I-2222.2

86

INGEOMINