	1578.3
4	2801014	V. Carmelita	450	0.34	511.6	850.4	1509.2	2339.0
5	2804017	Cuevas	1260	0.17	338.6	1515.5	1960.3	2452.6
6	2804501	Pueblo Bello	1000	0.23	446.4	1446.0	1979.9	2577.4
7	2804001	Pueblo Bello	1000	0.41	891.4	1234.5	2171.2	3290.2
8	2803502	Callao	110	0.33	402.9	818.1	1232.6	1700.2
9	2802502	El Rincón	350	0.17	217.7	1044.1	1314.7	1609.7
10	2804006	Pavas	150	0.24	345.9	1017.2	1428.7	1892.9
11	2804020	Chimilaima	120	0.13	158.1	1004.3	1191.6	1390.7
12	2802044	Santa Teresa	80	0.21	327.6	1139.1	1539.9	1987.5
13	2802023	Los Llanos	100	0.26	409.0	1095.6	1582.2	2136.4
14	2502028	La Loma	30	0.29	437.7	1032.3	1535.3	2110.2
15	2502023	Jagua	170	0.29	587.1	1460.8	2041.7	2679.7
16	2502022	Astrea	50	0.24	371.1	1048.9	1541.2	2115.4
17	2502024	Canal	70	0.3	430.1	861.8	1436.0	2147.2
18	2502026	Rincón Hondo	100	0.29	558.4	1297.4	1957.8	2721.1
19	2804007	Palmiriguaní	80	0.22	282.3	964.5	1306.6	1686.7
20	2502027	Saloa	90	0.29	565.3	1311.3	1951.0	2695.5
21	2502025	Curumaní	100	0.21	391.3	1374.2	1830.8	2333.5
22	2502159	Tamalameque	20	0.31	604.0	1181.0	1921.4	2806.0
23	2321001	Pto. Mosquito	90	0.42	939.4	1233.2	2220.8	2402.2

hace notoria para las probabilidades o muy altas, o muy bajas, por lo cual se determinaron las probabilidades del 10% y 90% de excedencia para los años húmedo y seco respectivamente. Los valores de precipitación para los años húmedo y seco en las estaciones en consideración se presentan en la Tabla No. 2.

A partir de estos datos fueron elaborados los mapas de isoyetas para los años húmedo y seco (Planchas Nos. 3 y 4), indicando que la variación espacial de la precipitación es de carácter similar al mapa de isoyetas medias multianuales, con las diferencias, desde luego, que aparecen en cuanto a los valores de precipitación según el tipo de año. Así por ejemplo los valores de la precipitación anual en el área para el año húmedo varían entre 1600 y 3600 mm/año y para el año seco entre 900 y 1800 mm/año.

4.3.4. Distribución de la precipitación durante el año. Para los fines de este estudio la distribución de la precipitación dentro del año es un aspecto muy importante, ya que esta define en un alto grado la disponibilidad de agua para la recarga de los acuíferos.

El análisis de este aspecto se adelantó elaborando gráficas que indican la distribución porcentual de las cantidades mensuales de precipitación durante el año (Figuras No. 3a, 3b, 3c, 3d y 3e).

INGEOMINAS

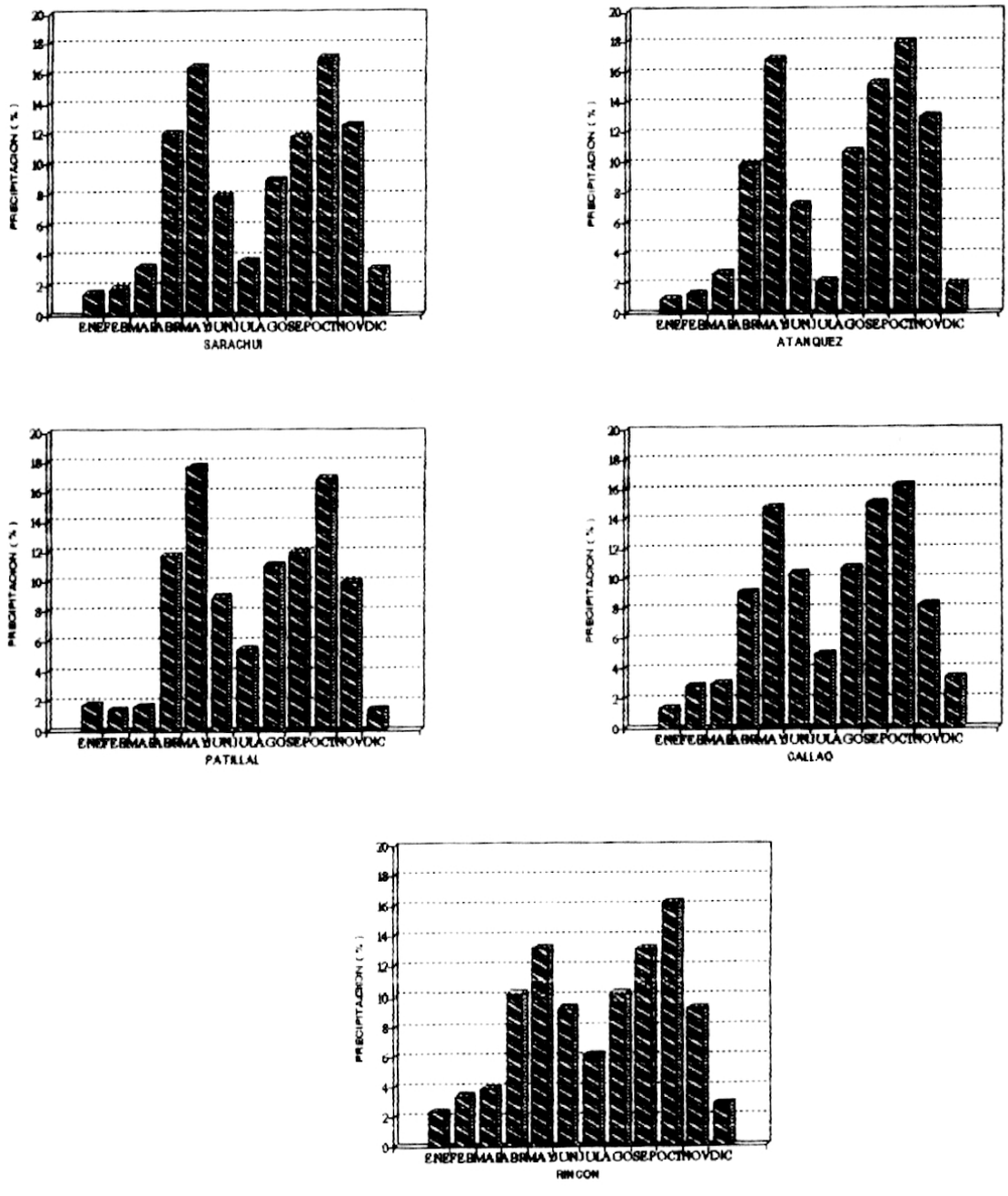


FIG. NO. 3a DISTRIBUCION ESTACIONAL DE LA PRECIPIACION

INGEOMINAS

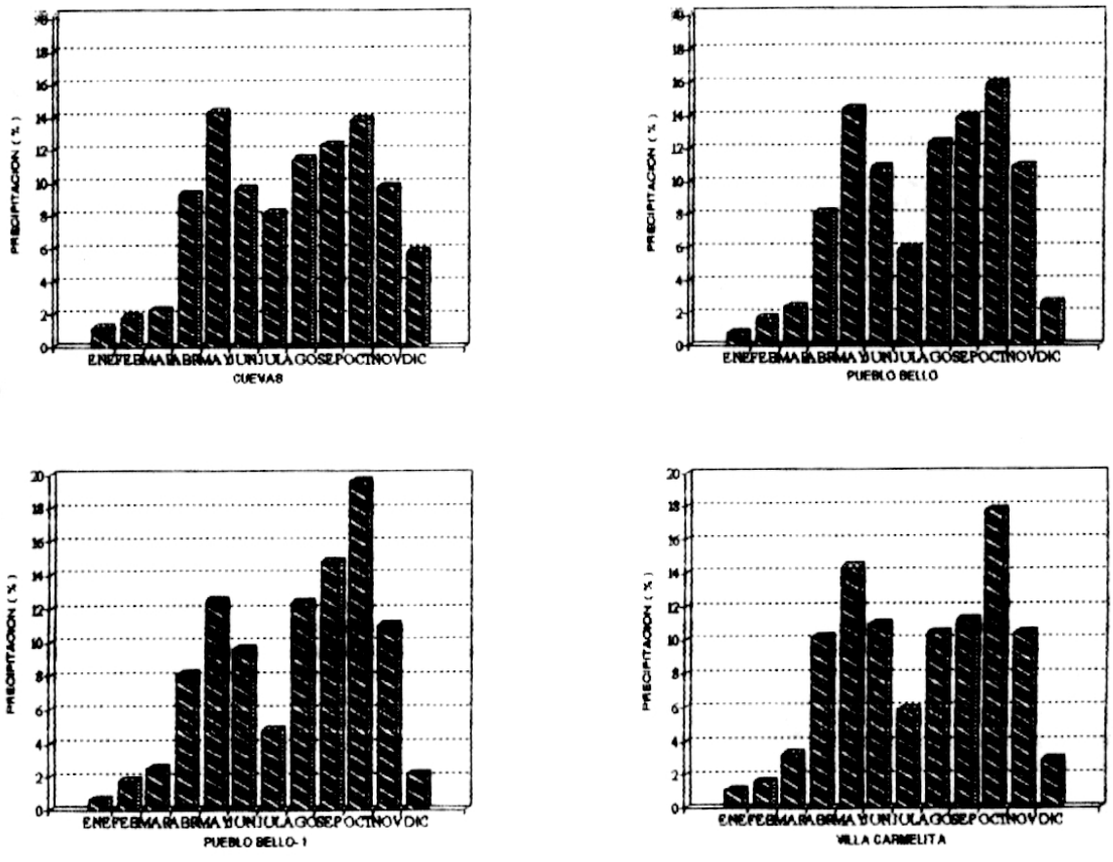


FIG. No. 3b DISTRIBUCION ESTACIONAL DE LA PRECIPITACION

INGEOMINAS

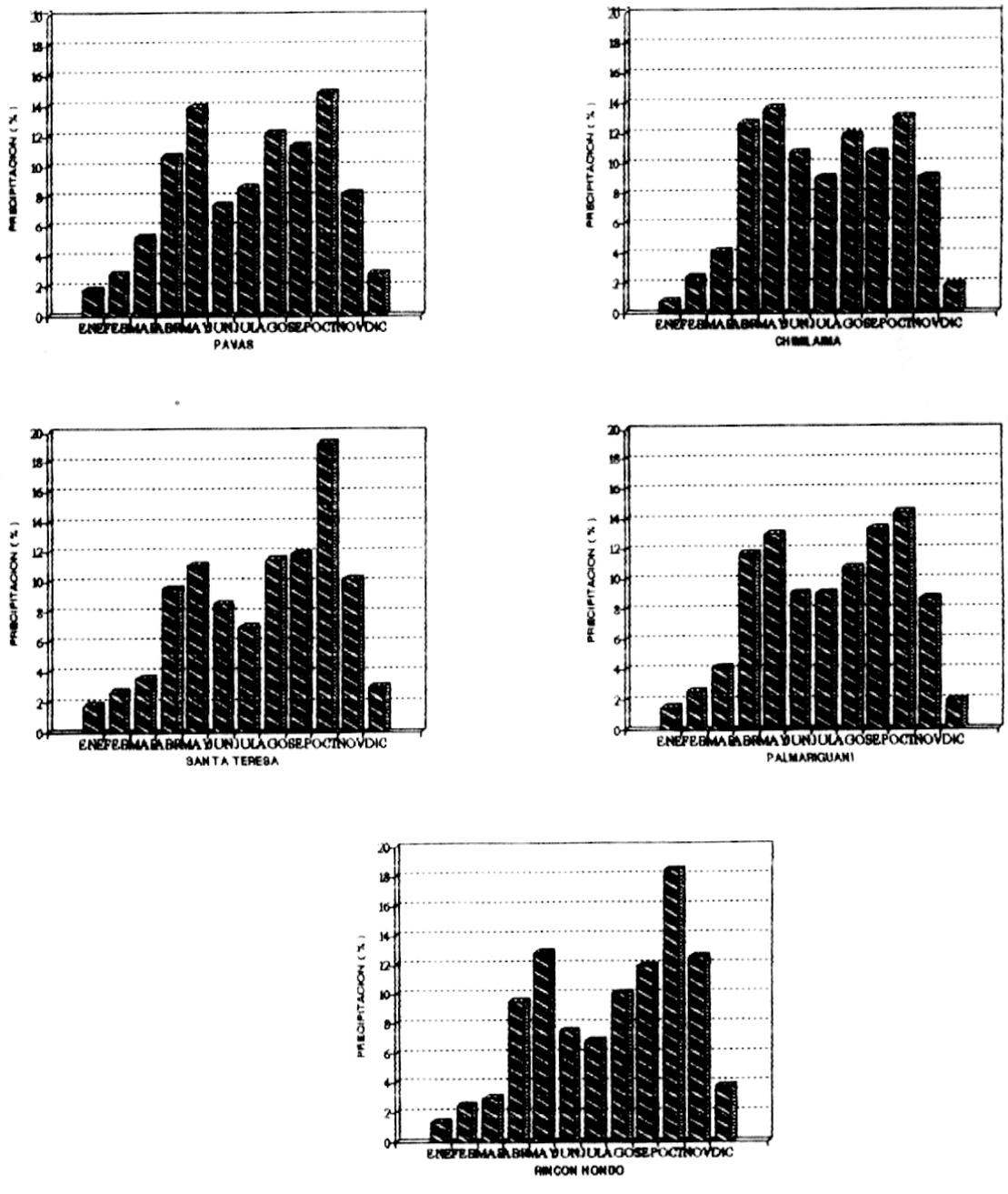


FIG. No. 3c DISTRIBUCION ESTACIONAL DE LA PRECIPITACION

INGEOMINAS

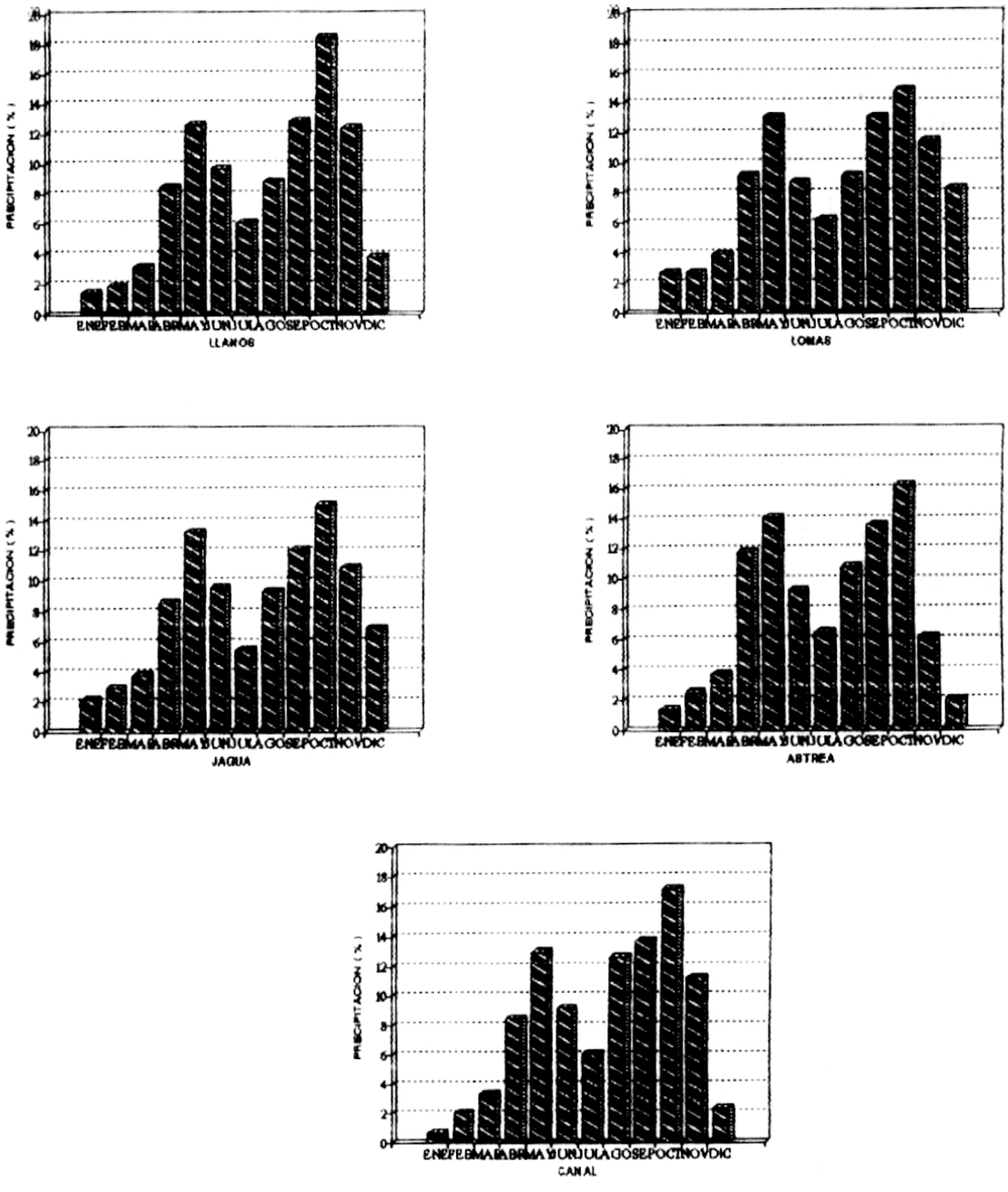


FIG. No. 3 d DISTRIBUCION ESTACIONAL DE LA PRECIPITACION

INGEOMINAS

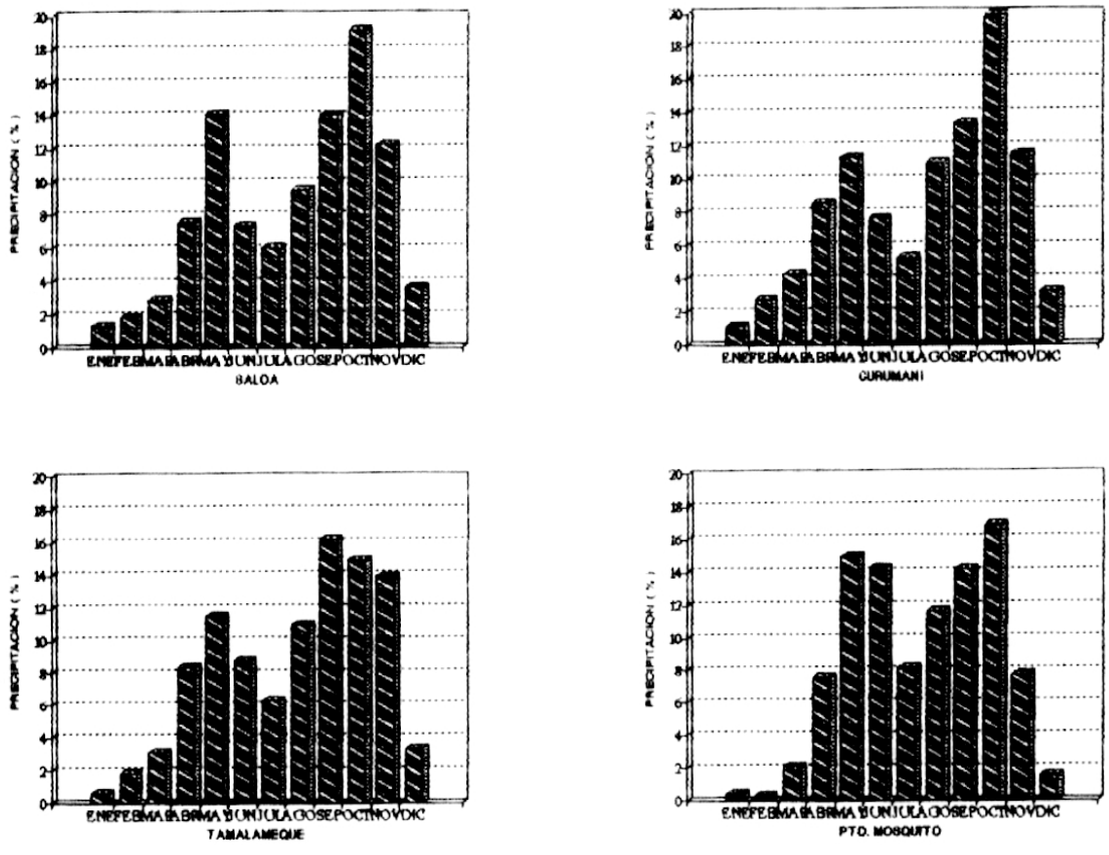


FIG. No. 3 e DISTRIBUCION ESTACIONAL DE LA PRECIPITACION

TABLA No. 3 DISTRIBUCION ESTACIONAL DE LA PRECIPITACION (%)

No.	ESTACION	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGOS	SEP	OCT	NOV	DIC
1	Sarachui	1.48	1.76	3.25	12.05	16.47	7.84	3.64	8.93	11.82	17.08	12.57	3.09
2	Atanquez	1.00	1.34	2.66	9.88	16.90	7.20	2.12	10.70	15.27	17.98	13.06	1.90
3	Patillal	1.77	1.41	1.67	11.72	17.70	8.94	5.50	11.06	11.97	16.91	9.92	1.43
4	V. Carmelita	1.08	1.58	3.24	10.20	14.36	10.98	5.88	10.41	11.21	17.78	10.41	2.87
5	Cuevas	1.20	1.83	2.27	9.32	14.33	9.63	8.22	11.47	12.33	13.82	9.77	5.83
6	Pueblo Bello	0.79	1.70	2.41	8.10	14.48	10.81	5.92	12.35	13.92	15.92	10.91	2.64
7	Pueblo Bello	0.67	1.72	2.53	8.10	12.54	9.61	4.82	12.38	14.79	19.62	11.05	2.16
8	Callao	1.35	2.81	3.00	9.06	14.78	10.36	4.94	10.72	15.11	16.28	8.24	3.34
9	El Rincón	2.35	3.30	3.87	10.23	13.22	9.30	6.12	10.17	13.14	16.23	9.24	2.84
10	Pavas	1.77	2.85	5.30	10.67	13.89	7.43	8.62	12.17	11.37	14.88	8.20	2.84
11	Chimilaima	0.80	2.42	4.12	12.70	13.66	10.74	8.99	11.86	10.76	13.10	9.06	1.80
12	Santa Teresa	1.76	2.66	3.56	9.54	11.10	8.53	7.00	11.52	11.88	19.27	10.18	2.99
13	Los Llanos	1.44	1.88	3.17	8.50	12.66	9.74	6.14	8.85	12.89	18.52	12.42	3.80
14	La Loma	2.70	2.69	3.96	9.16	13.06	8.70	6.23	9.19	13.13	14.85	11.48	8.33
15	Jagua	2.18	2.90	3.76	8.59	13.30	9.59	5.44	9.35	12.06	15.05	10.87	6.89
16	Astrea	1.38	2.47	3.70	11.79	14.13	9.27	6.48	10.80	13.57	16.23	8.12	2.06
17	Canal	0.71	2.05	3.33	8.49	13.01	9.21	6.05	12.65	13.73	17.18	11.26	2.34
18	Rincón Hond	1.33	2.46	2.94	9.50	12.81	7.48	6.85	10.05	11.94	18.41	12.52	3.70
19	Palmariguani	1.47	2.54	4.10	11.69	13.02	9.03	9.05	10.75	13.35	14.43	8.66	1.91
20	Saloa	1.35	1.89	2.93	7.55	14.13	7.37	6.05	9.57	14.05	19.19	12.26	3.65
21	Curumani	1.15	2.72	4.32	8.53	11.32	7.69	5.26	11.00	13.39	19.82	11.55	3.25
22	Tamalamequ	0.63	1.83	3.12	8.34	11.56	8.83	6.30	10.97	16.23	14.91	13.93	3.26
23	Pto. Mosquito	0.45	0.33	2.11	7.55	14.98	14.28	8.19	11.66	14.21	16.90	7.75	1.57

INGEOMINAS



Los valores porcentuales mensuales calculados para las 23 estaciones analizadas se presentan en la Tabla No. 3. El análisis de dicha información indica, que aún cuando ciertos detalles son diferentes y específicos, en la variación de la precipitación dentro del año para las estaciones en mención, las características esenciales de la distribución son semejantes para toda el área.

Este tipo de distribución es bimodal y se caracteriza por la presencia de dos períodos secos y dos períodos húmedos. En todo el departamento se destaca una marcada temporada de escasez de lluvias, que abarca el período de diciembre a marzo con un valor entre 4.5% (estación Pto.Mosquíto) y 17.1% (estación La Loma) del total anual de precipitación. La otra temporada relativamente seca, menos fuerte y transicional entre los dos períodos lluviosos, corresponde al mes de julio, con las lluvias entre 2.1% (estación Atanquez) y 9.1% (estación Palmariguaní).

Los períodos húmedos se extienden de abril a junio, el primero, y de agosto a noviembre, el segundo con el 27.5-38.4% (Curumaní-Patillal) y 44.7-57.8% (Chimilaima-Pueblo Bello) respectivamente, de la cantidad anual de lluvias. Normalmente, enero es el mes más seco y octubre el más húmedo con 1.3% y 16.7% en promedio de todas las estaciones.



4.4. EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL

La evapotranspiración es uno de los integrantes más importantes del balance hídrico y también el menos conocido. Representa la cantidad de agua saliente del área hacia la atmósfera por una combinación de la evaporación física y de la transpiración de la vegetación.

La evapotranspiración depende fundamentalmente de las condiciones climáticas dadas por las características físicas de la atmósfera, ubicada cerca al suelo. Este fenómeno ocurre a la rata potencial, cuando es ilimitada la cantidad de agua suministrada por el suelo.

Para el cálculo de la evapotranspiración potencial (ETP), existen varios métodos empíricos; la mayoría de las fórmulas han sido obtenidas en condiciones climáticas diferentes a las tropicales, por eso es necesario proceder a su evaluación para seleccionar el método más adecuado.

Una forma rápida de obtener la evapotranspiración potencial es estimarla a partir de la evaporación del tanque tipo A (EV).

$$ETP = 0.75\ EV$$

No obstante, este procedimiento debe considerarse como un paso preliminar, puesto que solamente se llegará a una evaluación mejor

cuando se disponga de información directa y confiable de los lisímetros.

4.4.1. Información utilizada. A pesar de que el área estudiada actualmente cuenta con 18 estaciones climatológicas, solo se pudieron recopilar los registros de 9 estaciones para estimar la ETP (Tabla No. 4).

Sin embargo, la información climatológica suministrada por el HIMAT, referente a las estaciones mencionadas es incompleta y con muchas interrupciones, lo cual no permitió hacer ningún tipo de tratamiento, por lo tanto este parámetro se calculó utilizando la información climatológica de diferentes períodos de registro, la cual se resume en la Tabla No. 5. Esto no afecta en un grado significativo los resultados, ya que las variables involucradas en las fórmulas presentan poca variación año tras año.

4.4.2. Cálculo de la evapotranspiración potencial. La ETP anual fue calculada utilizando los métodos de CHRISTIANSEN (según las recomendaciones de Castro y Guzmán, 1985) y THORNTHWAITE (el método más accesible para estimar la ETP). Para las estaciones Hda.Centenario y La Llana la ETP se calculó únicamente con la fórmula de THORNTHWAITE, ya que estas estaciones carecen de los registros de brillo solar.

TABLA No.4. ESTACIONES CLIMATOLOGICAS E INFORMACION DISPONIBLE POR PERIODOS DE AÑOS

ESTACION	CODIGO	TIPO	MUNICIPIO	COORDENADA		ELEV	PARAMETRO					
				N	W	m.s.n.m.	T,C°	H,%	Br, horas	Tens, Mb	Veloc., m/seg	E, mm
PUEBLO BELLO	2804501	CO	VALLEDUPA	1022	7338	1000	57-87	57-87	57-87	57-87	año 1962	57-70
S.JOSE DE ORIENTE	2802504	CO	LA PAZ	1021	7303	850	75-86	75-86	75-86	75-86	72-81	77-84
EL RINCON	2802502	CO	SAN DIEGO	1016	7310	350	64-86	64-86	64-72	64-86	68-81	
MOTILONIA CODAZZI	2502507	AM	A. CODAZZI	1000	7315	180	73-86	73-86	73-86	73-86	75-85	73-86
HDA.CENTENARIO	2802509	CO	A. CODAZZI	0951	7316	100	79-86	79-86		79-86	71-84	
SOCOMBA	2802508	CP	BECERRIL	0943	7315	170	72-86	72-86	77-86	72-86	77-81	72-86
CHIRIGUANA	2502525	CO	CHIRIGUANA	0923	7336	40	73-86	73-86	79-86	73-86	73-84	78-86
AGUAS CLARAS	2321503	CO	AGUACHICA	0815	7337	208	73-88	73-87	73-91	73-87	73-84	73-88
LA LLANA	2319514	CO	SAN ALBERT	0744	7332	120	75-88	75-87		75-87	75-81	

T - Temperatura (°C)
H - Humedad relativa (%)
Br - Brillo Solar (horas/mes)
Tens - Tension de vapor (Mb)
Veloc - Velocidad de viento (m/seg)
E - Evaporacion (mm)

INGEOMINAS

TABLA No. 5 RESUMEN DE LA INFORMACION CLIMATOLOGICA PARA EL CALCULO DE LA ETP

PARAMETRO/ESTACION	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL	PERIODO
TEMPERATURA MEDIA, C°														
PUEBLO BELLO	20.7	21.3	21.9	21.5	21.2	21.4	21.6	21.4	21.0	20.8	20.7	20.3	21.2	73-86
S.JOSE DE ORIENTE	23.7	24.0	24.3	23.9	23.9	24.1	24.7	24.8	24.6	23.3	23.2	23.2	24.0	75-86
EL RINCON	26.1	26.9	27.4	27.4	26.4	26.3	26.7	26.4	25.9	25.6	25.8	25.5	26.4	73-86
MOTILONIA CODAZZI	29.0	29.9	30.3	29.4	28.6	28.5	29.1	28.8	27.9	27.2	27.5	27.8	28.7	73-86
HDA.CENTENARIO	27.5	27.8	28.1	27.9	27.6	27.7	27.9	27.8	27.5	27.2	27.0	27.5	27.6	79-86
SOCOMBA	28.2	28.9	29.1	28.3	27.3	28.1	28.7	27.9	27.0	26.4	26.6	27.7	27.9	72-86
CHIRIGUANA	28.5	29.2	29.4	28.8	28.4	28.2	28.7	28.5	27.8	27.3	27.6	27.8	28.4	73-86
AGUAS CLARAS	28.2	28.6	29.1	28.1	27.7	27.6	27.6	27.6	27.0	26.8	27.2	27.5	27.8	73-86
LA LLANA	27.4	28.4	28.9	28.2	27.9	27.8	28.0	28.2	28.3	27.5	27.4	28.0	28.0	75-86
HUMEDAD RELATIVA, %														
PUEBLO BELLO	74	72	73	81	84	83	82	83	85	85	83	79	80	73-86
S.JOSE DE ORIENTE	74	73	70	74	78	79	74	76	80	82	80	75	76	75-86
EL RINCON	68	64	66	69	74	77	73	75	77	79	77	72	73	73-86
MOTILONIA CODAZZI	62	57	62	67	70	71	66	68	78	80	75	67	69	73-86
HDA.CENTENARIO	70	68	72	80	83	80	75	77	80	81	82	72	77	79-86
SOCOMBA	65	63	66	74	83	79	74	74	80	84	81	72	75	72-86
CHIRIGUANA	69	68	71	73	77	78	76	78	82	81	82	79	76	73-86
AGUAS CLARAS	75	72	72	76	81	83	82	81	83	85	83	80	79	73-86
LA LLANA	79	79	76	79	80	81	80	80	82	82	84	81	80	75-86
BRILLO SOLAR, horas														
PUEBLO BELLO	8.5	7.8	6.7	6.2	5.6	5.7	6.8	6.3	5.7	5.4	6.2	8.0	6.6	73-86
S.JOSE DE ORIENTE	7.9	7.7	6.7	5.4	4.9	4.9	5.7	5.1	4.7	4.6	5.2	5.0	5.7	75-86
EL RINCON	7.9	8.9	7.5	5.8	4.4	5.0	6.1	5.5	4.8	5.0	6.0	7.3	6.2	64-72
MOTILONIA CODAZZI	9.1	8.6	7.9	6.3	6.1	5.7	6.9	6.5	5.7	5.8	7.3	7.7	7.0	73-86
SOCOMBA	8.0	7.6	6.3	6.1	5.3	6.8	6.7	5.6	5.2	5.2	6.9	6.6	6.4	77-86
CHIRIGUANA	8.7	8.3	7.4	6.3	5.6	6.6	7.4	6.6	6.0	5.4	6.6	7.1	6.8	79-86
AGUAS CLARAS	7.8	7.2	5.9	4.8	4.7	5.5	6.3	5.9	5.2	4.7	4.9	7.1	5.8	75-86
TENSION DE VAPOR, Mb														
PUEBLO BELLO	17.4	17.4	18.4	19.8	21.1	21.1	20.4	20.8	21.0	20.9	20.2	18.3	19.7	73-86
S.JOSE DE ORIENTE	23.0	21.4	21.2	21.3	23.2	23.3	21.1	22.0	22.3	22.6	23.0	21.1	22.1	75-86
EL RINCON	22.6	22.3	23.6	24.9	25.6	26.4	25.5	25.7	25.9	25.9	25.3	23.5	24.8	73-86
MOTILONIA CODAZZI	23.6	22.8	25.9	26.7	26.9	27.5	26.2	27.6	28.4	27.8	27.0	23.6	26.2	73-86
HDA.CENTENARIO	24.6	24.7	26.7	29.8	30.5	29.1	28.6	29.0	29.6	29.6	29.4	25.4	28.1	79-86
SOCOMBA	23.5	23.8	25.7	27.6	30.0	29.5	28.3	27.7	28.4	28.7	28.2	26.0	27.3	72-86
CHIRIGUANA	27.0	27.4	28.3	28.4	29.8	29.7	29.4	30.0	29.8	29.3	30.0	29.5	29.1	73-86
AGUAS CLARAS	28.4	28.0	28.3	28.6	30.0	30.6	30.2	29.6	29.2	29.5	29.7	28.9	29.3	73-86
LA LLANA	28.9	29.3	30.2	30.3	30.5	30.4	30.5	30.2	30.7	29.4	29.9	30.6	30.1	75-86
VELOCIDAD VIENTO, m/seg														
PUEBLO BELLO	0.5	0.4	0.5	0.4	0.3	0.5	0.7	0.7	0.5	0.4	0.5	0.8	0.5	1982
S.JOSE DE ORIENTE	0.8	1.1	0.8	1.0	0.9	0.9	0.9	0.9	0.8	1.2	1.0	1.1	1.0	72-81
EL RINCON	1.5	1.8	1.7	1.3	1.0	0.9	0.9	1.0	1.1	1.0	1.1	1.3	1.2	68-81
MOTILONIA CODAZZI	2.6	3.9	3.7	3.0	2.5	2.2	2.6	2.5	2.4	2.3	2.2	3	2.7	75-85
HDA.CENTENARIO	1.0	0.9	1.0	0.9	0.9	0.6	0.9	1.0	1.1	1.0	0.7	0.6	0.9	72-84
SOCOMBA	2.7	2.3	2.6	2.8	2.3	2.2	2.0	2.7	2.1	2.1	2.1	2.5	2.4	77-81
CHIRIGUANA	1.8	1.9	1.7	1.7	1.5	1.6	1.5	1.6	1.6	1.5	1.6	1.6	1.6	73-84
AGUAS CLARAS	1.8	2.1	2.0	1.8	1.4	1.4	1.4	1.6	1.6	1.5	1.5	1.6	1.6	73-84
LA LLANA	1.3	0.9	0.8	0.8	0.8	0.9	0.7	0.9	0.9	0.8	1.2	0.8	0.9	75-81

Los resultados de cálculo se presentan en la Tabla No. 6, donde se observa que la fórmula de THORNTHWAITE dio valores de la ETP bastante altos (exceptuando la estación Pueblo Bello), en comparación con los de evaporación, indicando una sobreestimación de la ETP.

En el caso de la fórmula de CHRISTIANSEN los resultados para algunas estaciones (Pueblo Bello, Chiriguaná y Aguas Claras) son incoherentes, posiblemente debido a que fueron calculados con los registros incompletos. Sin embargo, para el resto de las estaciones la mejor aproximación la dio la fórmula de CHRISTIANSEN.

4.4.3. Variación de la ETP con la elevación. Para la realización de los balances hídricos se requiere la estimación de la ETP en diferentes sitios del área estudiada, para lo cual fue necesario convertir los resultados puntuales de la ETP a una forma global.

La ETP disminuye con la altura debido a las variaciones de los parámetros climatológicos (temperatura del aire, brillo solar, humedad relativa y viento). Esta relación para la zona de estudio se determinó con base en los valores anuales de la ETP, calculados con la fórmula de CHIRSTIANSEN y corregidos según la relación entre la evaporación y la variable en mención (Tabla No. 6 y Figura No. 4), obteniendo la siguiente ecuación:

INGEOMINAS

TABLA No.6. VALORES DE LA ETP (mm) Y DE EVAPORACION (mm)

ESTACION	CHRISTIANSSEN		THORNTHWAITE		CORREGIDA		EVAPORACION*
	ETP	ETP/Ev	ETP	ETP/Ev	ETP	ETP/Ev	
PUEBLO BELLO	976	0.6	963	0.6	1143	0.8	1524
S.JOSE DE ORIENTE	1136	0.7	1219	0.8	1136	0.7	1600
EL RINCON	1336	0.7	1584	0.8	1336	0.7	1988
MOTILONIA CODAZZI	1864	0.8	2156	1.0	1864	0.8	2211
HDA.CENTENARIO			1865	0.8	1762	0.7	2350
SOCOMBA	1571	0.7	1934	0.9	1570	0.7	2235
CHIRIGUANA	1471	0.6	2074	0.8	1928	0.8	2570
AGUAS CLARAS	1299	0.6	1902	0.9	1628	0.8	2170
LA LLANA			1967	0.8	1743	0.8	2324

* Datos tomados de ITAMAR Y GUZMAN,1977

INGEOMINAS

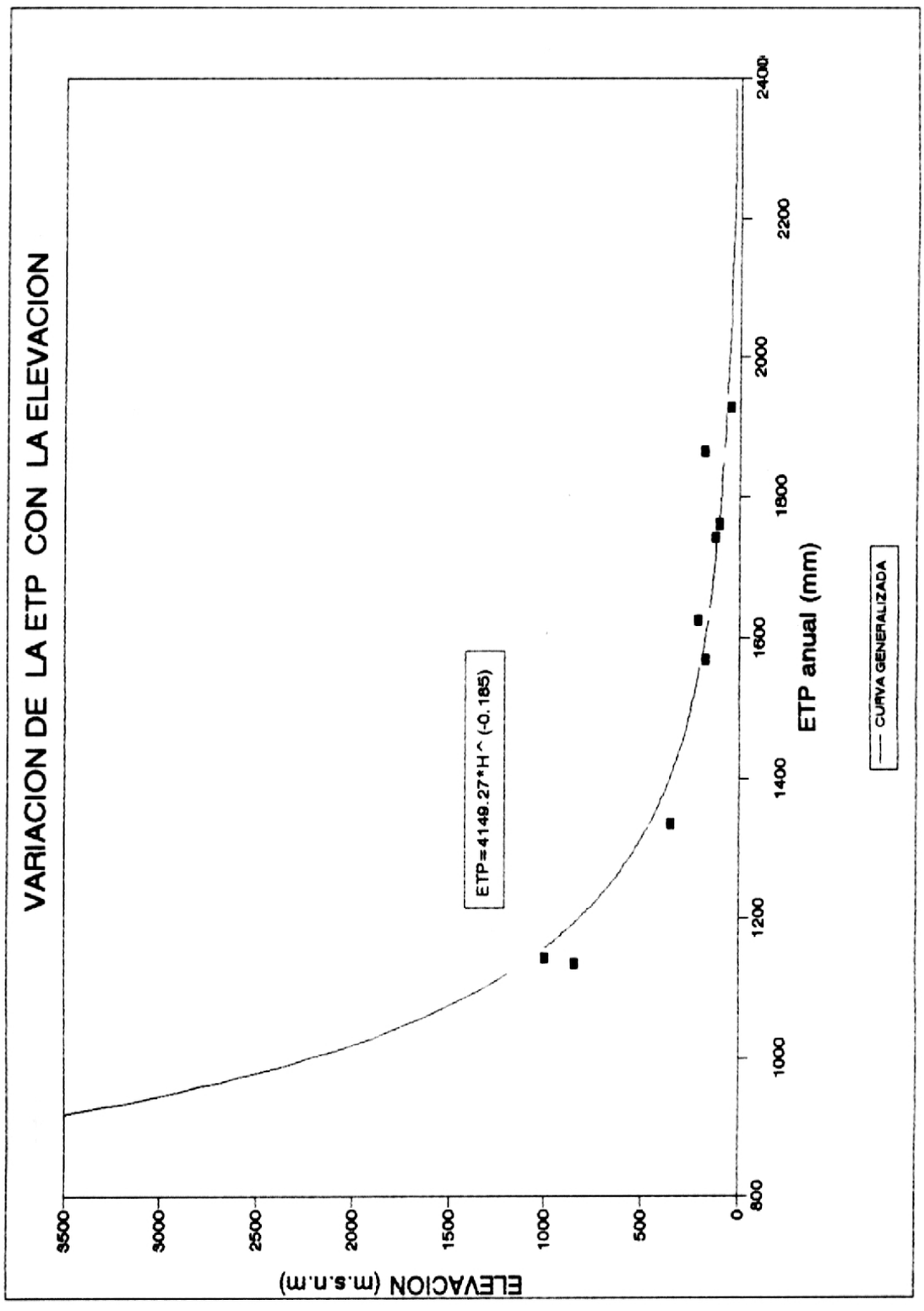


FIGURA Nº 4



$$ETP\ (mm) = 4149.27 * H^{-0.18}$$

donde :

H = elevación, m.s.n.m.

Empleando esta ecuación se puede estimar la ETP para diferentes sitios del área estudiada. Sin embargo, a pesar que esta relación es una aproximación válida, debe ser utilizada con precaución, teniendo en cuenta la limitación de la información utilizada en su obtención.

Del análisis de la Figura No. 4, la cual representa la curva generalizada de la relación entre la ETP anual y elevación, se destaca lo siguiente :

- El gradiente vertical de la ETP disminuye con la altura.

- La mayor variación de la ETP se presenta para las alturas menores de 1.000 m.s.n.m.

- En la región plana y semiplana del área estudiada (alturas menores de 200 m.s.n.m.) la ETP varia desde 1600 mm/año hasta los valores mayores de 2100 mm/año (en la zona lacustre).

- En las partes más altas de La Sierra Nevada de Santa Marta, La Serranía de Perijá y la Cordillera Oriental, la ETP presenta valores menores de 1000 mm/año.

TABLA No. 7 DISTRIBUCION ESTACIONAL DE LA ETP (% DE LA ETP ANUAL)

ESTACION	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
PUEBLO BELLO	9.6	9.1	10.2	8.3	7.3	7.5	9.1	8.7	7.3	6.9	7.1	8.8
S.JOSE DE ORIENTE	9.1	9.4	10.2	8.9	8.0	7.5	9.2	8.7	7.4	7.3	6.9	7.3
EL RINCON	9.5	10.8	11.5	9.2	7.2	6.8	8.3	7.9	7.0	6.7	7.0	8.2
MOTILONIA CODAZZ	9.4	10.3	11.3	8.6	8.0	7.0	8.9	8.5	6.6	6.3	6.8	8.2
CHIRIGUANA	9.9	9.9	10.6	9.0	7.6	7.7	8.8	8.5	7.2	6.8	6.7	7.4
AGUAS CLARAS	10.1	10.2	10.8	8.6	7.4	7.2	8.2	8.5	7.4	6.7	6.5	8.4

INGEOMINAS

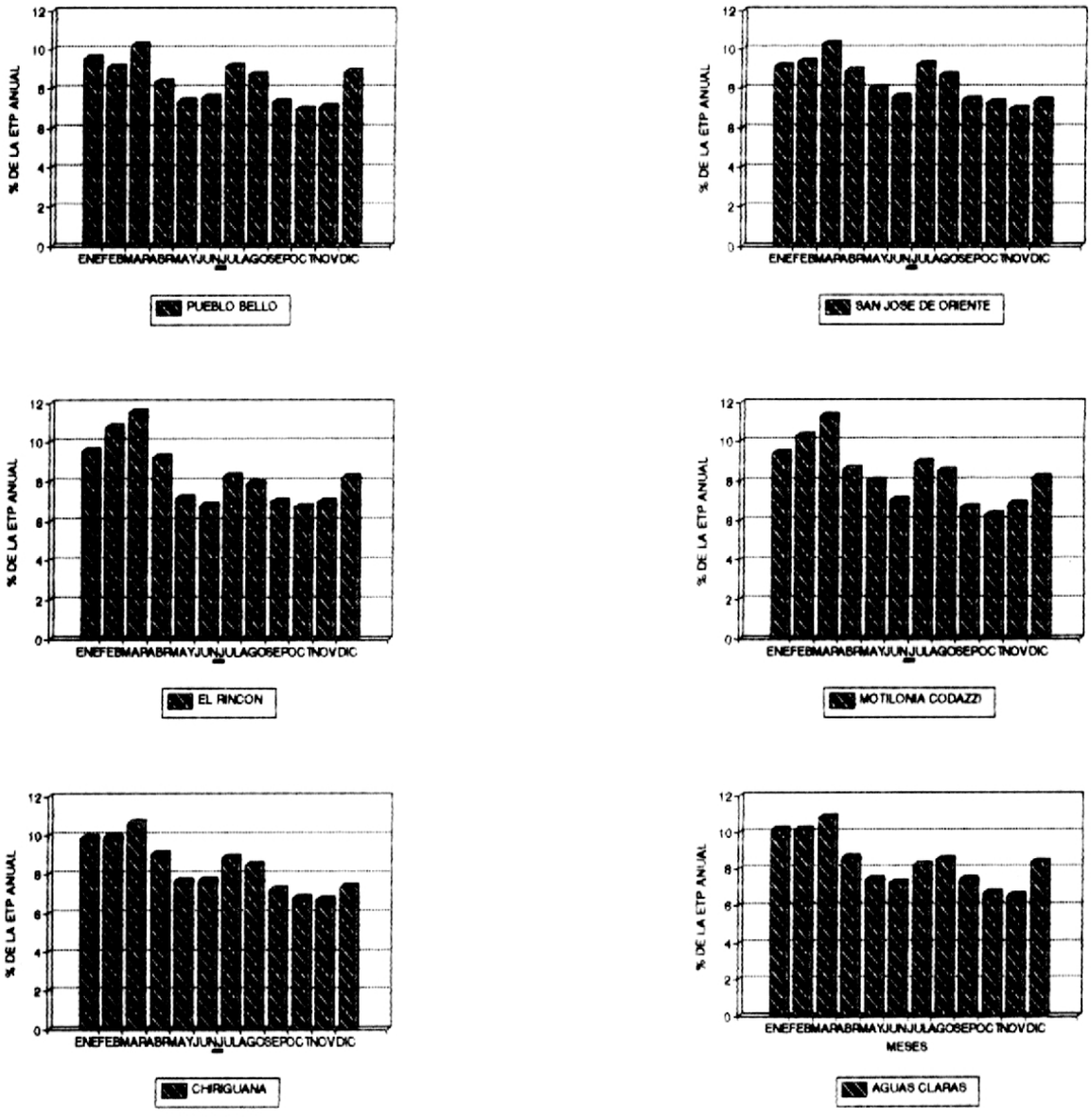


FIGURA No. 5 DISTRIBUCION ESTACIONAL DE LA ETP

realizar el ajuste de las curvas de frecuencia, de las series de la temperatura media anual del aire, en las estaciones Pueblo Bello, El Rincon y Aguas Claras.

4.5. ESCORRENTIA

4.5.1. Hidrografía. El área del estudio hace parte de las cuencas hidrográficas de los ríos Cesar y Magdalena(Plancha No. 5).

La cuenca del río Cesar se localiza al sureste de la Sierra Nevada de Santa Marta y al occidente de la Serranía de Perijá y pertenece casi en su totalidad al departamento del Cesar. Su área representa el 57.0% del total de la superficie departamental (IGAC,1993).

El sistema hidrográfico de esta cuenca está conformado por el río Cesar, que nace en la parte oriental de la Sierra Nevada de Santa Marta a una altura aproximada de 2.500 m.s.n.m. y una serie de afluentes representados por ríos, quebradas menores y arroyos, los cuales en su mayoría son estacionales.

El río Cesar, con una longitud de aproximadamente 300 kilómetros, atraviesa el área en dirección noreste-suroeste para desembocar prácticamente en la ciénaga de Zapatosa, la cual desagua al río Magdalena a la altura del municipio de El Banco a 33 m.s.n.m.

Los afluentes que descargan sobre la margen derecha del río Cesar, nacen en las estribaciones de la Sierra Nevada de Santa Marta y en general corren en dirección sureste. Entre ellos se destacan los ríos Badillo, Guatapurí, Cesarito , Gurupal y Ariguaní.

Los tributarios de la margen izquierda provienen del costado occidental de la Serranía de Perijá y siguen un curso suroeste. Estas corrientes en general son menos importantes que las de la margen derecha, en cuanto a la magnitud de caudal y longitud se refiere. Los más importantes son los ríos Manaure, Jobo, Magiriaimo, Fernambuco, Sicarare, Casacará, Calenturitas y Animito.

La parte de la cuenca del río Magdalena que corresponde al departamento, se localiza en el sur de este, cubre las áreas aledañas al río Magdalena hasta Serranía de Perijá y representa el 31% del total de la superficie departamental (IGAC,1993). A diferencia de la cuenca del río Cesar, esta cuenca no presenta ríos de gran importancia. El sistema de drenaje lo conforman numerosas quebradas provenientes de la Serranía de Perijá. En el extremo sur del área del estudio se localiza el río Lebrija, afluente del río Magdalena, del cual corresponde al departamento del Cesar su recorrido final.

Una parte hidrológicamente importante del área del departamento ocupa la zona lacustre, conformada por numerosas ciénagas, cuyas

formas y tamaños están en función del nivel del agua en el sistema. Estos cuerpos de agua desempeñan una función importante (además de ser grandes recolectores de agua), como es la de equilibrar el caudal de los ríos que pierden aguas durante el período de pocas lluvias y se desbordan en los períodos de fuertes precipitaciones y crecidas.

La zona lacustre ocupa las planicies de inundación y se extiende desde la parte baja de la cuenca del río Cesar hacia el sur del departamento, bordeando la márgen oriental del río Magdalena.

4.5.2. Información utilizada. El área del estudio cuenta con las series de registros de 25 estaciones hidrométricas, la mayoría de las cuales pertenece a la cuenca del río Cesar. En la Tabla No. 8 aparece la lista de las estaciones existentes con algunas características morfométricas y las fechas de instalación tabla 8 para cada una de ellas. Su localización se puede observar en la Plancha No. 5. Las series de caudales a nivel mensual correspondientes a las estaciones en mención, suministradas por el HIMAT, se presentan en el Anexo A.

Vale la pena anotar, que en muchos casos el régimen natural de las corrientes superficiales esta influido por numerosas derivaciones, realizadas sin mayor control ni adecuación y muy difíciles de cuantificar, lo que hace imposible obtener datos reales de los

TABLA No. 8 ESTACIONES HIDROMETRICAS

ESTACION-RIO	CODIGO	TIPO	MUNICIPIO	COORDENADA N W	ELEV m.s.n.m.	LONGITUD CORRIENTE km	AREA km2	ELEVACION SUBCUENCA m.s.n.m.	FECHA INST.
El Reposo-Guatapurí	2801705	LG	Valledupar	1032 7320	350	50	778	2330	03-58
La Mina-Badillo	2801711	LG	Valledupar	1041 7316	429	45	474	1710	12-69
Hda.Ariguaní-Guatapurí	2801712	LG	Valledupar	1038 7328	550		548		12-80
La Matilde-jobo	2802702	LG	Agustin Codazzi	1010 7316	114	30	256	1150	07-62
Las Flores-Magiriaimo	2802703	LM	Agustin Codazzi	1006 7315	112	47	373	1610	10-62
Sta. Teresa-Sicarare	2802704	LM	Agustin Codazzi	0947 7318	80	27	278	650	11-62
Becerril-Maracas	2802705	LM	Agustin Codazzi	0943 7317	106	40	550	1100	06-63
Islandia-Calenturitas	2802716	LM	Chimichagua	0938 7337	45		968		11-74
Pte.Callao-Azucarabuena	2803701	LM	Valledupar	1022 7319	120	29	186	770	12-62
Hda.Convención-Los Clavos	2803702	LM	Valledupar	1016 7325	104	34	182	880	12-62
Pte.Salguero-Cesar	2803703	LG	Valledupar	1023 7314	113	114	3754	1180	12-62
Mairangola-Mariangola	2803704	LG	Valledupar	1011 7335	90	24	122	790	01-63
Cantaclaro-Garupal	2803706	LG	Valledupar	1005 7344	120	35	169	630	03-63
Pte. Canoas-Cesar	2803709	LM	El Paso	0938 7340	45	233	10080	710	04-65
Pte.Carretera-Diluvio	2803713	LG	Valledupar	1010 7339	80	38	267	780	10-72
Pueblo Bello-Ariguaní	2804702	LG	Valledupar	1024 7345	1125	14	65	1900	01-63
Pte.Carretera-Ariguancito	2804704	LG	El Copey	1016 7358	151	35	177	650	02-63
Hda.Gracias a Dios-Animito	2502708	LG	Curumaní	0912 7335	46	30	425	680	07-63
Caimancito-Cesar	2502759	LM	Chimichagua	0934 7348	40	274	16657	580	07-74
Pte. Carretera-Animegrande	2502789	LM	Chiriguana	0920 7330	120	44	496	910	09-78
El Contento-Magdalena	2321703	LM	Gamarra	0813 7346	47	986	133069	1470	07-74
Aguas Claras-Aguas Claras	2321704	LM	Aguachica	0816 7336	120	67.5			04-87
Yeguerita-Buturama	2321705	LM	Aguachica	0816 7335	240	17.5			04-87
Pradera-Guaduas	2319728	LM	Aguachica	0807 7335	150		119		07-87
El Hoyo-San Alberto	2319741	LM	San Alberto	0741 7331	80	41	464	330	08-74

caudales. Debido a estas restricciones, la evaluación de la escorrentía dentro de este estudio se realizó con base en los registros de caudales existentes y sin corregir los efectos de captaciones.

Una vez analizada la información hidrológica disponible se detectó, que la longitud de los registros para la mayoría de las estaciones hidrométricas es superior a las series de precipitación. Sin embargo se consideró para el análisis de la escorrentía el mismo período comprendido entre 1968 y 1986 (19 años), ya que el análisis hidrológico debe guardar una completa concordancia en la evaluación de la relación lluvia - caudal.

Los registros de aquellas estaciones que no tenían suficiente longitud en sus series, se utilizaron como apoyo para el análisis de la escorrentía.

Las series analizadas no presentaron interrupciones en sus registros ni datos faltantes, puesto que fueron completados y verificados por el HIMAT.

4.5.3. Escorrentía media multianual y para los años tipo. Mediante el análisis estadístico y utilizando los datos de los caudales disponibles, se determinaron los valores característicos de cada serie, tales como el caudal medio anual para los años

medio, húmedo y seco, la desviación estandar (σ) y el coeficiente de variación Cv (Tabla No. 9). Los resultados del ajuste log-normal se presentan en el Anexo A.

Es de anotar, que la escorrentía a nivel anual de la zona en general es más variable que la precipitación (Cv varia entre 0.18 y 0.63), indicando el efecto significativo de otros parámetros genéticos de la escorrentía .

Teniendo en cuenta que el número de estaciones hidrométricas es bastante reducido dentro del área estudiada y sobre todo, que su distribución espacial no es homogénea, seria muy inadecuado establecer las isolíneas de escorrentía basándose únicamente en los datos de caudales de las estaciones existentes. Para este fin se realizó la aplicación de la técnica de interpolación lineal de Kriging (software GEOPACK) combinada con un análisis regional (modelo lluvia-caudal), el cual permitió la determinación de la escorrentía en los sitios donde no se dispone de información directa.

Como resultado de este trabajo se elaboraron los mapas de isolíneas de la escorrentía anual a escala 1:750.000 para los años medio, húmedo y seco (Planchas Nos. 6, 7 y 8).

TABLA No. 9 PARAMETROS ESTADISTICOS DE LA ESCORRENTIA

ESTACION - RIO	ALTURA m.s.n.m	Cv	σ	CAUDAL (M3/SEG)			CAUDAL ESP. L/seg*km2
				HUMEDO	MEDIO	SECO	
El Reposo-Guatapurí	350	0.18	2.67	18.60	15.08	11.80	19.4
La Mina-Badillo	429	0.35	3.29	13.70	9.37	5.70	19.8
La Matilde-jobo	114	0.42	0.90	3.20	2.15	1.40	8.4
Las Flores-Magiriaimo	112	0.44	1.48	5.40	3.35	1.70	9.0
Sta. Teresa-Sicarare	80	0.56	1.78	5.20	3.20	1.50	11.5
Becerril-Maracas	106	0.49	2.52	8.20	5.15	2.60	9.4
Pte.Callao-Azucarabuena	120	0.63	1.61	4.40	2.55	1.30	13.7
Hda.Convención-Los Clavos	104	0.56	1.49	4.30	2.68	1.30	14.7
Pte.Salguero-Cesar	113	0.43	15.28	53.50	35.36	19.90	9.4
Mairangola-Mariangola	90	0.43	0.90	3.30	2.08	1.20	17.0
Cantaclaro-Garupal	120	0.39	0.68	2.60	1.76	1.10	10.4
Pte. Canoas-Cesar	45	0.33	16.37	69.90	49.09	31.20	4.5
Pte.Carretera-Diluvio	80	0.40	1.64	6.50	4.09	2.00	15.3
Pueblo Bello-Ariguaní	1125	0.28	0.39	1.90	1.37	1.00	21.1
Pte.Carretera-Ariguancito	151	0.31	0.88	4.20	2.83	1.70	16.0
El Hoyo-San Alberto	80	0.26	5.01	26.00	19.51	13.30	42.0

INGEOMINAS

Analizando el mapa de isolíneas de escorrentía para el año medio se puede observar, que la zona correspondiente a la cuenca del río Magdalena en general presenta una escorrentía mayor que la de la cuenca del río Cesar, debido principalmente a la alta precipitación que se presenta en esta área. Su variación va desde 600 mm/año hasta 1100-1200 mm/año. Los valores más altos se observan en el extremo sur del departamento.

En la cuenca del río Cesar la distribución espacial de la escorrentía es la siguiente: Siguiendo el recorrido del río, se observa un aumento de la escorrentía en su margen derecha, hacia la Sierra Nevada de Santa Marta hasta 900 mm/año y también otro, menos pronunciado, en la margen izquierda hasta alcanzar 500 mm/año. Los valores más bajos (200-300 mm/año) se presentan en la parte media de su cuenca.

Los años húmedo y seco demuestran una distribución similar a la del año medio. La variación de la escorrentía esta comprendida entre 300 mm y 1300 mm anuales en el año húmedo y en el año seco entre 200 mm y 700 mm para toda la zona de estudio.

4.5.4. Distribución estacional de la escorrentía. Se estudió la distribución estacional de la escorrentía utilizando la información disponible de los caudales medios mensuales, calculando los factores de distribución, que se incluyen en la Tabla No. 10.

Su presentación gráfica para diferentes estaciones hidrométricas se puede observar en las Figuras No. 6a, 6b y 6c.

La distribución estacional de la precipitación se refleja en el fenómeno de escorrentía, aunque este último tiene influencia de otros factores, como los parámetros físicos de la cuenca y las características del suelo y de la lluvia. Es así, que la distribución de la escorrentía durante el año para toda la zona del estudio en general, tiene un carácter similar al de la precipitación: se presentan dos períodos húmedos y dos períodos secos. Las diferencias se observan en la duración de estos. Por ejemplo, los dos períodos secos (factor de distribución menor que 1.0) se prolongan hasta 7 meses al año, presentando una disminución pronunciada de los caudales en los meses diciembre-abril y julio-agosto.

Los meses febrero y marzo corresponden a la época más seca. Durante este período los caudales medios mensuales en las zonas planas no sobrepasan el 30% de su promedio anual y las quebradas intermitentes desaparecen.

Los mayores caudales se presentan en octubre y noviembre y pueden superar su promedio anual, en más de un 200%.

TABLA No. 10 **DISTRIBUCION ESTACIONAL DE LA ESCORRENTIA**
(FACTOR DE DISTRIBUCION K)

ESTACION-RIO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PERIODO
El Reposo-Guatapuri	0.49	0.35	0.34	0.63	1.37	1.34	0.75	1.02	1.41	1.88	1.59	0.83	1968-86
La Mina- Badillo	0.47	0.35	0.32	0.61	1.52	1.36	0.55	0.68	1.12	2.02	2.1	0.91	1968-86
La Matilde-jobo	0.23	0.10	0.10	0.95	1.96	1.38	0.37	0.45	0.88	1.92	2.79	0.87	1968-86
Las Flores-Magiriaimo	0.32	0.23	0.24	0.91	2.28	1.43	0.57	0.50	1.02	1.77	1.96	0.77	1968-86
Sta. Teresa-Sicarare	0.31	0.23	0.23	0.59	1.53	1.38	0.48	0.65	1.24	2.26	2.28	0.81	1968-86
Becerril-Maracas	0.40	0.22	0.23	0.76	1.25	1.05	0.57	0.66	1.36	2.17	2.47	0.85	1968-86
Islandia-Calenturitas	0.26	0.20	0.24	0.55	1.53	1.12	0.64	0.71	1.40	2.11	2.33	0.92	1974-93
Pte.Callao-Azucarabuena	0.24	0.14	0.12	0.33	1.60	1.53	0.46	0.60	1.14	2.77	2.49	0.58	1968-86
Hda.Convención-Los Clavos	0.31	0.18	0.15	0.28	1.25	1.37	0.59	0.78	1.24	2.52	2.48	0.85	1968-86
Pte.Salguero-Cesar	0.29	0.13	0.10	0.49	1.73	1.41	0.44	0.66	1.26	2.44	2.33	0.73	1968-86
Mairangola-Mariangola	0.20	0.12	0.10	0.31	1.29	1.54	0.49	0.70	1.60	2.80	2.33	0.53	1968-86
Cantaclaro-Garupal	0.31	0.28	0.24	0.66	1.47	1.24	0.66	0.74	1.28	2.50	1.91	0.72	1968-86
Pte. Canoas-Cesar	0.38	0.21	0.14	0.41	1.22	1.28	0.67	0.77	1.33	2.10	2.37	1.12	1968-86
Pte.Carretera-Diluvio	0.35	0.27	0.23	0.42	1.03	1.10	0.51	0.70	1.52	2.88	2.27	0.72	1968-86
Pueblo Bello-Ariguaní	0.71	0.60	0.44	0.66	0.94	1.04	0.80	1.12	1.39	1.91	1.49	0.89	1968-86
Pte.Carretera-Ariguancito	0.45	0.34	0.40	0.64	1.14	1.08	0.76	1.01	1.52	1.86	1.97	0.82	1968-86
Hda.Gracias a Dios-Animito	0.41	0.29	0.29	0.59	1.67	1.06	0.39	0.78	1.24	2.26	2.09	0.93	1976-93
Caimancito-Cesar	0.53	0.31	0.28	0.52	1.34	1.41	0.98	0.89	1.13	1.72	1.76	1.15	1974-93
Pte. Carretera-Animegrande	0.32	0.23	0.31	0.60	1.21	1.06	0.76	0.97	1.33	2.01	2.16	1.02	1978-93
El Hoyo-San Alberto	0.50	0.43	0.43	1.22	1.33	0.90	0.59	0.78	1.14	1.90	1.85	0.92	1968-86

INGEOMINAS

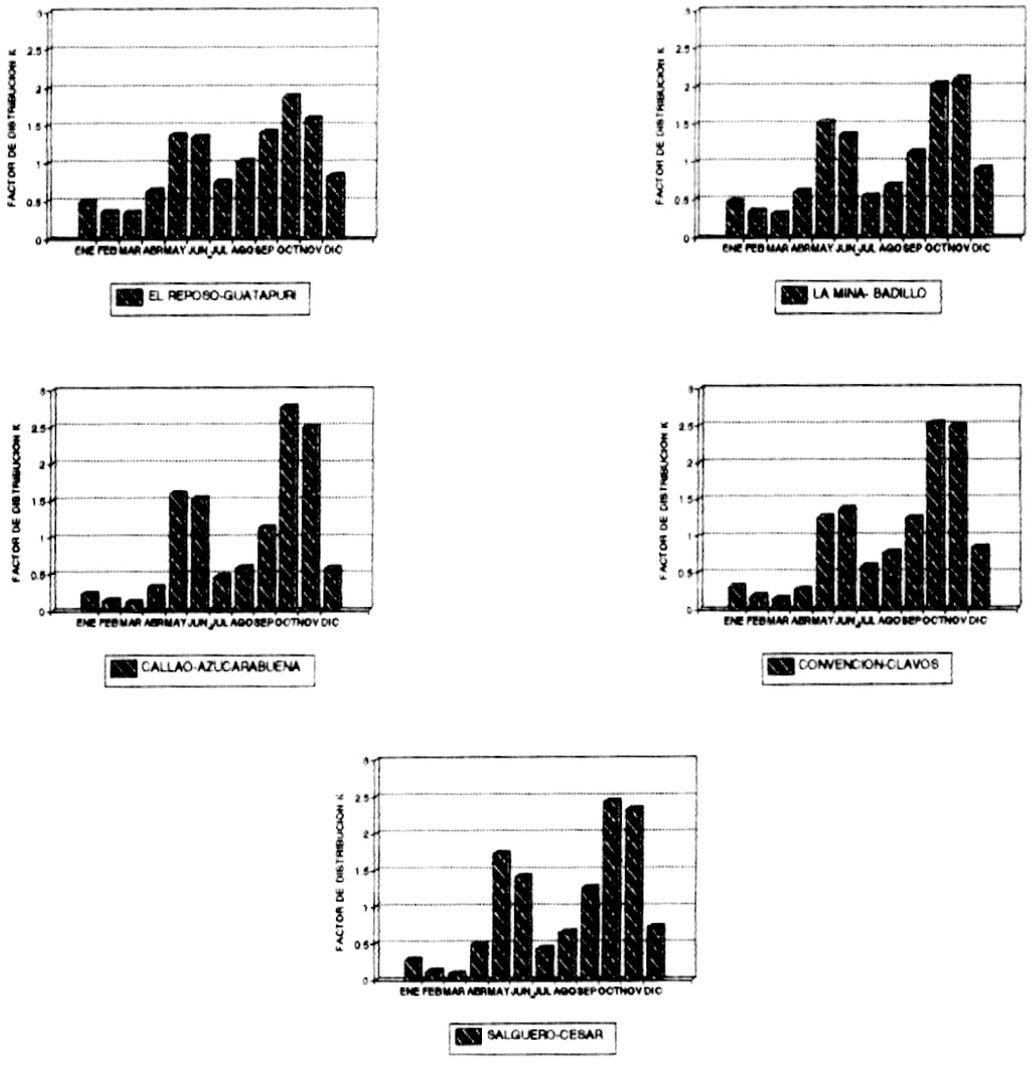


FIGURA No. 6a **DISTRIBUCION ESTACIONAL DE LA ESCORRENTIA**

INGEOMINAS

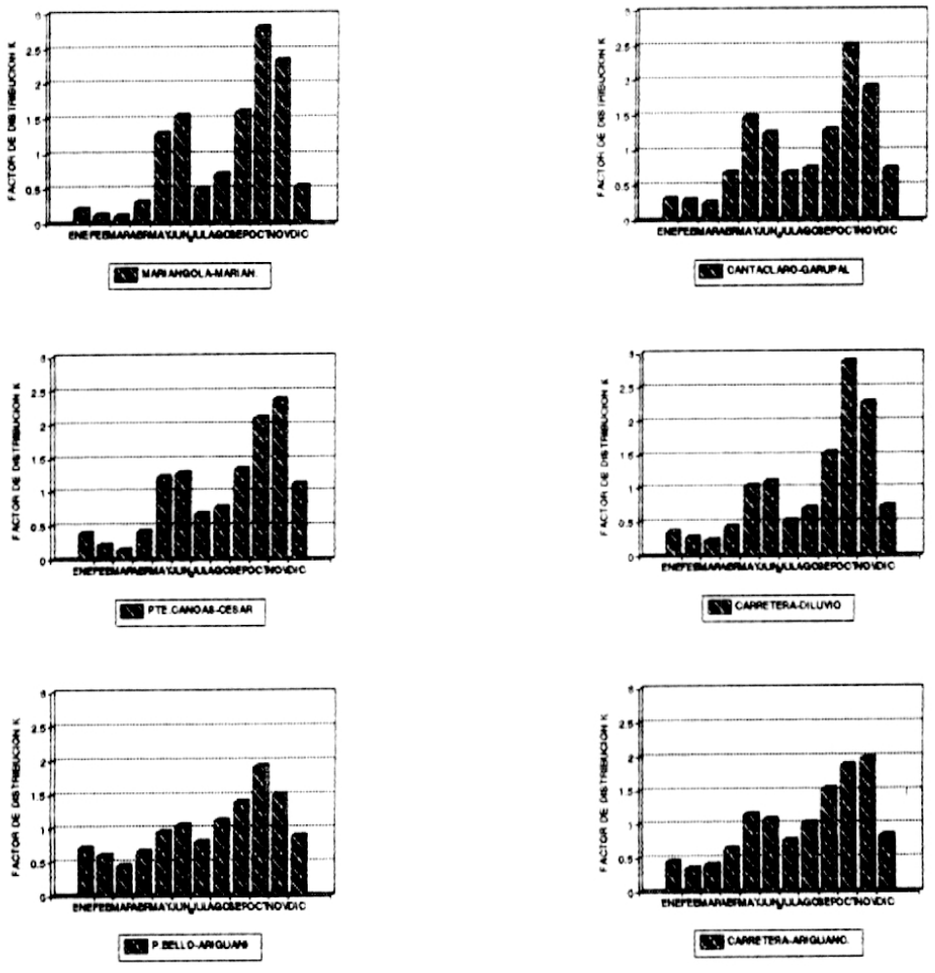


FIGURA No. 6b DISTRIBUCION ESTACIONAL DE LA ESCORRENTIA

INGEOMINAS

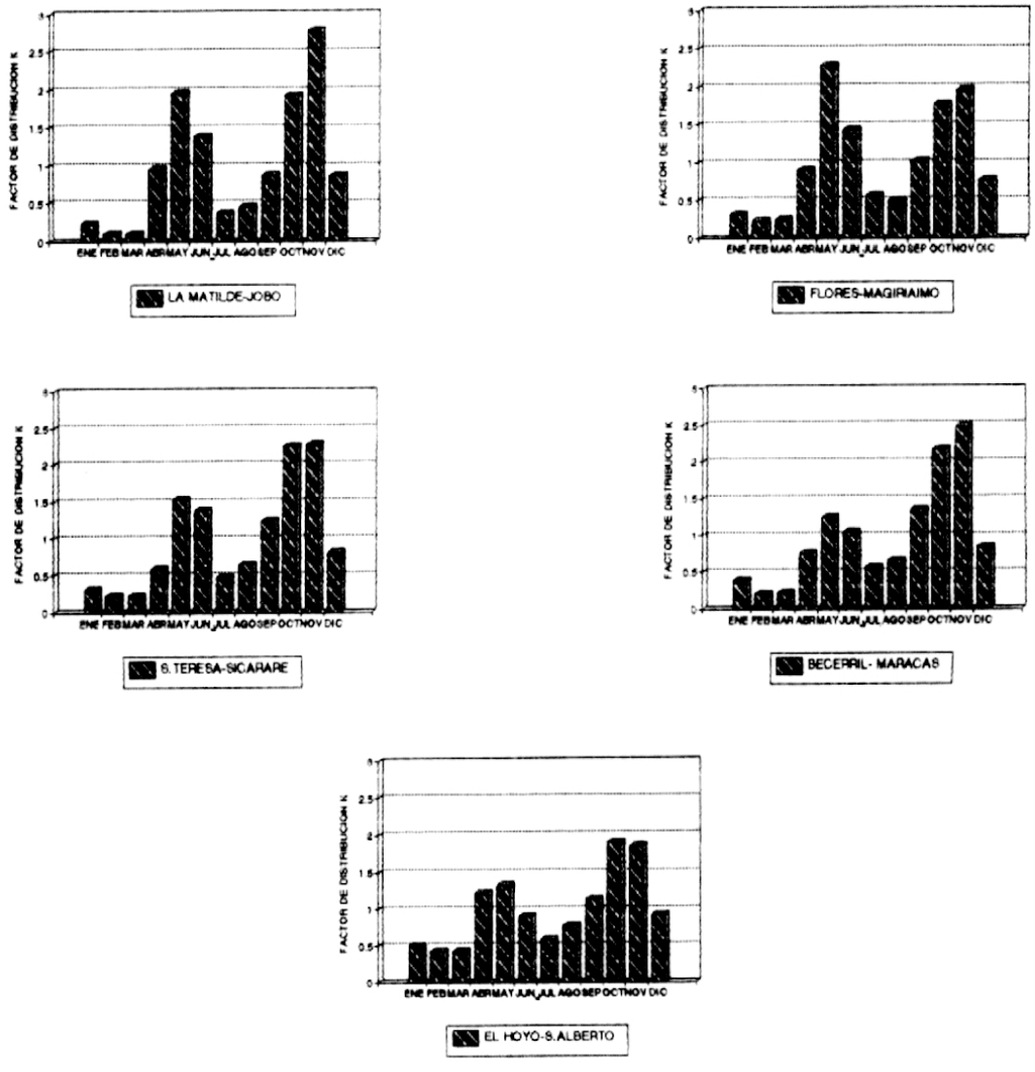


FIGURA No. 6 c **DISTRIBUCION ESTACIONAL DE LA ESCORRENTIA**

4.5.5. Estimación de la escorrentía directa. La escorrentía registrada en cada una de las estaciones hidrométricas involucra varios procesos a través del tiempo: escorrentía directa (proveniente de la precipitación caída sobre la cuenca) y flujo base (aportes subterráneos), producidos por la subcuenca hasta el punto de control. Este último depende de la existencia o no de una relación hidráulica con los acuíferos y del tipo de relación. Durante el recorrido, una corriente superficial puede variar su interrelación con los acuíferos y además, puede recibir aportes de diferentes acuíferos.

Con la información hidrológica disponible, es imposible determinar con exactitud los aportes subterráneos que reciben las corrientes superficiales localizadas en la zona de estudio, ni el tipo de relación con los diferentes acuíferos que atraviesan, pero si se puede hacer una estimación muy generalizada del flujo base. Para separar la escorrentía directa de la escorrentía total evaluada en el numeral 4.5.3, siendo la primera la que entre al balance hídrico de la superficie, se realizó el procedimiento descrito a continuación.

Después de analizar la información de los caudales a nivel mensual se detectó, que algunas corrientes desaparecen en los períodos secos del año, lo cual indica la ausencia de los aportes



subterráneos. Otras, a pesar de las prolongadas sequías conservan su flujo base.

Por ejemplo, los caudales registrados en las estaciones hidrométricas de la margen derecha del río Cesar, ubicadas en la parte plana (alturas menores de 150 m.s.n.m) no presentan flujo base (registran caudales igual a cero), pero para las estaciones localizadas en las partes altas si lo registran, al igual que los afluentes de la margen izquierda, a pesar que se encuentran en las zonas bajas.

Teniendo en cuenta lo anterior se hizo confirmación de campo mediante los aforos realizados en el mes de marzo de 1994, durante la ejecución de este proyecto. Teniendo en cuenta esto, para las corrientes permanentes se calculó el flujo base (porcentaje del total anual) para cada mes, considerando el caudal mínimo registrado como aporte subterráneo continuo y constante (Tabla No. 11). Este procedimiento es aproximado pero se considera valido para estos casos.

Utilizando estos resultados en combinación con otra información (localización de las áreas de interés, características físico-geográficas, suelos, etc.), se puede estimar el flujo base en áreas donde existen condiciones similares para la generación de escorrentía directa y carentes de mediciones hidrológicas.

Tabla No.11 CAUDALES MINIMOS Y FLUJO BASE

ESTACION-RIO	ELEV	Qmin	FLUJO BASE (% del total mensual)											
	m.s.n.	m3/seg	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
El Reposo-Guatapuri	350	2.57	34	49	51	27	12	13	23	17	12	9	11	20
La Mina-Badillo	429	1.36	31	42	45	24	10	11	26	21	13	7	7	16
Pte.Callao-Azucarabu	120	seco	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Hda.Convencion-Los	104	seco	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mariangola-Mariangol	90	seco	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cantaclaro-Garupal	120	seco	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pte.Carretera-Diluvio	80	0.02	1	2	2	1	0	0	1	1	0	0	0	1
Pueblo Bello-Ariguani	1125	0.30	23	26	33	24	17	15	20	14	12	8	11	18
Pte.Carretera-Ariguan	151	0.35	27	36	31	19	11	12	16	12	8	7	6	15
La Matilde-Jobo	114	seco	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Las Flores-Magiriaimo	112	0.08	8	11	10	3	1	2	4	5	2	1	1	3
Sta.Teresa-Sicarare	80	0.15	15	20	21	8	3	3	10	7	4	2	2	6
Becerril-Maracas	106	0.09	4	8	8	2	1	2	3	3	1	1	1	2
El Hoyo-San Alberto	80	1.50	15	18	18	6	6	9	13	10	7	4	4	8



4.6 SUELOS

4.6.1. Generalidades. La cantidad de agua procedente de la precipitación que puede llegar a los acuíferos, esta controlada, entre otros factores por su paso a través del suelo.

Las relaciones agua-suelo pueden dividirse en dos categorías principales:

- Suelo como transmisor de agua.

- Retención y almacenamiento de agua en el suelo.

La velocidad de movimiento del agua en el suelo y la cantidad de esta depende de la permeabilidad del suelo, de su capacidad de retención y almacenamiento del agua, los cuales están influenciados primordialmente por las propiedades físicas del suelo (textura, estructura, porosidad, drenaje, etc).

Es así, que en los suelos de texturas arenosa y franco arenosa la velocidad de infiltración es alta, produciendo un déficit de agua para las plantas, pues son suelos que retienen poca agua y drenan fácilmente. Por el contrario, en los suelos de textura arcillosa el movimiento del agua está más restringido, produciendo generalmente encharcamientos. Los suelos con altos porcentajes de limos ofrecen

dificultades para el movimiento del agua, pues estas partículas taponan los poros e impiden su paso.

La estructura del suelo también afecta la velocidad de infiltración del agua en forma directa. Los suelos con altos porcentajes de arena o arcilla, carecen de estructura. Estos suelos presentan dificultades a las plantas para el anclaje normal de las raíces, por ser demasiado sueltos (arenosos) o demasiado compactos (arcillosos), por esto los suelos arenosos son más permeables, con una velocidad de penetración vertical del agua mayor que en los suelos arcillosos y limosos.

Cuando en un suelo los espacios porosos son pequeños como es el caso de los suelos de texturas finas, el agua se almacena en ellos debido a las fuerzas de tensión superficial, trayendo como consecuencia una baja infiltración, produciendo encharcamientos; cuando los espacios porosos son muy grandes - (suelos de texturas arenosa y franco arenosa) el agua del suelo es susceptible de mayor movimiento.

La humedad aprovechable de los suelos es muy baja para los suelos franco-arenosos y media para los suelos arcillosos y limosos. Esto indica que las plantas pueden tener déficit de agua en la mayor parte del tiempo en los suelos arenosos, deficiencia que puede no presentarse en los suelos con nivel freático alto.



Resumiendo lo anterior, es evidente que para cada tipo de suelo la cantidad de agua infiltrada sea diferente aún bajo condiciones hidrometeorológicas similares.

4.6.2. Los suelos del Departamento del Cesar. Las diferentes clases de rocas, climas y relieve en el departamento del Cesar, han dado lugar a la formación de suelos distintos, que presentan características físicas, químicas y mineralógicas bastante heterogéneas.

Según IGAC (1993) dentro del área se pueden distinguir los suelos de montaña desarrollados a partir de rocas metamórficas, rocas sedimentarías (principalmente areniscas y arcillolitas) y también de rocas ígneas; los de colinas, con material parental constituido por arcillolitas, areniscas, calizas y de rocas ígneas; los de planicie de piedemonte (abanicos) y los aluviales, cuyo origen se debe a los materiales coluvio-aluviales de Cuaternario y arcillas lacustres. Estos suelos corresponden a varios pisos térmicos, de acuerdo con la franja altitudinal en que se desarrollaron.

En la zona de montaña y colinas los suelos varían de poco a medianamente evolucionados, de muy superficiales (25-50 cm) a moderadamente profundos (50-90 cm), limitados en su profundidad por roca y depósitos minerales de aluminio. En algunos sectores hay afloramientos rocosos y pedregosidad superficial; la erosión es de



grado ligero a severo; químicamente son suelos muy ácidos a ligeramente ácidos, de fertilidad muy baja y pobres en fósforo y potasio, exceptuando los suelos que han sido desarrollados sobre calizas.

En la zona de piedemonte y planicie aluvial los suelos son poco a medianamente evolucionados, de muy superficiales (menor 25 cm) a profundos (90- 150 cm), limitados por pedregosidad y nivel freático, encharcamientos y arcillas en los valles y por arcillas y concreciones de hierro y manganeso en las sabanas. Químicamente son suelos ligeramente ácidos a muy ácidos, de fertilidad baja a muy baja, pobres en fósforo y normales en potasio, exceptuando los suelos de sabana que son muy ácidos, de fertilidad muy baja y muy pobres en fósforo, nitrógeno y potasio.

En toda el área de estudio hay una gran variación en las características físicas de los suelos. Las texturas van desde muy gruesas con piedra, hasta muy finas, aumentando el contenido de limos en los suelos de los planos de inundación.

En la estructura se presenta diferenciación desde los suelos bien estructurados hasta los que carecen de estructura. Esta variación se debe al contenido de materia orgánica, al porcentaje de arena y arcilla, a los fragmentos rocosos, a la roca muy cercana a la superficie, a los aportes continuos de materiales y la actividad

biológica. La presencia de sales en algunos sitios, ha influido en la degradación de la estructura y en la permeabilidad del suelo principalmente.

Teniendo en cuenta la gran variedad de los suelos y el carácter del presente estudio (regional), se realizó la rezonificación del área, esencialmente con base en los estudios detallados, sobre los suelos del Departamento del Cesar, realizados y publicados por el IGAC (Carrera, 1982; Pedro, 1986a, 1986b) y también por reconocimiento en el campo. De esta manera todos los suelos, presentes en el área se clasificaron en tres grupos, según el contenido predominante de las fracciones de arena (A), arcilla (Ar) o limo (L), ya que este factor en un alto grado influye sobre el almacenamiento y movimiento del agua en el suelo.

Como resultado de este análisis fue elaborado el mapa (Plancha No. 9), donde se observa la distribución espacial de los suelos según pertenezcan a los grupos arenoso, arcilloso o limoso.

Las constantes físicas para cada grupo (capacidad de campo y punto de marchitez) se determinaron con base de los datos de retención de humedad, publicados en los mismos estudios del IGAC (Tabla No. 12).

4.7. BALANCES HIDRICOS Y ANALISIS DE LOS RESULTADOS

Debido a la gran extensión del área del estudio, a la variedad de las características geográficas y por lo tanto de las hidrometeorológicas, cada grupo del suelo se dividió en tres subgrupos, teniendo en cuenta principalmente la similitud de las características en mención y considerando en general las siguientes tres zonas: cuenca del río Cesar (parte alta y media), la parte central del departamento (cuenca del río Cesar, parte baja) y la parte sur del departamento (cuenca del río Magdalena).

Esta subdivisión se realizó únicamente para las áreas donde de acuerdo con datos de hidrogeología, se evidencia la presencia de acuíferos en el subsuelo.

Se realizaron en total veintisiete (27) balances hídricos, tomando como base el mapa de rezonificación de los suelos a escala 1:750.000 (Plancha No. 9). Se calcularon los valores ponderados de la precipitación, evapotranspiración potencial y escorrentía directa para cada subgrupo y cada año tipo. El coeficiente del cultivo, utilizado en el modelo del balance de humedad del suelo se tomó igual a 1.0, ya que no se conoce la zonificación del área por cultivos y la constante radicular se consideró como la mitad de la humedad aprovechable.

INGEOMINAS

TABLA No. 12. CONSTANTES FISICAS (mm)
RESULTANTES PARA CADA GRUPO DEL SUELO

GRUPO DEL SUELO	PROFUNDIDAD (cm)	PUNTO DE MARCHITEZ	CAPACIDAD DE CAMPO	HUMEDAD APROVECHABL
ARENOSO	60	28	56	28
ARCILLOSO	80	132	217	85
LIMOSO	80	86	176	90



En el Anexo A, se presentan los resultados de los balances, realizados a nivel mensual y en la Tabla No. 13, se resumen los valores de la recarga potencial anual, proveniente de la precipitación para los suelos en consideración.

Los resultados de los balances muestran que a pesar de un déficit hídrico a nivel anual (Esc.+ ETP > P), se presenta la recarga en varios meses del año, notándose diferencias entre todos los suelos, la cual depende de la disponibilidad de agua una vez se satisfacen las necesidades de humedad de suelo y la evapotranspiración real sea igual a la potencial. Por ésta razón, la recarga no siempre ocurre en los mismos meses del año para diferentes suelos.

La variación espacial de los parámetros climatológicos y de la escorrentía, hace que la recarga en el mismo grupo de suelo (arenoso, arcilloso o limoso) para diferentes zonas sea distinta.

Para el suelo arenoso(A3) la mayor recarga se presenta en la parte sur del departamento, donde la oferta hídrica es más alta. La mayor parte del suelo A2 se encuentra a alturas menores de 100 m.s.n.m., donde el déficit hídrico es más acentuado, razón por la cual el período, en el cual se presenta la recarga y el volumen de ésta es menor que para A1.

INGEOMINAS

TABLA No. 13 RECARGA POTENCIAL ANUAL (mm)

GRUPO DEL SUELO	ELEVACION m.s.n.m.	RECARGA			PERIODO (meses del año)		
		HUMEDO	MEDIO	SECO	HUMEDO	MEDIO	SECO
ARENOSO							
A1	370	512.8	229.4	56.0	4-6 y 8-11	5,6 y 8-10	5 y 10
A2	117	438.6	149.8	54.0	5,6 y 8-11	5 y 9,10	10
A3	225	1262.0	458.0	79.4	4-6 y 7-11	5,6 y 8-11	6 y 9,10
ARCILLOSO							
Ar1	72	138.0	43.0	22.0	5 y 9,10	10	10
Ar2	883	635.0	353.9	181.7	5,6 y 7-11	5,6 y 8-11	9-11
Ar3	50	950.6	183.8	25.0	5,6 y 7-11	9 y 10	11
LIMOSO							
L1	143	227.0	61.0	47.0	5,6 y 8-10	10	10
L2	56	322.5	99.0	52.0	5 y 9-11	10	10
L3	75	991.0	231.0	24.0	5,6 y 7-11	6 y 8-10	10

Debido a la baja capacidad de almacenamiento de agua, en el suelo arenoso se presenta un déficit de humedad que llega hasta el punto de marchitez permanente en los meses más secos (enero, febrero, marzo y abril). Sin embargo por la misma razón, el aumento de la precipitación produce muy rápida recuperación del déficit de humedad, permitiendo la infiltración profunda en los dos períodos húmedos del año.

El suelo arcilloso tiene la más alta capacidad de campo de los suelos presentes en la zona (Tabla No. 12), lo cual disminuye la recarga. Para los suelos Ar1 y Ar3 ésta ocurre únicamente en el segundo período húmedo del año, mientras que el resto del año se mantiene el déficit del humedad en el suelo sin alcanzar el punto de marchitez.

Sin embargo, el suelo Ar2 presenta la recarga anual bastante alta debido a su localización topográfica (elevación media es 880 m.s.n.m. aproximadamente), donde no se observa déficit hídrico. Esta recarga se distribuye en varios meses del año, siendo mayor en el período de agosto a noviembre.

En el suelo limoso, al igual que en el arcilloso la recarga se dificulta debido a su capacidad de almacenamiento de agua. Además se suma el déficit de húmedad prolongado, el cual llega hasta el punto de marchitez en el primer período seco del año. La recarga

ocurre únicamente en el mes más lluvioso (octubre) para los suelos L1 y L2. El suelo L3, ubicado en el área con mayor disponibilidad hídrica, muestra aumento de la recarga.

Para los años húmedo y seco, como era de esperarse, los valores de la recarga para todos grupos de suelos resultan mayores o menores respectivamente, aunque en el año húmedo siempre se llega al punto de marchitez en el suelo arenoso y limoso, debido a que los períodos secos son muy fuertes. Vale la pena anotar,que este aumento o disminución de la recarga no es directamente proporcional para todos los grupos de suelo pues la variabilidad de los parámetros climatológicos y de la escorrentia através del tiempo no es uniforme en toda la zona del estudio.

La recarga potencial, estimada en este capítulo, es la cantidad de agua disponible en los suelos, que podría ingresar al almacenamiento del acuífero. No obstante, en realidad en la zona no saturada existen pérdidas adicionales (evaporación, flujo subsuperficial, etc.), muy difíciles de cuantificar, lo cual hace que la recarga real sea menor a la potencial.

INGEOMINAS

5. INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

5.1. METODOLOGIA Y GENERALIDADES

Entre los meses de noviembre de 1992 y diciembre de 1993 se llevó a cabo el inventario de las diferentes captaciones de aguas subterráneas actualmente en explotación, en reserva o abandonados del departamento del Cesar. Para tal fin se visitó cada una de las poblaciones y casi todas las haciendas, fincas o predios ubicados en la zona plana y semiplana del departamento. La información de cada punto, se obtuvo a través de una encuesta personal, basada en formularios diseñados especialmente para poder sistematizar la información en el Banco Nacional de Datos Hidrogeológicos del INGEOMINAS.

Los puntos o captaciones de agua subterránea inventariados fueron pozos, aljibes y manantiales, haciéndose mayor énfasis en los primeros, debido a la gran cantidad de información que pueden suministrar del subsuelo. Los datos recolectados en los formularios incluyen entre otros: Datos generales (Identificación, fecha visita, informante, etc.), localización, construcción y diseño, usos del agua, propiedades físicas del agua y explotación. Las medidas de profundidad del nivel del agua subterránea y la

profundidad de las captaciones, se tomaron con respecto al nivel del terreno. Los caudales obtenidos, principalmente en los aljibes son estimados con base en datos suministrados por los usuarios, ya que en su gran mayoría carecen de aforos. Es importante aclarar en este punto que por esta razón en la base de datos anexa al informe de Rocha (1995), que hace parte de este estudio, y en los campos específicos de "caudal de explotación" (lit/seg) y "uso diario" (horas) de los aljibes, la información allí almacenada corresponde en realidad a la extracción diaria reportada en cada aljibe por el usuario (ej. 5 m³/día), la cual por falta del campo respectivo en la base de datos (extracción diaria), fue arbitrariamente representada para cada caso en los dos campos ya mencionados. Por ejemplo para una extracción de 5 m³/día se asumió 5 horas de uso por día y por lo tanto el caudal sería 0.27 lit/seg. En conclusión a este respecto no deben tomarse como totalmente ciertos los caudales resultantes, pues esto depende de que se haya establecido en campo el "uso diario", en vez de haberse asumido por carencia de información.

En cuanto a la utilidad de las medidas que se toman in situ, durante el inventario de cada punto de agua, se puede decir lo siguiente:

- Nivel Estático. Sirve para establecer las variaciones del espesor saturado en acuíferos libres, cuando se mide en

repetidas ocasiones y alternativamente en períodos húmedos y secos. También en general se usa para determinar la profundidad local de las superficies freática o piezométrica, según el caso y finalmente para definir la dirección del flujo en una región dada.

- Propiedades físicas del agua (Temperatura, pH y conductividad). Estas mediciones se utilizan para hacer una primera aproximación a la calidad local del agua subterránea y sus variaciones en un área determinada. Con estos datos se definió en buena parte la selección de puntos representativos para el muestreo subsecuente de agua y su respectivo análisis físico - químico.

Sobre los datos recopilados en campo y oficina para este inventario y relacionados con las características de construcción de pozos (diseño, litología, registros físicos), estos se utilizan para precisar la información del subsuelo relacionada en principio con las interpretaciones de geología y prospección geoeléctrica y a partir de esto de las características de los acuíferos allí captados (capas productoras, profundidades, espesor, tipos de acuíferos y sus parámetros hidráulicos).

Cada punto inventariado fue ubicado en el campo, en planchas topográficas del IGAC en escala 1:25.000. En aquellos sitios donde

la información topográfica era escasa, se utilizaron aparatos de posicionamiento por satélite, sistema conocido como GPS, los cuales entregan las coordenadas del punto elegido de manera directa.

La identificación de un punto de agua inventariado consta de dos partes: la primera corresponde al número de la plancha topográfica del IGAC en escala 1:25.000, seguido del número consecutivo del punto inventariado. La segunda parte corresponde al nombre del punto inventariado que coincide con el nombre del predio o la localidad. Ejemplo 40IB-37, Hacienda La Esmeralda.

La información de cada punto de agua se ingresó al Banco Nacional de Datos Hidrogeológicos del INGEOMINAS, que es una base de datos tipo RED para consulta en línea, a través de COLDAPAQ, en un ambiente multiusuario. Posteriormente esta información se revisó y transformó a formatos ASCII y DBF, los cuales se ajustan a las herramientas que tiene CORPOCESAR para su procesamiento y consulta. De esta manera dicha información se entregó a CORPOCESAR en medio magnético junto con un manual guía para su manejo. Este material está en un informe independiente (Rocha, 1995).

En total se inventariaron 3419 captaciones de aguas subterráneas, correspondientes a 475 pozos, 2890 aljibes y 54 manantiales, que aparecen ubicados en el mapa hidrogeológico en escala 1:250.000. (Planchas No. 11). Del total de captaciones se seleccionaron 483

para muestreo físico-químico, incluyendo 20 muestras de agua superficial (ríos y ciénagas) y además se eligieron en una zona específica 96 pozos para nivelación topográfica y toma regular de medidas del nivel estático del agua subterránea.

La mayor parte de los pozos se encuentran ubicados en las poblaciones menores, tales como corregimientos e inspecciones de policía y en algunas cabeceras municipales situadas principalmente en el sur del departamento y en casi todas las haciendas y grandes fincas de la planicie. Los aljibes están distribuidos por toda la planicie, fundamentalmente en veredas, caseríos y pequeñas fincas. Los manantiales se concentran hacia las estribaciones de la serranía de Perijá.

5.2 PARTICULARIDADES DE LOS POZOS INVENTARIADOS

En los 24 municipios del departamento del Cesar se inventariaron un total de 475 pozos, de los cuales 61 se encuentran en reserva para ser utilizados posteriormente en el regadío y 32 están abandonados por diversas causas. Los pozos actualmente en explotación (382), se utilizan principalmente en el abastecimiento doméstico y en menor proporción en el abastecimiento público, en la irrigación y en la industria, (fundamentalmente en la industria ganadera). De estos pozos se extrae un caudal anual cercano a los 34 millones de m^3, siendo el municipio de Codazzi el que presenta la mayor

extracción y el mayor número de pozos, seguido por los municipios de San Martín, San Alberto, Curumaní y Valledupar. (Tabla No. 14).

Los pozos tienen profundidades que varían desde los 7 hasta los 300 m., pero predominan los construidos entre los 21 y los 50 m de profundidad, que están revestidos con tubería ciega y filtros PVC de 2 a 6 pulg. de diámetro, y están situados en la parte central y el extremo sur del Departamento. Los pozos mas profundos se encuentran ubicados en el norte del departamento a lo largo del Valle del Cesar y están construidos generalmente con tubería y filtros de acero de 8 a 18 pulgadas de diámetro.

En general predominan los pozos relativamente nuevos con edades que oscilan entre los 5 y los 10 años (Tabla No. 15).

El sistema de operación mas empleado para la extracción del agua subterránea es la motobomba, instalada en pozos con diámetros de 2 a 6 pulgadas que producen caudales de explotación desde 1 hasta 10 litros/ segundo (86.4 a 864 m^3 día). En menor proporción se emplea la bomba sumergible y la de eje vertical, instaladas en pozos con diámetros de 6 a 12 pulgadas que extraen caudales entre 10 a 115 lit/seg (864 a 9936 m^3/día). Igualmente se utiliza la bomba centrífuga comúnmente en pozos con diámetros de 2 a 4 pulgadas que producen caudales de 1 a 15 lit/seg (86.4 a 1296 m^3/día). Otros sistemas empleados pero en menor cantidad, son la bomba manual y el

TABLA No. 14. POZOS EN EL DEPARTAMENTO DEL CESAR DISCRIMINADOS POR CONDICION, USO PRIMARIO Y MUNICIPIO

Municipios	No. Total de Pozos	CONDICION			USO PRIMARIO				Producción * 10^3 m^3/año
		En Reserva No. de Pozos	Abandonados No. de Pozos	En Explotac. No. de Pozos	Abast. Public. No. de Pozos	Abast. Domést. No. de Pozos	Irrigación No. de Pozos	Industria No. de Pozos	
Codazzi	99	16	9	74	4	37	24	9	29378.4
San Martín	78	5	3	70	3	58	9	-	1181.4
San Alberto	41	4	2	35	3	28	-	4	291.2
Curumaní	40	10	3	27	5	21	1	-	84.1
Valledupar	36	-	1	35	2	22	11	-	1709.1
El Paso	31	2	2	27	3	19	-	5	189.0
Chiriguaná	30	9	3	18	5	12	-	1	217.9
Aguachica	27	1	1	25	1	24	-	-	80.5
Chimichagua	18	5	2	11	5	4	-	2	431.3
La Gloria	11	3	-	8	3	3	1	1	46.6
Río de Oro	12	1	1	10	1	7	-	2	[illegible]
Astrea	10	2	-	8	4	2	-	2	[illegible]
Gamarra	10	1	1	8	1	7	-	-	79.0
Tamalameque	9	-	-	9	4	4	-	1	[illegible]
El Copey	7	-	3	4	-	2	1	1	67.0
Bosconia	4	-	-	4	1	3	-	-	15.6
Pelaya	4	1	-	3	2	-	-	1	7.2
La Paz	2	-	-	2	-	2	-	-	3.0
La Jagua de Ibirico	2	-	-	2	1	-	-	1	51.1
Pailitas	2	1	-	1	-	1	-	-	1.8
San Diego	1	-	1	-	-	-	-	-	--
Becerril	1	-	-	1	-	1	-	-	4.5
Manaure	-	-	-	-	-	-	-	-	--
González	-	-	-	-	-	-	-	-	--
Totales	475	61	32	382	48	257	47	30	34251.0

INGEOMINAS

TABLA No. 15. CARACTERISTICAS DE CONSTRUCCION DE POZOS EN EL DEPARTAMENTO DEL CESAR

Rangos de Profundidad (m)	No. Total de Pozos	Caudal		DIAMETRO EN PULGADAS Y NUMERO DE POZOS									Material de Revestimiento	Antiguedad de Pozos en años
		Lit/sg	m^3/día	ϕ = 2	ϕ = 4	ϕ = 6	ϕ = 8	ϕ = 10	ϕ = 12	ϕ = 14	ϕ = 18	ϕ = 20		
7-20	134	1 a 4	86.4 a 345	58	39	26	11	------	-----	-----	-----	-----	PVC: 60% HIERRO: 40%	5 - 10
21-50	193	2 a 40	172 a 3456	55	63	54	8	9	1	-----	1	2	PVC: 70% HIERRO: 30%	5 - 10
51-100	91	3 a 100	259 a 8640	3	14	15	24	11	19	2	2	1	PVC: 40% ACERO: 60%	5 - 10
101-150	44	2 a 80	172 a 6902	-----	2	2	8	9	11	3	9	-----	ACERO	10 - 15
150-300	7	10 a 100	864 a 8604	-----	-----	-----	-----	2	3	2	-----	-----	ACERO	2 - 8
Sin información	6													
Total	475	------	------	116	118	97	51	31	34	7	12	3	-----	-----

INGECOMINAS

molino de viento, instalados en pozos con diámetros de 2 a 4 pulg., con caudales de extracción menores de 1.5 lit/seg. (129.6 m^3/día). En la Tabla No. 16 se presenta una relación de los diversos sistemas de operación empleados.

En el Departamento del Cesar el agua subterránea extraída de los pozos es utilizada en mayor volumen en la irrigación de cultivos tales como palma africana, pasto para la ganadería y árboles frutales. Para estos fines se extraen durante el año aproximadamente 23.2 millones de m^3 para irrigar 3000 hectáreas, siendo el municipio de Codazzi la región con mayor volumen de bombeo para tal fin, seguido por el municipio de San Martín. En segundo lugar, aunque en mayor número, los pozos se emplean en la extracción de agua para el consumo humano, abasteciendo a cerca de 72.500 personas con una extracción anual de mas o menos 9.5 millones de m^3. En menor proporción se usa en la industria, fundamentalmente en la ganadera, en abrevaderos de animales, con un volumen de extracción anual de 1.4 millones de m^3 (Tabla No. 17).

Es importante resaltar sobre la gran dificultad que implicó conseguir alguna información sobre las características de construcción de los pozos inventariados. De los 475 pozos inventariados, solo se consiguió el diseño de construcción de 124 de ellos y sobre la estratigrafía en 113. Sobra discutir sobre la importancia de esta información para el conocimiento de los

TABLA No. 16. SISTEMAS DE OPERACION DE LOS POZOS EN EL DEPARTAMENTO DEL CESAR

SISTEMAS DE OPERACION	CANTIDAD	DIAMETROS DE POZOS EN PULGADAS Y NUMEROS DE BOMBAS									CAUDAL DE EXPLOTACION	
		ϕ = 2	ϕ = 4	ϕ = 6	ϕ = 8	ϕ = 10	ϕ = 12	ϕ = 14	ϕ = 18	ϕ = 20	Lit/Seg	m^3/día
Bomba sumergible	73	----	8	25	17	12	8	2	----	1	1 a 55	86.4 a 4725
Bomba de eje vert.	47	----	----	4	10	6	22	4	1	----	10 a 115	864 a 9936
Bomba Centrífuga	52	19	18	7	4	2	2	----	-----	----	1 a 15	86.4 a 1296
Motobomba	171	53	64	39	8	4	2	----	-----	1	1 a 10	86.4 a 864
Compresor	1	----	1	----	----	----	----	-----	-----	-----	0.5	43.2
Molino de Viento	5	2	3	---	----	----	----	-----	-----	-----	0.5 a 1.5	43.2 a 129.6
Bomba Manual	34	28	5	1	----	----	-----	-----	-----	-----	0.2 a 0.5	17.2 a 43.2
Sin Información	92											
Total	475	102	99	76	39	24	34	6	1	2	----	----

INGEOMINAS

TABLA No. 17. EXTRACCION DE AGUA SUBTERRANEA EN POZOS, DISCRIMINADA POR USOS Y MUNICIPIOS

Municipios	CONSUMO HUMANO				AGRICULTURA		INDUSTRIA	
	PUBLICO		DOMESTICO		IRRIGACION		GANADERIA Y OTRAS	
	* $10^3 m^3$/año	No. Personas	* $10^3 m^3$/año	No. Personas	* $10^3 m^3$/año	Hectáreas	* $10^3 m^3$/año	Cantidad Pozos
Codazzi	8.7	460	7675.9	700	21602.1	1500	91.4	9
San Martín	28.5	1565	194.4	615	958.0	370	--	--
San Alberto	123.3	1900	134.4	365	--	--	33.0	4
Curumaní	44.1	1970	17.4	155	12.0	50	10.5	1
Valledupar	64.9	6500	40.3	265	611.0	1070	993	6
El Paso	129.1	6100	34.6	150	--	--	25.6	5
Chiriguaná	145.4	9000	6.0	60	--	--	66.8	8
Aguachica	4.5	1200	18.2	160	--	--	57.3	6
Chimichagua	362.5	16450	27.3	100	--	--	41.5	2
La Gloria	20.4	1400	14.3	50	10.7	30	1.8	1
Río de Oro	8.5	500	41.2	150	--	--	24.6	2
Astrea	133.1	950	1.2	100	--	--	2.7	2
Gamarra	34.7	2850	44.6	60	--	--	--	--
Tamalameque	135.4	610	3.9	60	--	--	63.0	1
El Copey	--	--	4.2	50	59.1	20.0	3.9	1
Bosconia	--	--	2.8	30	--	--	13.2	1
Pelaya	6.1	2600	-	--	--	--	0.9	1
La Paz	--	--	3.0	20	--	--	--	--
La Jagua de Ibirico	44.1	1250	--	--	--	--	6.6	1
Pailitas	--	--	1.8	15	--	--	--	--
San Diego	--	--	--	--	--	--	--	--
Becerril	--	--	4.5	10	--	--	--	--
Manaure	--	--	--	--	--	--	--	--
González	--	--	--	--	--	--	--	--
Totales	1293.3	69345	8270	3115	23252.9	3040	1435.8	51

INGEOMINAS

acuíferos y sus características en el subsuelo; pero del esfuerzo realizado por conseguir esta relativamente escasa información se deduce que:

a) Gran parte de los dueños de pozos desconoce la importancia de poseerla.

b) Una buena proporción de los constructores de pozos no la entrega, y en su mayoría no tiene archivos ordenados y confiables.

c) Es absolutamente necesaria la intervención del organismo correspondiente (CORPOCESAR), en este caso para recuperar, compilar, ordenar, reglamentar y procesar dicha información en beneficio del conocimiento del recurso agua subterránea y de la mejor gestión del mismo en el territorio de su jurisdicción.

5.3 PARTICULARIDADES DE LOS ALJIBES INVENTARIADOS

Los aljibes son construcciones artesanales, por lo general de 1 m de diámetro y una profundidad que varía entre 1.2 m en el menos profundo, hasta 49 m en el más profundo, produciendo caudales que oscilan entre 0.1 y 15 lit/sg. El rango de profundidad mas común se encuentra entre 1 y 10 m y el de menor frecuencia entre 30 y 50

m. Los aljibes de mayor profundidad y caudal se encuentran ubicados en los municipios de Valledupar, La Paz, El Copey y Bosconia, al norte del departamento. Estas construcciones generalmente finalizan uno o dos metros después de alcanzar el nivel freático de la zona; la mayoría se encuentran revestidos con anillos de cemento y los más antiguos con ladrillos.

En el Departamento, los aljibes constituyen el 85% del total de las captaciones de aguas subterráneas y se encuentran distribuidos a lo largo y ancho de toda la planicie. El número de aljibes inventariados durante el proyecto fue de 2890, cifra esta que podría llegar a los 3200, teniendo en cuenta las observaciones de campo hechas por los técnicos encuestadores, las cuales muestran una mayor abundancia de aljibes en la mitad norte del Departamento, en comparación con la mitad sur. Lo anterior no pierde validez a pesar que desde la parte central del Departamento (municipio de Pailitas) hacia el norte, el inventario se llevó a cabo casi predio por predio, obteniéndose una densidad de un (1) aljibe inventariado por cada 4 km², mientras que de Pailitas hacia el sur, por razones de tiempo, el inventario se hizo más selectivo aún, disminuyéndose la densidad aproximadamente a un (1) aljibe inventariado por cada 10 km².

El sistema para la extracción de agua de los aljibes mas comúnmente empleado en el departamento del Cesar, es el baldeo, seguido por

las motobombas y las bombas manuales. En las tablas No. 18 y 19 se presentan las características de construcción y los diferentes sistemas de explotación de estas captaciones de aguas subterráneas.

El agua procedente de los aljibes es empleada en un alto porcentaje para el consumo humano, especialmente en pequeñas fincas, casas ubicadas en pequeñas poblaciones y en cabeceras municipales. Se calcula, en esencia a partir de la información suministrada por los usuarios y consignada en los formularios (Ver numeral 5.1), que anualmente se extraen de ellos aproximadamente 2.8 millones de m^3 de agua subterránea para satisfacer las necesidades de cerca de 45000 personas en todo el Departamento. Otro consumo importante es el abrevadero de animales, principalmente del ganado, para lo cual se extraen anualmente mas o menos 2.0 millones de m^3. En menor proporción el agua extraída de los aljibes es utilizada para la irrigación donde se emplean alrededor de 400.000 m^3 al año. El mayor cantidad de agua utilizada para la ganadería y la irrigación es extraída en los municipios de Valledupar, Codazzi y El Copey. En la tabla No. 20 se desglosa este consumo para cada uno de los municipios del departamento.

Durante el inventario se observó que un gran número de aljibes carecen de obras adicionales para evitar su contaminación por caída de basuras, animales, etc., e igualmente gran parte de ellos,

TABLA No. 18. CARACTERISTICAS DE CONSTRUCCION Y PRODUCCION DE LOS ALJIBES EN EL DEPARTAMENTO DEL CESAR

Municipios	No. Total del Aljibes	RANGOS DE PROFUNDIDAD (m)				RANGOS DE CAUDALES		Aljibes Abandonados
		1 - 10	10.1 - 20	20.1 - 30	30.1 - 50	Lit/seg	m^3/día	
Valledupar	669	374	205	21	5	0.1 - 15	8.64 - 1296	64
Codazzi	290	218	49	7	--	0.1 - 5	8.64 - 432	16
Curumaní	213	199	10	--	--	0.1 - 4	8.64 - 346	4
Chimichagua	202	181	19	--	--	0.1 - 3.0	8.64 - 259	2
Chiriguaná	184	169	11	--	2	0.1 - 3.0	8.64 - 259	2
El Copey	150	120	21	2	1	0.1 - 12	8.64 - 1037	6
El Paso	276	101	141	1	1	0.1 - 3	8.64 - 259	7
Becerril	115	81	30	1	1	0.1 - 4	8.64 - 346	3
Bosconia	122	77	21	1	1	0.1 - 6	8.64 - 518	7
San Martín	67	61	5	4	4	0.1 - 4	8.64 - 346	1
Aguachica	89	51	34	--	--	0.1 - 3	8.64 - 259	--
La Gloria	59	47	12	--	--	0.1 - 4	8.64 - 346	--
Tamalameque	56	43	13	--	--	0.1 - 2	8.64 - 172	--
Gamarra	52	40	12	--	--	0.1 - 3	8.64 - 279	--
San Alberto	42	40	2	--	--	0.1 - 2	8.64 - 172	--
San Diego	63	36	24	--	--	0.1 - 6	8.64 - 518	2
La Paz	78	34	35	--	--	0.1 - 10	8.64 - 864	6
La Jagua de Ibirico	47	34	12	--	--	0.1 - 2	8.64 - 172	--
Pailitas	36	33	3	--	--	0.1 - 2	8.64 - 172	--
Astrea	33	118	13	--	--	0.1 - 0.5	8.64 - 43	--
Pelaya	21	15	6	--	--	0.1 - 2	8.64 - 172	--
Río de Oro	26	13	13	--	--	0.1 - 2	8.64 - 172	--
Manaure	--	--	--	--	--	--	--	--
González	--	--	--	--	--	--	--	--
TOTAL	2890	1985	691	80	14	--	--	120

INGEOMINAS

TABLA No. 19. SISTEMAS DE OPERACION USADOS EN LOS ALJIBES

SISTEMA DE OPERACION	RANGOS DE PROFUNDIDAD EN m Y CANTIDAD DE BOMBAS				TOTAL
	1 - 10	10.1 - 20	20.1 - 30	30.1 - 49	
Motobomba	1 - 10	273	34	6	1043
Baldeo	730	372	39	5	1549
Molino de Viento	1133	24	5	--	69
Bomba Manual	40	19	1	1	61
Bomba Sumergible	79	2	1	--	4
Compresor	1	1	--	--	1
Sin Información	--	--	--	--	124
TOTAL	1983	691	80	12	2890

INGECOMINAS

principalmente aquellos ubicados en las viviendas se encuentran muy cerca a pozos sépticos, con el riesgo de verse afectada el agua subterránea por contaminación.

5.4 PARTICULARIDADES DE LOS MANANTIALES

Se inventariaron un total de 55 manantiales, gran parte de ellos ubicados en la estribación occidental de la Serranía de Perijá, predominando el tipo de manantial por fractura de rocas consolidadas. En general sus caudales varían de 0.1 a 4.0 lit/sg para un promedio de 0.8 lit/sg, exceptuando los manantiales denominados Currucú en el Corregimiento de Poponte (municipio de Chiriguaná), el situado en el caserío El Besote (Municipio de la Gloria) y el de Chimora en el municipio de Codazzi, los cuales producen cada uno de ellos, un caudal de 10 lit/sg, en el caso de los dos primeros y 60 lit/sg en el caso de Chimora.

El agua proveniente de los manantiales es utilizada primordialmente en el consumo doméstico, abasteciendo aproximadamente a 400 personas que habitan en pequeñas fincas, empleándola también en el abrevadero de animales y riego cuando tienen caudales altos. El manantial situado en el caserío de El Besote, es utilizado para el abastecimiento público de cerca de 300 personas que allí habitan.

✓**TABLA No. 20. EXTRACCION DE AGUA SUBTERRANEA A PARTIR DE ALJIBES, DISCRIMINADA POR USOS Y MUNICIPIOS**

Municipios	CONSUMO HUMANO				AGRICULTURA	INDUSTRIA
	PUBLICO		DOMESTICO		IRRIGACION	GANADERIA Y OTRAS
	* $10^3 m^3$/año	No. Personas	* $10^3 m^3$/año	No. Personas	* $10^3 m^3$/año	* $10^3 m^3$/año
Valledupar	66.0	3010	220.4	4950	209.6	790.5
Codazzi	24.6	550	152.7	5560	66.8	422.8
El Paso	30.3	1565	185.2	5340	--	38.8
Curumaní	4.2	340	57.7	1190	--	1.7
Chimichagua	55.5	3500	44.7	1300	--	2.4
Chiriguaná	11.7	1040	79.7	1600	--	--
El Copey	9.0	280	77.3	670	90.2	407.4
Bosconia	0.2	50	77.6	350	--	192.7
Becerril	9.3	350	492.9	3740	--	53.2
Aguachica	2.4	240	22.8	620	--	--
La Paz	45.9	500	468.2	400	2.4	115.7
San Martín	--	--	65.5	500	--	--
San Diego	30.0	1050	424.0	450	--	13.5
La Gloria	1.8	190	13.8	330	--	5.4
Tamalameque	6.0	750	25.4	400	--	--
Gamarra	0.9	200	16.5	350	--	--
La Jagua de Ibirico	0.6	150	12.0	320	--	0.6
San Alberto	--	--	17.4	250	--	17.7
Pailitas	0.6	300	25.8	280	--	--
Astrea	2.4	1000	6.0	185	--	4.5
Río de Oro	2.1	170	3.9	150	--	--
Pelaya	1.2	200	5.7	130	--	--
Manaure	--	--	--	--	--	--
González	--	--	--	--	--	--
TOTAL	305	15435	2496	29065	391	2067

INGEOMINAS



Una serie de pequeños manantiales, denominados en su conjunto con el nombre de El Bosque, ubicados en el casco urbano del municipio de Aguachica, era utilizado en épocas pasadas para el abastecimiento público de esa población. Actualmente se emplea como parque de recreación, utilizándose en épocas de sequía para el abastecimiento doméstico de un sector pequeño de la población.

Se calcula que los 55 manantiales inventariados producen anualmente 1.500.000 m^3 de agua, pero lamentablemente la mayoría carecen de obras adicionales para protegerlos contra los riesgos de contaminación.

6. PROSPECCION GEOELECTRICA

El presente capítulo es un resumen basado en el informe "Prospección Geoeléctrica en el Departamento del Cesar" elaborado por Vásquez (1994), como resultado de una de las actividades técnicas correspondientes al estudio hidrogeológico. Dicho informe fue entregado por separado a CORPOCESAR, con todos sus anexos.

6.1 OBJETIVOS

El objetivo de este estudio fue conocer las características geoeléctricas de los sedimentos y rocas que conforman el subsuelo de la parte plana y semiplana del departamento del Cesar, mediante la aplicación del método de prospección geoeléctrica conocido como Resistividad, con el fin de:

- Determinar y evaluar la distribución de los valores de resistividad de los sedimentos y rocas con la profundidad.

- Deducir la existencia de niveles acuíferos potenciales bajo la zona plana y semiplana del departamento del Cesar, delimitándolos tanto en forma areal como en profundidad.

- Determinar la manera cualitativa la calidad química del agua de los diferentes acuíferos identificados.

6.2 METODOLOGIA

La investigación geoeléctrica se inició con la recopilación y análisis de la información geológica y geoeléctrica existente, a partir de la cual se elaboró una hipótesis de trabajo relacionada con la ubicación, apertura de electrodos y cantidad de sondeos eléctricos verticales (S.E.V.) que se realizarían y luego se ejecutaron éstos en el campo. Se creó además un archivo con datos de resistividad aparente y se elaboraron cortes geoeléctricos y mapas de isorresistividad e isóbatas. (Ver informe de Vásquez, 1994).

Durante el proyecto se levantaron 426 SEV que se adicionaron a los ejecutados en trabajos anteriores, para alcanzar un total de 1016 SEV en todo el departamento, oscilando las aberturas de electrodos (AB/2) entre 200 y 900 metros. La medición o levantamiento de los sondeos eléctricos verticales tuvo una densidad promedio de 1 SEV por cada 25 km², en la zona plana y semiplana del Departamento.

Los puntos medidos para cada SEV fueron los siguientes 1.5, 2.5, 4, 6, 8, 10, 12, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 75, 100, 125, 150, 175, 200, 250, 300, 350, 400, 500, 600, 700 y 900 metros,



respectivamente. En promedio se obtuvieron unos 28 valores de resistividad aparente por sondeo, es decir, 11928 datos en total. Dicha cantidad por sondeo obedece a un mejor trazado de la curva de SEV, obteniéndose 6 puntos por cielo logarítmico en los primero 10 m de AB/2, 10 puntos por ciclo entre los 10 y 100 m; 9 a 12 puntos por ciclo entre los 100 y los 1000 m.

Los SEV adicionales consultados y utilizados en el presenta trabajo fueron realizados por consultores privados (157), por Insfopal (116), por TNO (317) y finalmente los ejecutados por Ingeominas (426) para un total de 1.016 como se anotó anteriormente.

Los datos de campo de los sondeos se organizaron para su archivo en parejas de valores AB/2 y Ra, es decir, en semi-aberturas de electrodos de corriente y en resistividades aparentes calculadas a partir de los valores de potencial V y corriente I medidos. Para esto se utilizo el software SONEIN para crear un archivo de datos geoeléctricos. (Vásquez, 1994).

Los archivos generados se grabaron con la identificación de cada sondeo. Por ejemplo, el SEV 2 de la plancha 86-III-C quedó registrado como 86-III-C-2 y así sucesivamente, identificación que también se conserva en las respectivas planchas (Vásquez, 1994).

Luego del archivo de los datos, se procedió a graficar las curvas de campo y éstas a su vez se sometieron a un proceso de suavizado manual y de empalme de los tramos componentes de las curvas. Se aplicó el método del punto auxiliar o de superposición con curvas teóricas de tres capas, según la escuela holandesa y luego en el computador se aplico el método de aproximaciones sucesivas. Este último permite obtener la solución a la curva analizada, dando como resultado una serie de valores de variación de resistividad con la profundidad. El programa SONDEOS se utilizó en esta fase.

6.3 ANALISIS DE LOS RESULTADOS

Los resultados obtenidos a partir de la interpretación de cada uno de los SEV levantados en el departamento del Cesar, se correlacionan y analizan con base en la elaboración de 10 cortes geoeléctricos que tienen direcciones predominantes NW-SE en la subcuenca del río Cesar y W-E en la cuenca del río Magdalena. Estos cortes se presentan en la Plancha No. 10 y su localización en la figura No. 7.

6.3.1 Corte Geoeléctrico 1-1'. Es una sección con dirección noroeste-sureste (NW-SE) que va desde el municipio de Aguas Blancas hasta el municipio de Agustín Codazzi cerca a la Serranía de Perijá.

La interpretación muestra la siguiente agrupación y distribución de valores de resistividad en profundidad:

De 5 a 12 Ohm.m, en los quince primeros metros de profundidad entre la Sierra Nevada, como Porrilla y unos 7 km al oriente de este. Además, 110-400 Ohm.m en el municipio de Agustín Codazzi, hasta la misma profundidad. Se pueden correlacionar estos valores con arcillas y limos hacia la parte occidental y con arenas y gravas hacia la parte oriental, pertenecientes en ambos casos al Cuternario.

De 15 a 90 Ohm.m en los siguientes 100 m. de profundidad aproximadamente, correspondientes a arcillolitas y areniscas de la Formación Barco del Terciario al oriente y sedimentos, cuaternarios al occidente del Cerro Porrillas.

De 5 a 15 Ohm.m, hasta mas de 200 m de profundidad en el municipio de Codazzi, correspondientes a shales negros de la Formación Molino (o Umir) del Cretáceo.

Mas de 100 Omh.m, como basamento geoeléctrico el cual constituye la prolongación en profundidad de las rocas que conforman las cadenas montañosas, correspondientes a rocas ígneas y sedimentarias muy compactas, Cretácicas y pre-Cretácicas.

La situación estructural muestra básicamente un pliegue sinclinal en el municipio de Codazzi y una cuenca sedimentaria de origen tectónico, rellena por sedimentos cuaternarios entre el río Cesar y la Sierra Nevada de Santa Marta, separados entre si por una discontinuidad geoléctrica.

6.3.2 Corte Geoeléctrico 2-2'. Es una sección con dirección Noroeste-Sureste que atraviesa desde el río Ariguaní al occidente, hasta la vía que conduce de Codazzi a Casacará al oriente, cruzando por Bosconia, Los Venados y el río Cesar.

La agrupación y distribución de valores de resistividad con la profundidad es como sigue:

De 3 a 15 Ohm.m y 20-100 Ohm.m, en los primeros 15 a 50 m de profundidad, desde el río Ariguaní hasta la Serranía de Perijá. Se pueden correlacionar con materiales no consolidados del Cuaternario (arcillas, limos, arenas y gravas).

De 19 a 100 Ohm.m hasta una profundidad promedio de 150 m en la parte oriental del río Cesar. Se pueden correlacionar con arcillolitas y areniscas de la Formación Barco del Terciario.

De 5 a 15 Ohm.m hasta profundidades mayores de 250 m en las regiones comprendidas por Bosconia, Los Venados y el río Cesar y

alrededores de Casacara. Se pueden correlacionar con arcillolitas de la Formación Molino del Cretáceo.

De 9 a 30 Ohm.m, entre los 10 y más de 300 m de profundidad al Occidente de la vía Bosconia - El Copey. Estos corresponderían a la Unidad Sedimentitas de Arjona.

De 5 a 500 Ohm.m, como basamento geoeléctrico. Se puede correlacionar con rocas calcáreas y limolitas silíceas del grupo Cogollo y de la Unidad La Quinta, del Cretáceo y Juratríasico respectivamente.

La situación estructural que se observa en el corte es la de una serie de plegamientos que al oriente del río Cesar y la de un homoclinal hacia el occidente del mismo río.

6.3.3 Corte Geoeléctrico 3-3'. Es un corte con dirección W-E que atraviesa desde el río Ariguani, al occidente, hasta la población de Casacará, al oriente, curzando por Loma Colorada, el río Cesar, Tres Esquinas y la hacienda La Palma.

La agrupación y distribución de valores de resistividad con la profundidad es como sigue:

De 2 a 7 Ohm.m, hasta unos 10 m de profundidad en la región de El Sará al occidente y 14 a 200 Ohm.m, en los primeros 5 m de profundidad en las demás regiones. Se pueden correlacionar con sedimentos no consolidados del cuaternario.

De 8 a 40 Ohm.m, hasta unos 140 m de profundidad al oriente y mas de 300 m en las regiones de Loma Colorada y El Sará. Se pueden correlacionar con intercalaciones de arcillolitas y areniscas de la Formación Barco del Terciario al oriente y la unidad Sedimentitas de Arjona (Grupo Real) al occidente.

De 5 a 13 Ohm.m, hasta una profundidad variable entre 250 m y mas en la parte oriental del río Cesar. Se pueden correlacionar con los shales negros de la Formación Molino del Cretáceo.

De 20-500 Ohm.m, como basamento geoeléctrico correlacionable con rocas calcáreas de la Formación La Luna del Cretáceo.

La situación estructural en esta región es similar a las descritas para los cortes anteriores, es decir, plegamientos suaves pero interrumpidos por una discontinuidad hacia la parte occidental.

6.3.4 Corte Geoeléctrico 4-4'. Tiene una dirección NW-SE desde la región de El Paso hasta el municipio de La Jagua de Ibirico, atravesando el río Canoas, el río Cesar, La Loma y Plan Bonito.

La grupación y distribución de los valores de resistividad con la profundidad se interpreta de la siguiente manera:

De 100 a 3000 Ohm.m, hasta una profundidad aproximada de 80 m en la región de Plan Bonito pueden corresponder a conglomerados y areniscas de la Formación Cuesta. Hasta una profundidad de 35 m al occidente de La Jagua de Ibirico pueden corresponder a gravas y arenas del Cuaternario.

De 15 a 80 Ohm.m, hasta profundidades cercanas a los 280 m en la región de Plan Bonito pueden corresponder a arenisca y mantos de carbón saturados con agua, de la Formación Cuervos. De 50 a 500 Ohm.m, hasta profundidades mayores de 300 m al occidente de La Jagua de Ibirico, corresponden a calizas y lutitas de la Formación La Luna intercaladas con arcillolitas de menos de 10 Ohm.m.

De 5 a 10 Ohm.m, hasta mas de 300 m de profundidad se correlacionan con arcillolitas de la Formación Molino del Cretáceo.

Intercalaciones de 30 a 70 Ohm.m y de 5 a 9 Ohm.m hacia la parte occidental, corresponden a sedimentos del Terciario y Cuaternario, sin diferenciar, entre el municipio de El Paso y el río Cesar.

La situación estructural es de plegamientos suaves hacia la parte oriental y de un homoclinal hacia la parte occidental.

6.3.5 Corte Geoeléctrico 5-5'. Se elaboró con dirección NW-SE, desde el municipio de Astrea hasta el caserío de Arenas Blancas, atraviesa las poblaciones de Astrea, Arjona y La Aurora, así como el río Cesar y la Ciénaga de El Gallo.

La agrupación y distribución de valores de resistividad con la profundidad es como sigue:
De 50 a 2000 Ohm.m, hasta profundidades que varían entre 15 y 100m entre La Aurora y Arenas Blancas, corresponden a arenas y gravas del Cuaternario.

De 30 a 120 Ohm.m, hasta profundidades que varían entre 120 y 300 m, corresponden a calizas del Grupo Cogollo del Cretácico.

De 7 a 15 Ohm.m, como base geoeléctrica, corresponden a shales del Grupo Cogollo del Cretáceo, en la parte oriental.

Intercalaciones de 18 a 40 Ohm.m y de 4 a 12 Ohm.m entre Astrea, río Cesar y La Aurera, corresponden a sedimentos arenosos y arcillosos del Cuaternario y Terciario correspondientes a las llamadas Sedimentitas de Arjona.

La situación estructural muestra dos discontinuidades que separan tres bloques, de los cuales el más oriental presenta plegamientos entre La Aurora y Arenas Blancas.

6.3.6 Corte Geoeléctrico 6-6'. Tiene una dirección NW-SE y se extiende desde la población de Chimichagua hasta la de Curumaní.

La agrupación y distribución de valores es la siguiente:
Al occidente, en la región de Chimichagua la interpretación es como sigue:

De 290 a 4000 Ohm.m, hasta unos 5 m de profundidad corresponden a arenas y gravas del Cuaternario.

Intercalaciones de 10 a 15 Ohm.m y 20 a 70 Ohm.m, corresponden a intercalaciones arenosas y arcillosas del Terciario, hasta profundidades mayores de 300 m, pertenecientes probablemente a las Sedimentitas de Arjona.

Al oriente, entre Sabana Grande y Curumaní la interpretación es como sigue:

50 a 200 Ohm.m, hasta unos 10 a 25 m de profundidad, pueden corresponder a sedimentos arenosos del Cuaternario.

100 Ohm.m, hasta mas de 100 m de profundidad corresponden a rocas calcáreas del Grupo Cogollo del Cretáceo.

De 12 a 15 Ohm.m, hasta profundidades que varían de 75 a 200 m corresponden posiblemente a rocas de la Formación Rionegro del Cretácico.

De 100 a 250 Ohm.m. como base geoeléctrica, corresponden a rocas metamórficas del Paleozoico y de la unidad La Quinta Volcanoclástica.

Ambos sectores están separados entre si por la zona de ciénagas, pero se advierte una clara discontinuidad en la distribución de valores de resistividad, prácticamente correlacionable con una falla geológica de gran salto, pues enfrenta sedimentos del Terciario con rocas del Paleozoico.

6.3.7 Corte Geoeléctrico 7-7'. Tiene dirección NW-SE desde el corregimiento de La Gloria, al occidente, hasta el corregimiento de Ayacucho, al oriente, pasando por el caserío La Mata entre Pailitas y Aguachica.

La agrupación y distribución de valores de resistividad presenta la siguiente interpretación:

De 65 a 700 Ohm.m, hasta profundidades que oscilan entre 75 y 210 m, en el sector de La Gloria, pueden corresponder a depósitos de gravas y arenas del Cuaternario. Así mismo, 14 a 25 Ohm.m, hasta

unos 85 m de profundidad, alrededor del caserío La Mata, corresponden a arenas y limos pertenecientes a los depósitos cuaternarios denominados Abanicos Aluviales.

De 5 a 9 Ohm.m, hasta 70 y 300 m de profundidad bajo La Mata, pueden corresponder a niveles arcillosos del Terciario,. representados por la unidad Sedimentitas de Arjona correlacionable con el Grupo Real.

De 40 a 65 Ohm.m, como basamento geoeléctrico, puede correlacionarse con rocas volcánicas de la Unidad La Quinta Volcanoclástica y rocas cretáceas no diferenciadas.

Estructuralmente se puede observar una microcuenca rellena de sedimentos cuaternarios, bajo la población de La Mata.

6.3.8 Corte Geoeléctrico 8-8'. Tiene una dirección NW-SE, va desde el sector de Gamarra hasta la parte oriental del municipio de Aguachica.

La agrupación y distribución de los valores de resistividad es como sigue:

De 27 a 209 Ohm.m, hasta una profundidad máxima de 35 m en Aguachica, corresponden a gravas, arenas y limos del Cuaternario.

De 8 a 26 Ohm.m, hasta una profundidad de 220 m en Aguachica, pueden corresponder a alternancias de limos, arenas y arcillas del Cuaternario.

De 1 a 10 Ohm.m, hasta profundidades mayores de 250 m, corresponden a arcillolitas de la unidad Sedimentitas de Arjona (Grupo Real) del Terciario.

De 12 a 18 Ohm.m, como base geoeléctrica, corresponden a lutitas pertenecientes al Cretáceo no diferenciado.

Estructuralmente existe una microcuenca rellenada por sedimentos cuaternarios, bajo el municipio de Aguachica.

6.3.9 Corte Geoeléctrico 9-9'. Tiene una dirección SW-NE. Este corte une la región de Barranca de Lebrija en el occidente, hasta el sector nororiental del municipio de San Martín.

La agrupación de valores y su distribución es como sigue:
De 35 a 250 Ohm.m, hasta profundidades entre 10 y 22 m, pueden corresponder a depósitos de arenas y gravas del Cuaternario (Abanicos Aluviales).

De 5 a 8 Ohm.m, hasta profundidades variables entre 50 y 100 m, corresponden a arcillas del Cuaternario.

De 12 a 35 Ohm.m, hasta profundidades entre 100 y 185 m, pueden corresponder a intercalaciones de arenas, limos y arcillas del Terciario.

De 4 a 7 Ohm.m, como base geoeléctrica, pueden correlacionarse con arcillolitas pertenecientes a las Sedimentitas de Arjona (Grupo Real) del Terciario.

La situación estructural es simple, presentándose las capas casi horizontales.

6.3.10 Corte Geoeléctrico 10-10'. Tiene dirección SW-NE en la parte sur del departamento, uniendo la región occidental con un punto situado entre las poblaciones de San Martín y San Alberto.

La interpretación obtenida a partir de los SEV es la siguiente:

De 20 a 500 Ohm.m, hasta profundidades variables entre 10 y 50 m, corresponde a depósitos de arenas, limos y gravas del Cuaternario. (Aluviones recientes).

De 5 a 14 Ohm.m, hasta profundidades variables entre 50 y 150 m, corresponde a intercalaciones de arcillas, limos y algunas arenas del Cuaternario. (Aluviones Recientes)

De 15 a 50 Ohm.m, hasta profundidades entre 150 y 275 m, corresponde a intercalaciones de arenas, limos y gravas del cuaternario. (Aluviones Recientes).

De 5 a 10 Ohm.m, se interpreta como base geoeléctrica, correspondiente a niveles arcillosos de la unidad Sedimentitas de Arjona del Terciario.

La situación estructural es análoga a la del corte geoeléctrico 9-9'.

6.4 MODELO GEOELECTRICO DEL AREA

El modelo se define principalmente entre dos cuencas sedimentarias con características diferentes: la del río Cesar y la Cuenca del Magdalena, los cuales corresponden aproximadamente con las áreas de las cuencas hidrográficas de los mismos nombres.

6.4.1 Cuenca del Cesar. En esta cuenca el modelo consiste básicamente en rangos de valores de resistividad, correspondientes a unidades geológicas características distribuídas en el subsuelo. Se puede expresar a manera de la tabla No. 20a.

INGEOMINAS

TABLA No. 20a. MODELO GEOELECTRICO PARA LA CUENCA DEL RIO CESAR

Unidad Geológica	Resistividad (Ohm.m)	Profundidad Base (m)	Litología Principal	Característica Hidrogeológica Cualitativa
Cuaternario				
	6-10	10-100	arcillas	poco permeable
	10-30	Idem	limos, arenas	Permeable
	30-100	Idem	Arenas, gravas	permeable
	100-200	Idem	gravas	permeable
	200-3000	Idem	gravas secas	permeable
Terciario				
Fm.Cuesta	700-3000	40-100	conglomerado	permeable
Fm.Cuervos	4-15	50-150	arcilla, carbón	poco permeable
Fm.Barco	20-300	150-400	arenisca	permeable
Cretáceo				
Fm. Molino	3-11	Más de 300	shales	poco permeable
Fm. La Luna	50-100	Idem	Caliza, shale	poco permeable
Grupo Cogollo	100-500	Idem	caliza, shale	poco permeable
Jura-Triásico				
Unidad La Quinta	90-400	más de 300	volcanitas y sedimentitas	poco permeable
Rocas Igneas	1000	Idem	acidos	Impermeable

6.4.2 Cuenca del Magdalena. El modelo en esta cuenca consiste de una variación de resistividades de manera semejante al anterior, con variaciones en la secuencia estratigráfica del subsuelo. Se puede definir mediante la tabla No. 20b.

INGEOMINAS

TABLA 20b. MODELO GEOELECTRICO PARA LA CUENCA DEL RIO MAGDALENA

Unidad Geológica	Resistividad (Ohm.m)	Profundidad Base (m)	Litología Principal	Característica Hidrogeológica Cualitativa
Cuaternario				
	20-500	30-400	arena, grava	permeable
	5-15	Idem	Arcilla, limo	Poco permeable
Terciario				
Sedimentitas de Arjona (Grupo Real)	12-35	150-400	arenisca, limolita	Permeable
	4-13	más de 400	limolita, arcillolita	poco permeable
Jurásico				
Unidad La Quinta Volcano-Clástica	100-250	más de 500	volcano-clásticos	poco permeables

Del los modelos geoeléctricos anteriores se desprende que los valores de resistividad de 6 a 3000 Ohm.m representan a los sedimentos del Cuaternario y están distribuídos en los primeros 100 m de profundidad en la cuenca del Cesar y hasta unos 400 m en la fosa del río Ariguaní y en la cuenca del Magdalena. Los valores entre 4 y 3000 Ohm.m a profundidades mayores, corresponden a sedimentos consolidados del Terciario, principalmente a las formaciones Cuesta, Cuervos, Barco y Sedimentitas de Arjona en las cuencas del Cesar y Magdalena, respectivamente. Valores entre 3 y 11 Ohm.m, distribuídos bajo los anteriores, corresponden a niveles arcillosos (shales) del Cretáceo, principalmente de la Formación Molino y el Grupo Cogollo en la cuenca del Cesar. Valor entre 50 y 500 Ohm.m, a profundidades alrededor de los 100 m, corresponden a niveles calcáreos del Cretáceo, principalmente la Formación La Luna y El Grupo Cogollo. Los valores de resistividad entre 90 y 1000

Ohm.m, situados a distintas profundidades y cerca a la Sierra Nevada de Santa Marta, corresponden por lo general a cuerpos ígneos y secuencias volcano-sedimentarias de carácter impermeable.

Dentro del Departamento, se determinó la existencia de niveles acuíferos, asociados a sedimentos del Cuaternario (arenas y gravas) y a rocas del Terciario (Areniscas y conglomerados). En dichos niveles acuíferos se espera encontrar agua de calidad físico - química aceptable para el consumo, de acuerdo con los valores de resistividad obtenidos en los SEV y en varios pozos existentes. En términos generales las áreas con valores de resistividad entre 15 y 100 Ohm.m, tienen las mejores perspectivas hidrogeológicas.

La distribución tanto de los valores de resistividad como la de los espesores de la base acuífera permiten diferenciar las dos cuencas sedimentarias existentes en el Departamento: la del río Cesar, con una tectónica esencialmente de tipo compresional en la cual se presentan plegamientos y fallas inversas subparalelas a la serranía de Perijá y la del río Magdalena, con una tectónica de bloques adyacentes a la falla de Santa Marta - Bucaramanga.

En general, los espesores de los niveles acuíferos son mayores hacia la parte occidental y sur del Departamento, donde alcanzan más de 300 m, la excepción es la región situada entre Gamarra, Aguachica y Puerto Mosquito.

INGEOMINAS

7. HIDROGEOQUIMICA

Este capítulo corresponde a una síntesis basada en el informe "Investigación Hidrogeoquímica del agua subterránea en el Departamento del Cesar", elaborado por Vargas y Angel (1995), el cual es resultado de otra de las actividades técnicas realizadas como parte de este proyecto y que se entregó por aparte a CORPOCESAR, con sus correspondientes anexos.

7.1. OBJETIVOS

- Evaluación de la calidad del agua subterránea del departamento, para consumo humano, irrigación y uso industrial.

- Clasificación geoquímica de las aguas subterráneas y su relación con la evolución de las mismas.

- Determinación de la dirección aproximada del flujo subterráneo en el acuífero libre.

INGEOMINAS

7.2. METODOLOGIA

El procedimiento seguido consta de: Muestreo, Preservación, Análisis, resultados e interpretación.

7.2.1 Muestreo. A lo largo del Departamento del Cesar, se tomaron, primordialmente, muestras de aguas subterráneas. Los puntos de muestreo se seleccionaron, sobre el inventario de pozos, aljibes y manantiales, elaborado previamente por INGEOMINAS y con base también en la información geológica disponible.

Por otra parte, se colectaron algunas muestras de aguas superficiales en ríos y ciénagas.

En el período de tiempo comprendido entre el 1o. de abril de 1993 y el 22 de marzo de 1994 se tomaron 483 muestras, discriminadas así:

a) **Aguas Subterráneas:** 84 muestras de pozos, 365 de aljibes y 12 de manantiales.En los pozos, el rango de profundidad es de 10 a 160 metros y en los aljibes, de 2 a 36 metros.

   En total se tomaron 461 muestras de aguas subterráneas, con una densidad promedio de una muestra cada 10 km_2. Las muestras provienen de las siguientes unidades geológicas: Cuaternario, 88%; Terciario, 7%; Cretáceo, 3% y Jurásico el 2% restante.



b) **Aguas Superficiales:** 16 muestras en ríos y 6 en ciénagas y plantas de tratamiento.

Para la toma de muestras y su preservación, se aplicaron recomendaciones dadas por APHA, AWWA, WPCF (Clesceri et al, 1989), USGS (Brown et al, 1970) y por Custodio y Llamas (1983).

7.2.2 Preservación. En cada sitio seleccionado, se tomó una muestra, se hizo parte del análisis in situ y a continuación, ésta se dividió en varias alícuotas para su preservación, como se indica en la tabla 21.

TABLA 21

PRESERVACION DE MUESTRAS

Alicuota No.	Volumen	Preservación	Análisis a Realizar
1	1.000 mL		Color, Turbiedad, Alcalinidad
2	500 mL	Refrigeración sólamente	Cl, SO_4 Ca, Mg Sólidos
3	100 mL Filtrados (0.45μm)	1 mL HNO_3 5N	Na, K, Mn, Fe, Ca, Mg
4	100 mL Filtrados (0.45μm)	1 mL H_2SO_4 15 N	NO_3

* en frasco plástico nuevo y lavado

7.2.3 Análisis. El análisis requerido en las muestras, según lo estipulado en el convenio INGEOMINAS-CORPOCESAR, consiste básicamente en el análisis fisicoquímico. Adicionalmente las determinaciones de Oxígeno disuelto y potencial redox en las muestras. Los iones Cl^-, SO_4^-, HCO_3^-, Na^+, Ca^{++}, Mg^{++}, predominan en las aguas subterráneas, por lo cual se denominan iones fundamentales. Aquellos iones que forman menos del 1% del contenido iónico, se conocen como iones menores. Entre otros, están los siguientes: K^+, Fe^{++}, CO_3^-, NO_3. Para el análisis de las muestras se estableció un orden cronológico en dos etapas, teniendo en cuenta la estabilidad de cada componente en el agua: (a) Análisis de campo y (b) Análisis de laboratorio.

a) Análisis de Campo. El análisis se inició en el sitio de muestreo, con las siguientes determinaciones; temperatura, conductividad, PH, sólidos en solución (válido para muestras con conductividad inferior a 300 micromhos/cm), oxígeno disuelto y potencial redox.

Posteriormente, el mismo día de toma, en la alícuota No. 1 de cada muestra, como se menciona en la tabla 21, se determinó: color, turbiedad y alcalinidad.

b) Análisis de Laboratorio. Las muestras preservadas, identificadas como alícuotas No. 2, 3, y 4 fueron transportadas a

Bogotá al Laboratorio de Química ambiental de INGEOMINAS, donde se efectuaron las siguientes determinaciones:

Nitratos	Calcio
Cloruros	Magnesio
Sulfatos	Sodio
Sólidos	Potasio
Hierro	Manganeso

Cada análisis se realizó en la alícuota preservada correspondiente, de acuerdo a lo indicado en la tabla 22.

Tabla 22

METODOS ANALÍTICOS

DETERMINACION	METODO	EQUIPO	LIMITE DE DETECCIÓN mg/L
pH,Temperatura	Instrumental	Orian 230.A	
Conductividad	Instrumental (QA)	ORION	
Alcalinidad, CaC03	Volumetría, (SM)		10
Cloruros. cl	Volumetria, AgN03 (SM)		5.0
Nitratos, N03,	Colorimetría - Reducción con Cd QA		5.0
Sulfatos, S04	Turbidimetria, $BaCl_2$ (QA)		5.0
Color	Instrumental (Qa)	orbeco Hellige	5
Turbiedad	Nefolometrico	Lamotte 2008	5.0 NTU
Oxigeno disuelto	Instrumental	HACH	
Solidos Disueltos	Instrumental	Orion 230A	
	Gravimétrico	Balanza mettler AE 160	

INGEOMINAS

DETERMINACION	METODO	EQUIPO	LIMITE DE DETECCIÓN mg/L.
Calcio	Complexometría (SM,QA)		4.0
Magnesio			3.0
Sodio	Absorción Atómica	PE 306	1.0
Potasio			1.0
Manganeso			0.1
Hierro	Colorimetria, fenantrolina SM, ASTM	B&L. 70	0.1

El análisis de las muestras se realizó aplicando los métodos que se presentan en la tabla 22.

Los sólidos disueltos se determinaron instrumentalmente en las muestras con conductividades menores de 300 micromhos/cm, teniendo en cuenta el criterio del seminario ICP (1991). En las demás muestras, la determinación se hizo por gravedad.

7.2.4 Resultados. Los resultados del análisis fisicoquímico, se encuentran incluídos en la base de datos hidrogeológicos (Inventario de puntos de agua), que se entrega a CORPOCESAR, en forma de diskettes, como parte integral un Informe especial dedicado a dicha base de datos(Rocha,1995).

Nota: Cuando aparece en los resultados la cifra -999, significa que no existe resultado alguno para el parámetro en cuestión.

Límites de detección. Los límites de detección de los métodos utilizados, se presentan en la tabla 22. Es importante resaltar que, los valores reportados que son inferiores a estos límites significan, solamente que no fueron detectados en el análisis.

7.3 . INTERPRETACION DE RESULTADOS

El objeto de los resultados es el conocimiento de la calidad del agua y la interpretación hidrogeoquímica de los mismos. Se evalúa la calidad del agua para: consumo humano, irrigación y uso industrial.

7.3.1. Calidad del Agua para Consumo Humano. La calidad del agua para consumo humano, en este estudio, se evalúa de acuerdo con las normas y criterios establecidos en el capítulo III del decreto No. 2105 de julio 26 de 1983 (Potabilización del agua), y en segunda instancia, con normas internacionales.

Por considerarse de interés se citan, como premisa de la evaluación, las siguientes definiciones del decreto 2105/83.

"AGUA POTABLE: Es aquella que por reunir requisitos físicos, químicos y bacteriológicos, en las condiciones señaladas en el presente decreto, al ser consumida por la población humana no produce efectos adversos a su salud".

"ANALISIS FISICO QUIMICO DEL AGUA". Es aquel que se efectúa para determinar sus características físicas, químicas o ambas".

En el presente trabajo, en cumplimiento del convenio INGEOMINAS-CORPOCESAR, a las muestras de agua se les efectuó análisis fisicoquímico, mas no bacteriológico. Por esta razón la evaluación de la calidad de las aguas se hace únicamente en relación con las características físicas y químicas del agua en estudio.

Se puede afirmar la potabilidad química cuando las concentraciones de sus elementos satisfagan las condiciones fijadas para ello (Custodio y Llamas, 1983)

La tabla 23 recopila los valores de potabilidad de las características físicas y químicas que debe cumplir el agua potable, y los valores requeridos para su potabilización por los dos tratamientos que allí se citan.

Al hacer la evaluación de las aguas subterráneas del Departamento del Cesar, teniendo en cuenta los valores admisibles para el agua potable, establecidos en el decreto No. 2105 de 1983, se observa que solamente el 50% de las muestras es potable en todos sus parámetros fisicoquímicos. Las demás, presentan valores que sobrepasan, en uno o más parámetros, tales valores admisibles, lo

cual significa que son impotables químicamente, con respecto a este decreto.

Tabla 23

NORMAS Y CRITERIOS DE CALIDAD FISICA Y QUIMICA DEL AGUA POTABLE

	DECRETO 2105 DE 1983		DECRETO 1594 DE 1984	
	Valor Admisible	Valor Deseable	Para su potabilización solo requiere	
			Tratamiento Convencional	Desinfección
Color, unidades Pt-Co	15	5	75	20
Dureza total (Ca,Mg) como CaC03, mg/L.	30-150			
pH potenciametrico a °C	6.5-9.0	7.0-8.5	5.0-9.0	6.5 - 8.5
Solidos en solución (evaporación 105°C), mg/L.	500	200		
Turbiedad, NTU	5	1		10
Hierro total como Fe	0.3			
Magnesio como Mg + +	3.6			
Manganeso total como Mn	0.1			
Cloruros como Cl-	250		250	250
Nitratos como N03-	45		45	45
Sulfatos como SO_4	250		400	400

La anterior clasificación, sin embargo, no debe considerarse en forma absoluta. Para evaluar la calidad del agua subterránea, los distintos países, según Custodio y Llamas (1983), suelen guiarse

por los límites de potabilidad de la Organización Mundial de la Salud (OMS), lo cual da margen para aplicarla al presente estudio. De las normas OMS, (1971, en Catalán 1981) se extractan los límites de los parámetros fisicoquímicos, que se presentan en la tabla 24. El límite de nitratos es tomado de las normas WHO (1984).

Tabla 24
Normas de calidad para el Agua Potable OMS, (1971)
(Parámetros fisicoquímicos)

	Mayor deseable	Máximo permisible
Color	5	50
pH (rango)	7.0-8.5	6.5-9.2
Sol. tot. disuel. (mg/L)	500	1.500
Turbiedad (UT)	5	25
Cloruros (mg Cl^-/L)	200	600
Dureza (mg $CaCO_3$/L)	100	500
Hierro (mg/L)	0.1	1.0
Magnesio mg Mg/L	30	150
Manganeso (mg Mn/L)	0.05	0.5
Sulfato (mg $SO_4^=$/L	200	400

7.3.1.1 Unidades acuíferas de edad cuaternaria. De acuerdo con estos criterios de la OMS, se obtiene, finalmente, la siguiente evaluación de las aguas subterráneas en las unidades Qlla, Qcal, Qal y Qt.

- El 80% del agua es potable respecto a sus características físicas y químicas.

- En el 13% de las muestras un solo parámetro sobrepasa los máximos valores permisibles de la OMS (1971, en Catalán 1981). Estas se relacionan en la tabla 25, donde se cita el parámetro que las hace impotables. El pH, en este caso, significa valores inferiores a 6.5.

- El 7% restante son aguas que en más de un parámetro presentan valores mayores que los máximos permisibles de la OMS (1971 en Catalán, 1981). En la tabla 26 se indican tanto los parámetros como las muestras.

En resumen el 20% de las muestras es impotable por los parámetros mencionados en las tablas 25 y 26. Los valores hallados de estos componentes oscilan dentro de los rangos que se muestran en la tabla 27.

En las tablas 25 y 26 se puede observar que, en las muestras relacionadas, los niveles de impotabilidad predominante corresponden al pH (la cuarta parte de estas muestras) y al manganeso (la quinta parte), seguidos, en menor proporción por: dureza total, sólidos disueltos y nitratos.

INGEOMINAS

TABLA 25.

Muestras en las cuales un parámetro sobrepasa el máximo permisible de las normas OMS (1971)

PARAMETRO	IDENTIFICACION		
Dureza total	33IIID1	86IA7	
Hierro (Fe) total	40IIA36	55IB86	97IA6 48IB7
Manganeso (Mn)	47ID4 47IVA2 55IVA-1 48IIIC48 85IID29	97IC33 65IIC21 75IIA3	85IID29 97IC33 47IVA5
Nitratos (NO_3-)	27IIC23 27IVC3 33IIIA53 33IIIB24	33IVD6 34IC37 40IB35 40IIC4	55IIA13 56IC9 65IIB1
Sólidos Disueltos	33IIIC6	33IIIC14	40ID10
Turbiedad	33IIID24	40IVD6	
pH	47ID30 47IID27-28 47IVD55 48IC6-9 48ID3-11-12 48IIIC21 55IB52-88 55ID19	 65IIA17 55IID37-110 55IVA4-5 55IVB5-9-20 55IVC19-21 56IA28	 65IIC16 65IVA11-14 75IVC17 86IIIC1

INGEOMINAS

TABLA 26

Muestras en las cuales más de un parámetro sobrepasa el máximo permisible de la OMS (1971)

PARAMETROS	IDENTIFICACION
DT SD	33IIIA48 40IB11
SD PH Mn^+ $SO_4^=$ Mg^+	33IIIC10
DT SD NO_3^-	33IVD2 34IB16
DT SD $SO_4^=$	40IA2 65IIC14
DT SD Cl^-	40IA3 40IB10 40ID13
DT SD Cl^- $SO_4^=$	40IIA37
DT SD NO_3^- Cl^- Mg^+	40IIIB3
DT pH Mn+ NO_3^-	47IVB12
DT SD color	40IA9
DT SD Cl^- Mg^+	40IA11
DT SD Cl^- pH	40IB2
pH Mn	47IIC11 47IVB12 48ID3 47IIB22 55IIB32 55IVA1 47IID17 55IIC19-30 41IIIC11
pH NO_3^-	55IIA13
Mn Fe	47IVA2 85IID29 86IIIA15 86IIIC15-33 97IC6
DT SD NO_3^- Mn^+	40ID6
pH Fe	55IB78 56IA24

Observaciones:

DT = Dureza Total
SD = Sólidos Disueltos
pH = Valores Inferiores a 6.5

INGEOMINAS

TABLA 27.

Rangos de concentración hallados en las muestras que sobrepasan los máximos permisibles de la OMS, correspondientes a las muestras relacionadas en las tablas 25 y 26.

PARAMETROS	RANGO
Color (1 muestra)	130 unidades Pt - Co
Turbiedad, (2 muestras)	30 a 150 NTU
Sólidos Disueltos	1.600 a 7.800 mg/L
Dureza como $CaCO_3$	520 a 3.800 mg/L
Cloruros como Cl-	1080 a 4333 mg/L
Nitratos como NO_3-	46 a 896 mg/L
Sulfatos como SO_4	485 a 1710
Hierro como Fe	1.2 a 6.2
Magnesio como Mg	168 a 359
Manganeso como Mn	0.6 a 6.2
pH	4.1 a 6.3

Distribución geográfica de las aguas subterráneas, con base en su potabilidad química, para los acuíferos Cuaternarios.

Puesto que la mayor parte de las muestras de agua en estudio provienen de captaciones hechas en unidades de Cuaternario (Qal, Qlla, Qt y Qcal), se elaboró un mapa, escala 1:250.000, (ver informe de Vargas y Angel,1995), para definir áreas con aguas subterráneas impotables, en acuíferos de esta edad geológica. En él se representaron los puntos cuyos valores de pH, manganeso, hierro, dureza total y sólidos en solución sobrepasan los máximos permisibles de las Normas OMS (1971).

Guardan estrecha relación en cuanto a su ubicación, los tres primeros entre sí, de la misma manera que los sólidos respecto a la dureza.

El mapa dió como resultado áreas de aguas con tendencia a ser impotables por uno o varios de los parámetros representados. En él se puede observar de Norte a Sur la siguiente distribución areal:

a) Un área alargada ubicada al extremo Suroeste de la Sierra Nevada de Santa Marta, que se extiende entre la vía El Copey-Bosconia - Loma Linda por el oriente y el Río Ariguaní por el occidente y desde la Quebrada Arena por el Norte hasta el Arroyo El Tonto en el Sur.

   Sus aguas tienden a ser impotables por dureza total, sólidos disueltos y también por cloruros o sulfatos.

b) Una región más amplia que la anterior, localizada en la parte central del Departamento, entre La Loma, La Jagua de Ibirico y la Ciénaga El Gallo. Allí las aguas tienden a ser impotables por su valor de pH y su concentración de manganeso. En la parte central de ella, está afectada además por los valores del hierro (total).

c) Un área pequeña donde se presentan aguas con valores de pH por fuera del rango máximo permisible de potabilidad: se extiende desde el suroeste de Curumaní hasta el Nordeste de San Roque.

d) Un área contigua a la ciénaga de Zapatosa, encerrada por la localidad del mismo nombre, Las Vegas y Saloa. En toda su extensión el pH de las aguas tiene tendencia a estar por debajo de 6.5, y en la parte Norte, el valor de manganeso a ser mayor de 0.5 mg/L.

e) Finalmente, una región más amplia que las anteriores, que se extiende en dirección Noroeste-Sureste, entre el Río Lebrija por el occidente y la vía Aguachica - San Alberto por su borde oriental, y desde la Quebrada Las Guaduas, hasta el extremo Sur del departamento. Esta región se subdivide longitudinalmente en dos áreas: La primera, al occidente, contiene aguas con tendencia, a presentar valores de manganeso mayores de 0.5 mg/L, y la segunda (el resto) con la misma tendencia más evidente, así como también la de poseer hierro total por encima de 1.0 mg/L.

Los puntos cuyos valores de nitratos hacen impotable al agua, a pesar de ser la quinta parte del total de las tablas 25 y 26, se localizan puntualmente a lo largo del Departamento, lo cual indica que no guardan entre sí relación alguna. Esto posiblemente se debe

a circunstancias locales tales como infiltración de materia orgánica nitrogenada en descomposición, como se pudo evidenciar en algunos casos particulares. Únicamente tres puntos se encuentran relativamente cerca entre sí, unos 10 km al sur de la localidad de Ma. Angola, en la margen izquierda del Caño de Angostura.

7.3.1.2 Otras unidades acuíferas. Tal como se explicó anteriormente, el muestreo realizado en captaciones en unidades acuíferas de edades diferentes a Cuatenario fué relativamente escaso, sin embargo algunas de las muestras tomadas son impotables del punto de vista químico, y dentro de ellas se observa una mayor tendencia a serlo por tener valores anómalos en el pH y el contenido de hierro.

7.3.2. Calidad del Agua para Irrigación. El agua para riego está estrechamente relacionada con las características del suelo, tales como la textura (permeabilidad), y su capacidad catiónica de cambio, así como también con el tipo de cultivo a implantar.

La evaluación de su calidad, se fundamenta en criterios que indiquen potencialmente si al entrar en contacto con el suelo, presenta o no riesgo para el crecimiento de las plantas o para los animales y personas que las consuman.

El decreto 1594 de 1984 establece los criterios de calidad admisibles del recurso agua para uso agrícola. De éstos, para el presente estudio, se tienen en cuenta aquellos valores relacionados con el análisis físico-químico del agua, los cuales se presentan en la Tabla 28. El mismo decreto recomienda, entre otras, la determinación de las siguientes características: conductividad, Relación de Adsorción de Sodio (RAS) y Carbonato de Sodio Residual (CSR).

TABLA 28.
Criterios fisicoquímicos de calidad admisibles, en agua para uso agrícola, según el Decreto 1594 de 1984.

Párametro	**Valor**
Hierro, como Fe	5.0
Manganeso, como Mn	0,2
pH, unidades	4.5 - 9

7.3.2.1 Relación de Adsorción de Sodio. La relación de adsorción de Sodio, RAS, es la proporción relativa del ión sodio a los iones calcio y magnesio, y está definido por una fórmula.

El sodio es considerado como uno de los factores más importantes que rigen la calidad del agua para riego. La presencia de sodio intercambiable en el suelo, en cantidad excesiva, disminuye su permeabilidad y determina su estructura. Como consecuencia, el suelo se encharca y disminuye la rata de consumo de agua. La

toxicidad de las plantas debida al sodio, generalmente se evidencia por la quema de hojas y por defoliación.

El criterio más aceptado para evaluar el uso del agua en agricultura, es el Diagrama de Clasificación de Aguas para Riego, original de Wilcox-Thorne. Este diagrama se fundamenta en el RAS y en la conductividad eléctrica.

El RAS representa un indicativo del efecto que tiene el sodio del agua sobre el suelo, es decir, el peligro de sodificación del suelo que tiene un agua dada.

Con respecto al RAS, las aguas de riego se clasifican en cuatro grupos, que de manera resumida son:

- **S1,Agua baja en sodio:** Se puede usar para riego en casi todos los suelos y cultivos.

- **S2,Agua media en sodio:** Tiene peligro considerable de sodización. Se puede usar en los que tengan buena permeabilidad.

- **S3,Agua alta en sodio:** Puede producir niveles perjudiciales de sodio intercambiable en la mayoría de los suelos.

- **S4,Agua muy alta en sodio:** Generalmente no es apta para riego.

7.3.2.2. Conductividad. En el eje de las abscisas del mismo diagrama Wilcox-Thorne se representa la conductividad eléctrica de las aguas, en micromhos/cm. Esta expresa el grado de salinidad de las aguas, y está relacionada con la concentración total de sales disueltas.

Los efectos de la salinidad son, en gran parte, osmóticos y se manifiestan generalmente por retardo en el crecimiento, producción de plantas enanas con hojas cada vez más pequeñas.

En cuanto al riesgo que, por salinidad, presentan las aguas, el Laboratorio de salinidad del USDA estableció cuatro grupos guía. Estos grupos se describen en la tabla 29.

De la combinación matricial de éstas dos clasificaciones en el diagrama de Wilcox-Thorne(RAS y conductividad), resultan 16 clases posibles de aguas, las cuales se denominan y agrupan según el rango de conductividad eléctrica que posean, por ejemplo las aguas con conductividad menor de 250 micromhos/cm serían clasificadas como C1S1,C1S2,C1S3 y C1S4.

Tabla 29.

Clasificación de las Aguas Respecto al Riesgo por Salinidad.

CLASE	CONDUCTIVIDAD (CE) A 25°C μmhos/cm	DESCRIPCION
C_1	0 < CE < 250	Agua de salinidad baja: puede usarse para riego de la mayor parte de los cultivos y suelos, con poca probabilidad de que se desarrolle salinidad. Se requiere algún lavado, pero esto ocurre en condiciones normales de irrigación.
C_2	250 < CE < 750	Agua de salinidad media: puede usarse si hay un lavado moderado del suelo. En casi todos los casos pueden crecer plantas moderadamente tolerantes a las sales, sin necesidad de prácticas especiales de control de salinidad.
C3	750 < CE < 2.250	Agua altamente salina: No puede usarse en suelos con drenaje deficiente. Aún con drenaje adecuado, pueden ser necesarias prácticas especiales de control de la salinidad y seleccionar plantas con alta tolerancia a las sales.
C_4	2.250 < CE < 5.000	Agua muy altamente salina: no es adecuada para irrigación bajo condiciones ordinarias, pero puede usarse ocasionalmente en circunstancias muy especiales. Los suelos deben ser permeables y el drenaje muy apropiado. El agua de irrigación debe aplicarse en exceso para que produzca un buen lavado. Deben seleccionarse cultivos altamente tolerables a las sales.

7.3.2.3 Carbonato de Sodio Residual. En aguas con alto nivel de iones bicarbonatos, el calcio y el magnesio tienden a precipitar como carbonatos, a medida que la solución del suelo se vuelve más concentrada. Al precipitar el calcio y el magnesio, sus concentraciones disminuyen en el agua, aumentando así la proporción relativa del sodio en la misma.

Para cuantificar estas reacciones, Eaton (1950, en Richards, 1973) introdujo el concepto de "Carbonato de Sodio Residual", CSR, que se define como:

$$CSR = (CO_3^{=} + HCO_3^{-}) - (Ca^{++} + Mg^{++}),$$

donde todos los iones se expresan en miliequivalentes/litro.

Las aguas se clasifican en función del CSR de acuerdo con los siguientes rangos:

VALOR DE CSR	CALIDAD DEL AGUA PARA RIEGO
menos de 1.25	buena
1.25 a 2.5	dudosa
más de 2.5	inadecuada

7.3.2.4 Síntesis de Resultados de Clasificación del Agua Subterránea para Riego. Con el fin de obtener una clasificación global de la calidad del agua para irrigación, se unifican las resultantes de los diagramas Wilcox-Thorne y aquellas del Carbonato de Sodio Residual. De esta manera se llegó a las siguientes conclusiones y resultados:

a) Aguas Adecuadas:

C_1S_1; C_2S_1; CSR<1.25

b) Aguas de Regular Calidad:

C_3S_1, 1.25 < CSR < 2.5

c) Aguas Inadecuadas:

Rango C_3S_2 a C_4S_4

CSR>2.5

En términos generales, el 70% de las aguas subterráneas muestreadas se clasifica como adecuadas y el 30% restante se reparte entre inadecuadas y de regular calidad para su aplicación en riego.

7.3.2.4.1 Distribución Geográfica de las Aguas Subterráneas, de los Acuíferos de Edad Cuaternaria, en el Departamento del Cesar, en función de su calidad para irrigación. En términos generales, la gran mayoría de las aguas muestreadas (88%) proviene de los acuíferos cuaternarios, y el resto, de las demás unidades geológicas. Con el propósito de visualizar la distribución de las aguas de regular calidad y las inadecuadas para riego, se elaboró un mapa escala 1:250.000, del Departamento, válido para los acuíferos del Cuaternario. Ver informe de Vargas y Angel(1995). En él se pueden apreciar las siguientes regiones:

INGEOMINAS

a) Un área que se extiende al Sureste de la Sierra Nevada de Santa Marta (SNSM), paralelamente entre ésta y el Río Cesar, desde el Río Garupal hasta la Paz. Se caracteriza por ser su agua de regular calidad. Internamente se observan dos pequeñas áreas con aguas inadecuadas para riego: una 6 Km al sur de Aguasblancas y la otra 5 km al sureste de la localidad de Valencia de Jesús.

b) Un área amplia de aguas inadecuadas para riego, que se extiende a partir del borde suroeste de la Sierra Nevada de Santa Marta, entre la Quebrada Arena, al oeste de la SNSM y el río Garupal, hasta la localidad de La Loma por el sur.

c) Un área situada entre el río Cesar y la vía Agustín Codazzi - Becerril, con el Río Margiriamo por el Norte, y el Río Calenturitas por el Sur, tiene aguas de regular calidad. Se exceptúan tres pequeñas áreas de aguas inadecuadas para riego, incrustadas, una en su extremo Norte, contigua al Río Cesar, otra unos 5 km al Suroeste de Agustín Codazzi, y otra más pequeña, unos 13 km al Oeste de Casacará.

d) Dos pequeñas áreas de agua inadecuada. Una entre la Ciénaga El Gallo y la vía La Loma - La Aurora, y la otra al Norte del Departamento, angosta, que se extiende desde Guacoche hacia el Norte, unos 10 kilómetros.

e) Finalmente, se destaca un área amplia que incluye la parte central del Valle aledaña al cauce del río Cesar, entre las desembocaduras de los ríos Los Clavos y Calenturitas; en donde se infiere que hay aguas subterráneas de calidad regular a inadecuada. Esto se fundamenta en los siguientes hechos: este área se encuentra totalmente circundada por sectores con aguas de calidad inadecuada a regular para riego; de las curvas de isoconductividad se observa que en dicha área las conductividades en general son mayores de 1000 micromhos/cm y tienden a aumentar desde los costados hacia el cauce del río, y por último se tienen evidencias de la presencia de suelos de tipo salino - sódico (Tahal, 1972).

7.3.2.4.2 Agua para riego en unidades acuíferas de edad Terciaria. En las unidades Tpaa,Tec y Tmc el agua es adecuada con ligera tendencia a ser de regular calidad. Sin embargo, en la unidad Tpb

los puntos muestreados indican una tendencia mayor del agua a ser de regular a mala calidad para riego.

7.3.2.4.3 Agua para riego en unidades del Cretáceo. Las pocas muestras tomadas en las unidades Kmc y Ksl, abarcan desde aguas adecuadas hasta inadecuadas para irrigación, sin mostrar una tendencia definida.

7.3.2.5 Otros factores incidentes en la calidad de agua para riego.

- **Hierro y Manganeso.** Aunque los límites establecidos en la Tabla 28 son aplicables al uso contínuo de éstas aguas en cualquier tipo de suelos, algunos autores(Branson,1975 en Lloyd y Heathcote ,1985) piensan que los efectos de estos tipos de agua no siempre son adversos para cultivos y suelos.

Sin embargo, se señalan 4 muestras de pozos que sobrepasan los límites recomendados para hierro:

No. Pozo	Hierro Total (mg/l)	Unidad
48IB7	8.8	Tec
86IIIC33	10.6	Qal
97IA6	15.5	Qal
97IC6	10.2	Qal

El primer pozo se localiza en La Jagua de Ibirico y los demás se ubican en el sur del Departamento entre la localidad de Minas y la Quebrada San Alberto del Espíritu Santo.

Para el caso del manganeso puede tomarse como guía la distribución areal de valores superiores a 0.5 mg/l, la cual se muestra en la plancha 1 del informe de Vargas y Angel, 1995).

- **pH.** De acuerdo con lo estipulado en el Decreto 1594 de 1984, solamente presentan valores inferiores a 4.5 las siguientes muestras: 47IIB22 , 47IVB12 y 48ID11.

7.3.3 Calidad del Agua para usos Industriales. El agua es esencial, prácticamente en todas las operaciones industriales, en términos generales, se utiliza para los siguientes fines: medio de transporte de materiales, lavado de equipos industriales, refrigeración y producción de vapor. Este último es útil como fuente de electricidad o para accionar maquinaria.

El agua a utilizarse en una determinada industria, debe cumplir ciertos requisitos específicos de calidad, por tanto no es posible establecer, en este estudio, una norma general para el agua a utilizarse en las diversas finalidades industriales.

Teniendo en cuenta lo anterior, a continuación se evalúa en términos generales, la calidad del agua subterránea para uso industrial. Se hace énfasis en el efecto que puede presentar el agua sobre las tuberías de explotación y de abastecimiento. Para el efecto, se tienen en cuenta solamente las aguas de pozos y las de aquellos aljibes con caudal mayor de 2 litros/segundo, por considerarse que esta cantidad podría ser suficiente para abastecer una industria pequeña. Son 170 muestras las que presentan este

caudal, las cuales constituyen el 65% del total de muestras de agua subterránea estudiadas.

7.3.3.1 Corrosión e Incrustación. Los fenómenos de corrosión e incrustación, generalmente se consideran simultáneamente debido al efecto colectivo sobre las instalaciones de pozos y sistemas de distribución de agua (Lloyd y Heathcote, 1985).

La corrosión es un fenómeno relacionado con un metal y el medio ambiente, en nuestro caso, el agua en el que está inmerso. La corrosión se presenta cuando un metal se disuelve en el agua. Este metal puede depositarse en forma de óxido en el punto donde se registra la corrosión.

La intensidad con la cual un agua es susceptible de corroer un material o entrar en combinación con él, se denomina agresividad (Catalán, 1981).

Incrustación es la deposición de un precipitado, proveniente del agua, sobre los materiales de instalaciones de pozos, en tuberías o en los alrededores del acuífero. Los compuestos de mayor importancia en el estudio de incrustaciones, son los carbonatos y los compuestos de hierro y de manganeso.

Para evaluar la formación de incrustaciones y la tendencia a disolverse, se utilizan comúnmente los denominados Indices de Saturación (IS). El índice que generalmente se usa es el definido por Langelier, el cual resulta de la diferencia entre el pH medio y el pH de saturación (pHs):

$$IS = pH - pHs$$

Si el IS es positivo, el agua tiene tendencia a ser incrustante (Lloyd y Heathcote, 1985), y si es negativo, tendencia a ser agresiva (Catalán, 1981). Los valores de IS deben ser tomados como una guía (Clesceri et al, 1989).

En general, estas aguas presentan valores negativos del Indice de Saturación, lo cual indica que tienen tendencia a ser agresivas. Se exceptúan tres muestras de agua de pozos, cuyos valores de IS son positivos. Son las siguientes:

Identif.	**IS**	**Unidad Geológica**
33IIID42	+0.06	Ksl
65IVC2	+0.03	Qcal
85IIA1	+0.10	Qcal1

Estas aguas se clasifican como incrustantes. Pueden precipitar carbonato de calcio en el rango de 1.0 a 3.0 mg $CaCO_3$/L.

7.3.3.2 Otros factores. Otros factores que intervienen en la calidad del agua para fines industriales son los iones cloruros, sulfatos, hierro y manganeso. Por otra parte, el Potencial Redox y el oxígeno Disuelto, están estrechamente relacionados con el hierro y el manganeso.

7.3.3.2.1 Hierro y Manganeso. Es importante conocer el valor del hierro total en el agua, tanto para su uso en procesos industriales, como por ser causante de incrustaciones.

Según Hem (1971) la presencia de hierro en el agua en concentraciones mayores de 2.0 mgFe/L y el manganeso mayor de 1.0 mg/L, tiende a causar incrustación (Tablas 30 y 31).

TABLA 30.

Muestras que contienen más de 2.0 mgFe/Litro

IDENTIFICACION	EN SOLUCION	EN SUSPENSION	TOTAL	UNIDAD GEOLOGICA
48IB7	3.0	5.8	8.8	Tec
55IB78	1.3	2.3	3.6	Tpaa
55IB86	0.7	1.5	2.2	Tpaa
86IIIC15	2.2	0.8	3.0	Qal
86IIIC33	5.8	4.8	10.6	Qal
97IA6	4.2	11.3	15.5	Qal
97IC6	6.2	4.0	10.2	Qal

INGEOMINAS

Tabla 31.
Muestras que contienen más de 1 mg/l de Mn

IDENTIFICACION	Mg Mn/l EN SOLUCION	UNIDAD GEOLOGICA
27IVA12	1.6	Qt
33IIIC10	1.6	Qlla
47ID4	1.4	Qlla
47IVA2	1.1	Tpaa
47IVB12	6.2	Qlla
48IIIC48	1.5	Kir
55IIC19	4.6	Qfl
55IVA1	3.6	Tpaa
65IIC21	17.0	Jqv
85IID29	1.6	Qcal-1
86IIIC15	1.2	Qal
86IIIC33	1.1	Qal
97IC6	1.7	Qal
97IC33	1.5	Qal

El interés de conocer los valores de manganeso es por los mismos motivos mencionados en el caso del hierro. Sin embargo, en general no es esencial la determinación del manganeso en suspensión puesto que, según Brown et al (1970), los compuestos manganosos son relativamente solubles en agua a valores de pH cercanos al neutro.

Los valores anomálos de hierro se localizan en los siguientes sitios (Ver Plancha 1 en Vargas y Angel,1995)

- En la Jagua de Ibirico (acuíferos de la Formación Los Cuervos, Tec).

- En la región Chimichagua y la Candelaria (acuíferos de las Sedimentitas de Arjona, Tpaa).

- Finalmente, en el área que se extiende desde la Quebrada Torcoroma, hasta el extremo sur del Departamento (Acuíferos de la unidad Qal).

Los resultados de manganeso, mayores de 1.0 mg/L, se distribuyen (plancha 1 de Vargas y Angel,1995) de la siguiente manera:

- De acuíferos del cuaternario: Qal, predominantemente en el sector de la Vereda Minas y en alrededores de San Alberto, al sur del Departamento, y de manera local en Arjona y La Aurora (Qlla) y en el área de Barranca de Lebrija (Qcal).

- De acuíferos de las Sedimentitas de Arjona (Tpaa), puntualmente al sureste de la cienaga El Gallo y al este de la cienaga El Palmar.

- De la Formación Rionegro (Kir), puntualmente al norte de San Roque.

- Finalmente, el valor más alto (17.0 mg/L), de la unidad Quinta Volcanoclástica (Jqv), al sur de la población El Burro.



7.3.3.2.2 Potencial Redox. El potencial redox (Eh), es una medida del flujo de electrones que se intercambian en los procesos de oxido - reducción. Precisamente, la estabilidad de un elemento en un determinado grado de oxidación depende del cambio de energía al tomar o dejar electrones.

Según Fassbender (1982), valores del orden de +800 mv indican oxidación fuerte, y del orden de -300 mv, reducción fuerte. En las aguas subterráneas, los valores de potencial redox normalmente existentes están entre +700 mv y -480 mv (Custodio & Llamas, 1983). En el caso particular del hierro, en la mayor parte de las aguas subterráneas, precipita como óxido férrico, Fe_2O_3, a valores altos de potencial redox (Lloyd y Heathcote, 1985).

El estado de oxidación - reducción del agua subterránea cambia al exponerse ella a la atmósfera, pasando progresivamente a un estado oxidante, razón por la cual la medición debe hacerse de tal manera que impida al máximo la posibilidad de aireación. Para determinar el potencial redox en aguas de pozos la literatura (Lloyd y Heathcote, 1985) recomienda utilizar un sistema de celda sellada.

En el caso de los aljibes, su condición superficial y el tipo de explotación a que se les somete hacen que sus aguas sufran una aireación casi continua, por lo cual, las mediciones de potencial redox no son confiables generalmente.

Teniendo en cuenta que la medición del potencial redox es cualitativa y que en el caso de los pozos no se utilizó unidad sellada, los resultados obtenidos se consideran tentativos y se utilizan particularmente para ser relacionados con los resultados analíticos de hierro, manganeso.

7.3.3.2.3 Relación entre el Contenido de Hierro y Manganeso y el Potencial Redox. Para hallar la relación entre estos parámetros, de las muestras estudiadas se seleccionaron aquellas con valores anómalos, es decir mayores de 1.0 mg Mn/L (en solución) y de 2.0 mgFe/L (total). Se observó lo siguiente:

a) El hierro está presente exclusivamente en pozos, solo o junto con el manganeso, mientras que en los aljibes se presenta solamente manganeso en todos los casos.

b) El manganeso, en un total de 11 muestras de aljibes, con un rango de 1.0 a 6.2 mg/L (y un valor anómalo de 17.0 mg/L), frente a los valores de potencial redox, rango de 030 a 300 mv, (excepto un valor negativo, -130), estos últimos muestran tendencia a ser de ambiente oxidante. Esta inconsistencia confirma la invalidez de las mediciones del potencial Redox,especialmente en aljibes, por las razones expuestas en el numeral anterior. Sin embargo, todas las muestras son ácidas, con valores de pH dentro del rango de 5.4 a 4.2.

c) El agua de pozos, que contiene niveles anómalos de hierro y manganeso simultáneamente, en general presenta valores negativos de potencial redox, como se indica en la tabla 32.

Tabla 32.
Relación entre el Potencial Redox y el Contenido de Hierro y Manganeso en Pozos.

IDENTIFICACION	mg/L		POTENCIAL REDOX	
	Fe (total)	Mn (en solución)	(mv)	Unidad Geológica
48IB7	8.8		-241	Tec
48IIIC48		1.5	108	Kir
55IB78	3.6		-004	Tpaa
55IB86	2.2		15	Tpaa
55IID29		1.6	280	Qcal-1
86IIIC15	3.0	1.2	-080	Qal
86IIIC33	10.6	1.1	-024	Qal
97IA6	15.5		-300	Qal
97IC6	10.2	1.7	-065	Qal
97IC33		1.5	350	Qal

De éstos resultados, resalta el hecho de ser negativo el valor del potencial Redox en el agua de pozos cuando está presente el hierro solo, así como también cuando el hierro y el manganeso están juntos. Se exceptúa solamente una muestra, cuyo potencial redox es positivo (y relativamente bajo), lo cual muestra ostensiblemente un ambiente reductor en los acuíferos de donde proviene el agua.

Por otra parte en estas aguas, los iones dominantes, de acuerdo con la clasificación geoquímica de los diagramas piper (Vargas y Angel,1995), son HCO_3, Ca++ y Mg++. El pH de las mismas oscila entre 6.2 y 7.2.

De lo anterior se deduce que los acuíferos de donde provienen las aguas con los niveles de hierro total superiores a 2.0 mg/L o las aguas que, además del hierro contienen mas de 1 mg/L de manganeso, son de un ambiente reductor; además, que el hierro está presente como bicarbonato ferroso, $Fe(HCO_3)_2$. Lo último concuerda con lo enunciado por Catalán (1981). La distribución areal de estos pozos fue descrita anteriormente.

7.3.3.2.4 Oxígeno Disuelto. Las aguas subterráneas, por lo general, son pobres en oxígeno. Su concentración, en la mayor parte de éstas aguas, varía entre 0 y 5 mg/L, frecuentemente contienen menos de 2 mg/L.

El oxígeno disuelto en el agua produce corrosividad en los sistemas de distribución (tuberias). La corrosión es directamente proporcional a la temperatura e inversamente al pH.

La toma de muestras para determinar el oxígeno disuelto, debe hacerse evitando al máximo la aireación del agua. En el caso de las

aguas de pozos, deben tomarse precauciones, tal como en la determinación del potencial redox.

Las determinaciones de oxígeno disuelto realizadas, no se consideran representativas, por fallas continuas en el equipo portátil de medición, por lo cual no se presentan en el informe.

7.3.3.2.5 Cloruros. Los cloruros en concentraciones mayores de 500 mg Cl-/L constituyen un medio corrosivo, según criterio de Hem (1971). Su acción consiste en romper las capas protectoras de cobre y aluminio en las aleaciones.

De acuerdo con los resultados analíticos obtenidos, son corrosivas las aguas de las siguientes captaciones, las cuales se mencionan con su respectivo valor de cloruros

TABLA 33.
Aguas Corrosivas por valores de cloruros mayores de 500 mg/L

Identificación	mg Cl/L	Unidad Geológica
40IA3	1.248	Qlla
40IA11	1.081	Qlla
40IB2	3.616	Qlla
40IB50	1.950	
40ID6	638	Qlla
40ID13	4.333	Qlla
40IIA37	2.411	Qlla
40IIIB3	3.323	Qlla
86IA7	538	Qcal-2

El área donde se ubican principalmente está al noroeste de Bosconia, coincidiendo con el área anómala de SDT y dureza total del mapa (Vargas y Angel,1995) y en el sector de Lomalinda, un poco más al sur.

7.3.3.2.6 Sulfatos. El ión sulfato, en presencia del ión calcio, es muy poco soluble, menos de 250 mg $CaSO_4$/L, por lo cual es indeseable en los sistemas de evaporación.

El principal problema del ión sulfato se presenta en la industria de la construcción. En concentraciones mayores de 300 mg $SO_4^=$/L, el ión sulfato ataca al cemento, formando la sal denominada Candlot - Michaelis, de fórmula Probable Al_2O_3. 3 CaO. 3 $CaSO_4$. 30 H_2O. Este compuesto se descompone por hidrólisis, destruyéndose de esta manera el hormigón (Catalán, 1981). En cinco muestras, el valor de sulfatos fue mayor de 300 mg/L. Son las siguientes:

Identificación	mg $SO_4^=$/L	Unidad Geológica
33IIIC10	596	Qlla
40IA2	485	Qlla
40IA3	568	Qlla
40IIA37	920	Qlla
65IIC14	1.710	Jqv

Las anomalías de este ion en los acuíferos del cuaternario, se localizan predominantemente al Noroeste de Bosconia, en la misma área de los cloruros y puntualmente entre Bosconia y los Venados.

La muestra de la unidad Quinta Volcanoclástica, Jqv, está ubicada al sur de la localidad de Palestina.

7.3.4 Hidrogeoquímica. Es uno de los propósitos del presente estudio, conocer la composición iónica del agua y su interacción con las rocas y minerales presentes en las unidades geológicas acuíferas con las cuales está relacionada.

7.3.4.1 Conductividad. Las aguas, en función de la conductividad (que es una medida indirecta de salinidad), se clasifican como dulces, salobres o saladas:

Rango de Conductividad (µmhos/cm)	**Tipo de Agua**
0 a 1.000	Dulce
1.000 a 5.000	Salobre
> 5.000	Salada

De acuerdo con este criterio, las aguas subterráneas del Cesar se clasifican como se indica a continuación:

7.3.4.1.1 Unidades acuíferas del Cuaternario. Dentro de estas se incluyen las aguas que se encuentran en el acuífero libre correspondiente a las unidades: Qal, Qcal, Qcal-1, Qlla y Qt.

Dada la magnitud de la información, se elaboró un mapa, escala 1:250.000 de isolíneas de conductividad, el cual corresponde a la

plancha No. 2 del informe de Vargas y Angel(1995). En este se puede observar, de norte a sur, la siguiente distribución:

- **Agua Dulce.** Se encuentra distribuída básicamente en tres regiones: Las dos primeras son aledañas a los piedemontes de la Sierra Nevada y de la Serranía de Perijá respectivamente, la tercera ocupa una región muy amplia en la mitad sur del Departamento, aproximadamente a partir del río Calenturitas hacia el sur.

- **Agua Salobre.** Se observa un área de aguas subterráneas con tendencia a ser ligeramente salobres (de 1.000 a 1.500 μmhos/cm), a lado y lado del Río Cesar, en la parte central de su valle, entre las desembocaduras de los ríos Potrerillo y Calenturitas, limitando hacia los lados con las áreas de aguas dulces descritas anteriormente.

  Por otra parte se distingue una franja con agua salobre, que se extiende en dirección sureste-noroeste desde la localidad de Cuatro Vientos hasta el occidente de El Copey. Esta franja de agua salobre va casi paralela al Río Ariguaní.

- **Agua Salada.** Se encuentran aisladamente cinco puntos, cuya identificación y conductividad son las siguientes:

Identificación	Conductividad Micromhos/cm
33IIIC10	5.310
40IA3	5.940
40IB2	11.130
40ID13	12.100
40IIA37	9.130

Ellos se ubican en la misma área de aguas salobres descrita en el sector Cuatro Vientos-El Copey.

Dirección del flujo subterráneo en los acuíferos libres cuaternarios. En la plancha 2 del informe de Vargas y Angel(1995), se observa que las conductividades para estos acuíferos Cuaternarios crecen progresivamente desde los bordes de los piedemontes (S. Nevada y Serr. de Perijá) hacia las zonas bajas. Esto se explica por la evolución normal del agua subterránea, al ir incorporando (disolviendo) poco a poco los iones provenientes de los minerales del acuífero a través del cual fluye. Esta propiedad permite trazar de manera aproximada las direcciones de flujo del agua contenida en los mencionados acuíferos (figura 8). Así se puede ver que en la mitad norte del Departamento el flujo se concentra hacia los cauces de los ríos Cesar y Ariguaní; mientras en la mitad sur el flujo tiende en general hacia el occidente, donde están la zona de ciénagas y el río Magdalena.

Como ya se mencionó los valores mayores de conductividad se encuentran en la mitad norte del Departamento y esto se debe a los tipos de suelos allí existentes, a condiciones climáticas especiales y en ciertos sectores a un nivel freático muy somero, tal como se explicará más adelante.

7.3.4.1.2 Unidades acuíferas del Terciario. Se incluyen aquí las unidades Tpaa, Tmc, Tec y Tpb. Aproximadamente el 75% de las muestras correspondientes analizadas son dulces. La gran mayoría de éstas proceden de las Sedimentitas de Arjona (Tpaa) y se localizan preferencialmente en pozos de la región Arjona-Astrea y aljibes en los alrededores de Candelaria. El 25% restante corresponde a aguas ligeramente salobres(1000 a 1600 umhos/cm).

7.3.4.1.3. Unidades acuíferas de Cretáceo. Se incluyen aqui las muestras tomadas en las unidades Kmc y Ksl, las cuales varían de dulces a salobres en proporciones similares.

7.3.4.1.4 Unidades acuíferas del Jurásico. El agua es dulce, excepto dos aljibes (1.000 a 2.000 µmhos/cm) ubicados uno al norte de Chimichagua y el otro al norte de Las Vegas.

7.3.4.2 Clasificación Geoquímica. Con el fin de obtener la clasificación geoquímica de las aguas en estudio, los resultados analíticos se trasladaron a diagramas Piper. Estos últimos

representan los aniones HCO_3^- + ($CO_3^=$), $SO_4^=$, Cl^- y los cationes Na^+ + (K^+), Ca^{++}, Mg^{++}, expresados en miliequivalentes/litro. De esta manera se clasifica al agua dándole el nombre del anión o del catión que sobrepasa al 50% de sus sumas respectivas; si ninguno supera al 50% se nombran los dos más abundantes (Custodio y Llamas, 1983). Estos diagramas se graficaron mediante el programa GEOBASE 6.0, y se pueden consultar en los anexos del informe de Vargas y Angel(1995).

7.3.4.2.1 Unidades Acuíferas de edad Cuaternaria. Comprenden captaciones de las unidades Qal,Qcal,Qlla y Qt. Son en general aguas bicarbonatadas cálcicas y/ó magnésicas y en segunda instancia bicarbonatadas sódicas. Para tener idea de la distribución areal de esta clasificación geoquímica se puede ver el mapa de la figura 8.

Relación entre las Unidades Acuíferas del Cuaternario y las Características Físico-químicas de sus Aguas Subterráneas. La relación que se observa en la figura 8, para la distribución areal de las aguas bicarbonatadas cálcicas y/o magnésicas y la de las bicarbonatadas sódicas, muestra que las últimas tienden a estar concentradas, en las zonas ubicadas aguas abajo de las áreas donde se encuentran las primeras, teniendo en cuenta la dirección general del flujo subterráneo.

Como causas probables de esta distribución observada se tienen:

a) Las aguas bicarbonatadas cálcicas y/o magnésicas son características de zonas de recarga, (Lloyd & Heathcote, 1985), lo cual coincide con su distribución regional en el Departamento.

b) La evolución natural de las aguas de circulación regional, las cuales según Custodio y Llamas (1983), normalmente pasarían de HCO^{-}_{3} Ca^{++}, Mg^{++} a HCO^{-}_{3} Na^{+}, a medida que van circulando en el acuífero somero, en el mismo sentido del flujo subterráneo (figura 8).

c) Intercambio Iónico. La presencia de terrenos esencialmente arcillosos en las zonas topográficamente bajas, las cuales coinciden con las áreas de aguas HCO^{-}_{3} Na^{+}. Su influencia consiste en favorecer una velocidad de flujo lenta y por tanto un tiempo de contacto más prolongado de las aguas subterráneas con dicho terreno arcilloso, facilitando así el fenómeno de "intercambio iónico", mediante el cual los minerales arcillosos adsorben preferencialmente a los iones Ca^{++} y Mg^{++} frente al ión Na^{+}, dando como resultado un relativo predominio de éste último en el agua resultante.

En un segundo lugar se destacan dos áreas específicas, con distribuciones anómalas de los tipos de agua, la primera ubicada al noroeste de Bosconia y la segunda en alrededores de La Jagua de Ibirico.

En el área de la Jagua de Ibirico (Fig. 8), se encuentran aguas cloruradas y sulfatadas, tanto cálcicas y/o magnésicas como sódicas en sectores aledaños entre sí y directamente relacionados con la zona de recarga. Inmediatamente a continuación de ellas hacia el occidente, en el sentido de flujo subterráneo, se encuentra una franja de agua tipo bicarbonatada cálcica y/o magnésica. Esto, teniendo en cuenta la evolución natural de las aguas subterráneas (ver numeral (b) inmediatamente anterior), indica una inversión en la secuencia esperada, principalmente de los aniones. Una probable explicación a esta distribución anómala de la clasificación geoquímica del agua, en esta región, es la influencia de restos de aguas connatas, de la Formación Barco (Tpb), de origen marino, las cuales habrían sido lavadas por infiltración reciente y parcialmente acumuladas en los acuíferos cuaternarios adyacentes, contribuyendo entre otros con los iones Na^+ y Cl^-. Por otro lado, los sulfatos provendrían de la oxidación de los sulfuros de hierro (Pirita), existentes como mineral traza asociado a los mantos de carbón de la Formación Cuervos (Tec). Las dos formaciones mencionadas, y fuentes probables de éstos iones se hallan aflorando aguas arriba del área de recarga inicialmente mencionada.

En el área ubicada al noroeste de Bosconia se diferencian dos subáreas con composiciones geoquímicas particulares en el agua subterránea (Fig. 8):

a) La primera se ubica inmediatamente al oeste de las poblaciones de Caracolicito - El Copey y tiene aguas tipo $SO_4^{=}$ y/o Cl, Ca^{++} y/o Mg^{++}. Allí su presencia se puede relacionar a la meteorización, lixiviación y oxidación de los sulfuros presentes en las rocas ígneas que afloran en las estribaciones aledañas de la Sierra Nevada de Santa Marta. Los cloruros por su parte podrían provenir de la meteorización del mineral Apatito ($Ca_5(F,Cl)(PO_4)_3$), que se encuentra en rocas de la unidad pεm que aflora en áreas aledañas de la misma Sierra. Otra posibilidad, es la proveniencia de los cloruros a partir del lavado de las aguas connatas de origen marino asociadas a rocas Terciarias que afloran al Norte, en el sector de Fundación, teniendo en cuenta el sentido del flujo subterráneo existente para estos acuíferos en este área (Fig. 8).

b) La segunda subárea está al NW de Bosconia, en cercanía al Río Ariguaní. Esta tiene aguas tipo Cl y/o $SO_4^{=}$ Na^{+}, con una alta salinidad. La razón de su composición geoquímica es probablemente similar a la ya explicada en el subárea anterior, pero a diferencia de ésta, su alta salinidad se debería a circunstancias climáticas locales de alta evaporación y baja precipitación, las cuales sumadas al tipo de terreno donde se encuentran, que es limo-arcilloso e inundable por el Río Ariguaní, y finalmente un nivel freático cercano a superficie (menos de 4m), la hacen propicia para la

salinización de las capas superficiales y por consiguiente de las aguas subterráneas asociadas.

Observando los mapas de las planchas 1 y 2 del informe de Vargas y Angel(1995), para el sector ubicado al norte de la línea El Paso - La Loma - Becerril, se encuentra que hay una distribución de aguas para riego con calidades que varían de regular a inadecuada a las cuales se asocian también, en el sector de Bosconia, aguas impotables por dureza y sólidos disueltos (también, por otros componentes).

Hay en principio tres probables explicaciones para este tipo de distribución:

a) Hay concordancia con la evolución natural de las aguas subterráneas en el acuífero más superficial, es decir progresiva incorporación de sales en el sentido en que fluyen desde las estribaciones de la Sierra Nevada y la Serranía del Perijá hacia el centro del Valle del Río Cesar y desde la Sierra Nevada hacia el Río Ariguaní.

b) Influyen varios factores, estrechamente relacionados entre sí, como son: la presencia de suelos sódicos y salinos sódicos, de textura fina, con drenaje escaso, condiciones climáticas de alta evapotranspiración y escasa lluvia. A lo anterior se suma

la predominancia de niveles freáticos a menos de dos metros de profundidad. Esta situación fue identificada por TAHAL (1972) para el sector ubicado al noreste entre los Ríos Azucar Buena y Cesar.

Además, de acuerdo con las observaciones del presente estudio, se detectó que además de ser predominantemente limoarcillosos los suelos en este sector, también tienen este carácter, en buena parte, los depósitos Cuaternarios ubicados inmediatamente debajo de los suelos, hasta aproximadamente 10 o 15 m de profundidad, lo cual induce a que las condiciones sean propicias para que el flujo sea muy lento en este acuífero superficial, dificultando el "lavado natural" que se realizaría tanto por infiltración directa (lluvia), como por el flujo lateral del agua subterránea.

También en el presente estudio se identificaron como áreas de alta evapotranspiración y baja precipitación, dos sectores ubicados, uno al noroeste de las poblaciones El Paso - Puerto Lajas - Los Venados, y el otro al nordeste de Valencia de Jesús - El Desastre.

Por otro lado, la interpretación de las imágenes de satélite muestra un sector con alta reflectancia, circunscrito entre el Río Garupal y el Río Cesar por el oriente y entre las

poblaciones de La Loma, El Paso y los Venados por el sur y occidente. Esta característica denota allí la muy probable presencia de suelos igualmente salinos.

Las tres anteriores evidencias encontradas permiten extrapolar parcial o totalmente, las condiciones que TAHAL (1972) encontró en la parte nordeste mencionada, las cuales explican esta distribución de calidad de agua.

c) Procesos artificiales de salinización. Dentro de estos se consideran la irrigación y fertilización de áreas que en alguna época han sido intensamente cultivadas.

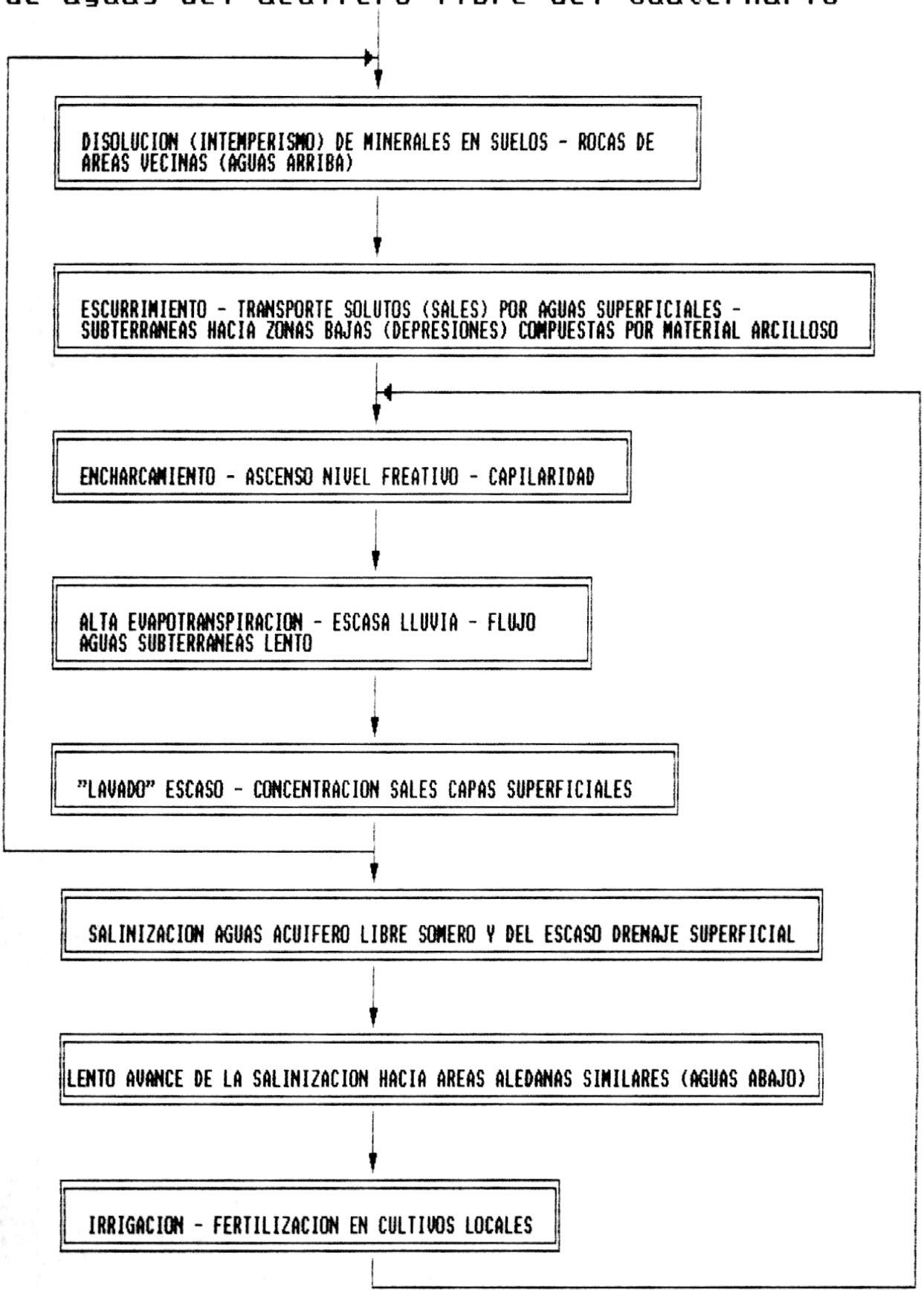
En la figura 9, a manera de síntesis, se presenta un diagrama de flujo de los procesos implicados en la salinización progresiva de éstas áreas.

En otro sector ubicado en la parte media del Departamento entre las poblaciones de La Loma, La Jagua de Ibirico y Rincón Hondo, (Vargas y Angel,1995), se asocian valores anómalos de pH, Fe y Mn, respecto a la potabilidad. Los valores bajos de pH indican un carácter ácido en este sector del acuífero Cuaternario (el cual le confiere un carácter agresivo al agua). Se infiere que los valores bajos de pH se deben al CO_2 que se incorpora a las aguas de recarga, tanto a partir de la atmósfera como del suelo, y además para este sector

INGEOMINAS

Figura 9

Diagrama de flujo de procesos implicados en salinizacion de aguas del acuifero libre del Cuaternario



específicamente, a la formación de ácido sulfúrico, originado por la oxidación de las piritas asociadas a los carbones que afloran en inmediaciones de la Jagua. A partir de estos afloramientos, las aguas infiltradas adquieren carácter ácido y así lo imparten al acuífero cuaternario, según su dirección de flujo predominante hacia el oeste, Fig. 8).

La presencia de valores anómalos de hierro y manganeso en estas aguas se debe precisamente al carácter agresivo de la misma, el cual facilita la disolución, tanto de las piritas provenientes de la Formación Cuervos, Tec, como de los nódulos y costras, formados por óxidos de hierro y manganeso que se encuentran ampliamente tanto en el acuífero cuaternario superficial de este sector, como en los afloramientos cercanos de la Formación Cuesta (Tmc).
Una situación similar ocurre al sur de este sector en áreas pequeñas, sin embargo, allí las rocas de donde se derivan los iones que entran en solución son diferentes.

Finalmente, en el borde sur del departamento, hay una franja de aguas subterráneas caracterizada por contenidos altos de hierro y manganeso (Plancha 1,Vargas y Angel,1995). Estas aguas se encuentran en ambiente reductor como lo demuestran los valores negativos del potencial redox (Tabla 32). En este caso es precisamente tal ambiente el que favorece la presencia de los iones ferroso y manganoso en el agua, a pesar de ser los valores de pH

próximos a la neutralidad. Dichos iones provienen de la lixiviación de los detritos de las unidades Qal y Qcal, que a su vez se derivaron de la erosión de las rocas ígneas y metamórficas que afloran al oriente en las montañas. Además, es importante anotar que las características físico - químicas enunciadas para esta región se cumplen también para el acuífero profundo a profundidades de 60 m o más.

7.3.4.2.2 Unidades Acuíferas de edad Terciaria. Se incluyen en este grupo las unidades Tpaa, Tmc, Tec y Tpb, de las cuales se muestrearon captaciones.

En general las aguas de estas unidades son tipo bicarbonatado cálcico ó sódico, excepto por la unidad Tpb donde además de estos tipos también hay aguas cloruradas sódicas. Se destacan por otro lado los altos contenidos de hierro encontrados en muestras de las unidades Tpaa y Tec.

7.3.4.2.3 Unidades acuíferas de edad Cretácea. Comprenden las unidades Kmc, Ksl y Kir, donde se tomaron muestras; allí las aguas son predominantemente bicarbonatadas cálcico-magnésicas y a veces sódicas.

7.3.4.2.4 Unidades Acuíferas del Jurásico. Incluye dos unidades muestreadas:

- Unidad La Quinta Volcanoclástica(Jqv). Para el sector de Las Vegas - El Burro, no se observa para éstas aguas una tendencia clara en ion(es) dominante(s), pues alternan los HCO_3^- , $SO_4^=$, Cl^- y Na^+, (K^+), Ca^{++}.

- Granitoides Jurásicos(Jgr). El agua analizada en dos muestras de esta unidad es tipo Bicarbonatada cálcico - magnésica.

INGEOMINAS

8. HIDROGEOLOGIA

8.1 METODOLOGÍA

Desde aquí en adelante, hasta finalizar este informe se utilizan los resultados obtenidos en todas las otras actividades, que se ejecutaron durante el presente proyecto (Geología, Hidrogeoquímica, Prospección Geoeléctrica, Inventario de Puntos de Agua, etc.). Esta información una vez analizada permite establecer un modelo hidrogeológico conceptual para el Departamento, en el cual se determinan las características de las unidades geológicas como almacenadores y transmisores potenciales de agua subterránea, su importancia relativa a este respecto, la calidad de la misma agua para sus posibles aplicaciones, la cantidad aproximada que está almacenada y disponible, lo mismo que la manera y la cantidad de agua que renueva periódicamente a aquellos reservorios subterráneos. Uno de los "productos" de este modelo resultante es el mapa hidrogeológico, en el cual se trata de reflejar gran parte de los aspectos mencionados.

Con miras a establecer el alcance de este informe, se aclara que desde este capítulo en adelante, las descripciones, observaciones, deducciones, evaluaciones y conclusiones que se hagan respecto a la

situación hidrogeológica del subsuelo del Departamento, estarán basadas en la información que hay disponible al respecto, esto es básicamente a partir de los resultados de la prospección geoeléctrica, la geología de superficie, la hidrogeoquímica y los pozos existentes con su información pertinente. En otras palabras, se tratará el tema mencionado con el grado de confiabilidad que dicha información permite, hasta aproximadamente los 350 m de profundidad bajo la superficie del terreno, a menos que se aclare lo contrario.

8.1.1 Pruebas de Bombeo. Dentro de las actividades complementarias para hidrogeología, se ejecutó una recopilación de la información existente, obtenida en estudios locales y pozos realizados por empresas públicas y privadas, sobre datos de pruebas de bombeo en 30 puntos diferentes, la cual se complementó con la ejecución en campo, dentro de este proyecto, de 40 ensayos del mismo tipo, aprovechando esencialmente la infraestructura ya instalada. Dichos ensayos se hicieron a caudal constante, oscilando este casi siempre entre 2 y 10 l/s, casi en ningún caso hubo pozos de observación y su duración varió entre 3 y 10 horas, atendiendo a las restricciones impuestas por los propietarios y finalmente se midió la recuperación de los niveles. En total dan 70 puntos donde se revisó, procesó y analizó dicha información. Al respecto, en el Anexo B, se pueden ver los gráficos donde se calcularon los valores

de transmisividad, para las pruebas de bombeo que se pudieron analizar.

De ese gran total, los datos de 6 pruebas de bombeo no se consideraron confiables para ser utilizados, principalmente por la continua oscilación en las medidas de abatimiento, para el resto se obtuvieron valores de transmisividad y conductividad hidráulica, con el fin de tener una aproximación a estos factores que caracterizan a los diferentes sistemas acuíferos existentes en el Departamento. Tabla 34. Los valores obtenidos de conductividad hidráulica se clasificaron en cuatro rangos, para efectos de la descripción de los sistemas acuíferos:

RANGO EN m/día	CLASIFICACIÓN
Mayor de 10	Alta
10^{-1} á 10	Media
10^{-3} á 10^{-1}	Baja
10^{-5} á 10^{-3}	Muy Baja

Por las restricciones presentes en los ensayos realizados, solo en unos pocos de ellos se obtuvieron coeficientes de almacenamiento ó de rendimiento específico (S).

Como puede observarse en la relación de resultados de la tabla 34 y en su ubicación respectiva de la plancha 11, espacialmente

Tabla 34: PARAMETROS HIDRÁULICOS EN SISTEMAS ACUÍFEROS DEL DPTO. CESAR

POZO	SIST. ACUIFERO	TRANSM.	C. HIDRAUL.	S	POZO	SIST. ACUIFERO	TRANSM.	C. HIDRAUL.	S
		m2/dia	m/dia				m2/dia	m/dia	
55IID72	Jqv	10	0.7		41IB53	Qlla	300	13	
55IID73	Jqv	22	2	1E-5	27IIID44 ´	Qlla	1100	14	0.15
48IIIC12 /	Kir	50	3		27IVA28	Qlla	800	44	
48IIIC48	Kir?	75	6		34IB55 ¨	Qlla	5000	57	1E-3
41IIA17 &	Kmc	260	14		47IID3	Qlla	130	65	
41IB44	Ksl	200	10		48IIIC37	Qlla	160	80	
86IIIC11	Qal	5	0.5		27IVA33	Qlla	1300	144	
97IC6 &	Qal	12	1		48IC-DR ^	Qlla		0.2 á 5	
85IVD6	Qal	68	5		48IA18 ´	Tec	15	0.4	
86IIIA20	Qcal1	2	0.04		48IA20B ´	Tec	15	2	1E-3
65IVA6	Qcal1	6	0.2		48IA20M ´	Tec	65	6	1E-5
85IVD2	Qcal1	20	0.5		48IC-DR ^	Tec		8E-3 á 8E-2	1E-5
85IIC5	Qcal1	25	0.6		48IC-DR ^	Tec (Carbón)		8E-2 á 8	
75IIB3	Qcal1	12	1		47IIB33	Tmc	80	3	
85IVA9	Qcal1	44	4		47IIB66 *	Tmc	90	5	
75IIB10	Qcal1	62	4		47IIB66	Tmc	140	7	
85IVD38	Qcal1	260	8		40IVD6	Tmc	270	13	
85IIA1	Qcal1	1280	140		47IIB65 /	Tmc	600	25	
75IVA7	Qcal1,Tpaa	22	1		55IID38	Tpaa	15	2	
85IIA26	Qcal1,Tpaa	180	4		47ID1	Tpaa	30	4	
75IIC2	Qcal1,Tpaa	60	12		55IIC34 &	Tpaa	100	6	
65IVD14	Qcal2,Qcal1	5	0.2		55IIC35 +	Tpaa	80	7	
85IID29	Qcal2,Qcal1	15	0.4		47IC1 +	Tpaa	160	8	
65IVA14	Qcal2,Qcal1	40	2		47IC2 /	Tpaa	270	9	
27IVC89 ¨	Qcal,Qlla	1100	14	5E-3	EL PASO *	Tpaa	220	10	5E-4
27IVC64 ¨	Qcal,Qlla	2500	31	0.015	40IC1 +	Tpaa	400	16	
34IC34	Qlla	13	0.2		33IC10	Tpaa	700	23	1E-5
27IIIB11	Qlla	33	1		40IVC72 /	Tpaa	1300	36	
34IIIA47	Qlla	70	3		40IA6 +	Tpaa	3000	94	1E-05
34IB6 ¨	Qlla	130	3		47IVD39 *	Tpaa	200	6 á 16	5E-4
41IIIB57	Qlla	70	6		55IIB7	Tpaa?	80	9	
48IIIA1	Qlla	85	9		41IB51	Tpb	80	5	

Fuentes:-Loboguerrero(1991)* -Drummond(1983)^ -Prodeco(1991)´ -Tahal(1972)¨ -Insfopal(Varios)+ -Perfoguajira(Varios)/ -Otros &

hablando, la distribución de los pozos con ensayo de bombeo analizado, cubre la gran mayoría de la planicie del Cesar, con excepción de las zonas ubicadas entre las poblaciones de Bosconia, Mariangola, El Desastre, El Paso; también entre Astrea, el río Cesar y Chimichagua y finalmente entre las poblaciones de Las Vegas, Zapatosa,Tamalameque y Pailitas.

En cuanto a su representatividad respecto a los sistemas acuíferos identificados, se piensa que es aceptable para la escala regional que se maneja en el presente trabajo, pues incluye prácticamente a todos, aunque algunos de ellos con mejor detalle.

8.1.2 Mapa Hidrogeológico. Uno de los aspectos mas importantes relacionados con el desarrollo de las aguas subterráneas, es la delimitación de sus reservorios. Los factores principales que condicionan esta delimitación son las características de las unidades geológicas identificadas en relación a la existencia de agua subterránea y su extensión, así como también la cantidad y calidad del agua en ellas almacenada; también las características hidrometeorológicas y fisiográficas del área. Con base en estos parámetros se elaboró el Mapa Hidrogeológico del Departamento del Cesar, siguiendo esencialmente las directrices planteadas por UNESCO (1989), para la cartografía del Mapa Hidrogeológico de la América del Sur.

INGEOMINAS

8.1.2.1 Subprovincias Hidrogeológicas. Según UNESCO (1989) una Provincia Hidrogeológica corresponde a una región con características generales similares en cuanto a las condiciones de ocurrencia de las aguas subterráneas. Entre los elementos que contribuyen a su definición se destacan la conformación geológica y las características fisiográficas. El factor geológico es uno de los más importantes para tal definición, debido a que las particularidades litológicas, estructurales y tectónicas de una determinada región, controlan las condiciones de ocurrencia, movimiento y calidad de las aguas subterráneas. Las particularidades fisiográficas junto con las climatológicas condicionan la infiltración y recarga de los acuíferos, así como la dirección del flujo subterráneo y su descarga natural.

Para la elaboración del Mapa Hidrogeológico de Colombia, la superficie del país, fue dividida en seis grandes Provincias Hidrogeológicas (Huguett et al, 1989), de las cuales el departamento del Cesar pertenece en su gran mayoría a la Provincia Costera Vertiente Atlántica y en menor proporción a la Provincia Andina Vertiente Atlántica. Para efectos del presente estudio y teniendo en cuenta que en el Departamento del Cesar, hay regiones con características específicas, que condicionan para cada una de ellas la ocurrencia de las aguas subterráneas, el área del Departamento fue dividida a su vez, en cuatro subprovincias hidrogeológicas, denominadas: Sierra Nevada de Santa Marta,

Serranía de Perijá, Norte de la Cordillera Oriental y Planicie del Cesar. La delimitación de estas subprovincias se presenta en la figura No.10.

En cada una de estas subprovincias hidrogeológicas se encuentran varios sistemas acuíferos. Un Sistema Acuífero es una unidad o formación geológica que puede contener a la vez uno o varios tipos de acuíferos (libre, semiconfinado, confinado, etc) los cuales pueden almacenar grandes o pequeños volúmenes de agua, en condiciones de explotación o no.

Desde el punto de vista climático, las subprovincias hidrogeológicas se pueden clasificar como húmedas o áridas. UNESCO (1993) define como clima árido aquel en el que la precipitación media anual es inferior a la evaporación potencial media anual. A la inversa en un clima húmedo ésta última es inferior a la precipitación media anual. Evidentemente, las características hidrogeológicas naturales son diferentes en regiones húmedas o áridas.

También pueden variar significativamente de una región a otra las características básicas de los recursos hídricos subterráneos en función de la geología y así, cuando existen unidades sedimentarias importantes, considerando como tales aquellas que tienen una permeabilidad considerable, se pueden esperar recursos importantes

de aguas subterráneas, mientras que cuando esas unidades no existen, la importancia de dichas reservas hídricas suele ser inferior.

Para hacer una evaluación general del recurso, se regionalizaron las subprovincias hidrogeológicas del departamento del Cesar, de acuerdo con sus principales características climatológicas (áridas-húmedas) y geológicas (sedimentaria - no sedimentaria), disponiéndose de un mapa de isoyetas medias anuales y de un mapa de evaporación potencial, ambos expresados en mm, obteniéndose finalmente al combinarlos con el mapa geológico, un mapa de Regiones Climatológicas - Geológicas (UNESCO, 1993), el cual se presenta en la figura No. 11.

8.1.2.2 Clasificación y Descripción Hidrogeológica. La clasificación hidrogeológica de las unidades geológicas está basada en la importancia de las rocas con respecto a su potencialidad como acuíferos, siendo ésta importancia determinada por sus características intrínsecas de pequeña escala(porosidad, conductividad hidraúlica, calidad del agua) y por las de mayor escala(extensión, espesor y estructura del acuífero); también esta importancia depende de circunstancias externas como la explotación de tales acuíferos, su descarga natural, la recarga y la relación del acuífero en cuestión con otros acuíferos. De acuerdo con lo anterior, los **sistemas acuíferos** que hay en todas las subprovincias

del Departamento se juntaron por **Clases Hidrogeológicas,** según su afinidad y éstas a su vez se integraron en **Grupos Hidrogeológicos.**

8.1.2.3 Importancia Hidrogeológica Relativa. Esta clasificación de importancia es relativa, se basa en las características descritas en cada una de las clases hidrogeológicas, respecto a su potencialidad como acuíferos y puede ser grande, intermedia, pequeña, muy pequeña, o sin importancia.

8.2 LEYENDA DEL MAPA HIDROGEOLOGICO

Con base en la metodología antes expuesta, se hizo el mapa hidrogeológico del Cesar y su respectiva leyenda, la cual consta de tres temas principales: Clasificación y Descripción Hidrogeológica de las unidades geológicas identificadas, Importancia Hidrogeológica Relativa y las Subprovincias Hidrogeológicas con sus Sistemas Acuíferos correspondientes(plancha 11). A continuación se da una breve descripción de ellos:

a) Clasificación y Descripción Hidrogeológica. Corresponde a la primera columna de izquierda a derecha, incluye tres grupos hidrogeológicos que son:

- Sedimentos y Rocas Porosas con Importancia Hidrogeológica Relativa Grande a Muy pequeña.

- Rocas Fracturadas y Porosas con importancia hidrogeológica relativa Grande a Pequeña.
- Sedimentos y Rocas Porosas o Fracturadas, con muy pequeña Importancia Hidrogeológica ó sin importancia.

Estos grupos en el mapa se diferencian por un color distintivo, el primer grupo es de color azul, el segundo es verde y el tercero es de color marrón (plancha 11).

Cada uno de los anteriores grupos están conformados por varias clases hidrogeológicas, donde se describen de forma sumaria las características de los sistemas acuíferos, enfatizándose en la extensión y tipo de acuífero, su litología, la conductividad hidraúlica y la calidad química del agua. Cada clase

hidrogeológica, dentro su grupo y en el mapa, se diferencia por tener un tono especial del color correspondiente(plancha 11).

b) Importancia Hidrogeológica Relativa. En la segunda columna de la leyenda se encuentra la Importancia Hidrogeológica Relativa, de cada una de las Clases Hidrogeológicas mencionadas anteriormente. Estas se ordenan aproximadamente de arriba hacia abajo y de mayor a menor importancia relativa.

c) Subprovincias Hidrogeológicas y Sistemas Acuíferos Correspondientes. Siguiendo la lectura de la leyenda, horizontalmente hacia la derecha, se observa en tercer lugar, esta columna ancha que presenta la relación de los sistemas acuíferos explorados e identificados en el Departamento del Cesar, durante el presente trabajo, su ubicación dentro de las cuatro subprovincias hidrogeológicas en que fue dividido el Departamento y finalmente los ordena en frente de su clase hidrogeológica correspondiente.

8.3 DESCRIPCION DE LAS SUBPROVINCIAS HIDROGEOLOGICAS

Como se anotó anteriormente el departamento del Cesar se ha dividido en cuatro (4) subprovincias hidrogeológicas denominadas Sierra Nevada de Santa Marta, Serranía de Perijá, Norte de la Cordillera Oriental y Planicie del Cesar. (figura No. 10)

8.3.1 Subprovincia Hidrogeológica Sierra Nevada de Santa Marta.

Ocupa el extremo septentrional del Departamento, limitando por el norte y noreste con el Departamento de la Guajira, al noroccidente con el Departamento del Magdalena y al suroriente y suroccidente se encuentra en contacto abrupto con la subprovincia Planicie del Cesar. Comprende una zona fisiográfica compleja, en su mayor parte montañosa con una hidrografía que desagua hacia los ríos Cesar y Ariguaní. Esta subprovincia abarca sectores del departamento pertenecientes a los municipios de Valledupar, El Copey y Bosconia.

La subprovincia en mención presenta una gran variedad litológica constituida por rocas metamórficas, ígneas intrusivas y volcánicas, complejos volcanoclásticos, y en menor proporción calizas, depósitos de piedemonte y morrenas, estas últimas asociadas a las zonas glaciares.

De acuerdo al mapa de Regiones Climatológicas Geológicas, ésta subprovincia contiene una región húmeda sobre rocas no sedimentarias, con muy pocas posibilidades de infiltración y además, una región árida en su gran mayoría sobre rocas no sedimentarias, razón por la cual se le considera en su conjunto como de poco interés hidrogeológico. Es importante el aporte de sus corrientes superficiales a la subprovincia Planicie del Cesar, a la cual sirven como fuente de recarga.

8.3.2. Subprovincia Hidrogeológica Serranía Perijá. Se encuentra en el borde nororiental del Departamento, extendiéndose desde los límites con la Guajira en el nororiente, hasta la parte centro-oriental en el sur, donde se pone en contacto con la subprovincia Norte de la Cordillera Oriental a través de la Falla de Arenas Blancas. Hacia el oriente está limitada por la divisoria de aguas que marca la frontera con Venezuela, situándose hacia el occidente en contacto un poco abrupto con la subprovincia Planicie del Cesar. Figura 10. Corresponde a una zona fisiográfica montañosa cuya red hidrográfica va con dirección al río Cesar. Abarca sectores

importantes de los municipios de La Paz, Codazzi, Becerril y la Jagua de Ibirico. Litológicamente se encuentra formada por metasedimentos, por rocas volcanoclásticas y sedimentarias de grano fino hasta conglomerático y algo de calizas. La mitad norte de la subprovincia está marcada por una región árida extendida sobre rocas esencialmente no sedimentarias y en menor cantidad sobre calizas, con algún desarrollo de fracturas y Karst, que ocupan el borde noroccidental, donde seguramente la recarga solo ocurre en períodos cortos de alta precipitación.

La mitad sur de la misma subprovincia está cubierta por una región húmeda, abarcando mayormente unidades sedimentarias de areniscas y calizas que afloran por encima de los 500 m.s.n.m. Figura 11. Estos afloramientos a pesar de sus condiciones litológicas, relativamente favorables para aceptar recarga, por su estructura geológica, donde forman parte del flanco oriental del Anticlinorio de la Serranía del Perijá(plancha 1), no están conectados hidráulicamente de manera directa con sus equivalentes en el flanco occidental de la misma estructura, que son los afloramientos del piedemonte (entre Casacará y Codazzi), donde se recargan los reservorios presentes en el subsuelo de la Subprovincia Planicie del Cesar. Aquellos afloramientos de la parte alta constituyen entonces un "almacenamiento temporal - rápido", que descarga hacia las corrientes que drenan de la Serranía hacia el río Cesar. Sin embargo hay una franja en el borde sur de esta subprovincia,

ubicado enfrente del sector La Jagua - Casacará, donde las rocas sedimentarias de ambos flancos "reestablecen" la conexión hidráulica, conformando una zona de recarga de mayor interés.

8.3.3. Subprovincia Hidrogeológica Norte de la Cordillera Oriental. Abarca la parte mas septentrional de la Cordillera Oriental extendiéndose desde el borde centro-oriental del departamento (Falla de Arenas Blancas), hasta los límites con el departamento de Santander por el sur. Al oriente limita con Venezuela y el Norte de Santander y por el occidente se encuentra en contacto abrupto con la subprovincia Planicie del Cesar. Su fisiografía es montañosa, con una red de drenaje dirigida hacia el río Magdalena. Comprende la parte montañosa de los municipios de Curumaní, Chimichagua, Pailitas, Pelaya, La Gloria, Aguachica, Río de Oro, González, San Martín y San Alberto.

La constitución litológica de ésta subprovincia, está representada por rocas metamórficas, ígneas de tipo intrusivo y volcánico y en menor proporción sedimentarias muy compactas. En ella se encuentra una región predominantemente húmeda sobre rocas no sedimentarias, lo cual puede traducirse en una importante escorrentía hacia la subprovincia Planicie del Cesar, pero con muy escasa probabilidad de hallar en ellas, depósitos importantes de agua subterránea. Se exceptúan dos pequeñas áreas al sur de Curumaní y Este de Rincón Hondo, donde hay afloramientos, no muy extensos, de calizas y

areniscas dentro de la región húmeda, lo cual da a estas rocas buena posibilidad de recarga y almacenamiento de agua.

8.3.4. Subprovincia Hidrogeológica Planicie del Cesar. Esta subprovincia ocupa la mayor área del Departamento(48% del total) y en superficie posee unidades sedimentarias. Morfológicamente está constituida por una región baja, plana a semiplana con ciertas ondulaciones donde aparecen algunos cerros aislados que no sobrepasan los 50 m de altitud sobre el nivel circundante. El drenaje se encuentra dominado por las tres corrientes superficiales mas importantes que cruzan el departamento, en el norte el río Cesar, al noroccidente el Ariguaní (afluente del Cesar) y al suroccidente el río Magdalena donde desemboca el Cesar. Esta subprovincia abarca las principales zonas agrícolas, ganaderas e industriales de todos los municipios del departamento.

Se compone en su mayor parte de sedimentos aluviales con granulometría predominantemente gruesa, pertenecientes al cuaternario. En menor proporción se encuentran rocas sedimentarias de grano fino a grueso del Terciario y rocas volcanoclásticas y flujos volcánicos del Triásico Jurásico, conformando estas últimas pequeños cerros aislados.

La presencia de la cubierta cuaternaria y de rocas terciarias con buena porosidad, hacen de ésta provincia la más importante como reservorio potencialmente explotable de aguas subterráneas.

De acuerdo al mapa de regiones Climatológicas-Geológicas obtenido (figura 11), existen en ésta subprovincia una región húmeda y una árida, ambas sobre rocas sedimentarias. La primera se extiende desde el extremo sur del Departamento hasta la Ciénaga de Zapatosa y desde allí hacia el nororiente, bordeando a la región montañosa hasta la altura de Casacará (figura 11). Esta se constituye en la región con las mejores posibilidades de almacenamiento de aguas subterráneas por mantener unas fuentes potenciales de recarga constantes, durante casi todo el año, tanto de agua lluvia como de corrientes superficiales.

La región árida está ubicada prácticamente en la mitad norte del área ocupada por la zona plana (figura 11), aproximadamente entre la Ciénaga de Zapatosa, el sector El Copey - Bosconia y la gran mayoría del Valle del Río Cesar. En esta región se colige, que los reservorios de agua subterránea son recargados fundamentalmente por el agua lluvia únicamente durante los períodos de fuerte invierno y en alguna medida por las corrientes superficiales.

En cuanto a la dirección de flujo para el agua subterránea, en el acuífero superficial cuaternario de ésta subprovincia, se observó

esencialmente a partir de la distribución de curvas de isoconductividad eléctrica(ver capítulo 7) y, en algunos sitios por la distribución de niveles estáticos del mismo, que en la mitad norte del Departamento el flujo va desde las estribaciones de la Sierra Nevada y la Serranía hacia el centro del Valle del Río Cesar y desde la Sierra Nevada hacia el Río Ariguaní (plancha 11). Dicho flujo en la mitad sur del Departamento va desde la Cordillera Oriental hacia la zona de Ciénagas y hacia el cauce del río Magdalena.

8.4. DESCRIPCION DE GRUPOS HIDROGEOLOGICOS Y SISTEMAS ACUIFEROS ASOCIADOS

El departamento del Cesar fue dividido en tres grandes grupos hidrogeológicos, teniendo en cuenta el tipo de porosidad de sus unidades geológicas, su importancia hidrogeológica como almacenadoras de agua subterránea y sus posibilidades de explotación.

A continuación se describen estos grupos y los sistemas acuíferos que tienen más relievancia en el Departamento del Cesar.

8.4.1. Grupo de Sedimentos y Rocas Porosas con Importancia Hidrogeológica Relativa Grande a muy Pequeña. Este primer grupo se encuentra representado por aquellos sedimentos inconsolidados y

rocas poco compactas que presentan porosidad primaria y buenas posibilidades como acuíferos. Este grupo ha sido dividido en cuatro clases hidrogeológicas, cada uno de las cuales a su vez agrupa a dos o más unidades geológicas (sistemas acuíferos) de edades cuaternarias y terciarias, depositadas en ambientes de carácter continental y marino.

Las cuatro clases hidrogeológicas del grupo en cuestión, contienen siete (7) sistemas acuíferos que son: Llanura Aluvial (Qlla), Depósitos Aluviales (Qal), Abanicos Aluviales (Qcal), Terrazas (Qt), Sedimentitas de Arjona (Tpaa), Formación Cuesta (Tmc) y Formación Barco (Tpb). La mayor parte de estos sistemas se encuentra asociada a la subprovincia hidrogeológica Planicie del Cesar, en donde se comportan como reservorios y zonas de descarga natural o artificial de las aguas subterráneas. En menor proporción aparecen en la subprovincia Serranía de Perijá donde se comportan como zonas de recarga.

8.4.1.1 Sistema Acuífero Llanura Aluvial (Qlla). Aflora únicamente en la subprovincia hidrogeológica Planicie del Cesar, convirtiéndose en el sistema de mayor extensión del departamento, con un área de aproximadamente 8500 km² que se extiende a través de una morfología plana a semiplana, desde los límites con el Departamento de la Guajira en el nororiente y los del Magdalena en

el noroccidente, hasta la parte Central del Departamento del Cesar, entre las poblaciones de Pailitas y Palestina (plancha 11).

El Sistema Acuífero Llanura Aluvial, esta compuesto por sedimentos inconsolidados de origen aluvial que rellenaron durante el Cuaternario una paleotopografía irregular controlada por una tectónica de bloques y pliegues, razón por la cual son muy comunes sus cambios laterales de facies y de espesores (plancha 12). Estas circunstancias han hecho que las características hidrogeológicas del Sistema sean diferentes de una región a otra por lo que, para una mejor descripción, se han adaptado siete (7) subdivisiones o sectores, correspondientes en todo o en parte a igual número de bloques tectónicos, limitados generalmente por una serie de fallas fosilizadas (cubiertas) de tipo regional (figura No. 12). A estos bloques se les ha asignado los nombres de Río Cesar, Los Venados, Ariguaní, Codazzi-Sicarare, Becerril- La Loma, Rincón Hondo y Astrea-San Alberto.

8.4.1.1.1 Sector del Bloque del Río Cesar. Corresponde a un bloque tectónico hundido (fosa) que se encuentra en la región norcentral del departamento, limitado al norte por las estribaciones de la Sierra Nevada de Santa Marta al suroriente por la Falla cubierta de San Diego - Cuatrovientos, al suroccidente por la Falla Cubierta del río Garupal y al nororiente se encuentra

limitado superficialmente, por el trazado de los contactos con los sistemas acuíferos Terrazas (Qt) y Abanicos Aluviales (Qcal).Figura 12.

En el bloque del río Cesar el Sistema Acuífero Llanura Aluvial (Qlla), ocupa una extensión de aproximadamente 1780 km² con un espesor máximo de 300 m, compuesto por una serie de intercalaciones de gravas, arenas y arcillas provenientes de la erosión de rocas ígneo-metamórficas, volcánicas y volcano-sedimentarias de la Sierra Nevada y de la Serranía de Perijá, conformando la cuenca media del río Cesar, el cual atraviesa al sistema en su parte central.

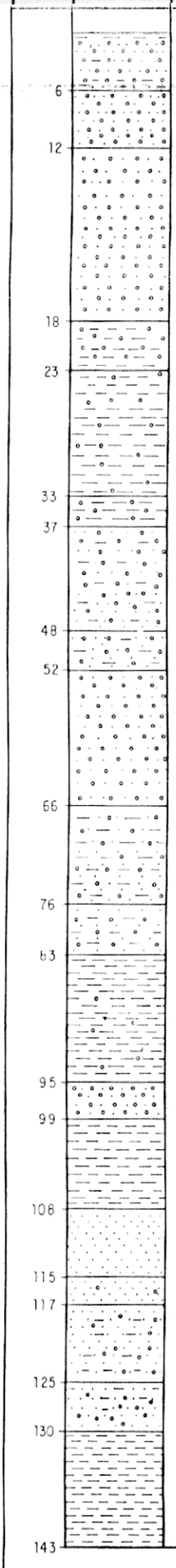
La granulometría de éste Sistema Acuífero en el bloque del río Cesar, es gruesa hacia el centro y al noroccidente del citado río, debido al mayor aporte de material ígneo-metamórfico de la Sierra Nevada de Santa Marta, obteniéndose valores de resistividad de 30 a 45 Ohm.m. Hacia la parte sur y suroriental del río, los valores de resistividad tienden a disminuir, y oscilan entre 10 y 20 Ohm.m, como respuesta de una granulometría mas fina producto de un mayor aporte de la descomposición de rocas sedimentarias de la Serranía de Perijá. Esta secuencia descansa sobre un basamento de rocas ígneo-metamórficas y sedimentarias compactas que tiene valores de resistividad superiores a los 100 Ohm.m (plancha 12). En la superficie se presenta en general una capa de origen aluvial de poco espesor con textura esencialmente arcillosa y con regular a

mal drenaje. En la figura No. 13 se describe la columna estratigráfica generalizada correspondiente a los primeros 150 m del sistema acuífero en mención.

Este sistema en el sector del bloque del río Cesar desarrolla dos tipos de acuíferos, uno superior que varía de libre a semiconfinado, constituido por arena fina y limo y el inferior que es también semiconfinado compuesto por una intercalación de arenas, gravas y arcillas.

El acuífero más somero o superior tiene un espesor que varía de 15 a 20 m con una tabla de agua alta, la cual se encuentra desde 1.5 a 5.0 m de profundidad, alcanzando a bajar entre 0.5 y 1.0 m al finalizar el período de verano. El agua del acuífero es dulce con una conductividad eléctrica promedio de 1000 μmhos/cm y varía de tipo bicarbonatada cálcico - magnésica, en alrededores del piedemonte, a sódica hacia el centro del Valle del río Cesar; desde el punto de vista físico - químico son aptas para consumo humano y varían de regulares a inadecuadas en su aplicación para riego, debido esto último esencialmente a factores climáticos locales, presencia de suelos salinos, niveles freáticos someros y a procesos artificiales (ver capítulo 7). Actualmente éste acuífero es explotado por cerca de 320 aljibes construídos con profundidades de 3 a 10 m, que producen caudales entre 0.1 y 5 lit/seg, con un promedio de 3.0 lit/seg durante un tiempo de extracción diaria que

Fig. No. 13 Columna estratigráfica del sistema acuífero Llanura Aluvial, en el sector del Bloque del Río Cesar. (Tomado de Tahal, 1972)



PROF	DESCRIPCION LITOLOGICA
	Fragmentos angulares de grava fina en matriz arenosa de grano grueso y algo de arcilla de color gris.
6	Arena de grano grueso, angulares con algunos fragmentos de grava.
12	Fragmentos de grava fina en matriz arenosa de granos angulares gruesos.
18	Gravas subredondeadas de tamaño grueso a medio y arcilla de color marron claro.
23	Arcillas de color marron y marron rojizo con algunos fragmentos de grava fina.
33	Arcilla de color gris con algunos fragmentos de grava fina.
37	Fragmentos de gravas en matriz arenosa de grano grueso con alguna arcilla.
48	Fragmentos de grava en matriz arenosa de grano grueso con poca arcilla de color amarillento.
52	Gravas subredondeadas de tamaño medio en matriz arenosa de grano muy grueso.
66	Gravas subredondeadas de tamaño medio en matriz arenosa de grano grueso, con poca arcilla de color gris claro y amarillento.
76	Fragmentos de grava fina en matriz arenosa de grano grueso con poca arcilla.
83	Arcilla de color marron claro con algunas gravas finas.
95	Arena muy grueso y grava tamaño fino.
99	Arcilla de color marron claro con algo de arena de grano grueso y algunos fragmentos de grava fina.
108	Arenas de grano medio a fino.
115	Grava fina en matriz arenosa de grano fino.
117	Grava fina en matriz arenosa de grano medio a fino con algo de arcilla de color marron claro.
125	Arena de grano muy grueso con algunos fragmentos de grava fina y muy poca arcilla
130	Arcilla de color grisácea y marron claro con algunos fragmentos de grava y arena del grano grueso.
143	

Fig. 13

no sobrepasa las 3 horas por aljibe. De acuerdo a esto se estima para este acuífero superior una conductividad hidráulica de 1 m/día.

De acuerdo a la distribución de las curvas de isoconductividad eléctrica del agua y de las medidas de niveles estáticos, tomadas en los aljibes durante diversas fechas en la fase del inventario, en el Bloque del Río Cesar la dirección del agua subterránea freática es convergente desde las estribaciones montañosas hacia el cauce del río Cesar, para luego tomar una dirección hacia el suroccidente, aportando sus aguas a la parte media del citado río (plancha 11).

El acuífero semiconfinado o inferior, de acuerdo al estudio de geoeléctrica realizado por Tahal (1972), tiene un espesor promedio de 400 m, con un nivel estático entre 5 y 8 m de profundidad, el cual durante las épocas de verano desciende de 0.20 a 1.0 m. El agua del acuífero es dulce, de tipo bicarbonatada sódica-cálcica, con una conductividad de 360 μmhos/cm. Este acuífero es explotado por alrededor de 30 pozos con diámetros desde 6 hasta 14 pulgadas y profundidades entre 60 y 300 m, los cuales producen caudales mínimos de 5 lit/seg y máximos de 110 lit/seg, la mayor parte de ellos con un promedio de 45 lit/seg. Por lo general el tiempo de explotación diaria no sobrepasa las 4 horas, considerándose que el volumen de extracción por pozo es de 648 m3/día. Los valores de

conductividad hidráulica obtenidos varían de 0.2 a 144 m/día (media a alta) y los coeficientes de almacenamiento del orden de 1 x 10^{-2} a 1x10^{-3} (Tabla 34). Su capacidad específica se estima entre 1 y 3 lit/seg/m.

En este bloque se considera que el sistema acuífero Llanura Aluvial tiene gran importancia hidrogeológica.

8.4.1.1.2 Sector del Bloque Los Venados. Está en bloque tectónico relativamente levantado, situado en la parte nor-occidental del Departamento, limitado al norte y nororiente por las fallas de Garupal y Cesarito, al suroccidente por la Falla Caracolicito y al suroriente por la Falla San Diego-Cuatrovientos.

El área cubierta por el sistema acuífero Llanura Aluvial (Qlla) en el bloque Los Venados es de 790 km², conformada litológicamente por sedimentos cuaternarios representados por delgadas intercalaciones de arcilla arenosa, arena fina arcillosa, arena gruesa y arcilla. Por lo general las capas de arena gruesa aparecen intercaladas a partir de los 20 m de profundidad.

El Sistema Acuífero Llanura Aluvial en el bloque Los Venados, desarrolla un acuífero libre a semiconfinado que tiene un espesor entre 15 y 70 m, presentándose el mayor espesor en una franja de 5 a 10 km de ancho, paralela al río Cesar, donde la resistividad de

las capas tienen un valor promedio de 10 ohm-m. A partir de ésta franja hacia el noroccidente, el espesor del acuífero disminuye estando entre 15 y 20 m y variando los valores de resistividad de 5 a 40 ohm-m. Plancha 12.

Este acuífero cuaternario del Bloque Los Venados, tiene un nivel piezométrico que varía desde los 6 hasta los 28 m de profundidad, con un promedio de 15 m. Dicho nivel en algunos sectores alcanza a descender 2 m al finalizar la época de verano. El agua del acuífero varía de dulce a salobre, con una conductividad eléctrica promedio de 1200 μmhos/cm y es de tipo bicarbonatada sódica y cálcico - magnésica. En general es apta para consumo humano a excepción de una franja ubicada entre Bosconia y el sitio Loma Linda. Para aplicaciones en riego es casi en su totalidad inadecuada y excepcionalmente de regular a buena calidad, esto último debido a que existe una situación similar a la descrita para este fenómeno en el bloque Río Cesar (ver capítulo 8.4.1.1.1).

Actualmente el acuífero en mención es explotado, en este sector, por cerca de 130 aljibes con profundidades que van de 8 a 35 m, siendo muy frecuentes las profundidades entre 17 y 25 m. Estos aljibes producen caudales de 0.01 a 2.5 lit/seg operando diariamente un máximo de 3 horas, estimándose un caudal promedio de 1 lit/seg. Los 3 únicos pozos que captan éste acuífero, tienen profundidades entre 40 y 50 m con diámetros de 6 pulgadas y

producen caudales de 1.5 a 2.5 lit/seg con una operación diaria promedio de 10 horas (72 m3/día por pozo). Se le estima un valor de conductividad hidráulica entre 10^{-1} y 10^{-2} m/día (moderada a baja). La capacidad específica se considera menor de 0.1 lit/seg/m.

Según el trazado de las curvas de isoconductividad eléctrica para este sistema acuífero, el flujo regional en éste sector, tiene una dirección preferencial hacia el sur, descargando probablemente sus aguas en otros sistemas acuíferos mas profundos y en el río Cesar.

Se considera que el sistema acuífero Qlla, en este bloque, tiene relativamente una pequeña importancia hidrogeológica.

8.4.1.1.3 Sector del Bloque Ariguaní. Se encuentra en un bloque tectónico hundido, de forma alargada y angosta en la dirección noroccidente - suroriente, ubicado en el lado occidental del departamento (figura 12). Se encuentra delimitado en su lado oriental por la falla de Caracolicito y en el occidental por la falla de Chimichagua y el límite departamental, al norte también por el límite departamental con el Departamento del Magdalena y al sur termina contra las estribaciones de la Cordillera Oriental.

El sistema Acuífero Llanura Aluvial (Qlla) en el Bloque del Ariguaní, cubre una extensión aproximada a los 1400 km^2. Litológicamente se encuentra constituido por delgadas

intercalaciones de limos, arenas y algunas gravas, depositados sobre rocas terciarias.

Este acuífero varía de tipo libre a semiconfinado, tiene espesores variando entre 10 y 40 m, a lo largo de todo el bloque; la granulometría descrita también varía mucho lateralmente, presentando valores de resistividad generalmente entre 5 y 30 Ohm.m. El nivel estático del acuífero tiene durante la mayor parte del año profundidades máximas de 8 m y mínimas de 1.5, con un promedio general de 4.0 m. Se encontró que el agua de este sistema acuífero es anómala al norte de El Paso, donde tiene gran tendencia a ser salobre y puntualmente salada; en esta misma área pero al norte de Bosconia, su clasificación geoquímica es también anómala respecto a su evolución físico - química natural (capítulo 7), siendo tipo clorurada - sulfatada cálcico - magnésica y sódica, lo cual podría tener origen en la lixiviación de minerales derivados de las rocas aflorantes en sectores aledaños (borde occidental de la Sierra Nevada). No obstante, en el resto del bloque es tipo Bicarbonatada cálcico - magnésica y sódica. De la misma manera, en el área comprendida entre El Paso - El Copey, la calidad de este agua es inadecuada para su uso en riego, mientras que al sur del Paso no tiene inconvenientes al respecto.

Del punto de vista físico - químico, el agua del sistema acuífero Qlla, es apta para consumo humano en todo el bloque, a excepción de

pequeñas áreas restringidas a los alrededores de Bosconia y entre las localidades de Potrerillos y Chiriguaná (capítulo 7).

El acuífero es explotado hoy en día por alrededor de 340 aljibes con profundidades desde 3.0 hasta 15 m, siendo el promedio los 7.0 m. Su rendimiento varía de 0.1 a 5.0 lit/seg., hallándose los mayores caudales hacia la parte media y norte del bloque, donde el caudal promedio se consideró en 2 lit/seg. Estos aljibes operan durante un tiempo total de 3 horas al día. También en este bloque hay unos 30 pozos extrayendo agua de este sistema acuífero, 20 de los cuales se concentran en alrededores de Curumaní y el resto de allí hacia el norte. Se les estima un caudal promedio de 2 lit/sg para una extracción diaria de 14.0 m^3/día/pozo con 2 horas de bombeo diarias. Por sus características litológicas se le asigna una conductividad hidráulica media (1 a 10 m/día).

De acuerdo al trazado de las líneas correspondientes de isoconductividad eléctrica del agua (capítulo 7), la dirección predominante del flujo subterráneo, en este sector, es hacia el suroccidente, aportando sus aguas, especialmente en la época de sequía, a los ríos Ariguaní, Cesar y a las ciénagas.

En el bloque Ariguaní se estima que este sistema acuífero tiene una importancia hidrogeológica de tipo intermedio.

8.4.1.1.4 Sector del Bloque Codazzi-Sicarare. Es en términos generales un bloque tectónico levantado, situado en la región norcentral del departamento, delimitado al norte por la Falla San Diego-Cuatro Vientos, al sur por la Falla Chorro Pital, al suroccidente por la Falla Caracolicito y al nororiente por las estribaciones de la Serranía de Perijá. La extensión del sistema acuífero LLanura Aluvial (Qlla), que cubre a este bloque, es de 1.850 km², constituido por intercalaciones de limos, arenas, arcillas y gravas que tienen en promedio un espesor de 20 m, pero oscila entre 10 y 40 m. Esta granulometría es gruesa en la parte nororiental del bloque principalmente en alrededores de la población de Codazzi y va disminuyendo en tamaño hacia el sur occidente, en cercanías a la desembocadura de los ríos Sicarare, Casacará y Calenturitas en el Cesar. En la región nororiental se obtuvieron valores de resistividad desde 10 hasta 200 Ohm.m, mientras que en la parte suroccidental la resistividad no sobrepasa los 30 ohm-m. En estos sedimentos cuaternarios se desarrolla un acuífero libre, que se encuentra encima del sistema acuífero terciario conocido como Formación Barco (Tpb).

Este acuífero libre, presenta un nivel freático que varía en el extremo nororiental del bloque, entre 2 y 6 m de profundidad, mientras que en su extremo suroccidental se encuentra desde los 5 hasta los 15 m. Estas diferencias de nivel entre las regiones nororiental y suroccidental denotan claramente la dirección

regional del flujo subterráneo freático hacia el suroccidente, descargando sus aguas a los sistemas acuíferos profundos y en las partes bajas del río Cesar, esto también lo confirman las curvas de isoconductividad eléctrica (capítulo 7). El agua del acuífero es dulce con una conductividad eléctrica entre 400 y 1000 μmhos/cm. Es de tipo bicarbonatado cálcico - magnésico, variando a sódica hacia el suroccidente en la misma dirección del flujo. Su calidad físico - química la hace apta para el consumo humano, pero en cuanto a su aplicabilidad para irrigación, tiene una amplia variación en su distribución espacial, en sentido oriente - occidente, empezando con aguas aptas en cercanía al piedemonte, pasando por una zona de agua de regular calidad hacia el sector aledaño al río Cesar, donde tiende a ser inadecuada para este uso.

La explotación del acuífero se lleva a cabo a través de 400 aljibes con profundidades entre 3 y 15 m, que producen caudales desde 0.1 hasta 5 lit/seg. Desde la parte central del bloque, limitado aproximadamente por el carreteable que une al poblado de Casacará con las haciendas Sicarare y Walkirias, hacia el nororiente, los aljibes presentan las menores profundidades (de 3 a 9 m) y el mayor rendimiento (2 a 5 lit/seg). Hacia el suroccidente aumenta la profundidad de 10 a 15 m y disminuye el caudal de 0.1 a 1.0 lit/seg. como consecuencia de una disminución de la granulometría.

Aproximadamente 55 pozos captan al sistema Qlla en este bloque. Sus profundidades generalmente no pasan de los 35 m. El caudal promedio es de 2 lit/sg para los construidos con diámetros de 4 a 6 pulgadas. Se nota también la presencia de pozos con un mejor rendimiento en el sector nororiental del bloque, allí 8 de ellos construidos con diámetros de 10 y 12 pulgadas tienen caudales entre 25 y 50 lit/sg. Para todos los pozos el promedio diario de uso es 3 horas.

A partir de pruebas de bombeo, realizadas en pozos de la parte nororiental del bloque, se establece una conductividad hidráulica de 10 m/día (media - alta) para dicha parte. En la parte sur se estiman valores de 10^{1} m/día (media - baja). Dentro del bloque Codazzi - Sicarare, este sistema acuífero tiene una importancia hidrogeológica relativa de carácter intermedio.

8.4.1.1.5 Sector del Bloque Becerril - La Loma. Está un bloque tectónico hundido con dirección paralela al anteriormente descrito, limitado al norte por la Falla Chorro Pital, al suroccidente por la Falla Caracolicito y al nororiente y suroriente por las estribaciones de la Serranía de Perijá y la Falla Arenas Blancas. En éste bloque el sistema acuífero Llanura Aluvial (Qlla) ocupa una extensión de 1070 km² y está compuesto por intercalaciones de arenas, gravas y arcillas con un espesor promedio de 20 m, pero oscilando entre 10 y 100 m, sin embargo por debajo de los 30 m

tiende a ser predominantemente arcilloso; tiene valores de resistividad desde 12 hasta 2000 Ohm.m., correspondiendo estas resistividades altas a capas secas de grava. Se encuentra depositado sobre sistemas acuíferos plegados, de edad terciaria y cretácea(corte D-D',plancha 12).

El sistema Llanura Aluvial (Qlla) desarrolla, en el sector del bloque Becerril-La Loma, un acuífero libre que tiene un nivel estático promedio a una profundidad de 5 m. El agua subterránea es dulce (menos de 800 μmhos/cm), tipo bicarbonatada cálcico - magnésica y de manera anómala clorurada - sulfatada en alrededores de La Jagua, debido probablemente a conexión hidráulica o influencia de la composición mineralógica de rocas terciarias aflorantes en el piedemonte adyacente. Es apta para consumo humano, desde el punto de vista físico - químico, excepto por el área circundada por las poblaciones de La Jagua, La Palmita, La Aurora, Potrerillo y La Loma, donde no cumple con los requisitos de pH, hierro y manganeso (capítulo 7). En cuanto a su aplicación para irrigación es apta, excepto por pequeñas áreas ubicadas individualmente al occidente de cada una de las siguientes poblaciones: Becerril, La Loma y La Aurora.

El acuífero libre es explotado actualmente por cerca de 140 aljibes que tienen profundidades de 8 a 10 m, extrayéndose caudales de 0.5 lit/seg en promedio, con una explotación diaria estimada en 2

horas. Los pozos captando Qlla son prácticamente inexistentes. Sin embargo, a partir de pruebas realizadas, por DRUMMOND (1983), obtuvieron conductividades hidráulicas entre 0.2 y 5 m/día (media).

Como sucede en el anterior bloque, la dirección del flujo subterráneo del acuífero freático va hacia el suroccidente aportando sus aguas a la zona de ciénagas; esto se comprobó por la distribución de las isolíneas de conductividad eléctrica del agua.

En este bloque el sistema acuífero Llanura Aluvial tiene importancia intermedia del punto de vista hidrogeológico.

8.4.1.1.6 Sector del Bloque Rincón Hondo. Corresponde a un bloque tectónico levantado situado entre las poblaciones de Rincón Hondo, Chiriguaná y Curumaní, limitado al norte por el trazo cubierto de la Falla de Arenas Blancas, al occidente y suroccidente por la Falla (cubierta) de Caracolicito y al oriente por las estribaciones de la Cordillera Oriental.

El sistema acuífero Llanura Aluvial (Qlla) que se encuentra en éste bloque, cubre una extensión aproximada de 580 km², está constituido litológicamente por arena fina, limo y delgadas capas de grava fina a media que tienen un espesor total desde 10 hasta 20 m, presentándose éste aumento hacia la parte occidental del bloque. Los valores de resistividad obtenidos van desde 15 hasta 200 Ohm.m,

representando a un acuífero libre donde el nivel estático del agua subterránea se encuentra a una profundidad promedio de 4 m. El agua allí almacenada es de tipo bicarbonatada cálcico - magnésica, dulce (menos de 400 μmhos/cm), es apta para consumo humano a excepción del área entre Arenas Blancas, Rincón Hondo, Chiriguaná y La Aurora, donde no cumple con los requisitos de pH, hierro y manganeso; también hay problemas por el pH en el área Sabanagrande - Santa Isabel(ver plancha 1, en Vargas y Angel,1995). Para su uso en riego es totalmente apta.

El acuífero en referencia, en este sector, se explota actualmente mediante 280 aljibes y pozos someros, que tienen profundidades entre 6 y 8 m, los aljibes y de 15 a 20 m los pozos, de donde se extrae, por cada punto de agua un caudal promedio de 2 lit/sg durante una operación diaria de 2 horas, equivalente a 14.4 m3/día. El flujo subterráneo se dirige preferentemente hacia el occidente, alimentando a la zona de ciénagas. Pruebas de bombeo efectuadas en pozos del área Rincón Hondo - La Sierra dan una conductividad hidráulica alta (9 a 80 m/día). Tabla 34.

El sistema acuífero en mención tiene importancia hidrogeológica variando de grande a intermedia en este bloque.

8.4.1.1.7 Sector del Bloque Astrea - San Alberto. Se encuentra en un bloque tectónico relativamente hundido, que se extiende entre

los municipios de Astrea por el norte y San Alberto por el sur. El sector en cuestión se encuentra situado en el borde centro-occidental del Departamento, delimitado al oriente por el trazo cubierto de la falla de Chimichagua y al occidente por rocas terciarias y otros sistemas acuíferos que rodean a la zona de ciénagas (figura 12), por el sur con el contacto del sistema acuífero Qcal en Pailitas y Palestina y por el norte con el límite departamental. Allí el sistema acuífero Llanura Aluvial cubre una extensión de aproximadamente 320 km²; tiene un espesor muy delgado, (menor de 10 m), compuesto por limos y arcillas desde Astrea hasta Las Vegas y desde Saloa hasta Palestina está esencialmente constituido por gravas y arenas.

Es un acuífero de tipo libre con un nivel estático situado entre los 3.5 y 4.5 m de profundidad. Tiene aguas bicarbonatadas cálcico - magnésicas, dulces (menos de 800 μmhos/cm) y aptas para consumo humano excepto por el área Saloa - Las Vegas - Zapatosa, donde tienen problemas por pH y valores altos de manganeso. Para riego son aptas en toda la extensión del sector.

Actualmente la explotación se lleva a cabo por cerca de 70 aljibes que tienen profundidades entre 4.5 y 8.0 m y producen en promedio 0.5 lit/seg durante un tiempo contínuo de explotación diaria calculada en 1 hora. En este sector la explotación es mas acentuada entre las poblaciones de Saloa, Zapatosa y Las Vegas. De acuerdo

con sus características se le asigna una conductividad hidráulica de 10^{-2} a 10^{-3} m/día al norte de Saloa y de 10 m/día al sur de esta población.

De acuerdo a la variación del nivel estático y las curvas de isoconductividad eléctrica en los aljibes, el flujo subterráneo freático presenta en la parte norte(Chimichagua) una dirección hacia el suroriente, mientras que en la parte sur fluye en dirección norte y occidente, para converger en la zona de ciénagas (plancha 11).

Es pequeña la importancia hidrogeológica relativa de éste sistema acuífero dentro de los límites del bloque Astrea - San Alberto.

En términos generales para todo el Departamento, este sistema acuífero de Llanura Aluvial forma acuíferos contínuos, de extensión regional limitada; son de tipo libre a confinado y tienen una importancia hidrogeológica relativa que varía de grande a pequeña según el sector o bloque tectónico donde se encuentre.

8.4.1.2 Sistema Acuífero Aluviones Recientes. (Qal). Este sistema acuífero de edad Cuaternaria aflora principalmente en la subprovincia hidrogeológica Planicie del Cesar. Su mayor extensión está en el extremo sur del departamento donde alcanza los 715 km². En mucho menor extensión aflora, a manera de parches aislados, al

suroccidente y nororiente de la población de Chimichagua cubriendo allí un área total de aproximadamente 15 km².

También se encuentra este sistema localmente en valles intermontanos aislados, ubicados en las otras tres subprovincias hidrogeológicas, allí está limitado lateralmente por rocas de diferente edad y origen, formando franjas alargadas y estrechas (no más de 200 m de ancho) y con poco espesor (menor 5 m). En estos lugares está constituido por bloques, gravas, arenas y a veces limos, cuya composición depende del tipo de rocas que afloran aguas arriba. Teniendo en cuenta estas características, el sistema acuífero de Aluviones recientes que aparece aislado en zonas intermontanas tiene muy pequeña importancia hidrogeológica (plancha 11).

El estudio de geoeléctrica indica que el sistema acuífero en referencia, ubicado en el extremo sur del departamento, tiene un espesor total que varía desde 120 hasta 260 m, presentándose los mayores espesores hacia la zona occidental (parte sur de la hacienda Torcoroma) (planchas 11 y 12). Los primeros 10 a 60 m reflejan valores de resistividad entre 30 y 500 Ohm.m indicando la presencia de arenas, limos y gravas. Por debajo de este nivel la resistividad disminuye hasta 5 y 12 Ohm.m, indicando a su vez una disminución abrupta en el tamaño de los sedimentos (arcilla y limo), este nivel tiene unos 60 m de espesor promedio y se

profundiza hacia el nororiente, en donde bajo el sector de la carretera San Alberto - San Martín, su tope se encuentra a los 80 m de profundidad (plancha 12). Debajo de ésta secuencia, los valores de resistividad aumentan, estando entre 20 y 50 Ohm.m, como reflejo de un aumento en el tamaño de los granos (arena, limo y algunas gravas). El sistema descansa sobre rocas terciarias con alto componente de arcilla en esta región, pertenecientes a las Sedimentitas de Arjona (Tpaa).

Tanto el estudio geoeléctrico como el inventario de puntos de agua subterránea, señalan que en el sistema acuífero Aluviones Recientes (Qal), ubicado en el sur del Departamento, se desarrollan dos tipos de acuíferos: libre y confinado.

El acuífero libre tiene un espesor que fluctúa desde los 10 m en su parte occidental hasta los 30 m en la oriental, con un nivel freático que varía desde 1.5 hasta 5.0 m de profundidad, siendo el promedio 2.5 m. Se desconoce su fluctuación entre los períodos de invierno y verano. Los valores de resistividad varían desde los 30 hasta los 200 y 500 Ohm.m. El agua es dulce, de tipo bicarbonatada cálcico - magnésica, con una conductividad eléctrica entre los 200 y 400 µmhos/cm, es apta para riego, pero para consumo humano necesita tratamiento para reducir los contenidos de hierro y manganeso en las captaciones localizadas en una franja que incluye el sector oriental que limita contra el piedemonte(ver plancha 1,en

Vargas y Angel,1995). En el resto del área, hacia el occidente, es potable del punto de vista físico - químico. Este acuífero actualmente viene siendo explotado por alrededor de 100 pozos, en su mayoría de 2 y 4 pulgadas de diámetro, que producen por pozo caudales promedio de 3 l/s, operando en promedio 4 horas/día(43.2 m^3/día). Este acuífero es explotado también por cerca de 70 aljibes que tienen profundidades de 3.0 a 6.0 m, extrayendo cada uno caudales desde 0.1 hasta 1.0 lit/sg durante 2 horas/día en promedio.

En cuanto a los parámetros hidráulicos obtenidos para el acuífero libre, de acuerdo a pruebas de bombeo ejecutadas en varios pozos, señalan que la conductividad hidráulica varía desde 0.5 m/día hasta 5.0 m/día. Tabla 34.

La distribución de isolíneas de conductividad eléctrica para el agua del acuífero libre, señala que el flujo del agua subterránea freática, tiene una dirección este - oeste, hacia las ciénagas y el río Lebrija.

Del acuífero confinado no se tiene mayor información. De acuerdo a la geoeléctrica su espesor varía desde 25 hasta 210 m, siendo más espeso hacia el occidente, pero también más cercano a superficie su techo (plancha 12). La resistividad de sus capas varía de 20 a 50 ohm-m, hallándose el nivel piezómetrico a una profundidad promedio

de 3.8 m. Este acuífero es explotado por muy pocos pozos (menos de 10) que tienen profundidades desde 110 hasta 160 m, con diámetros de 6, 10 y 12 pulg, los cuales producen caudales desde 4 hasta 70 lit/seg. con una operación diaria de 6 a 12 horas dia. La extracción promedio por pozo se estima en 1150 m3/día. La calidad físico - química del agua parece ser buena para irrigación, pero con los mismos problemas que tiene la del acuífero libre para consumo humano, como se desprende de los resultados obtenidos, en un solo pozo muestreado. Se estima, por sus características que este acuífero confinado tiene una conductividad hidráulica del orden de 1 m/día.

De acuerdo a las características hidrogeológicas anteriormente expuestas, el sistema acuífero Aluviones Recientes (Qal) se considera de gran importancia hidrogeológica, en lo referente al sector plano ubicado al extremo sur del Departamento, donde se encuentran acuíferos continuos, de extensión regional. No obstante lo anterior, el mismo sistema tiene muy pequeña importancia en los sectores aislados ubicados en cercanías a Chimichagua, lo mismo que en los estrechos valles intramontanos, donde se han desarrollado acuíferos continuos de carácter local.

8.4.1.3 Sistema Acuífero Abanicos Aluviales (Qcal). Como su nombre lo indica éste sistema acuífero se encuentra representado por una serie de abanicos de origen aluvial, con sus ápices

situados en las subprovincias hidrogeológicas Sierra Nevada de Santa Marta, Serranía de Perijá y Cordillera Oriental, de donde provienen, pero morfológicamente hacen parte de la subprovincia Planicie del Cesar, sobre la que se encuentran depositados casi en su totalidad. Estos abanicos están aislados unos de otros, y se identifican con los nombres de Abanico de Valledupar, Manaure, Codazzi, Casacará, La Jagua de Ibirico, Pailitas y el gran abanico de Aguachica (plancha 1).

El Abanico de Valledupar es el mas septentrional del área. Se encuentra circundando a la ciudad de Valledupar y ocupa una extensión de 125 km². Su ápice se desprende de la Sierra Nevada de Santa Marta, hallándose constituido por lentejones de grava gruesa, arena y cantos rodados de rocas ígneas y volcánicas en matriz limo-arcillosa. Su espesor varía entre 30 y 50 m., reflejando valores de resistividad desde 30 hasta 60 ohm-m. En éste depósito cuaternario se desarrolla un acuífero libre.

Dicho acuífero del Abanico de Valledupar tiene un nivel freático entre los 2.0 a 3.0 m de profundidad, el cual en los períodos de verano desciende entre 0.3 y 0.8 m. El agua es dulce, de tipo bicarbonatada cálcico - magnésica y sódica en menor proporción, presentando una conductividad eléctrica menor de 1000 μmhos/cm. Del punto vista físico - químico es apta para consumo humano, y también

para irrigación excepto por el sector aledaño al río Cesar donde el agua es de regular calidad para esta última aplicación.

Este acuífero es actualmente explotado por aproximadamente 90 aljibes que tienen profundidades mínimas de 4.0 m y máximo de 20 m, siendo común las profundidades de 5 hasta 10 m. El rendimiento de estos aljibes va desde los 0.5 hasta los 12 lit/seg, considerando un caudal promedio de 3.0 lit/seg, durante un tiempo de extracción (operación) diaria acumulada de aproximadamente 3 horas, dando una extracción de 32.4 m3/día por aljibe. De acuerdo al análisis de las medidas del nivel estático tomado en los aljibes, el flujo subterráneo regional del agua freática tiene una dirección norte-sur, en dirección al río Cesar. Su conductividad hidráulica de acuerdo con pruebas de bombeo sería del orden de 15 m/día. Por lo anteriormente expuesto se considera a este acuífero del Abanico de Valledupar como de importancia hidrogeológica intermedia. Este acuífero libre se encuentra encima del acuífero semiconfinado correspondiente al sistema Llanura Aluvial (Qlla), el cual es captado, en éste sector del Abanico de Valledupar, por 6 pozos que tienen profundidades desde 60 hasta 120 m, entubados en 10 y 12 pulg. de diámetro, produciendo caudales de 30 a 80 lit/seg con un tiempo de operación diaria de 5 horas dando 1140 m3/día extraídos por pozo.

El Abanico de Manaure se desprende en la parte norte de la serranía de Perijá con una dirección casi este-oeste. Su extensión aproximada es de 25 km²y tiene un espesor que oscila entre 10 y 70 m. Esta constituido por fragmentos y bloques desde 0.1 hasta 2.0 m de diámetro de limolitas rojas, calizas y rocas volcánicas dentro de una matriz arcillo-arenosa poco compacta, constituyendo una morfología irregular de cañadas profundas y colinas alargadas. Este abanico descansa sobre rocas cretáceas y Jurásicas que afloran en los alrededores del piedemonte de la Serranía de Perijá (plancha 1).

El abanico de Manaure se considera de muy poco interés para la exploración de aguas subterráneas por que su nivel de saturación se encuentra muy profundo, un poco por encima del cauce actual del río Mocho. Además su granulometría presenta mala selección.

El Abanico de Codazzi también se desprende de la serranía de Perijá y sus límites se encuentran bordeando a la citada población. Tiene una extensión de 16 km², alcanzando un espesor máximo de 60 m, el cual va disminuyendo de oriente a occidente hasta acuñarse en los bordes de la planicie. Su espesor promedio es de 40 m y está constituido por fragmentos de rocas sedimentarias detríticas y calizas en matriz arenosa con delgadas intercalaciones de arcilla y gruesas capas de arenas. Esta secuencia descansa sobre calizas del Grupo Cogollo. (Kmc).

En éste abanico se desarrolla un acuífero libre donde el nivel freático se halla entre los 3.0 y los 6.0 m de profundidad. El agua es de tipo bicarbonatada cálcico - magnésica, presentando una conductividad eléctrica entre 200 y 300 µmhos/cm y es apta para riego y consumo humano desde el punto de vista físico - químico. Los aljibes que captan al acuífero tienen profundidades menores de 10 m y producen en promedio 1.5 lit/seg. Los pozos tienen profundidades entre 30 y 90 m y la producción varía de 5.0 a 50 lit/seg operando diariamente 6 horas. Se le considera como un acuífero de pequeña importancia hidrogeológica.

El Abanico de Casacará tiene su ápice en el cañón del río Casacará sobre la serranía de Perijá, explayándose hacia el occidente y suroccidente, cubriendo un área de aproximadamente 30 km². Litológicamente se encuentra constituido por intercalaciones de arena, limo y arcilla con algunos niveles de gravas y cantos, donde abundan los fragmentos de calizas y areniscas. El espesor de la secuencia no sobrepasa los 20.0 m, la cual presenta valores de resistividad desde 40 hasta 150 ohm-m. Se encuentra depositado sobre sistemas acuíferos de edad Cretácea. Dentro del abanico existe un acuífero libre con un nivel freático entre 6.0 y 8.0 m de profundidad, que se encuentra explotado por muy pocos aljibes, que tienen profundidades menores de 10 m con un rendimiento de 0.5 a 1 lit/seg. El agua es dulce, de tipo bicarbonatada cálcica - magnésica, su conductividad eléctrica promedio es de 200 µmhos/cm

y es apta para consuno humano y riego. Por su litología, extensión y poco espesor, hidrogeológicamente se considera de poca importancia.

El Abanico de la Jagua de Ibirico se desprende de la parte norte de la Cordillera Oriental con su ápice en el cañón del Arroyo San Antonio. Está compuesto por cantos y bloques de rocas metasedimentarias y volcánicas, principalmente aglomerados y brechas hasta de 3 m de diámetro en una matriz arenosa, conformando una topografía irregular de cañadas con pendientes abruptas y colinas alargadas que cubren una extensión de aproximadamente 30 km². Su espesor se calcula en 70 a 100 m. Aún cuando se carece de datos referentes a la ocurrencia de puntos de aguas subterráneas, es factible que dicho abanico desarrolle un acuífero libre con muy pequeña importancia hidrogeológica, principalmente por la selección de tamaño, su misma extensión y el hecho de estar profundamente disectado por las corrientes superficiales, lo cual redunda en un nivel freático profundo.

El Abanico de Pailitas se desprende de la Cordillera Oriental a la altura del municipio del mismo nombre, cubriendo en la planicie una extensión de 70 km². Está compuesto por cantos de rocas volcánicas y metamórficas dentro de una matriz de arena gruesa y gravas, disminuyendo progresivamente de tamaño hacia el occidente donde se encuentran intercalaciones de lentes de arenas y arcillas

plásticas. El espesor promedio se considera alrededor de 25 m hallándose depositado sobre rocas volcánicas de la Formación La Quinta (Jqv). En éste abanico se presenta un acuífero libre donde el nivel freático se halla entre 4 y 6 m de profundidad. El agua es dulce, con una conductividad eléctrica de 180 μmhos/cm y es de tipo bicarbonatada cálcico - magnésica. Es apta tanto para consumo humano, como para irrigación.

Este abanico se encuentra explotado únicamente por unos 15 aljibes, construidos con profundidades entre 5.0 y 10 m, que producen caudales de 0.1 a 1.0 lit/seg. Generalmente son explotados en forma contínua durante 2 horas al día. Se le considera un acuífero de pequeña importancia hidrogeológica.

El Abanico de Aguachica por su extensión es el de mayor importancia dentro de este sistema; en realidad se trata de un complejo de abanicos entrelazados que afloran en la región meridional de la Planicie del Cesar desde alrededores de la localidad de Palestina en su parte norte, hasta cercanías del municipio de San Martín en el sur, ocupando una extensión aproximada a los 2550 km². Este complejo de abanicos se desprende desde las estribaciones de la Cordillera Oriental hasta llegar muy cerca al río Magdalena, con sus principales ápices situados en las corrientes superficiales de mayor importancia que cruzan la región con dirección este-oeste, para desembocar en el río Magdalena.

Estos depósitos están cartográficamente distribuidos en tres niveles principales, asimilables a terrazas, que de menor a mayor altura topográfica se identifican como Qcal 1, Qcal 2 y Qcal 3.

Litológicamente el Abanico de Aguachica se compone en el piedemonte, de cantos y bloques hasta de 2 m de diámetro, de rocas ígneas intrusivas, volcánicas y metamórficas en una matriz arenosa, a veces con gravas, pero siempre con una importante fracción arcillosa. Es notable y transicional la disminución en tamaño y el aumento de la redondez de los sedimentos a medida que se avanza hacia el Occidente, en dirección al río Magdalena. Su espesor presenta muchas variaciones a lo largo de la región, por hallarse depositado sobre una paleotopografía irregular constituida esencialmente por el sistema acuífero identificado con el nombre de Sedimentitas de Arjona (Tpaa) (plancha 12).

Entre el corregimiento de La Mata, ubicado sobre la carretera troncal de Oriente, y el municipio de La Gloria sobre el río Magdalena, el espesor del abanico varía desde los 25 hasta los 200 m, presentando así mismo valores de resistividad de 15 a 25 Ohm.m para el primer sitio y entre 65 y 400 Ohm.m para el segundo. Mas hacia el sur, entre los municipios de Aguachica y Gamarra la situación es diferente. En alrededores de Aguachica el espesor varía de 100 a 210 m, reflejando valores de resistividad desde 25 hasta 200 Ohm.m. Este espesor se va disminuyendo y acuñando hacia

el occidente, disminuyendo también la resistividad desde los 45 hasta los 10 ohm-m. En la zona mas meridional de este depósito, comprendida por el sitio Campamentos (Morrison) al oriente y la población de Barranca de Lebrija al occidente, el espesor varía desde los 20 hasta los 130 m, reflejando valores de resistividad de 50 a 250 Ohm.m para las capas superiores y de 6 a 10 Ohm.m para las inferiores.

En este gran abanico aluvial, se desarrolla un acuífero libre, contínuo, de extensión regional, sobrepuesto en algunos sectores, a otro semiconfinado de extensión local. El acuífero libre por lo general se caracteriza por presentar altos valores de resistividad (de 40 a 200 ohm-m) y tiene un espesor que alcanza los 200 m. El acuífero semiconfinado que aparece en alrededores de Aguachica (corte H-H', plancha 12), tiene un espesor promedio de 80 m con valores de resistividad entre 19 y 26 Ohm.m y se encuentra separado del libre por una secuencia de 60 a 120 m de espesor con resistividades de 15 Ohm.m. (limos arcillosos y arenas finas).

El acuífero libre contiene agua dulce de tipo bicarbonatada cálcico - magnésico variando a sódica con valores de conductividad eléctrica menores de 800 μmhos/cm, la cual es apta para irrigación pero para consumo humano tiene problemas en una franja amplia (7 a 9 Km) paralela a la carretera central, al suroriente de la localidad de Loma Corredor, donde hay valores altos de manganeso y

en una franja más estrecha dentro de la anterior hay adicionalmente altos valores en hierro(ver plancha 1, en Vargas y Angel,1995). Las franjas anotadas continúan al sur asociadas al sistema acuífero Qal, lo cual las relaciona genéticamente para esta región sur. Este acuífero, según el inventario, es explotado por alrededor de 200 aljibes, cantidad que podría llegar al doble, los cuales están construídos en su gran mayoría a profundidades promedios entre 6.0 y 8.0 m, presentando un nivel estático de 2.0 a 5.0 m, con caudales de producción desde 0.1 hasta 2.0 lit/seg. con una operación diaria aproximada a las 3 horas.

El acuífero libre también es captado por cerca de 160 pozos que tienen profundidades entre 20 y 80 m, entubados con diámetros de 2 a 6 pulg, con un rendimiento promedio de 1.0 lit/seg durante un tiempo de operación diaria de 6 horas (21.6 m^3/día). Pruebas de bombeo ejecutadas en algunos de estos pozos, indican que el acuífero libre presenta valores predominantes de conductividad hidraúlica entre 0.2 y 8 m/día (media). Tabla 34.

Según el análisis hecho de las curvas de isoconductividad eléctrica para las aguas del acuífero libre, lo mismo que de la distribución de sus tipos de agua(figura 8), se determinó que el flujo regional del agua subterránea en el Abanico de Aguachica, sigue el mismo patrón del flujo superficial, dirigiéndose por gravedad desde las

estribaciones montañosas hacia el río Magdalena y sus afluentes donde descarga sus aguas.

En general el Sistema Acuífero Abanicos Aluviales, en el sector de Aguachica se considera de importancia hidrogeológica intermedia.

8.4.1.4 Sistema Acuífero Terrazas (Qt). Se encuentra aflorando principalmente en la esquina nororiental del Departamento, mas exactamente al nororiente de la ciudad de Valledupar, ocupando las márgenes de los ríos Cesar, Guatapurí y Badillo. Están conformados por cantos y bloques angulares a subredondeados hasta de 3.0 m de diámetro, compuestos en su mayor parte por rocas intrusivas y rocas volcánicas embebidas en una matriz arenosa de grano medio a grueso, provenientes de la Sierra Nevada de Santa Marta, ocupando una extensión de aproximadamente 250 km², con un espesor de 10 a 25 m.

Las terrazas situadas al nororiente de Valledupar, de acuerdo al estudio de Tahal (1972), presentan valores de resistividad entre 60 y 250 ohm-m. Aquí se desarrolla un acuífero libre que tiene su nivel estático a una profundidad entre 2.0 y 4.0 m. Este acuífero se encuentra actualmente explotado por cerca de 60 aljibes, construídos con profundidades entre 4.0 y 10 m, que producen caudales de 0.1 a 4.0 lit/seg operando en forma continua durante aproximadamente 2 horas al día por aljibe. El agua es tipo bicarbonatada cálcico - magnésica, es dulce (menor de 1000

µmhos/cm), apta para consumo humano, pero para riego tiene algunas restricciones en un pequeño sector al norte de Guacoche(plancha 2, en Vargas y Angel,1995).

Con base en la medición de los niveles estáticos en los aljibes, lo mismo que en la distribución de curvas de isoconductividad eléctrica (capítulo 7) del agua del acuífero libre se determinó que el flujo regional del agua freática tiene dos direcciones preferenciales, una en sentido norte-sur y la otra hacia el suroriente, descargando sus aguas fundamentalmente en el río Cesar. Por las características litológicas que tiene se le asigna una conductividad hidráulica media a alta (1 a 10 m/día).

Según el estudio de geoeléctrica realizado por Tahal (1972) debajo de las terrazas continúa una secuencia cuaternaria constituida por gravas finas y arenas, que reflejan valores de resistividad desde 25 hasta 40 ohm-m, con un espesor entre 150 y 200 m. Esta secuencia se correlaciona con el Sistema Acuífero Llanura Aluvial (Qlla).

En general el Sistema Acuífero Terrazas (Qt), al norte de Valledupar, se considera de importancia hidrogeológica intermedia, por el relativo alto caudal que producen sus aljibes y su extensión considerable.

En el resto del Departamento, tanto dentro de la zona montañosa como en el piedemonte de la misma, hay pequeñas terrazas aisladas (menos de 4 Km² de extensión), con poco espesor, las cuales por estas características se consideran de muy poca importancia. Sin embargo la excepción está en La Jagua de Ibirico, donde se extiende de oriente a occidente una terraza relacionada con los cauces del río Sororia y la Quebrada San Antonio. Se compone de gravas, cantos y arenas dentro de una matriz areno - limosa. Tienen espesores de 10 a 25 m y resistividades entre 40 y 1000 Ohm.m y una extensión aproximada de 65 Km². Allí se desarrolla un acuífero tipo libre captado por alrededor de 10 aljibes con profundidades entre 10 y 23 m y niveles estáticos entre 3 y 13 m de profundidad. La extracción promedio por aljibe es 0.36 m^3/día. Por estas características se le asigna una conductividad hidráulica media (10^{-1} 1 m/día). Contienen agua dulce (menor de 200 μmhos/cm), tipo bicarbonatado cálcico - magnésico y sulfatado clorurado cálcico - magnésico, apta para riego, pero con problemas puntuales para consumo humano por los valores de pH y manganeso.

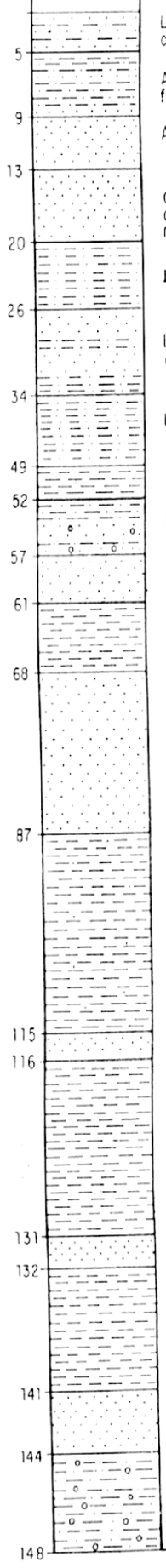
Por la anterior descripción se considera que esta terraza de la Jagua es de poco interés hidrogeológico.

8.4.1.5 Sistema Acuífero Sedimentitas de Arjona (Tpaa). Se encuentra asociado únicamente a la subprovincia hidrogeológica Planicie del Cesar, aflorando en el extremo centro - occidental del

departamento en una extensión de aproximadamente 960 Km². Según los registros litológicos de varios pozos petroleros, este sistema también se encuentra en el subsuelo de la planicie a lo largo de una franja longitudinal que atraviesa al departamento prácticamente de norte a sur en su costado occidental, asociado a los bloques tectónicos del Ariguaní, Los Venados, Codazzi - Sicarare, Becerril - La Loma y Astrea - San Alberto. (ver cortes hidrogeológicos, plancha 12).

El sistema acuífero (Tpaa), en mención, en el sector de Mandinguilla - Astrea, está constituido por una secuencia casi horizontal de arcillolitas ligeramente arenosas y capas de areniscas de grano fino poco cementadas, con capas delgadas y esporádicas de calizas y arcillolitas calcáreas, todas de edad Terciaria, cubiertas discordantemente por sedimentos cuaternarios pertenecientes al sistema acuífero Depósitos de Llanura Aluvial (Qlla) en la parte norte, al sistema Abanicos Aluviales (Qcal) en la parte media y por el sistema Aluviones Recientes (Qal) en el sur. En la figura No. 14 se presenta la columna litológica correspondiente al pozo 40IC-1 (Palmariguaní), construido al suroccidente de la población de Bosconia, el cual atraviesa los primeros 150 m del Sistema Acuífero Sedimentitas de Arjona en el sector más norte. Es importante resaltar que esta secuencia compuesta por areniscas, limolitas y arcillolitas intercaladas, se conserva con características de composición similares, aunque con

Fig. No14 - Columna litológica generalizada del sistema acuífero Sedimentitas de Arjona en el sector norte. Tomada del Pozo Palmariguaní. Municipio de Bosconia (INSFOPAL, 1979).



cambios laterales y verticales en la continuidad de los niveles, hasta inmediaciones de Chimichagua - Sabanagrande. Entre este sector y el de La Gloria - La Mata se nota en los cortes hidrogeológicos, esencialmente por evidencia de geoeléctrica, que aumenta de manera ostensible la proporción de arcillas en la secuencia, tendencia que se conserva hasta el extremo sur del Departamento.

Según el estudio de geoeléctrica, el espesor del sistema en referencia podría alcanzar los 400 m, reflejando valores de resistividad desde 5 hasta 70 Ohm.m que se interpretan como intercalaciones de capas acuíferas y no acuíferas.

En el bloque tectónico del Ariguaní (cortes hidrogeológicos B-B', C-C', D-D', E-E' y F-F'), el sistema acuífero Sedimentitas de Arjona presenta valores de resistividad desde 5 hasta 30 Ohm.m, con excepción de los alrededores del municipio de El Paso donde la resistividad aumenta hasta 70 Ohm.m. En este bloque el acuífero es captado por aproximadamente 28 pozos que tienen profundidades entre 80 y 160 m con un nivel piezométrico que oscila entre 4.5 y 10 m de profundidad. Los caudales varían desde 1.5 hasta 25 lit/sg (El pozo de Palmariguaní,40IC-1, reporta un caudal de 60 lit/sg), operando en promedio 5 horas/día, siendo la región noroccidental, a partir de la localidad de Loma Colorada, la de mayor producción por pozo. Los parámetros hidráulicos obtenidos en pruebas de bombeo señalan

conductividades hidráulicas altas, de 10 a 90 m/día y coeficientes de almacenamiento de 1 x 10^{-4} a 1 x 10^{-5}, indicando acuíferos confinados. Tabla 34.

Hacia el extremo occidental de los bloques tectónicos Los Venados, Codazzi - Sicarare , Becerril - La Loma y Rincón Hondo (cortes hidrogeológicos C-C', D-D' y E-E'), la resistividad varía de 10 a 50 Ohm.m, indicando buenas posibilidades acuíferas pero los escasos pozos que captan al acuífero en estos sectores, producen caudales menores de 5 lit/sg.

En el sector norte del bloque tectónico Astrea - San Alberto, entre el municipio de Astrea y las localidades de Tamalameque - Palestina, el Sistema Acuífero Sedimentitas de Arjona (Tpaa) presenta resistividades de 9 a 60 Ohm.m, que señalan zonas con posibles acuíferos. Aquí es captado por escasos pozos con profundidades de 40 a 135 m y con niveles piezométricos alrededor de 5.0 m de profundidad, los cuales producen caudales de 2.0 a 30 lit/sg. La conductividad hidráulica está entre 4 y 9 m/día (media).

En el mismo bloque a partir de la zona Tamalameque - Palestina, hacia el sur, la resistividad del Sistema Acuífero Tpaa disminuye a valores entre 5 y 10 Ohm.m, e igualmente la producción de los pozos se reduce a cantidades entre 1.5 y 10 lit/sg. Desde el municipio de Aguachica hasta los límites meridionales del

departamento la resistividad es menor de 10 Ohm.m, como respuesta a una disminución en el tamaño de los granos de las capas acuíferas y por consiguiente sus posibilidades acuíferas son negativas. No obstante, en el sector de la vía Campamentos - Barranca de Lebrija, en el subsuelo a profundidades oscilando entre 30 y 130 m se encuentra un nivel con resistividades entre 15 y 35 Ohm.m, que corresponden a areniscas y limolitas con buenas posibilidades acuíferas. Este nivel tiene un espesor promedio de 80 m, es mas somero bajo el caserío Santa Lucía y se profundiza de allí hacia el occidente. (plancha 12, corte I-I'.)

La conductividad hidráulica para este sector sur se infiere predominantemente baja(10^{-2} -1 m/día), pero en el nivel mencionado del sector Campamentos - Barranca Lebrija podría alcanzar a ser media (10^{-1} - 1 m/día).

En cuanto a la calidad físico - química del agua contenida en este sistema acuífero, se puede decir para los puntos inventariados en el sector Astrea - Mandinguilla - Candelaria y en alrededores de Curumaní, que es dulce, de tipo bicarbonatada sódica y puntualmente cálcica. Para consumo humano tienen un pH bajo (< 6.5) y en el sector de Chimichagua valores altos de hierro (> 1 mg/l), lo cual requiere tratamientos adecuados. En cuanto a su aplicación para irrigación son en general adecuadas, pero puntualmente hay muestras con calidad regular.

En general el sistema sedimentitas de Arjona (Tpaa), se comporta como un acuífero confinado de tipo multicapas, a excepción del sector Astrea - Chimichagua donde puede variar de libre a semiconfinado. Es de extensión regional limitada y continuo, con una importancia hidrogeológica intermedia, por la relativa baja producción de sus diferentes capas acuíferas.

8.4.1.6 Sistema Acuífero Formación Cuesta (Tmc). Los afloramientos de este sistema acuífero están supeditados únicamente a la subprovincia hidrogeológica Planicie del Cesar, en la parte central del departamento entre las poblaciones de La Loma y Becerril, ocupando una extensión de apenas 110 Km². De acuerdo al registro litológico de los pozos petroleros denominados El Paso 1 - 2 y 3, este sistema también se halla en el subsuelo de la planicie asociado a los bloques tectónicos Becerril - La Loma, Rincón Hondo y del Ariguaní. En el bloque Becerril - La Loma se encuentra formando parte de un área intensamente plegada, encima del sistema Formación Cuervos (Tec), el cual es considerado de pequeña importancia hidrogeológica por su alto componente arcilloso. A su vez está cubierto parcialmente, al occidente de La Loma, por el sistema Depósitos de Llanura Aluvial (Qlla), el cual en este sector no tiene más de 30 m de espesor. En el bloque Ariguaní se encuentra en un sector al sur de la localidad Potrerillo a una profundidad mayor de 100 m, cubierto por los sistemas Sedimentitas de Arjona

(Tpaa) y Depósitos de Llanura Aluvial (Cortes Hidrogeológicos D-D' y E-E', plancha 12).

En el bloque Rincón Hondo este sistema se encuentra limitado por una falla relacionada a la de Caracolicito y ubicada unos 8 km al oriente de ésta. Allí está cubierto por un espesor entre 160 y 240 m compuestos por sedimentos de los sistemas Qlla y Tpaa. Corte E-E',plancha 12).

Litológicamente el sistema acuífero Formación Cuesta, está constituido por sedimentos semiconsolidados de areniscas cuarzosas de grano medio, intercaladas con conglomerados de matriz arenosa, areniscas con costras ferruginosas y arcillolitas limosas con un espesor total que puede llegar a los 800 m.

En el bloque Becerril - La Loma presenta valores de resistividad desde 15 hasta 300 Ohm.m, siendo captado por alrededor de doce (12) pozos con profundidades de 90 a 145 m, construidos en diámetros de 4 y 8 pulg. los cuales entregan caudales desde 2.5 hasta 4.0 lit/sg. Existen varios pozos como 48IC-18-19 y 20 que fueron construídos exclusivamente para exploración de carbón. Según los registros litológicos de algunos pozos hechos para agua, la interpretación hidrogeológica de los cortes D-D' y E-E', (plancha 12), y los parámetros hidráulicos obtenidos en pruebas de bombeo, en éste sistema se desarrollan dos tipos de acuíferos, uno

confinado multicapas y otro libre. El libre se encuentra alrededores de La Loma, tiene niveles estáticos desde 3.5 hasta 10.5 m de profundidad y tiene conductividades hidráulicas entre 5 y 25 m/día (media - alta). La mayor explotación de este acuífero ocurre en alrededores de la población de La Loma, donde los pozos son explotados durante aproximadamente 5 horas al día con caudales promedio de 2.5 lit/sg. En este mismo bloque, en las regiones donde el sistema aflora, es captado por cerca de 15 aljibes que tienen profundidades de 5 a 7 m con niveles freáticos de 2 a 4 m de profundidad y rendimiento de 0.5 a 1.0 lit/sg, operando cada uno alrededor de 1 hora al día.

En los bloques tectónicos del Ariguaní y Rincón Hondo, el sistema Acuífero Formación Cuesta presenta un nivel confinado con espesor mayor de 100 m y resistividades de 40 Ohm.m, que señalan la presencia de importantes capas acuíferas, mientras que hacia su base los valores de resistividad disminuyen a 8 Ohm.m, posiblemente como producto de una disminución en su granulometría. En este sector el acuífero no es captado por pozo alguno, desconociéndose sus parámetros hidráulicos y capacidad de producción.

Este sistema, en los puntos muestreados, tiene agua dulce, adecuada para consumo humano y riego, con tendencia a ser tipo bicarbonatada cálcica.

En general el Sistema Acuífero Formación Cuesta desarrolla acuíferos no continuos de extensión regional limitada, libres y confinados de tipo multicapas, clasificado como de mediana importancia hidrogeológica debido a su relativa baja productividad y a los valores de resistividad reportados en los acuíferos profundos que aún no han sido explotados.

8.4.1.7 Sistema Acuífero Formación Barco (Tpb). Este sistema aflora únicamente en la subprovincia hidrogeológica Serranía de Perijá, en una extensión de aproximadamente 40 Km², haciendo parte de dos estructuras conocidas como sinclinal y anticlinal de La Jagua, situadas en la parte oriental del municipio de la Jagua de Ibirico. Según los resultados del estudio de geoeléctrica y el reporte litológico de los pozos petroleros: Río Maracas -1 y El Paso 2 - 3, el Sistema Formación Barco también se encuentra en el subsuelo de la Planicie del Cesar asociado a los bloques tectónicos Codazzi - Sicarare y Becerril - La Loma (cortes hidrogeológicos A-A', B-B', C-C' y D-D', plancha 12), donde hace parte de la secuencia Terciaria plegada.

La composición litológica del sistema acuífero Formación Barco, está representada por bancos de areniscas deleznables, de grano fino, amarillentas, hasta de 2 m de espesor, intercaladas con delgadas capas de arcillolitas amarillentas.

Aquí se desarrollan acuíferos no continuos, de extensión regional limitada , multicapas y de tipo confinado a semiconfinado.

Hacia la región donde se encuentra el sinclinal y el anticlinal de La Jagua y el bloque adyacente (Becerril - La Loma), el sistema acuífero Formación Barco está prácticamente inexplotado, debido a la dominante topografía irregular y a la gran profundidad a la que se encuentra en sectores como Plan Bonito. Unicamente se conoce de un manantial que produce un caudal de aproximadamente 1.0 lit/sg.

En la región de bloque Codazzi - Sicarare, el sistema en referencia se encuentra cubierto por un espesor variable entre 20 y 30 m, de sedimentos pertenecientes a los Depósitos de Llanura Aluvial. En ésta región el acuífero presenta valores de resistividad desde 25 hasta 100 Ohm.m, que se interpretan como zonas de carácter local con almacenamientos de agua subterránea de alguna importancia.

En esta región el sistema acuífero es captado actualmente por cerca de quince (15) pozos que tienen profundidades entre 30 y 100 m, construidos desde 6 hasta 10 pulg de diámetro, los cuales producen normalmente caudales de 1.5 a 5.0 lit/sg., operando en promedio 6 horas al día. El pozo 41ID-43 construído a 80 m de profundidad con un diámetro de 10 pulg, produce un caudal de 20 lit/seg, considerado fuera del promedio para este sistema acuífero, demostrando con ello la gran variabilidad que puede tener en sus

condiciones hidráulicas tanto horizontal como verticalmente. El nivel piezométrico de estos pozos se encuentra desde los 3.5 hasta los 11.5 m de profundidad.

De acuerdo a una prueba de bombeo realizada en el pozo 41IB-51, construído a una profundidad de 45 m, se obtuvo(para una zona muy puntual) una conductividad hidráulica de 5 m/día(media). Las muestras de agua tomadas en captaciones de este sistema acuífero fueron pocas, sin embargo puntualmente muestran, del punto de vista físico - químico, que necesitan tratamiento para consumo humano (pH y hierro); en cuanto a riego son de regular calidad y su clasificación geoquímica varía de bicarbonatada cálcica a sódica y clorurada sódica.

Según el rango de producción de los pozos inventariados y la calidad físico - química de su agua, a este sistema acuífero se considera de pequeña importancia hidrogeológica.

8.4.2. Grupo de Rocas Fracturadas y Porosas con Importancia Hidrogeológica Relativa Grande a Pequeña. En el Departamento del Cesar este segundo grupo hidrogeológico se encuentra representado por rocas detríticas y calcáreas compactas, que tienen una porosidad secundaria por fracturamiento, la cual en las caĺcáreas y para algunas zonas se ha mejorado por disolución (karstificación), permitiendo allí el almacenamiento localizado de

un importante volumen de agua subterránea, convirtiéndose en buenos acuíferos, en ciertas zonas restringidas. Este grupo presenta dos clases hidrogeológicas que incluyen a los Sistemas Acuíferos Formación La Luna (Ksl), Grupo Cogollo (Kmc) y Formación Rionegro (Kir) de edad cretácica, depositados en ambiente marino, lo mismo que a la Formación Los Cuervos(Tec) de edad Terciaria. La conductividad hidráulica de estos sistemas varía de alta a baja, hallándose el agua subterránea almacenada en acuíferos por lo general de tipo confinado a semiconfinado.

El sistema acuífero Grupo Cogollo (Kmc) aflora principalmente en la subprovincias Sierra Nevada de Santa Marta y Serranía de Perijá, donde funcionan como áreas de recarga, mientras que los sistemas acuíferos de las formaciones La Luna, Rionegro y Los Cuervos afloran en las subprovincias Serranía de Perijá y Planicie del Cesar, donde también se comportan como área de recarga. Todos los sistemas mencionados se encuentran en el subsuelo de la subprovincia hidrogeológica Planicie del Cesar, donde hacen parte de varias estructuras geológicas, cubiertas generalmente por el Sistema Acuífero Llanura Aluvial (Qlla), bajo el cual se encuentran confinados (ver cortes hidrogeológicos, plancha No. 12).

8.4.2.1 Sistema Acuífero Formación La Luna (Ksl). El Sistema en referencia aflora en un área de poca extensión, con un total de apenas 85 Km². Estos afloramientos están restringidos al oriente

del municipio de Becerril en la subprovincia hidrogeológica Serranía de Perijá, donde tiene su mayor extensión (62 Km²), al oriente del corregimiento La Mata y al norte de San Alberto en la subprovincia Región Norte de la Cordillera Oriental y al nororiente de la localidad de Puerto Lajas, en la parte norcentral de la subprovincia Planicie del Cesar. En esta última subprovincia aparece en el subsuelo, haciendo parte de diversas estructuras plegadas y falladas, estando allí cubiertas por otros sistemas acuíferos tales como la Formación Barco (Tpb) y Formación Molino (Ksm). En los afloramientos, el sistema Formación La Luna (Ksl) está compuesto de base a techo por una secuencia alternante de lutitas negras carbonosas, limolitas, arcillolitas y calizas negras bituminosas en estratos delgados a medianos, intercalados con lentes de chert y de areniscas calcáreas, que en total tienen un espesor de 180 m. En los estratos calcáreos no se observaron fenómenos de disolución, hallándose además poco afectados por el fracturamiento, razones por las cuales se consideran sus afloramientos de poca incidencia como área de recarga.

En el subsuelo de la Planicie del Cesar el Sistema Acuífero Formación La Luna, se encuentra asociado a los bloques tectónicos Codazzi - Sicarare, Becerril - La Loma y Astrea - San Alberto, haciendo parte de estrechas estructuras anticlinales y sinclinales de rumbo noreste - suroeste, especialmente en los bloques Codazzi - Sicarare y Becerril - La Loma, dichas estructuras se asocian a un

denso fracturamiento, el cual localmente ha experimentado procesos de karstificación en los estratos calcáreos, convirtiéndolos en importantes almacenadores de aguas subterráneas.

En la región nororiental del bloque tectónico Codazzi - Sicarare, el sistema acuífero formación La Luna se encuentra depositado sobre el sistema acuífero denominado Grupo Cogollo. A su vez se encuentra confinado por lutitas negras pertenecientes a la Formación Molino (Ksm), que la suprayace directamente y también parcialmente por la Formación Barco y los depósitos cuaternarios (ver cortes hidrogeológicos A-A' y B-B', plancha 12). En esta región los valores de resistividad obtenidos para el sistema Formación La Luna, varían de 60 a 300 Ohm.m, fluctuando su espesor entre 30 y 70 m aproximadamente, siendo captada por cerca de 60 pozos con profundidades entre 60 y 180 m, construidos en 8 y 14 pulg. de diámetro, los cuales producen caudales desde 10 hasta 60 lit/sg, con una operación promedio de 5 horas/día. No obstante esta situación aparentemente favorable para cualquier captación del sistema Formación La Luna en esta región, la realidad es que los sitios con condiciones óptimas (buen desarrollo de karst) son de distribución muy errática por la naturaleza misma del fenómeno natural que los produce y aunque la resistividad y los pozos vecinos con buena producción son una buena guía, esta no es totalmente determinante. Para esta región nororiental la mejor opción parece estar asociada a las condiciones geológicas de la

franja oriental adyacente a la Falla Media Luna, con resistividades menores de 200 Ohm.m.

En la región suroccidental del bloque Codazzi - Sicarare, a partir del carreteable que une a la población de Casacará con la hacienda Walkirias, el Sistema Formación La Luna se profundiza, en un corto trecho, más allá de los 300 m de profundidad, razón por la cual no es captada por pozo alguno. (Corte C-C', plancha 12). La resistividad tampoco parece muy favorable.

En el bloque tectónico Becerril - La Loma el sistema Formación La Luna es captado por algunos pozos situados al suroccidente de la población de Casacará. Aquí este sistema se encuentra cubierto por sedimentos cuaternarios correspondientes al sistema acuífero Depósitos de Llanura Aluvial, presentando resistividades que fluctúan entre 50 y 500 Ohm.m (corte hidrogeológico D-D') indicando una disminución del grado de fracturamiento o de la Karstificación. Los pocos pozos que captan al acuífero en este sector, tienen profundidades promedio de 40 m y producen caudales máximos de 2.5 lit/sg.

En el bloque Astrea - San Alberto, a la altura de la región comprendida entre las localidades de Pelaya y La Mata, se encuentra de nuevo este sistema acuífero, aparentemente formando parte de una estructura sinclinal. Las resistividades parecen favorables (40

Ohm.m), lo mismo que las condiciones geológicas. Estaría relativamente somero, a profundidades entre 50 y 120 en Ayacucho y Simaña respectivamente, profundizándose hacia la zona central (más de 300 m). En Pelaya se captó parcialmente su parte superior en un pozo de 85 m de profundidad y produce alrededor de 15 lit/sg, luego esta puede ser otra zona interesante. En este bloque también se encuentra al norte de San Alberto pero se desconocen sus condiciones.

El agua contenida en este acuífero de acuerdo a dos captaciones muestreadas es de tipo bicarbonatada cálcico - magnésica y también sódica. Del punto de vista físico - químico varía de ligeramente salobre a dulce, y necesita normalmente tratamiento para disminuir la "dureza" con fines de consumo humano. Para aplicaciones en irrigación varía en su calidad de regular a inadecuada.

De acuerdo a una prueba de bombeo realizada en el pozo 41IB44, situado en la región nororiental del bloque Codazzi - Sicarare, el sistema acuífero Formación La Luna, presenta una conductividad hidráulica de 10 m/día, que está en el límite media - alta, pero teniendo en cuenta que es un valor puntual y de la gran variabilidad espacial de esta característica en las calizas y el grado de desarrollo de karst en la región, se puede predecir que este valor es cercano a los más altos posibles allí y que en

Ohm.m), lo mismo que las condiciones geológicas. Estaría relativamente somero, a profundidades entre 50 y 120 en Ayacucho y Simaña respectivamente, profundizándose hacia la zona central (más de 300 m). En Pelaya se captó parcialmente su parte superior en un pozo de 85 m de profundidad y produce alrededor de 15 lit/sg, luego esta puede ser otra zona interesante. En este bloque también se encuentra al norte de San Alberto pero se desconocen sus condiciones.

El agua contenida en este acuífero de acuerdo a dos captaciones muestreadas es de tipo bicarbonatada cálcico - magnésica y también sódica. Del punto de vista físico - químico varía de ligeramente salobre a dulce, y necesita normalmente tratamiento para disminuir la "dureza" con fines de consumo humano. Para aplicaciones en irrigación varía en su calidad de regular a inadecuada.

De acuerdo a una prueba de bombeo realizada en el pozo 41IB44, situado en la región nororiental del bloque Codazzi - Sicarare, el sistema acuífero Formación La Luna, presenta una conductividad hidráulica de 10 m/día, que está en el límite media - alta, pero teniendo en cuenta que es un valor puntual y de la gran variabilidad espacial de esta característica en las calizas y el grado de desarrollo de karst en la región, se puede predecir que este valor es cercano a los más altos posibles allí y que en

general podrían encontrarse valores de conductividad hidráulica en el rango 10^{-2} a 50 m/día.

Por sus características, este es un sistema que incluye acuíferos locales, discontínuos, de tipo libre a confinado y se considera de importancia hidrogeológica grande a pequeña.

8.4.2.2 Sistema Acuífero Grupo Cogollo (Kmc). Las rocas de este sistema se encuentran en las cuatro (4) subprovincias hidrogeológicas del Departamento y sus afloramientos ocupan una extensión total de 580 Km². Los mayores afloramientos aparecen en la esquina suroccidental de la Sierra Nevada de Santa Marta (112 Km²) y en la Serranía de Perijá entre los municipios de Codazzi y Becerril (370 Km²). Afloramientos aislados de menor extensión se observan al norte de la Serranía de Perijá, en el municipio de Manaure, y en la subprovincia Región Norte de la Cordillera Oriental, al sur de la Jagua de Ibirico y al suroriente de Curumaní. También se encuentra en el subsuelo de la planicie del Cesar, haciendo parte de varios tipos de estructuras geológicas (ver cortes hidrogeológicos, plancha 12), asociadas a los bloques tectónicos Los Venados, Codazzi - Sicarare, Becerril - La Loma y Rincón Hondo.

Litológicamente el sistema Grupo Cogollo está compuesto por gruesas intercalaciones de calizas, calizas arenosas y delgadas capas de

limolitas calcáreas, afectadas por diaclasas y procesos de disolución (grietas, dolinas, cavernas) especialmente en la Serranía de Perijá. El espesor reportado varía de 1200 a 3000 m. Los afloramientos se comportan como importantes áreas de recarga.

En la subprovincia hidrogeológica Planicie del Cesar, el Grupo Cogollo se encuentra en el subsuelo a profundidad variable, cubierto por Sistemas acuíferos de edad cretácica, terciaria y cuaternaria.

En el bloque Los Venados se obtuvieron para el citado sistema acuífero, valores promedio de resistividad de 300 Ohm.m al sur de la falla Cesarito donde hace parte de estructuras plegadas, y con 30 Ohm.m al Norte de la misma falla y en frente del área donde aflora, muy cerca del área de recarga, hallándose en este bloque casi siempre cubierto por el sistema Formación Molino (Ksm), que es de poco interés hidrogeológico.

En el bloque Codazzi - Sicarare el sistema acuífero Grupo Cogollo, yace sobre rocas impermeables correspondientes a la Formación La Quinta Sedimentaria (Jqs) y a su vez está cubierto por una serie de sistemas como las formaciones La Luna, Molino y Barco, haciendo parte de un sinclinal y un anticlinal, también se halla cubierto por depósitos cuaternarios (cortes hidrogeológicos A-A' y B-B', plancha 12). Esta situación es válida para el sector nororiental

del bloque, pues al suroccidente de la carretera que comunica a Casacará con la Hacienda Walquirias, el sistema Grupo Cogollo debe estar a profundidades mayores a los 350 m (corte C-C', plancha 12). En el sector nororiental de este bloque muestra valores de resistividad de 200 Ohm.m, especialmente en el sinclinal localizado al occidente de Codazzi, no siendo de interés estos valores. Mas al sur y sobre la misma estructura los valores son de 100 Ohm.m o menos hacia el flanco oriental del sinclinal, allí está siendo captado por pozos con profundidades entre 80 y 100 m, únicamente en el flanco oriental de la mencionada estructura sinclinal, que se encuentra a lo largo del carreteable que une a las poblaciones de Codazzi y Casacará, donde está cubierto por un delgado espesor de depósitos cuaternarios. Los pozos que captan al acuífero no sobrepasan el número de 10 y están construídos con diámetros desde 10 hasta 18 pulg, produciendo caudales de 50 a 100 lit/sg y operando un máximo de 6 horas al día. Una prueba de bombeo realizada en el pozo 41IIA-17, ubicado en este sector, da allí para este sistema, un valor de conductividad hidráulica de 14 m/día. Sin embargo de acuerdo con observaciones de campo, se puede aplicar lo expresado ya para los valores generales de conductividad hidráulica del sistema Formación La Luna (10^{-2} a 50 m/día).

En los bloques tectónicos Becerril - La Loma y Rincón Hondo, el Grupo Cogollo (Kmc), está depositado sobre el sistema Formación Rionegro y se halla cubierto por un delgado espesor de sedimentos

cuaternarios pertenecientes al sistema acuífero Depósitos de Llanura Aluvial (Qlla) y también por el sistema Formación La Luna (Ksl). Para el bloque Becerril - La Loma, la situación estructural no es favorable por el alto buzamiento del flanco oriental del sinclinal, lo cual hace que este sistema acuífero se profundice en un muy corto trecho. Para el caso del bloque Rincón Hondo esta situación cambia, encontrándose el Kmc a poca profundidad y cubierto por un depósito cuaternario (Qlla), que en su mayoría tiene menos de 40 m de espesor, además los valores de resistividad (25 - 150 Ohm.m) indican mayores posibilidades de hallar importantes reservas de agua subterránea aunque allí esté inexplotado en el momento. Sin embargo, es importante tener presente la frecuente y errática variabilidad espacial de las condiciones favorables en acuíferos resultantes de procesos de disolución, como lo es también en este caso.

Las aguas de este sistema acuífero son tipo bicarbonatadas sódicas o magnésicas, dulces en su mayoría, aunque en algunos aljibes del sector Bosconia - Caracolí son salobres, muy probablemente por influencia de las aguas contenidas en el sistema Qlla de ese sector. Para aplicación en riego varían desde adecuadas hasta de regular calidad.

El alto grado de fracturamiento y karstificación que presenta el Grupo Cogollo en superficie, así como también el rendimiento de los

pozos que lo captan en algunos sectores, definen a este sistema acuífero como de tipo confinado a semiconfinado, de carácter local y discontinuo, con importancia hidrogeológica variando de grande a pequeña, dependiendo de las circunstancias anteriormente anotadas.

8.4.2.3 Sistema Acuífero Formación Rionegro (Kir). Litológicamente está representado por una secuencia de edad Cretácica, compuesta por areniscas de grano grueso, areniscas conglomeráticas y conglomerados con matriz arenosa, con intercalaciones de limolitas y arcillolitas rojas y verdosas, en algunos sectores estas rocas son poco cementadas e intensamente fracturadas. Afloran en gran extensión en las subprovincias hidrogeológicas Serranía de Perijá y Región Norte de la Cordillera Oriental. Su espesor varía desde los 80 hasta los 400 m.

A pesar de su litología apta para el almacenamiento de aguas subterráneas, este sistema acuífero se considera de pequeña importancia hidrogeológica, ya que el área de recarga hacia los acuíferos que se encuentran en el subsuelo de la subprovincia Planicie del Cesar, está restringida a los afloramientos de poca extensión que aparecen en el piedemonte de las dos primeras subprovincias anteriormente mencionadas. Es así que en la subprovincia Serranía de Perijá solamente 87 Km² del área aflorante contribuyen a la recarga, mientras que en la subprovincia Norte de la Cordillera Oriental hay dos sectores que contribuyen a la

recarga, en el de Arenas Blancas - San Roque, 94 Km² y en el ubicado al sur de Curumaní solamente 35 Km². Si se observan los mapas de las planchas 1 y 11 se ve que en la Serranía de Perijá aflora casi tres veces el área mencionada correspondiente a este sistema acuífero, mientras que en la Cordillera Oriental aflora casi el doble del área mencionada. Sin embargo esa gran cantidad de área aflorante no contribuye a la recarga del sistema acuífero Kir por estar desconectada hidráulicamente de las áreas aflorantes cerca al piedemonte(ver 8.3.2). Por esta razón el agua lluvia allí infiltrada descarga a las partes altas de las cuencas de ríos como el Casacará, Maracas, Magiriaimo, Sicarare y La Mula. Por otro lado, el sistema formación Rionegro se halla normalmente a gran profundidad (100 a 300 m) en la Planicie del Cesar, cubierto por el Grupo Cogollo (Kmc) y los Depósitos Llanura Aluvial (Qlla) dentro del bloque tectónico Rincón Hondo (corte hídrogeológico E-E' y F-F'), lo cual hace difícil su exploración y la captación. Este sistema desarrolla acuíferos semiconfinados a confinados de carácter local, por estar supeditados a zonas fracturadas.

De acuerdo al inventario de puntos de agua, el sistema acuífero Formación Rionegro es captado, en una zona situada al sur de la población de Rincón Hondo por alrededor de cinco pozos que están ubicados cerca a los afloramientos del sistema, donde la cubierta más superior constituida por los depósitos de Llanura Aluvial no sobrepasa los 15 m de espesor. Estos pozos tienen profundidades

entre 20 y 30 m, con un nivel estático que varía desde los 4.5 hasta los 6.0 m de profundidad, produciendo caudales promedio de 2 lit/sg. En pruebas de bombeo ejecutadas en dos de estos pozos (48IIIC-12 y 48), se obtuvieron para este sector, que muestra en superficie un denso fracturamiento, y para las capas acuíferas superiores, conductividades hidráulicas alrededor de 5 m/día, pero en sectores no fracturados podrían reducirse a 1 x 10^{-2} m/día.

El agua de este sistema que fue muestreada solamente en el pozo 48IIIC-48, es dulce, pero debe ser tratada para reducir el contenido de manganeso con el fin de que sea apta para consumo humano desde el punto de vista físico - químico. Es de tipo bicarbonatado cálcico - magnésico.

8.4.2.4 Sistema Acuífero Formación Los Cuervos (Tec). Aflora en la parte sur de la subprovincia Serranía de Perijá, al oriente de la población de La Jagua de Ibirico, haciendo parte del Sinclinal y anticlinal de La Jagua y ocupando un área de 13 Km^2. También forma parte de la subprovincia Planicie del Cesar en el bloque tectónico Becerril - La Loma (corte D-D', plancha 12), subyaciendo al sistema Formación Cuesta.

Esta constituido por arcillas negras, grises, verdosas y amarillentas con delgadas intercalaciones de arenisca gris de grano

medio con matriz arcillosa y mantos de carbón. Para el área su espesor está cerca a los 400 m.

En el subsuelo del bloque Becerril - La Loma, a la altura de La Loma - Plan Bonito, se encuentra también formando parte de estructuras plegadas, cubierta por los sistemas acuíferos Tmc y en algunas partes por Qlla, a profundidades variables entre 10 y 300 m. A su vez se encuentra yaciendo de manera aparentemente discordante sobre los sistemas Tpb (Formación Barco) y Ksm (Formación Molino). Allí se caracteriza por tener valores de resistividad entre 20 y 50 Ohm.m, aunque estos oscilan entre 10 y 300 Ohm.m. En este sector ha sido captado por unos 5 pozos con profundidades entre 50 y 130 m y diámetros de 4 a 6 pulgadas, extrayendo caudales desde 2 hasta 5 lit/sg. Adicionalmente una cantidad considerable de pozos ha sido construída exclusivamente para conocer la continuidad de los mantos de carbón y las propiedades hidráulicas de este sistema. A partir de pruebas de bombeo realizadas en ellos se conoce que las conductividades hidráulicas están entre 1 x 10^{-2} y 10 m/día (baja a alta), siendo más altas en los mantos de carbón; también se determinó que los coeficientes de almacenamiento varían entre 1 x 10^{-3} y 1 x 10^{-5} (Prodeco, 1991 y Drummond, 1983), indicando condiciones semiconfinadas a confinadas.

Solamente se muestreó un pozo en este sistema Tec, el 48IB-7, donde el agua es de tipo bicarbonatada magnésica, dulce,pero necesita tratamiento para reducir el contenido de hierro, si se usara para consumo humano. Para efectos de irrigación está en el límite entre calidad adecuada y regular. Estas condiciones del agua parecen prevalecer hacia el sector de El Descanso - Plan Bonito, donde tiene conductividades eléctricas menores a 950 μmhos/cm (Drummond, 1983).

De acuerdo con las anteriores características se establece que este sistema acuífero es de tipo multicapa semiconfinado a confinado, de carácter local y pequeña importancia hidrogeológica, teniendo en cuenta también los desarrollos mineros que se darán próximamente en alrededores de La Loma, para explotación a tajo abierto del carbón y que tendrán que bajar considerablemente los niveles piezométricos de este sistema en áreas de gran extensión.

8.4.3 Grupo de Sedimentos y Rocas Porosas o Fracturadas con muy Pequeña Importancia Hidrogeológica o sin Importancia. La ocurrencia del agua subterránea en este último grupo hidrogeológico, se representa en tres clases hidrogeológicas constituidas por depósitos sedimentarios cuaternarios de origen fluvio - lacustre, con granulometría fina, otros de origen coluvial y glaciar compuestos por bloques y cantos derivados de todo tipo de rocas, en matriz de granulometría fina y rocas sedimentarias

terciarias de granulometría fina con porosidad primaria y secundaria; por rocas sedimentarias y volcanosedimentarias de edades cretácicas y triásico-jurásicas con porosidad primaria y secundaria y por rocas volcánicas, ígneas y metamórficas con edades que van desde el cretácico hasta el precámbrico con alguna porosidad secundaria.

La descripción litológica, observaciones de campo y pruebas de bombeo, de los diferentes sistemas acuíferos que se agrupan en las tres clases hidrogeológicas anteriormente descritas, indican que dichos sistemas tienen conductividades hidráulicas bajas y muy bajas y principalmente por ello se consideran de pequeña a muy pequeña importancia hidrogeológica, inclusive en muchos casos, los acuíferos están prácticamente ausentes. Por estas razones generales no se entra a describir con algún detalle las características hidrogeológicas de dichos sistemas. No obstante, de manera muy local, algunos de ellos pueden desarrollar acuíferos de muy pequeña importancia en zonas de fractura, de meteorización o con selección de tamaño no tan mala. En estas situaciones ideales la conductividad hidráulica puede alcanzar valores medios. Las tres clases mencionadas agrupan alrededor de treinta sistemas, la mayoría de ellos pertenecientes a las subprovincias Sierra Nevada de Santa Marta y Norte de la Cordillera Oriental. Se encuentran en menor proporción en las subprovincias Serranía de Perijá y Planicie del Cesar. No obstante lo anteriormente descrito, dentro del

presente grupo hidrogeológico, hay un sistema acuífero con alguna importancia local y con extensión considerable, se trata de los Depósitos fluviolacustres (Qfl) que afloran en la margen suroccidental de la subprovincia Planicie del Cesar, éstos se describen a continuación.

8.4.3.1 Sistema Acuífero Depósitos Fluviolacustres (Qfl). Este sistema se encuentra únicamente en la subprovincia Planicie del Cesar, aflorando en una delgada franja paralela al río Magdalena, que se extiende desde los límites con el Departamento de Santander en el sur, hasta alrededores de la ciénaga de Zapatosa en el norte, ocupando un área aproximada de 460 Km^2, de los cuales una buena parte probablemente se inunda durante los períodos de lluvias. Corresponde a una zona de ciénagas sujetas a inundaciones periódicas de los ríos Magdalena y Lebrija, compuesta litológicamente por material predominantemente limo-arcilloso con lentes arenosos. De acuerdo al estudio de geoeléctrica el espesor no sobrepasa los 15 m y refleja valores de resistividad promedio de 5 Ohm.m. Por su granulometría se les asigna una conductividad hidráulica baja.

En el sistema acuífero Depósitos fluviolacustres se desarrollan acuíferos locales, de poca extensión y generalmente de tipo libre. Estos acuíferos son explotados en la actualidad por no más de 15 aljibes que tienen profundidades entre 5 y 12 m, con niveles

freáticos que varían de 2 a 3 m de profundidad. El rendimiento promedio por aljibe es de 0.5 lit/sg.

El sistema Depósitos fluviolacoustres a pesar de tener una recarga directa de los ríos Lebrija, Magdalena, de las ciénagas y probablemente también a partir de intercomunicación con los demás acuíferos cuaternarios ubicados al oriente, se considera relativamente de muy pequeña importancia hidrogeológica, teniendo en cuenta su granulometría fina, el espesor de sus acuíferos, su poca extensión útil y la cantidad de agua subterránea extraída por pozo o aljibe que lo capte. Sin embargo, localmente en áreas aledañas a la zona de ciénagas pueden constituir soluciones domésticas al abastecimiento de agua.

INGEOMINAS

9. RECARGA Y DESCARGA DE LOS SISTEMAS ACUÍFEROS

9.1 EVALUACIÓN DE LA RECARGA REAL

9.1.1 A partir de Precipitación. Como se dijo en el capítulo 4, la recarga potencial (Rp) es la cantidad de agua disponible en los suelos, que entraría al sistema acuífero, si la capa de suelo dada yace directamente sobre el acuífero en cuestión. En relación con esto los valores totales de Rp para el Departamento del Cesár se muestran en la tabla 35. Para el presente estudio la consideración antes mencionada es válida en áreas donde afloran los sistemas acuíferos con edad pre-Cuaternaria, que tienen pequeña a gran importancia hidrogeológica[1], sin embargo en la gran mayoría del área estudiada hay depósitos recientes, de diferente composición, ubicados entre las capas de suelo y los acuíferos (Subprovincia Planicie de Cesar). En los casos en que el contenido de arcilla es considerable, en estos depósitos, se puede restringir de manera

---

[1] Se excluyen de este grupo una parte considerable de los afloramientos de los sistemas Kir y Kmc, este último en menor extensión, ubicados en las subprovincias de La Serranía de Perijá y Norte de la Cordillera Oriental, los cuales están localizados en las partes más altas de estas áreas montañosas y tal como se explicó en el numeral 8.3.2, se considera que el agua lluvia que temporalmente allí penetra a dichos sistemas, no contribuye directamente a renovar sus reservas en el subsuelo de la Subprovincia Planicie del Cesar.

sensible el movimiento vertical, del agua infiltrada en superficie, hacia los acuíferos.

De acuerdo con los estudios de geoeléctrica, los registros litológicos de algunos pozos, los mapas de suelos del Departamento y la información de niveles en los puntos de agua inventariados, se pudo determinar:

- La litología predominante en el subsuelo (primeros 20 m de espesor de los depósitos de edad Cuaternaria) y su distribución regional generalizada.

- El gradiante hidráulico vertical regional.

Estas dos características controlan esencialmente la cantidad de recarga que entra hacia los acuíferos subyacentes (Recarga Real, Rr). Como resultado se obtuvieron el mapa de la plancha 13 y la tabla 36, donde se especifican los factores numéricos a utilizar en el cálculo de la recarga real y la distribución de zonas y subzonas donde ellos se aplican.

Para lograr lo anterior se siguió a Rushton et al (1988) con las siguientes adaptaciones y notas:

INGEOMINAS

TABLA No.35. VOLUMENES DE RECARGA POTENCIAL TOTAL PARA EL DEPARTAMENTO (10 ^ 6 m3).

	ACUIFEROS PRE-CUATERNARIOS				ACUIFEROS CUATERNARIOS			
GRUPO DEL SUELO	AREA (km2)	RECARGA			AREA (km2)	RECARGA		
		HUMEDO	MEDIO	SECO		HUMEDO	MEDIO	SECO
ARENOSO								
A1	61.3	31.41	14.05	3.43	970.0	497.42	222.52	54.32
A2	837.5	367.33	125.46	45.23	1933.8	848.14	289.68	104.42
A3	13.8	17.35	6.30	1.09	2532.5	3196.02	1159.89	201.06
ARCILLOSO								
Ar1	433.1	59.77	18.62	9.53	2414.4	333.18	103.82	53.12
Ar2	456.3	289.72	161.47	82.90	261.9	166.29	92.68	47.58
Ar3					517.5	491.94	95.12	12.94
LIMOSO								
L1	71.9	16.32	4.38	3.38	1289.4	292.69	78.65	60.60
L2	57.5	18.54	5.69	2.99	598.1	192.90	59.21	31.10
L3	18.1	17.96	4.19	0.44	751.3	744.49	173.54	18.03
TOTAL	1949.4	818.40	340.16	148.98	11268.8	6763.1	2275.1	583.2

a) En la definición del "Factor de arcillas" (Fa) se tuvo en cuenta principalmente la proporción de arcilla presente, asumiendo como valor constante el espesor del depósito dado (subsuelo), esto se hace teniendo en cuenta que se trata de un modelo regional, en el cual dicho espesor varía entre 10 y 20m. De esta manera **Fa** decrece con el aumento del contenido de arcilla y cada "factor de arcilla" corresponde a una zona dada (tabla 36).

b) Entre más cerca a superficie se encuentre el nivel piezométrico o freático, menor será el gradiente hidráulico vertical y por tanto menor también la recarga real. Esto se trata de reflejar en el factor **Fg**, el cual depende de la relación profundidad del nivel Vs. profundidad del depósito. Dependiendo de la variación de ese gradiente para una zona dada, éstas se subdividieron en dos o más subzonas. Tabla 36. Un caso especial es el de la zona de ciénagas que involucra la parte inundada permanentemente y la inundable más aledaña a ellas (plancha 13), allí el nivel se encuentra dentro del perfil del suelo y por tanto Rr = 0.

c) Teniendo en cuenta que normalmente hay más de un tipo de suelo coincidiendo con una subzona dada del subsuelo Cuaternario, como se observa en el esquema de la figura 15; generalizando, el cálculo de la recarga real puntual por año, que produce

tipo de suelo s (Rr_s), el cual se superpone parcialmente a una subzona z del subsuelo Cuaternario, está dado por:

$$Rr_s = Rp_s * Fa_z * Fg_z \qquad (1)$$

donde, Rp_s = Recarga Potencial puntual por año para el tipo de suelo s.

Con base en esto, el Volumen de Recarga real anual para la misma subzona z será:

$$VRr_z = \sum_{s=1}^{n} (Rr_s * A_s) \qquad (2)$$

donde, A_s = Area de la subzona z coincidente con el tipo de suelo s.

Tabla 36.
Zonas y subzonas del Subsuelo Cuaternario, con sus respectivos factores, usados para el cálculo de la recarga real (Ver también plancha 13).

Resistividad (Ohm-m)	Granulometría Depósito (zona de)	Fa	Subzona No.	Fg
< 10	Arcillas	0.01	1 2 3	0.3 0.6 0.1
10 - 20	Limos arcillosos	0.1	4 5	0.3 0.4
20 - 100	Arenas, gravas con arcilla	0.8	6 7	0.3 0.2
> 100	Gravas	1.0	8 9 10 11	0.5 0.6 0.1 0.3

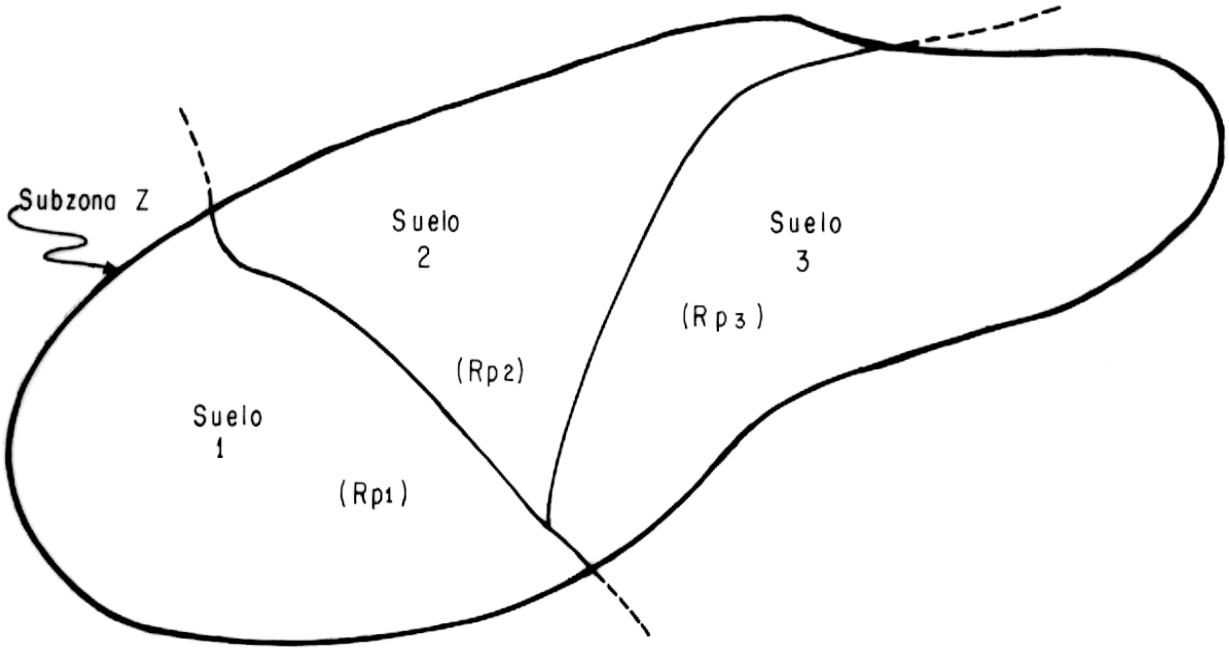


Figura No. 15 Esquema relación tipos suelo con una subzona dada del subsuelo Cuaternario.



Una vez definido lo anterior, mediante superposición de los mapas de "Rezonificación de Suelos"(Plancha 9) y de "Distribución del tipo de Subsuelo"(Plancha 13), se planimetraron las áreas coincidentes entre los tipos de suelo (Ej. A_1,L_2,Ar_1,etc.) y las subzonas del subsuelo definidas(Ej. 1,2,3,10,etc.).

Luego tomando los valores de la recarga potencial puntual por año(mm) de la tabla 13, para los años húmedo,medio y seco, utilizando la fórmula (1) se obtuvieron valores de recarga real puntual, los cuales junto con las áreas medidas y usando la fórmula (2), permitieron obtener una aproximación a los volúmenes de recarga real por año(debida a precipitación), que alimentan principalmente a los sistemas acuíferos calificados como de pequeña a gran importancia en el Departamento del Cesar. Estos resultados se separaron por subprovincias hidrogeológicas(siete en total), y se presentan para cada una de ellas en las tablas 37 á 43, discriminados respectivamente para los años húmedo, medio y seco.

TABLA 37.
BLOQUE CESAR. VOLUMEN DE RECARGA REAL (Millones m3), PARA UN AÑO MEDIO (M), SECO (S) Y HUMEDO (H)

SUBSUELO	SUELO																	
	A1			A2			L1			Ar1			Ar2			TOTAL BLOQUE		
	H	M	S	H	M	S	H	M	S	H	M	S	H	M	S	H	M	S
1	0.12	0.05	0.01	0.03	0.01	0.004	0.39	0.1	0.08	0.23	0.07	0.04	0.09	0.05	0.02			
6	60.14	26.9	6.57				9.5	2.55	1.97									
7				1.58	0.54	0.19												
Acuíferos (Afloramiento)													13.08	7.29	3.74			
Subtotales H	60.26			1.61			9.89			0.23			13.17			85.16		
Subtotales M		26.95			0.55			2.65			0.07			7.34			37.56	
Subtotales S			6.58			0.19			2.05			0.04			3.76			12.62

INGOMINAS

TABLA 38.
BLOQUE LOS VENADOS. VOLUMEN DE RECARGA REAL (Millones m3), PARA UN AÑO MEDIO (M), SECO (S) Y HUMEDO (H)

SUBSUELO	SUELO														
	A1			A2			LI			Arl			TOTAL BLOQUE		
	H	M	S	H	M	S	H	M	S	H	M	S	H	M	S
2	0.19	0.08	0.02				0.13	0.03	0.02	0.47	0.15	0.07			
5				0.37	0.13	0.05									
6	1.54	0.69	0.17												
Acufferos	31.43	14.06	3.43				16.32	4.38	3.38						
Subtotales H	33.16			0.37			16.45			0.47			50.45		
Subtotales M		14.83			0.13			4.41			0.15			19.52	
Subtotales S			3.62			0.05			3.4			0.07			7.14

INGEOMINAS

TABLA 39.

BLOQUE CODAZZI - SICARARE. VOLUMEN DE RECARGA REAL (Millones m3), PARA UN AÑO MEDIO (M), SECO (S) Y HUMEDO (H)

SUBSUELO	SUELO																	
	A2			L1			L2			Ar1			Ar2			TOTAL BLOQUE		
	H	M	S	H	M	S	H	M	S	H	M	S	H	M	S	H	M	S
1	0.03	0.01	0.004	0.22	0.06	0.04												
2				0.06	0.02	0.01				0.07	0.02	0.01						
5	5.06	1.73	0.62	0.09	0.02	0.02	0.21	0.06	0.03	1.37	0.43	0.22						
6										1.36	0.42	0.22						
7	29.25	10.0	3.6	5.94	1.60	1.23				1.76	0.55	0.28						
Acuíferos (Afloramiento)	21.36	7.3	2.63										41.27	23.00	11.81			
Subtotal H	55.7			6.31			0.21			4.56			41.27			108.05		
Subtotal M		19.04			1.7			0.06			1.42			23.0			45.22	
Subtotal S			6.85			1.3			0.03			0.73			11.81			20.72

TABLA 40.
BLOQUE ARIGUANI. VOLUMEN DE RECARGA REAL (Millones m3), PARA UN AÑO MEDIO (M), SECO (S) Y HUMEDO (H)

SUBSUELO	SUELO																	
	A1			A2			L2			Ar1			Ar2			TOTAL BLOQUE		
	H	M	S	H	M	S	H	M	S	H	M	S	H	M	S	H	M	S
1				0.004	0.001	0.0005	0.002	0.0007	0.0004	0.018	0.006	0.003						
2	0.008	0.003	0.0008	0.008	0.003	0.001				0.17	0.05	0.03						
4	3.0	1.34	0.33															
5				1.57	0.53	0.19	1.99	0.61	0.32	0.56	0.17	0.09						
6	24.07	10.77	2.63	2.43	0.83	0.3	7.83	2.4	1.26	0.35	0.11	0.056	0.38	0.21	0.11			
Ciénagas				0	0	0	0	0	0	0	0	0						
Acuiferos (Afloramientos)				3.29	1.12	0.4	16.12	4.95	2.6	1.2	0.374	0.191						
Subtotal H	27.08			7.30			25.94			3.0			0.38			63.7		
Subtotal M		12.11			2.48			7.96			0.71			0.21			23.5	
Subtotal S			2.96			0.89			4.18			0.37			0.11			8.51

INGEOMINAS

TABLA 41.
BLOQUE BECERRIL - LA LOMA. VOLUMEN DE RECARGA REAL (Millones m3), PARA UN AÑO MEDIO (M), SECO (S) Y HUMEDO (H)

SUBSUELO	SUELO																	
	A2			L1			L2			Ar1			Ar2			TOTAL BLOQUE		
	H	M	S	H	M	S	H	M	S	H	M	S	H	M	S	H	M	S
4	0.12	0.042	0.015															
5										0.041	0.013	0.007						
6	4.33	1.48	0.53				2.56	0.78	0.41	4.04	1.26	0.64						
7	4.64	1.58	0.57	0.91	0.36	0.19							12.06	6.72	3.45			
8	86.73	29.62	10.68				20.96	6.43	3.38	10.31	3.21	1.64						
Acuiferos (Afloramiento)	112.67	38.48	13.87							2.51	0.78	0.40	190.18	106.0	54.42			
Subtotal H	208.49			0.91			23.52			16.9			202.24			452.06		
Subtotal M		71.2			0.36			7.21			5.26			112.72			196.75	
Subtotal S			25.66			0.19			3.79			2.69			57.87			90.2

INGEOMINAS

TABLA 42.
BLOQUE RINCON HONDO. VOLUMEN DE RECARGA REAL (Millones m3), PARA UN AÑO MEDIO (M), SECO (S) Y HUMEDO (H)

SUBSUELO	SUELO														
	A2			L2			Ar1			Ar2			TOTAL BLOQUE		
	H	M	S	H	M	S	H	M	S	H	M	S	H	M	S
5				0.26	0.08	0.04	0.017	0.005	0.003						
6	14.94	5.1	1.84	13.83	4.24	2.23				6.38	3.56	1.83			
8	33.16	11.32	4.08	5.64	1.73	0.91				2.19	1.22	0.63			
Acuíferos (Afloramiento)	32.89	11.23	4.05							45.21	25.2	12.94			
Subtotal H	80.99			19.73			0.017			53.78			154.52		
Subtotal M		27.65			6.05			0.005			29.98			63.68	
Subtotal S			9.97			3.18			0.003			15.4			28.55

INGEOMINAS

TABLA 43.
BLOQUE ASTREA - SAN ALBERTO. VOLUMEN DE RECARGA REAL (Millones m3), PARA UN AÑO MEDIO (M), SECO (S) Y HUMEDO (H)

SUBSUELO	SUELO																				
	A2			A3			L3			Ar1			Ar3			L2			TOTAL BLOQUE		
	H	M	S	H	M	S	H	M	S	H	M	S	H	M	S	H	M	S	H	M	S
1	0.003	0.011	0.0004	0.16	0.06	0.01	0.1	0.02	0.002				0.3	0.06	0.008						
3				0.2	0.003	0.0004							0.07	0.01	0.002						
5	3.38	1.15	0.41							0.04	0.01	0.006									
6				46.94	17.04	2.95	20.36	4.74	0.5				1.71	0.33	0.045						
9				208.7	75.73	13.13	43.11	10.05	1.04				5.7	1.1	0.15						
10				49.22	17.86	3.09	15.73	3.66	0.38				4.6	0.88	0.12						
11				534.5	194.0	33.63	92.9	21.65	2.25				19.42	3.75	0.51						
Ciénagas				0.00	0	0	0	0	0				0	0	0						
Acuíferos (Afloramiento)	197.1	67.32	24.26	17.41	6.32	1.09	17.93	4.18	0.43	56.05	17.46	8.93				2.42	0.74	0.39			
Subtotales H	200.48			857.13			190.13			56.1			31.8			2.42			1338.06		
Subtotales M		68.48			311.01			44.30			17.47			6.13			0.74			448.13	
Subtotales S			24.67			53.9			4.6			8.93			0.83			0.39			93.32

INGEOMINAS

Estos valores de recarga real, totalizados para todo el Departamento dan:

TIPO DE AÑO	RECARGA REAL(m^3/año)	% DE LA REC. POTENCIAL
Húmedo	$2252*10^6$	29.7
Medio	$834*10^6$	31.9
Seco	$261*10^6$	35.6

Del anterior cuadro se puede concluir que independientemente del tipo de año para el cual se haya calculado, la recarga real total debida a precipitación, corresponde alrededor de un 32% de la recarga potencial total, calculada para las condiciones hidrometeorológicas y pedológicas del Departamento(Comparar con tabla 35).

9.1.2 A partir de Escorrentía e Irrigación. Los análisis realizados en los numerales 4.5.3 y 8.3, sobre la distribución de isolíneas de escorrentía y la relación clima-geología respectivamente, mostraron que a escala del Departamento, la escorrentía es mayor en la parte correspondiente a la cuenca hidrográfica del río Magdalena y a la margen derecha del río Cesar, debido en general a los valores relativamente altos de precipitación allí presentes y al carácter impermeable predominante en las rocas de esas regiones. Es por lo tanto lógico esperar allí

una contribución relativamente importante de la escorrentía, como fuente indirecta de recarga, hacia los sistemas acuíferos presentes en el subsuelo de la planicie del Cesar, dentro de las regiones mencionadas.

Por otro lado, a escala más local, los sistemas de riego, desarrollados principalmente mediante canales sin revestimiento, en alrededores de los ríos Guatapurí, Badillo y Ariguaní entre otros, son potencialmente en dichos sectores una fuente importante de recarga.

Estas fuentes potenciales de recarga no fueron cuantificadas en el presente estudio, pues necesitan de mediciones periódicas de algún detalle, adicionales a las obtenibles en las estaciones hidrológicas actualmente instaladas. Sin embargo se han mencionado para enfatizar su relativa importancia en los sectores y regiones mencionadas.

9.1.3 Análisis de Resultados. Es importante enfatizar que para las condiciones hidrogeológicas del Departamento del Cesar, la precipitación es la principal fuente de recarga hacia los sistemas acuíferos. Por lo tanto la falta de cuantificación de la recarga proveniente de escorrentía y riego para las áreas antes mencionadas, permite considerar como conservadores a los cálculos

presentados, especialmente en las áreas donde aquellos factores son potencialmente importantes para este efecto.

En cuanto a la distribución de las zonas de recarga, en los acuíferos cuaternarios de la subprovincia "Planicie del Cesar", la figura 8 muestra un área amplia que bordea al piedemonte en general de todo el Departamento. En ella el agua del acuífero más superficial es de tipo bicarbonatada cálcica y/ó magnésica, lo cual significa que esta es un área preferencial donde ocurre la recarga. Lo anterior no excluye como áreas de recarga, al resto de la parte plana del departamento, lo que indica es que este proceso sucede de manera especial allí, y del punto de vista práctico sirve como guía para un "plan de ordenamiento territorial del Departamento", en donde estas áreas especialmente sean restringidas ó controladas para cualquier tipo de desarrollo que implique amenaza para la calidad de agua que allí se infiltra hacia los acuíferos del subsuelo.

9.2 DESCARGA

9.2.1 Descarga Natural. Utilizando principalmente la distribución de las isolíneas de conductividad eléctrica(Plancha 2, Vargas y Angel,1995), para el agua de los acuíferos cuaternarios superficiales y en alguna medida la distribución regional de los niveles estáticos, medidos en aljibes, para los mismos acuíferos,

se estableció (Ver 8.3 y 8.4), que dicha agua subterránea fluye regionalmente hacia los ríos principales(Cesar, Ariguaní y Magdalena), lo mismo que hacia la zona de ciénagas(Plancha 11). Esto constituye a los cuerpos de agua mencionados como "zonas de descarga" para los acuíferos cuaternarios superficiales.

Para los sistemas acuíferos profundos se desconoce la dirección y magnitud de flujo regional, por carencia de información piezométrica, por lo tanto también son desconocidas sus zonas de descarga respectivas. Sin embargo, la información estructural deducida de la prospección geoeléctrica, sugiere que la "cuenca sedimentaria del Cesar"(ver Figura 1, en Vásquez,1994), tiene una inclinación regional hacia el Suroeste, facilitando en principio el movimiento del agua subterránea profunda en esa dirección. La misma información indica que en la "cuenca sedimentaria del Magdalena", que corresponde a la mitad sur del Departamento, la situación estructural es más variable y no permite establecer alguna posible dirección preferencial para el flujo regional profundo.

Las cantidades de agua que salen del subsuelo a través de las zonas de descarga, no se pudieron cuantificar por falta de información piezométrica y de profundidad del nivel freático regional(curvas de isoprofundidad de estos niveles).

9.2.2 Extracción. A partir de la información recolectada en el inventario de puntos de agua subterránea, se logró una aproximación a la extracción actual de agua subterránea, discriminándola por acuíferos y por bloques. (Ver tablas 43a á la 43g).

TABLA 43a. EXPLOTACIÓN ACTUAL DISCRIMINADA POR SISTEMAS ACUÍFEROS EN EL BLOQUE CESAR

Sistema	*Explotación (m^3/año)*
Qt	*217.600*
Qcal	*1.064.340*
Qlla (Somero)	*2.321.050*
Qlla (intermedio)	*4.523.445*
Qlla (profundo)	*668.169*
TOTAL	*8.795.000*

TABLA 43b. EXPLOTACIÓN ACTUAL EN LOS SISTEMAS ACUIFEROS DEL BLOQUE LOS VENADOS

Sistema	*Explotación (m^3/año)*
Qlla	*393.149*
Tpaa	*30.000*
Kmc	*40.000*
TOTAL	*463.000*

INGEOMINAS

TABLA 43c. EXPLOTACIÓN ACTUAL EN LOS SISTEMAS ACUÍFEROS DEL BLOQUE CODAZZI - SICARARE

Sistema	*Explotación (m^3/año)*
Qlla	*2.943.360*
Tpb	*320.000*
Ksl, Kmc	*14.782.500*
Tpaa	*30.000*
TOTAL	*18.076.000*

TABLA 43d. EXPLOTACIÓN ACTUAL EN LOS SISTEMAS ACUÍFEROS DEL BLOQUE BECERRIL - LA LOMA

Sistema	*Explotación (m^3/año)*
Qlla, Qt, Qcal	*185.300*
Tpb	*31.500*
Tmc	*209.000*
Tpaa	*30.000*
Kmc, Ksl	*29.565*
Tec	*70.500*
TOTAL	*556.000*

INGEOMINAS

TABLA 43e. EXPLOTACIÓN ACTUAL EN LOS SISTEMAS ACUÍFEROS DEL BLOQUE RINCON HONDO

Sistema	*Explotación (m^3/año)*
Qlla, Qt, Qcal	*1.471.680*
Tpaa	*30.000*
Tmc	*0*
Kmc	*0*
Kir	*26.280*
TOTAL	*1.528.000*

TABLA 43f. EXPLOTACIÓN ACTUAL EN LOS SISTEMAS ACUÍFEROS DEL BLOQUE ARIGUANI

Sistema	*Explotación (m^3/año)*
Qlla	*1.390.737*
Tpaa	*1.471.680*
Tmc	*0*
TOTAL	***2.862.000***

TABLA 43g. EXPLOTACIÓN ACTUAL EN LOS SISTEMAS ACUÍFEROS DEL BLOQUE ASTREA - SAN ALBERTO

Sistema	*Explotación (m^3/año)*
Qlla, Qcal (Arjona-Pailitas)	*65.700*
Qcal, Tpaa (Astrea - Tamalameque)	*1.120.000*
Qcal, Tpaa, Qal (Tamalameque - San Alberto)	*7.448.000*
Ksl	*100.000*
TOTAL	*8.734.000*

INGEOMINAS

La extracción total aproximada en el Departamento es de 41.015.000 m^3/año, es decir un 5% de la recarga real total(debida a precipitación) en un año medio, ó un 16% de ésta en un año seco, por supuesto sin contar con la descarga natural.

Comparativamente hablando, en este momento los bloques donde se está realizando una explotación más intensiva por unidad de área son el del Río Cesar y el de Codazzi-Sicarare. En cuanto a los sistemas acuíferos donde hay mayor extracción por unidad de área en el Departamento, tenemos:

SIST. ACUIFERO	BLOQUE	m^3/año/km^2
Ksl(Parte NE)	Codazzi-Sicarare	22636
Qcal	Río Cesar	8578
Kmc(Parte NE)	Codazzi-Sicarare	5659
Qal(Confinado)	Astrea-San Alberto	5044
Qlla(Intermedio)	Río Cesar	3460

INGEOMINAS

10. CUANTIFICACIÓN DE LAS RESERVAS DE AGUA SUBTERRÁNEA EN LOS SISTEMAS ACUÍFEROS

Para efectos de la presente evaluación se establece con el nombre de "reservas" a la totalidad de agua que es potencialmente movilizable, y que se encuentra en los sistemas acuíferos identificados[2], hasta una profundidad máxima que oscila entre los 350 y los 420 m.

10.1 METODOLOGÍA

Se realiza para los acuíferos mencionados que se ubican en el subsuelo de la Subprovincia Planicie del Cesar, por ser allí donde están las mejores condiciones para su aprovechamiento. Se hizo por bloques tectónicos, debido a la complejidad estructural existente y variable de uno a otro de ellos.

Como información básica se utilizaron los cortes hidrogeológicos(plancha 12) y el mapa de isóbatas de la base acuífera(plancha 6, Vásquez, 1994). Además, para realizar el cálculo de las reservas en cada uno de los sistemas acuíferos, se establecieron las siguientes limitantes y condiciones:

---

[2] Se incluyen solamente los de importancia hidrogeológica relativa pequeña, intermedia y grande

- **Límite Inferior.** Corresponde a la base de acuífero, pero en el caso de los más profundos, este es variable entre los 350 y los 420 m, dependiendo del sector analizado, porque hasta esas profundidades se tiene información confiable, de los sistemas acuíferos presentes en el subsuelo, a partir de los resultados de la prospección geoeléctrica y también de la información litológica y de registros físicos de pozos (Ver cortes hidrogeológicos, Plancha 12).

- **Límite Superior.** En los sectores donde los sistemas acuíferos evaluados son de tipo libre, éste límite corresponde al promedio de la profundidad del nivel freático. Para los demás casos (confinados y semiconfinados), su límite superior coincide con el techo del respectivo acuífero.

- **Espesor saturado(E).** Se toma el valor medio, para el área ocupada por el acuífero, dentro del bloque tectónico respectivo.

- **Area(A).** Corresponde a la proyección del tope del acuífero dado, ubicado en el subsuelo, sobre la zona plana y superficial del terreno(En la Subprovincia Planicie del Cesar). De esta manera el cálculo resulta conservador para aquellos acuíferos que están plegados en el subsuelo, pues allí , debido a los pliegues, es mayor su área que la respectiva proyectada en la superficie plana del terreno.

- **Rango de Profundidad.** Se refiere a la profundidad máxima y la mínima a las cuales se puede captar un sistema acuífero dado dentro de un bloque tectónico. También ayuda a diferenciar dentro de un mismo bloque, a dos ó mas sistemas acuíferos que tienen el mismo nombre pero diferentes características.

- Para las zonas donde hay acuíferos multicapa, que incluyen intervalos de carácter dominantemente arcilloso, estos últimos se incluyen dentro del cálculo de reservas, desde luego considerando sus características especiales de almacenamiento. Pero donde aquellos intervalos arcillosos se presentan con espesores considerables, masivos y sin formar parte de una secuencia de sedimentos intercalados de diferente composición, no se evaluaron sus reservas, pues obviamente las posibilidades no son buenas.

- **Porosidad Eficaz(P).** Se escogió este parámetro para calcular la cantidad de agua que se podría drenar de cada acuífero, por tres razones:

a) La considerable complejidad estructural existente en el subsuelo, frente a las condiciones variables de almacenamiento para un mismo acuífero(de libre hasta confinado), hacen bastante engorroso el cálculo.

b) La "porosidad eficaz" representa el agua que drenaría del acuífero por efecto de la gravedad, mientras que el "coeficiente de almacenamiento" incluye en los acuíferos 239 semiconfinados y confinados, al agua que drenaría por causa de un "efecto elástico" causado tanto sobre el acuífero como sobre el agua misma, ante el descenso de la presión. Generalizando, la primera representa al menos el 95% del total de agua que drenaría del acuífero.

c) Se considera suficiente precisión utilizar este parámetro para los fines del presente estudio, teniendo en cuenta su escala regional.

Se asignaron valores de porosidad eficaz por comparación(ver Tabla 5.2, en Brassington, 1988) de acuerdo con la granulometría y grado de compactación en los acuíferos de origen detrítico, mientras que para los no granulares como los constituídos por calizas, se usó su grado de fracturamiento y de disolución.

Finalmente, el cálculo de reservas(R) se efectuó para cada sistema acuífero, usando la fórmula:

$$R = A * E * P$$

INGEOMINAS

10.2 RESULTADOS

Los resultados obtenidos se muestran en las tablas Nº 44 á la 50, por bloques. La distribución areal esquemática de cada sistema acuífero se puede observar en las figuras 16, 17 y 18.

TABLA 44. CALCULO RESERVAS BLOQUE RIO CESAR

Sist. Acuífero	Rango Prof. (m)	Espesor Saturado Promedio (m)	Area (Km^2)	Porosidad Eficaz	Reservas ($10^6 m^3$)
Qt	0 - 25	12	268.12	0.23	740
Qcal	0 - 30	18	124.37	0.23	515
Qlla (S)	0 - 22	11	2002.50	0.10	2203
Qlla (i)	15 - 115	100	1307.50	0.25	32687
Qlla (p)	115 - 420	300	616.88	0.25	46266
					82411

(S) = Superficial, (i) = intermedio, (p) Profundo

TABLA 45. CALCULO RESERVAS BLOQUE LOS VENADOS

Sist. Acuífero	Rango Prof. (m)	Espesor Saturado Promedio (m)	Area (Km^2)	Porosidad Eficaz	Reservas ($10^6 m^3$)
Qlla	0 - 50	10	787.5	0.15	1181
Tpaa	25 - 350	200	225	0.15	6750
Kmc	15 - 370	200	314.33	0.03	1886
					9817

INGEOMINAS

TABLA 46. CALCULO RESERVAS BLOQUE CODAZZI - SICARARE

Sist. Acuífero	Rango Prof. (m)	Espesor Saturado Promedio (m)	Area (Km^2)	Porosidad Eficaz	Reservas ($10^6 m^3$)
Qlla (NE)	0 - 20	16	906.25	0.26	3770
Qlla (SW)	0 - 20	8	906.25	0.05	362
Tpb (NE)	10 - 170	60	457.5	0.10	2745
Tpb (SW)	15 - 150	80	203.12	0.10	1625
Ksl, Kmc	10 - 380	110	522.45	0.10	5747
Tpaa	20 - 390	350	173.75	0.21	12771
					27020

(NE) = Parte Noreste, (SW) = Parte Sureste

TABLA 47. CALCULO RESERVAS BLOQUE BECERRIL - LA LOMA

Sist. Acuífero	Rango Prof. (m)	Espesor Saturado Promedio (m)	Area (Km^2)	Porosidad Eficaz	Reservas ($10^6 m^3$)
Qlla, Qt, Qcal	0 - 20	10	1054.37	0.25	2636
Tpb (NE)	10 - 100	50	24.37	0.10	122
Tpb (SW)	160 - 350	50	64.37	0.10	322
Tmc	0 - 340	70	308.75	0.15	3242
Tpaa	20 - 380	350	156.25	0.21	11484
Kmc, Ksl	15 - 350	260	261.87	0.03	2043
Tec	15 - 340	140	308.75	0.07	3026
					22875

(NE) = Parte Noreste, (SW) = Parte Sureste

TABLA 48. CALCULO RESERVAS BLOQUE RINCON HONDO

Sist. Acuífero	Rango Prof. (m)	Espesor Saturado Promedio (m)	Area (Km^2)	Porosidad Eficaz	Reservas ($10^6 m^3$)
Qlla, Qt, Qcal	0 - 100	35	544.37	0.15	2858
Tpaa	60 - 220	160	145.62	0.12	2976
Tmc	170 - 380	170	145.62	0.25	6189
Kmc (N)	15 - 340	150	102.50	0.06	922
Kmc (5)	5 - 220	150	62.50	0.03	281
Kir (N)	120 - 370	60	102.50	0.05	307
Kir (S)	90 - 270	50	62.50	0.05	156
					13689

(N) = Parte Norte, (S) = Parte Sur

INGEOMINAS

TABLA 49. CALCULO RESERVAS BLOQUE ARIGUANI

Sist. Acuífero	Rango Prof. (m)	Espesor Saturado Promedio (m)	Area (Km^2)	Porosidad Eficaz	Reservas ($10^6 m^3$)
Qlla	0 - 40	16	1319.37	0.15	3166
Tpaa (1)	30 - 400	250	221.87	0.20	11094
Tpaa (2)	15 - 350	340	370.0	0.15	18870
Tpaa (3)	15 - 160	112	504.37	0.12	6779
Tpaa (4)	10 - 175	90	151.25	0.18	2450
Tmc	90 - 380	250	504.37	0.16	20175
					62534

(1) = Sector Caracolicito - Copey
(2) = Sector Bosconia - El Paso
(3) = Sector Potrerillo - Chiriguaná
(4) = Sector Guaimaral - Sabanagrande

TABLA 50. CALCULO RESERVAS BLOQUE ASTREA - SAN ALBERTO

Sist. Acuífero	Rango Prof. (m)	Espesor Saturado Promedio (m)	Area (Km^2)	Porosidad Eficaz	Reservas ($10^6 m^3$)
Qlla, Qcal, Qal (*)	0 - 20	7	579.37	0.14	568
Tpaa (1)	0 - 60	45	239.37	0.16	1723
Tpaa (2)	0 - 60	45	191.87	0.16	1381
Qcal, Tpaa (3)	0 - 300	250	1346.25	0.21	70678
Qcal, Tpaa (4)	10 -100	70	285.62	0.16	3199
Qcal, Tpaa (5)	0 -50	30	56.25	0.16	270
Qcal, Tpaa (6)	0 - 190	115	41.87	0.20	963
Qcal, Tpaa (7)	0 -310	225	283.75	0.13	8300
Qcal, Tpaa (8)	0 - 350	330	453.12	0.15	22430
Qcal, Tpaa, Qal (9)	0 - 240	150	1701.25	0.21	53589
Tpaa, Qal (10)	0 - 275	250	384.37	0.21	20180
Ksl	15 - 350	110	147.50	0.10	1622
					186469

(*) Acuíferos más superficiales sector Arjona - Pailitas
(1) Sector Oeste de Astrea
(2) Sector Este de Arjona
(3) Sector Astrea - Tamalameque
(4) Sector Soledad - Costilla
(5) Pelaya
(6) La Gloria
(7) Simaña - La Mata
(8) Ayacucho - Aguachica
(9) Gamarra - San Alberto
(10) Quebrada San Alberto

La suma total de las reservas de agua subterránea para el Departamento es aproximadamente 405.000 millones de metros cúbicos. Es importante anotar en este punto, que aunque el cálculo se restringe a los límites políticos del Departamento, buena parte de los sistemas acuíferos de los bloques Ariguaní, Astrea-San Alberto y Río Cesar tienen continuidad en los departamentos vecinos de Magdalena, Bolivar-Santander y Guajira respectivamente.

En cuanto a los bloques con mayor cantidad de reservas por unidad de área se destacan:

- Río Cesar
- Codazzi-Sicarare
- Ariguaní
- Astrea- San Alberto

Para terminar los sistemas acuíferos con mayores reservas por unidad de área son:

INGEOMINAS

SISTEMA ACUÍFERO	BLOQUE	$m^3 * 10^6/km^2$
Qlla(Profundo)	Río Cesar	75.0
Tpaa	Codazzi-Sicarare	73.5
Tpaa	Becerril-La Loma	73.5
Qcal,Tpaa(Sector Astrea-Tamalameque)	Astrea-San Alberto	52.5
Tpaa,Qal(Sector Quebr. San Alberto)	Astrea-Sn. Alberto	52.5
Tpaa(Sector Bosconia-El Paso)	Ariguaní	51.0
Tpaa(Sector Caracolicito-Copey)	Ariguaní	50.0
Qcal,Tpaa,(Sector Ayacucho-Aguachica)	Astrea- San Alberto	49.5

INGEOMINAS

11. REGIONES CON MEJORES POSIBILIDADES PARA LA EXPLOTACIÓN Y EL DESARROLLO DEL RECURSO AGUA SUBTERRANEA

En este aparte del estudio se pretende seleccionar y señalar las regiones del Departamento con mejores posibilidades para el aprovechamiento del recurso, con base en el anáĺisis y valoración de los resultados obtenidos en todas las actividades realizadas dentro de este proyecto y que han sido expuestas previamente.

11.1 CRITERIOS DE SELECCION

Para la selección de estas regiones se utilizan criterios de tipo hidrogeológico y económico, estos últimos relacionados con la disminución de costos en la construcción y operación de la captación dada. Los criterios utilizados se aplican a los sistemas acuíferos con importancia hidrogeológica relativa grande, intermedia y pequeña. A continuación se da una lista de dichos criterios :

- Profundidad de Captación
- Productividad
- Calidad Físico-Química del Agua Actualmente.
- Reservas

- Recarga
- Importancia Hidrogeológica Relativa
- Riesgo Salinización de Suelos y Acuíferos
- Grado de Explotación.

A cada uno de estos criterios se les asigna una escala de calificación, la cual siempre varía de 0 a 10, tratando de establecer un "peso" similar para todos en la evaluación final, a pesar de que dicha escala es subjetiva. Al final de este capítulo se hace la clasificación anunciada con base en la suma de los puntajes parciales obtenidos en cada uno de los criterios mencionados, siendo las regiones con mejores posibilidades las que tengan mayores puntajes.

11.1.1 Profundidad de Captación. Se refiere a la factibidad de captar un sistema acuífero dado a la menor profundidad posible. El rango de calificación se discrimina como sigue:

RANGO DE PROFUNDIDAD(m)	CALIFICACIÓN
0 - 100	10.0
100 - 200	7.5
200 - 300	5.0
300 - 400	2.5



11.1.2 Productividad. Este criterio tiene relación con los caudales que producen las captaciones de la región y del acuífero en cuestión, de acuerdo con los datos recolectados durante la etapa de inventario y los resumidos en la plancha 11. Con esto se quiere mostrar la "bondad" relativa, de los sistemas acuíferos analizados, para producir agua. Se establecen cuatro categorías, en las cuales hay una de "Información insuficiente", a la cual se asigna una calificación intermedia a las otras tres, por la duda que significa esta carencia de información.

CATEGORÍA	CALIFICACION
Mayor de 30 l/s	10.0
Entre 10 y 30 l/s	6.5
Menor de 10 l/s	3.5
Información Insuficiente	6.5

11.1.3 Calidad Físico-Química del Agua Actualmente. Se define con base en los resultados generalizados de su aptitud para consumo humano y riego. Estos se agrupan en cuatro categorías que de mayor a menor calidad relativa son:

CATEGORIA	CALIFICACIÓN
Buena	10.0
Generalmente buena, con problemas locales para C.H.(1 ó 2 parámetros) ó riego	7.5
Comúnmente con problemas para C.H.(1 ó 2 parámetros) ó riego	5.0
Comúnmente con problemas en mas de dos parámetros químicos para C.H. ó calidad regular a mala para riego	2.5

C.H. : Consumo Humano

11.1.4 Reservas. Para este caso, se tomaron como base los resultados del cálculo de reservas hecho por bloques y por sistemas acuíferos. Para homogeneizarlos de alguna manera, se propone la relación

$$c = R/A$$

expresada como 10^6 m^3 /km^2 , que da la posibilidad de comparar el volumen de reservas(R) acumulado por unidad de área(A), y como consecuencia permite establecer siete rangos de valores con sus respectivos puntajes, que muestran de máximo a mínimo, las condiciones de las reservas para los acuíferos del Departamento, como se ve a continuación:

RANGO DE c(10^6 m^3/km^2)	CALIFICACION
Mayor de 70.0	10
50.1 - 70.0	8
30.1 - 50.0	5
20.1 - 30.0	4
10.1 - 20.0	2.5
3.0 - 10.0	1
Menor de 3.0	0.5

11.1.5 Recarga. Como este factor se calculó para cada bloque tectónico por separado, para la presente evaluación se utilizan, como información básica, los valores de volumen de recarga real para un año medio(r) de cada bloque. Estos para poder ser comparados, debieron someterse a una relación similar a la efectuada con los valores de recarga en el numeral anterior:

$$m = r/a$$

donde, a = Area del bloque respectivo

El resultado(m) para cada bloque se expresa en 10^6 m^3/año/km^2 y al frente su calificación correspondiente:

INGEOMINAS

BLOQUE	m	CALIFICACIÓN
Becerril-La Loma	0.17	10.0
Rincón Hondo	0.11	7.5
Astrea-San Alberto	0.08	5.5
Los Venados	0.025	2.0
Codazzi-Sicarare	0.024	2.0
Rio Cesar	0.018	1.5
Ariguaní	0.015	1.0

El puntaje resultante se aplica a los sistemas acuíferos de un mismo bloque tectónico.

11.1.6 Importancia Hidrogeológica Relativa. Este criterio igual que los demás, se aplicó a los sistemas acuíferos en áreas donde tienen importancia relativa: Grande, Intermedia y pequeña, asignándoles allí respectivamente los puntajes: 10,5 y 1, de acuerdo con los resultados de la plancha 11 y el capítulo 8.

11.1.7 Riesgo de Salinización de suelos y acuíferos. Este criterio intenta definir el riesgo futuro, de desmejoramiento de la calidad de agua, existente en los sistemas acuíferos del Departamento, por causa de procesos de salinización inducidos o agravados, por la posible explotación del recurso.

Para este propósito se definen cuatro categorías, las cuales con su respectiva puntuación(C) son:

- Zona de suelos salinos, donde el acuífero superficial contiene agua salobre a salada, o bien ésta tiene tendencia a serlo y a incrementar aún mas su salinidad[3]. C=1.

- Zona con riesgo para el acuífero profundo, de ser salinizado por "lavado" de las sales del acuífero superficial que se le superpone[4]. C=4.

- Zona donde la explotación y el vertimiento continuado, del agua subterránea, de los acuíferos profundos subyacentes, podría agravar la tendencia de los suelos y del acuífero superficial a salinizarse[5]. C=8.

- Zona de muy bajo o inexistente riesgo de salinización para acuíferos y suelos en general. C=10.

---

[3] Para ver detalles sobre las causas remitirse al numeral 7.3.4.2.1.

[4] Causado principalmente por agua que se infiltra a partir de la lluvia y que puede ser incrementado al inducirse descensos del nivel freático por explotación intensiva. Se califica al acuífero profundo.

[5] Aquí se califica la posible incidencia negativa de una explotación intensiva y no controlada de los acuíferos profundos.

11.1.8. Grado de explotación. Se incluye este criterio con el propósito de aproximarse a calificar la cantidad de agua que se está sacando actualmente, en relación con la expectativa de una explotación adicional futura y el riesgo de posibles efectos adversos, que se pueden derivar de una eventual extracción "excesiva", para cualquier sistema acuífero y el medio biofísico que con él interactúa en los alrededores.

Para ese efecto, con base en los datos del inventario de puntos de agua, se toman los valores de extracción actual en cada acuífero(tablas 43a. a la 43g.) y se relacionan respecto al área ocupada por este dentro del bloque dado, tratando de dar una idea de la cantidad de agua extraída por unidad de área(x):

$$x = E/A$$

donde, E = Extracción total de agua del sist. acuífero por año.

A = Area ocupada por el sist. acuífero en el bloque tectónico dado.

Por lo tanto esta relación se expresa en m^3/año/km^2. Los resultados, igual que en situaciones similares ya expuestas, se ordenaron y clasificaron dentro de nueve rangos en orden ascendente, a los cuales se les asignó una calificación proporcionada de acuerdo con los valores máximo y mínimo y teniendo presente que los mayores valores de x significan una relativa mayor explotación.

INGEOMINAS

RANGOS DE x	CALIFICACIÓN
Mayor de 20000	0
8000 - 20000	0.1
2000 -7999	0.3
1000 - 1999	0.9
600 - 999	1.5
300 - 599	2.2
170 - 299	5.5
100 - 169	8.8
0 - 99	10.0

INGEOMINAS

11.2 RESULTADOS

TABLA 51. CALIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS ACUÍFEROS SEGÚN SU APTITUD PARA SER EXPLOTADOS

BLOQUE	SIST.ACUÍFERO	CALIFICACION								
		PRF	PRD	CAL	RS	REC	IMP	RIS	EXP	TOTAL
RIO CESAR	Qt	10.0	3.5	7.5	0.5	1.5	5	10	1.5	39.5
	Qcal	10.0	3.5	7.5	1	1.5	5	10	0.1	38.6
	Qlla(s)	10.0	3.5	2.5	0.5	1.5	10	1	0.9	29.9
	Qlla(i)	10.0	6.5	10.0	4	1.5	10	7	0.3	49.3
	Qlla(p)	5.0	10.0	10.0	10	1.5	10	8	0.9	55.4
LOS VENADOS	Qlla	10.0	3.5	2.5	0.5	2.0	1	1	2.2	22.7
	Tpaa	7.5	6.5	7.5	4	2.0	5	8	5.5	46.0
	Kmc	6.2	3.5	5.0	1	2.0	1	8	8.8	35.5
CODAZZI SICARARE	Qlla(NE)	10.0	3.5	2.5	1	2.0	5	1	0.9	25.9
	Qlla(SW)	10.0	3.5	2.5	0.5	2.0	5	1	0.9	25.4
	Tpb(NE)	8.7	3.5	5.0	1	2.0	1	6	2.2	29.4
	Tpb(SW)	8.7	3.5	5.0	1	2.0	1	6	2.2	29.4
	Ksl,Kmc	6.2	9.0	5.0	2.5	2.0	10	6	0.0	40.7
	Tpaa	6.2	6.5	7.5	10	2.0	5	8	5.5	50.7
BECERRIL LA LOMA	Qlla,Qt, Qcal	10.0	3.5	5.0	0.5	10	5	9	1.5	44.5
	Tpb(NE)	10.0	6.5	5.0	1	10	1	4	2.2	39.7
	Tpb(SW)	5.0	6.5	5.0	1	10	1	10	2.2	40.7
	Tmc	6.2	6.5	10.0	2.5	10	5	10	0.1	50.3
	Tpaa	6.2	6.5	7.5	10	10	5	6	5.5	56.7
	Kmc,Ksl	6.2	3.5	5.0	1	10	1	10	8.8	45.5
	Tec	6.2	3.5	7.5	1	10	1	10	0.0	39.2

INGEOMINAS

BLOQUE	SIST.ACUÍFERO	CALIFICACION								
		PRF	PRD	CAL	RS	REC	IMP	RIS	EXP	TOTAL
RINCON HONDO	Qlla, Qt, Qcal	10.0	3.5	7.5	1	7.5	7.5	10	0.3	47.3
	Tpaa	8.7	6.5	7.5	4	7.5	5	10	5.5	54.7
	Tmc	3.7	6.5	10.0	5	7.5	5	10	10	57.7
	Kmc(N)	6.2	3.5	5.0	1	7.5	5	10	10	48.2
	Kmc(S)	8.7	3.5	5.0	1	7.5	5	10	10	50.7
	Kir(N)	5.0	3.5	7.5	1	7.5	1	10	8.8	44.3
	Kir(S)	6.2	3.5	7.5	0.5	7.5	1	10	8.8	45.0
ARIGUANI	Qlla	10.0	3.5	2.5	0.5	1.0	5	5.5	0.9	28.9
	Tpaa(1)	6.2	5.0	7.5	5	1.0	5	6.4	0.9	37.0
	Tpaa(2)	6.2	5.0	7.5	8	1.0	5	8	1.5	42.2
	Tpaa(3)	8.7	5.0	7.5	2.5	1.0	5	10	1.5	41.2
	Tpaa(4)	8.7	5.0	7.5	2.5	1.0	5	10	0.3	40.0
	Tmc	5.0	6.5	10.0	5	1.0	5	10	10	52.5
ASTREA SN. ALBERTO	Qlla, Qcal, Qal(*)	10.0	3.5	7.5	0.5	5.5	1	10	8.8	46.8
	Tpaa(1)	10.0	5.0	7.5	1	5.5	5	10	2.2	46.2
	Tpaa(2)	10.0	5.0	7.5	1	5.5	5	10	1.5	45.5
	Qcal, Tpaa (3)	7.5	5.0	7.5	8	5.5	5	10	1.5	50.0
	Qcal,Tpaa (4)	10.0	6.5	7.5	2.5	5.5	5	10	1.5	48.5
	Qcal,Tpaa (5)	10.0	6.5	7.5	1	5.5	5	10	1.5	47.0
	Qcal,Tpaa (6)	8.7	6.5	7.5	4	5.5	5	10	1.5	48.7
	Qcal,Tpaa (7)	7.5	6.5	7.5	4	5.5	5	10	1.5	47.5
	Qcal,Tpaa (8)	6.2	6.5	7.5	5	5.5	5	10	1.5	47.2
	Qcal,Tpaa Qal(9)	7.5	6.0	5.0	5	5.5	5	10	0.3	44.3
	Tpaa,Qal (10)	7.5	8.2	7.5	8	5.5	7.5	10	0.3	54.5
	Ksl	6.2	6.5	5.0	2.5	5.5	5	10	1.5	42.2

Como se puede observar para cualquiera de los criterios calificados en la tabla 51, a veces las calificaciones asignadas no corresponden numéricamente a los rangos establecidos previamente; estas situaciones responden a los casos en que un sistema acuífero dado presenta variaciones laterales o verticales en la condición que se califica, por lo tanto, esto conlleva a la realización de promedios ó de ponderaciones que resultan en los valores anotados.

En el caso específico del criterio denominado " Grado de Explotación", para los sistemas acuíferos Qlla, Tmc y Tec, ubicados dentro del Bloque Becerril-La Loma, se tuvo en cuenta el desarrollo, en el futuro immediato, de la minería a "cielo abierto" del carbón en esta región. La razón, es que dicha actividad tendrá que descapotar en varias zonas los sistemas acuíferos mencionados para extraer aquel mineral, induciendo como consecuencia un desagüe considerable de los mismos. Como información básica se tomaron los resultados de la simulación matemática, hecha por Drummond(1983), para el área que ocuparía su mina. Con base en esto se definió que para los primeros cinco años de explotación y suponiendo que habrá en esta región tres minas de similar envergadura a la simulada, éstas causarán un flujo de 24 l/s provenientes del Qlla y unos 600 l/s provenientes de Tmc(20%) y de Tec(80%).

11.2.1 Análisis de los resultados. De la calificación total obtenida por cada sistema acuífero en la tabla 51, se agruparon

INGEOMINAS

aquellos con mayores puntajes en tres categorías, las cuales se proponen a CORPOCESAR para que sirvan como pauta, para su plan de gestión del recurso:

- 1a. Categoría. De 50 a 58 puntos: Estos son considerados como los que tienen las mejores condiciones para su explotación y desarrollo. Ellos de norte a sur son(Plancha 14):

  - Bloque Río Cesar : 1. Qlla(Acuífero profundo).
  - Bloque Codazzi-Sicarare : 2. Tpaa.
  - Bloque Becerril-La Loma : 3. Tmc.
    : 4. Tpaa.
  - Bloque Rincón Hondo : 5. Tpaa
    : 6. Tmc
    : 7. Kmc(Sector Sur)
  - Bloque Ariguaní : 8. Tmc
  - Bloque Astrea-San Alberto : 9.Qcal,Tpaa (Sector Astrea-Tamalameque)
    : 10. Tpaa, Qal (Sector Quebrada San Alberto)

- 2a. Categoría. De 45 a 49.9 puntos: Se deben considerar estos en segunda instancia por sus mayores limitaciones(Plancha 14):

  - Bloque Río Cesar : 11. Qlla(Acuífero Intermedio)
  - Bloque Los Venados : 12. Tpaa

- Bloque Becerril-La Loma : 13. Kmc,Ksl
- Bloque Rincón Hondo : 14. Qlla, Qt, Qcal *
  15. Kmc(Sector Norte)
  16. Kir(Sector Sur)
- Bloque Astrea-San Alberto : 17. Qlla,Qcal, Qal (Sector Arjona-Pailitas) *
  18. Tpaa(Sector Oeste de Astrea)
  19. Tpaa(Sector Este de Arjona)
  20. Qcal,Tpaa(Sector Soledad-Costilla)
  21. Qcal,Tpaa(Sector Pelaya)
  22. Qcal,Tpaa(Sector La Gloria)
  23. Qcal,Tpaa(Sector Simaña-La Mata)
  24. Qcal,Tpaa(Sector Ayacucho-Aguachica)

- 3a. Categoría. De 40 a 44.9 puntos: Deberían considerarse en tercera instancia,ellos son:
  - Bloque Codazzi-Sicarare : 25. Ksl,Kmc
  - Bloque Becerril-La Loma : 26. Qlla,Qt,Qcal *
    27. Tpb(Sector Suroeste)
  - Bloque Rincón Hondo : 28. Kir(Sector Norte)
  - Bloque Ariguaní : 29. Tpaa(Sector Bosconia-El Paso)
    : 30. Tpaa(Sector Potrerillo-Chiriguaná)
    : 31. Tpaa(Sector Guaimaral-Sabanagrande)

- Bloque Astrea-San Alberto : 32. Qcal, Tpaa, Qal (Sector Gamarra-Sn. Alberto)

33. Ksl

NOTA: Los sistemas acuíferos arriba marcados con (*), no se dibujaron en la plancha 14, pues se complicaría de gran manera su lectura. Estos corresponden a los acuíferos más someros en sus respectivos bloques, los cuales esencialmente serían captados con aljibés y captaciones similares poco profundas. Para visualizarlos se puede utilizar la plancha 1, donde ellos corresponden a las zonas coloreadas de tono gris en las áreas correspondientes a los bloques tectónicos Becerril-La Loma, Rincón Hondo y Astrea-Sn. Alberto(Este último solamente en el sector Arjona-Pailitas).

Para aquellos sistemas acuíferos que muestran puntajes menores de 40 puntos, como es obvio no poseen tan buenas posibilidades como los anteriores, aún mas en ciertos casos su explotación y desarrollo podrían poner en riesgo la integridad de los mismos y del medio que les rodea. Por eso cualquier decisión que en este sentido se tome debe ser cuidadosamente analizada, teniendo en cuenta los factores críticos que se enuncian en la tabla 51, con calificación baja.

Acerca de los rangos de profundidades a los cuales serían captados

los sistemas acuíferos atrás mencionados, se puede consultar en las tablas No. 44 a la 50.

INGEOMINAS

12. CONCLUSIONES

Geología

- En el subsuelo de la zona plana del Departamento, de acuerdo con los resultados de la cartografía geológica y la prospección geoeléctrica, realizadas en este proyecto, se pueden separar dos cuencas sedimentarias con estilos estructurales diferentes:

i) La del Río Cesar, que corresponde aproximadamente al área de la cuenca hidrográfica del mismo río, la cual se caracteriza por tener una tectónica compresional, con plegamientos y fallas inversas de dirección SW - NE que se continúan en la Serranía de Perijá.

ii) La del río Magdalena, que incluye arealmente al sector ubicado al occidente de la falla de Caracolicito, donde predomina una tectónica de bloques.

Hidrología

- El Departamento del Cesar se caracteriza por tener relativamente una alta pluviosidad. Se destacan dos zonas bastante húmedas: La zona norte del Departamento, hacia la Sierra Nevada de Santa Marta

(la precipitación anual multianual llega a valores mayores a los 2600 mm) y la parte suroccidental del mismo (precipitación anual multianual entre 1900 y 2200 mm). Las áreas más secas son el valle del río Ariguaní (Alrededor de Bosconia) y la parte alta del valle del río Cesar (Alrededores de Valledupar) con valores de precipitación menores de 1400 mm/año.

- Hidrológicamente el área estudiada tiene dos cuencas: La del Magdalena , que presenta una escorrentía anual entre 600 y 1200 mm y la del río Cesar, que en general tiene una escorrentía menor (200 a 900 mm/año).

- A pesar de tener zonas con condiciones climáticas extremadamente secas (déficit hídrico anual), en el área se presentan excedentes de agua disponibles para la recarga (recarga potencial). Se notan diferencias en el volumen de ésta y en los períodos de ocurrencia, dependiendo del grupo de suelo presente.

- La variación espacial en los parámetros climatológicos y de escorrentía, hacen que la recarga potencial sea diferente para el mismo tipo de suelo en diferentes zonas.

INGEOMINAS

Calidad del agua

- El 80% de las aguas subterráneas muestreadas en el Departamento del Cesar son químicamente potables, respecto a las normas de la OMS.

- El 70% de las aguas subterráneas muestreadas en el Departamento son adecuadas para riego, en suelos que tengan lavado moderado y para plantas moderadamente tolerantes a las sales.

- Las aguas subterráneas, analizadas para captaciones con caudales mayores a 2 l/s, son en general agresivas para aplicaciones industriales.

- Las aguas subterráneas que son químicamente impotables en los acuíferos de edad cuaternaria, se deben predominantemente a valores bajos de pH y a valores de manganeso por encima del "máximo permisible" establecido por la OMS.

- Del punto de vista de clasificación geoquímica, las aguas subterráneas del Departamento son predominantemente bicarbonatadas cálcicas y/ó magnésicas y en segundo lugar bicarbonatadas sódicas.

Hidrogeología

- Las direcciones de flujo establecidas, para el agua subterránea de los acuíferos cuaternarios superficiales, pertenecientes a la subprovincia hidrogeológica "Planicie del Cesar", muestran que ella fluye regionalmente hacia los ríos principales (Cesar, Ariguaní y Magdalena), lo mismo que hacia la zona de ciénagas (plancha 11). Lo anterior constituye a éstos cuerpos de agua superficial como "zonas de descarga" para el agua subterránea de los sistemas acuíferos mencionados. A manera de corolario se puede afirmar, que las ciénagas no solamente están alimentadas por los ríos y lluvias , si no también por agua subterránea.

- La mitad sur de la subprovincia hidrogeológica "Serranía de Perijá", es una región húmeda ocupada mayormente por unidades sedimentarias del Cretáceo (Figura 11). Una parte considerable de ellas, que aflora aproximadamente por encima de los 500 m.s.n.m., a pesar de aceptar recarga proveniente de la lluvia, no contribuye directamente con ella a la renovación de los recursos hídricos subterráneos, presentes en el subsuelo de la subprovincia "Planicie del Cesar" que limita con dicha región. Esto se debe a que dichas unidades sedimentarias forman allí parte del "Anticlinorio de La Serranía de Perijá" en su flanco oriental, lo cual impide en gran parte la conexión hidráulica directa, con sus equivalentes en el flanco occidental de la misma estructura(sector Casacará -

Codazzi). Como consecuencia, estas rocas de la parte alta de la Sierra, descargan el agua infiltrada hacia varios tributarios del río Cesar, que drenan a la altura mencionada. Un caso similar, pero de menor incidencia para la recarga, ocurre en el extremo norte de la subprovincia "Norte de la Cordillera Oriental", en frente del Sector Rincón Hondo - La Jagua (plancha 1).

- A escala regional, la subprovincia hidrogeológica "Planicie del Cesar", conforma el sector del Departamento donde se encuentran las mejores posibilidades para almacenamiento de agua subterránea.

- Del cálculo total de la recarga real debida a precipitación, para los sistemas acuíferos del Departamento, se estableció que independientemente del tipo de año para el cual se calcule (Húmedo, medio ó seco), el valor de la recarga real es aproximadamente un 32%, del valor calculado para la recarga potencial total debida a precipitación.

- En cuanto a la recarga proveniente de escorrentía e irrigación, se determinó que estas son fuentes potencialmente importantes de recarga indirecta, para los sistemas acuíferos del subsuelo de la subprovincia "Planicie del Cesar", en las áreas señaladas a continuación:

i) Por Escorrentía: - Margen derecha del Río Cesar.

- Cuenca hidrográfica del Río Magdalena.

ii) Por Irrigación: Especialmente en alrededores de los ríos Guatapurí, Badillo y Ariguaní, donde se extienden sistemas de canales de riego.

Aunque estas fuentes potenciales no se cuantificaron en el presente estudio, es importante tenerlas en cuenta para aplicaciones a escala local en las áreas enunciadas.

- Para las condiciones hidrogeológicas del Departamento del Cesar, la precipitación es la principal fuente de recarga para los sistemas acuíferos (834 millones m^3/año, en un año tipo medio). Por tanto la falta de cuantificación de la recarga proveniente de escorrentía y riego para las áreas antes mencionadas, permite considerar como "conservadores" a los cálculos presentados, especialmente en las áreas donde aquellos factores son potencialmente importantes.

Explotación

- En cuanto a municipios la mayor extracción a partir de pozos se realiza en Codazzi, donde también existe la mayoría de ellos. Le

siguen en cantidad extraída los municipios de: San Martín, San Alberto, Curumaní y Valledupar.

- El mayor uso del agua extraída de pozos es para irrigación (23.2 millones de m^3/año) en 3000 há. En segundo lugar, pero con mayor número de pozos, está el uso para consumo humano (72500 personas) con 9.5 millones de m^3/año.

- Los aljibes de mayor caudal están en jurisdicción de los municipios de Valledupar, La Paz, El Copey y Bosconia.

- Los aljibes son el 85% (2890) del total de las captaciones de agua subterránea en el Cesar y están a todo lo largo del Departamento en la zona plana.

- El agua extraída de aljibes es utilizada en su mayor parte para consumo humano (2.8 millones de m^3/año, para 45.000 personas), especialmente en fincas y casas ubicadas en pequeñas poblaciones. En segunda instancia se utilizan para ganadería (Abrevaderos) para lo cual se extraen alrededor de 2 millones de m^3/año.

- La extracción total de agua subterránea en el Departamento del Cesar se calcula en 41.015.000 de m^3/año, que equivale a un 5% de

su recarga real total(debida a precipitación) en un año medio, ó a un 16% de ésta en un año seco.

- De esa extracción total de agua subterránea, un 83% se hace a través de pozos, un 13% a partir de aljibes y un 4% por manantiales.

- Los bloques tectónicos donde actualmente se realiza una explotación más intensiva por unidad de área, son el del Río Cesar y el de Codazzi - Sicarare.

- En cuanto a los sistemas acuíferos, el que mayor extracción tiene actualmente por unidad de área es el Ksl (parte NE, Bloque Codazzi - Sicarare) con 22636 m^3/año/km^2, le sigue Qcal (Bloque Río Cesar) con 8578 m^3/año/km^2.

Reservas

- El total de reservas de agua subterránea, existentes hasta una profundidad promedio de 350 m, en el subsuelo del Departamento del Cesar, es aproximadamente de 405.000 millones de metros cúbicos.

- El cálculo de reservas resulta conservador, para aquellos sistemas acuíferos que están formando parte de estructuras plegadas en el subsuelo. La razón es que debido a los pliegues, allí es

mayor su área, que la respectiva proyectada en la superficie plana del terreno donde se mide.

- Los bloques tectónicos con mayor cantidad de reservas por unidad de área son:

Río Cesar	Ariguaní
Codazzi - Sicarare	Astrea - San Alberto

- Los tres sistemas acuíferos que tienen mayor cantidad de reservas por unidad de área son en su orden:

Qlla (Profundo,Bloque Río Cesar) con 75 x 10^6 m^3/km^2, Tpaa (Bloque Codazzi - Sicarare) con 73.5 x 10^6 m^3/km^2, y con la misma cantidad Tpaa (Bloque Becerril - La Loma).

INGEOMINAS

13. RECOMENDACIONES

- Dentro de la subprovincia hidrogeológica del Cesar, las áreas del acuífero superficial cuaternario, que bordean generalmente al piedemonte de toda la zona montañosa del Departamento y que se delimitan en la figura 8 como "caracterizadas por agua subterránea tipo bicarbonatada cálcica y/ó magnésica", sirven de guía para indicar donde puede estar ocurriendo la mayor parte de la recarga hacia esos depósitos. Ellas pueden servir junto con un "mapa de vulnerabilidad de los acuíferos" y dentro de un "plan de ordenamiento territorial" o similar, para controlar ó restringir cualquier tipo de desarrollo que implique vertimientos de contaminantes, que a su vez amenacen la calidad del agua que allí se infiltra hacia el subsuelo.

- La información sobre caracteristicas de construcción de los pozos existentes, es muy difícil de conseguir y sólo en el 25% de los 475 inventariados se obtuvo. Como ella es tan importante para mejorar tanto el conocimiento del recurso agua subterránea, como su gestión a nivel departamental, se sugiere:

i) Que CORPOCESAR intervenga para reglamentar, recuperar, compilar, ordenar y procesar dicha información.

ii) Concientizar mediante difusión , educación y reglamentación tanto a los constructores de pozos, como a los dueños de los predios donde se construyen, para que la entreguen y a su vez la conserven respectivamente.

- Establecer campañas de difusión sobre la necesidad de obras de protección y otras precauciones para evitar la contaminación directa del agua para consumo humano en los aljibes y manantiales(por basuras, animales, etc.). Lo mismo que sobre la elección del sitio de construcción de estas captaciones respecto al de los pozos sépticos(o a la inversa), para prevenir la contaminación indirecta de las aguas subterráneas.

- Controlar la aplicación de los sistemas de riego para que se use el tipo adecuado de agua, de acuerdo con el tipo de suelo existente, tratando de evitar daños mayores tanto a los suelos como a la misma agua subterránea de la región donde se apliquen.

- Para el caso de los recursos de agua subterránea que no son potables por naturaleza, o que no cumplen con los requisitos para un uso industrial especifico, como su problema es esencialmente por los valores anómalos de manganeso,hierro, pH y en menor proporción por dureza y sólidos totales disueltos, su tratamiento para volverlos potables y aptos para uso industrial es relativamente simple y por lo tanto pueden ser perfectamente considerados desde

el punto de vista económico, como alternativas de abastecimiento en sus regiones respectivas.

- En el presente estudio se propone una metodología nueva, donde mediante el análisis y valoración de ocho criterios diferentes, de tipo hidrogeológico y económico, se seleccionaron y agruparon los sistemas acuíferos con mejores posibilidades para su explotación y desarrollo, en tres categorías diferentes(de acuerdo a la calificación obtenida. (Tabla 51). Estas categorías se proponen a CORPOCESAR, como una guía para su plan de gestión del recurso agua subterránea.

- Para los sistemas acuíferos que no poseen tan buenas posibilidades como los anteriores, se sugiere a CORPOCESAR para establecer su plan de explotación y desarrollo, tener en cuenta los factores críticos en los cuales dichos sistemas acuíferos obtuvieron calificación baja (tabla 51), con el fin de analizar cuidadosamente cualquier decisión especifica, que en este sentido pudiera poner en riesgo la integridad de los mismos acuíferos y del medio circundante.

INGEOMINAS

BIBLIOGRAFIA

ARAQUE, G., 1982. Estudio Hidrogeológico de la zona entre los ríos Cesar y Ariguaní y las estribaciones de la Sierra Nevada de Santa Marta (Colombia). INSFOPAL - TNO. Bogotá.

ARIAS, A., y MORALES, C., 1994. Proyecto Evaluación del Agua Subterránea en el Departamento del Cesar. Informe Geológico. Corpocesar - Ingeominas. Santafé de Bogotá.

ARIAS, A., y VARGAS, R., 1980. Geología de las Planchas 86, Abrego y 97, Cáchira. INGEOMINAS, Inf. 1759. Bogotá.

Brassington, R. 1988. Field Hydrogeology. Geol. Soc. of London Prof. Handbook. Open University Press. G. Britain.

BROWN, E., Skougstad, M. y Fishman, M. 1970. Methods for Collection and analysis of water samples for dissolved minerals and gases Techniques of Water. Resources investigations of the S.G.S. Waschington.

CARREÑO, J., 1974. Posibilidades de abastecimiento con agua subterránea a la Granja Motilonia, municipio de Agustin Codazzi. Hidrominas Ltda. Santafé de Bogotá.

CARRERA, E. S., 1992. Estudio General de los Suelos de los Municipios de Codazzi, Manaure, La Paz, San Diego, y Becerril (Departamento del Cesar). Instituto Geográfico "AGUSTIN CODAZZI". Subdirección de Agrología. Bogotá.

CASTRO, M.A., y GUZMAN, O., 1985. Estudio Comparativo de Fórmulas de Evapotranspiración Potencial en Colombia. Instituto Colombiano de Hidrología, Meteorología y Adecuación de Tierras - HIMAT. Bogotá.

CHOW, V. T., 1964. Handbook of Applied Hydrology. Mc. Graw Hill Co.

CLESCERI, L.S., Greenborg, A.E. y Trussel, R. 1989. Standard methods for the examination of water and wastewater. 17th edition. Publication office APHA, Waschigton, D.C.

COLPOZOS S.A., 1994. Datos P. de Bombeo y diseño pozo Hda. El Carmen II.

-----, 1994. Informe Perforación Pozo La Mata (Chimichagua, Cesar).

CUSTODIO, E. y LLAMAS, M., 1983. Hidrología Subterránea, Tomos I y II. Editorial Omega. Segunda Edición. Barcelona, España.

DACONTE, R. Y MANJARRES, J., 1991. Perforación, análisis y resultados obtenidos en la construcción del pozo Hacienda El Hachón, Caracolicito - Cesar. Ingeominas. Bogotá.

DACONTE, R., y SALINAS, R., 1980. Geología de las planchas 66. Miraflores y 76, Ocaña. Inf. No. 1544. Ingeominas. Bogotá.

DANE, 1993. Censo Nacional de Población. Departamento Administrativo Nacional de Estadística. Bogotá.

DIEZEMANN, W., 1955. Posibilidades para la construcción de acueductos con agua subterránea en las poblaciones de Chiriguaná y Chimichagua, Departamento del Magdalena; concepto sobre algunas obras ya efectuadas. Informe No. 1138. Servicio Geológico Nacional. Bogotá.

DRUMMOND LTD., 1983. Preliminary Evaluation of the Groundwater regime of the La Loma Coal Licences, Cesar Department, Colombia. A. Summary.

ECOPETROL, 1990. Proyecto Cesar. Ranchería. Empresa Colombiana de Petroleos. Instituto Colombiano del Petroleo.

ESLAVA, J. A., Et al. 1986. Los Climas de Colombia. Atmósfera No. 7 Bogotá.

FASSBENDER, H.W., 1982. Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. Inst. Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José. (Costa Rica).

FORERO, A., 1970. Estratigrafía del Precretácico en el flanco occidental de la Serranía de Perijá. Geología Colombiana No. 7. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.

GARCIA, C., 1990. Proyecto Cesar - Ranchería. Informe Final. ECOPETROL. Div. Exploración. Predecuesta.

GEOAMERICA LTDA, 1990. Estudio Geoeléctrico Area Prodeco. La Loma - Cesar. Ingeniería e Hidrosistemas. Santafé de Bogotá.

GOMEZ, C., 1982. Estudio Hidrológico Cuenca Río Cesa. Instituto Colombiano de Hidrología, Meteorología y Adecuación de Tierras - HIMAT. Bogotá.

GOVEA, E., y DUEÑAS, E., 1975. Informe Geológico preliminar de la Cuenca del Cesar. Empresa Col. de Petróleos, ECOPETROL. Inf. 390, 37 p., Bogotá.

HEM, J.D., 1971. Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural water. U.S.G.S. water Supp. Paper 1473. 269 pp. Washington.

HIMAT, 1986. Manual de Geografía de Colombia, Climatología e Hidrología. Instituto Colombiano de Hidrología, Meteorología y Adecuación de Tierras. Bogotá.

-----, 1991. Anuario Hidrológico 1988. Tomo I.: Vertiente Caribe. Instituto Colombiano de Hidrología, Meteorología y Adecuación de Tierras, Bogotá.

HUGUETT, A., MOSQUERA, F. y MOLANO, C., 1989. Mapa Hidrogeológico de Colombia - Memoria Explicativa. Ingeominas. Bogotá.

ICP. 1991. Seminario Evaluación de dificultades y mejoramiento del control de calidad en el análisis de las Aguas Subterráneas. Bucaramanga.

IGAC, 1987. Informe Catastral del Departamento del Cesar. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Bogotá.

-----, 1993. Características Geográficas del Departamento del Cesar. Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Subdirección de Geografía, Santafé de Bogotá.

INSFOPAL, 1974. Acueducto regional Caracolicito - El Copey - Bosconia (Cesar). Inf. Técnico. Perforación Pozo Palmariguaní (Bosconia).

-----, 1979. Pozo No. 1. Aguasblancas - Cesar. Inf. Técnico.

-----, 1979. Pozo No. 1, Astrea - Cesar. Inf. Técnico.

-----, 1979. Pozo No. 1. Palmariguaní (Bosconia - Cesar). Inf. Técnico.

-----, 1980. Pozo No. 1. Saloa - Cesar. Inf. Técnico.

ITAMAR, N. D., 1976. Evaluación de la Evapotranspiración Potencial en Colombia según el método C.W. THORNTHWAITE. Instituto Colombiano de Hidrología, Metereología y Adecuación de Tierras - HIMAT. Bogotá.

ITAMAR, N. D., y GUZMAN, O., 1977. Estudio sobre la Evaporación Media desde la Superficie del Agua en Colombia. Instituto Colombiano de Hidrología, Meteorología y Adecuación de Tierras - HIMAT. Bogotá.

LA MOREAUX, ASSOCIATES, 1964. Los recursos de agua subterráneas en la Zona de Codazzi, Colombia, con referencia especial a su irrigación. Corporación Autónoma Regional de los Valles del Magdalena y de Sinú.

LLOYD, J.W. Y HEATHCOTE, J.A., 1985. Natural Inorganic hydrochemistry in relation to groundwater. Clarendon Press. Oxford.

LOBO-GUERRERO, A., 1966. Abastecimiento con aguas subterráneas para Pelaya (Magdalena), inf. No. 1515. Servicio Geológico Nacional. Bogotá.

-----, 1971. Estudio Hidrogeológico del Valle del Río Ariguaní; Estudio de factibilidad de Desarrollo Agrícola en el Valle del Río Ariguaní; ELMEC - MECO para el Incora. Inédito.

-----, 1991. Estudios Hidrogeológicos para los Acueductos de Chiriguaná, La Loma y El Paso. (Departamento del Cesar). Lobo-Guerrero Geología Ltda. Bogotá. D.E. Colombia. 101 pp.

LOPEZ CASAS, J., 1958. Informe preliminar sobre la irrigación con agua subterránea del Municipio de Codazzi, Departamento del Magdalena; informe No. 1289, Servicio Geológico Nacional, Bogotá.

MEJIA, L., y MATEUS, L., 1978. Recursos Carboníferos de la Jagua de Ibirico (Cesar), Inf. No. 1732. Ingeominas. Bogotá.

MILLER, J. B., 1962. Tectonic Trends in Sierra de Perijá and adjacent parts Venezuela and Colombia. American Association of Petroleum Geologists Bulletin, Vol 46, No. 9.

PEDRO, D., Et al., 1986a. Estudio Semidetallado de Suelos de la parte Plana y General de la parte Quebrada de los Municipios del Sur del Departamento del Cesar. Instituto Geográfico "AGUSTIN CODAZZI", Subdirección de Agrología. Bogotá.

-----, 1986b. Estudio General de Suelos de los Municipios de Curumaní, Chimichagua, y la Jagua de Ibirico (Departamento del Cesar). Instituto Geográfico "AGUSTIN CODAZZI". Subdirección de Agrología.

PERFOGUAJIRA Ltda., 1990. Pozo de Sta. Isabel. Municipio Curumaní. Inf. Técnico.

-----, 1993. Informe Técnico Pozo Profundo Corregimiento La Loma, Municipio El Paso.

-----, 1993. Informe Técnico Pozo Profundo Municipio El Paso.

-----, 1993. Pozo Profundo. Municipio Astrea. Inf. Técnico.

PRODECO S.A., 1991. Estudios hidrológicos, hidrogeológicos y geotécnicos área concesión Río Calenturitas. Inf. Hidrogeológico y Anexos. Ingeniería e Hidrosistemas Ltda.

P&P Ltda., 1990. Informe final Construcción Pozo Profundo Corregimiento Pto. Carreño, San Alberto (Cesar).

ROCHA, F.M., 1995. Guía para la implementación del Banco de Datos Hidrogeológicos CORPOCESAR. Convenio CORPOCESAR - INGEOMINAS. Proyecto Evaluación del Agua Subterránea en el Departamento del Cesar. Bogotá.

RODRIGUEZ, M. G., y DE BERMOUDES, O. N., 1992. Modelo de Balance de Humedad del Suelo propuesto para el cálculo de la recarga en la Sabana de Bogotá. CIDIAT. Bogotá.

ROYERO, y OTROS. Mapa Geológico de la Plancha 65, Tamalameque (en elaboración). Ingeominas, regional Bucaramanga.

RUSHTON, K., KAWECKI, M. and OTHERS, 1988. Groundwater Model of Conditions in Liverpool Sandstone Aquifer. Journal of the Institution of Water and Enviromental Management. Vol, 2, No. 1, february. University of Birminghan. England.

SHAW, F. M., 1983. Hidrology in practice. Van Nostrand Reinhold Co., Ltda. England.

TAHAL CONSULTING ENGINEERS LTD., 1972. Cesar No. 1 Project, Feasibility Study, Stage One Development Area, Vol. Two, Basic Data; INCORA. Bogotá.

TSCHANZ, CH., JIMENO, A., CRUZ, J. y OTROS., 1969. Mapa Geológico de Reconocimiento de la Sierra Nevada de Santa Marta - Colombia. Ingeominas. Bogotá.

UNESCO, 1989. Mapa Hidrogeológico de América del Sur, Escala 1:5.000.000, Text Explicativo. Programa Hidrológico Internacional. Montevideo, Uruguay.

-----, 1993. Evaluación de los Recursos Hídricos. Manual para un estudio de apreciación de las actividades nacionales. UNESCO. Montevideo, Uruguay.

URPA, 1990. Diagnóstico Agropecuario del Departamento del Cesar. Unidad Regional de Planificación Agraria. Valledupar.

VARGAS, A. y ANGEL, C. 1995. Investigación Hidrogeoquímica del Agua Subterránea en el Departamento del Cesar. Proyecto Evaluación del Aguas Subterránea en el Departamento del Cesar. CORPOCESAR - INGEOMINAS. Santafé de Bogotá.

VASQUEZ, A., 1994. Prospección Geoeléctrica en el Departamento del Cesar. Proyecto Evaluación del Agua Subterránea en el Departamento del Cesar. CORPOCESAR - INGEOMINAS. Santafé de Bogotá.

WARD, D., GOLDSMITH, R., y OTROS, 1973. Geología de los cuadrángulos H-12 Bucaramanga y H-13 Pamplona, Departamento de Santander. Ingeominas. Bol. Geol. Vol. 21 No. 1-3. Bogotá.

WHITE, H., 1932. A method of estimating groundwater supplies based on discharge by plants and evaporation from soil. U.S. Geological Survey, Water Supply Paper 659, Waschington D.C.

WHO, 1984. Guidelines for drinking water quality. Vol. 1. Recommendations, Who. Geneva.

WOKITTEL, R., 1957. Bosquejo geográfico y geológico de la Sierra Nevada de Santa Marta y la Serranía de Perijá, Informe No. 1193. Boletín Geológico, Vol. V, número 3. Servicio Geológico Nacional. Bogotá.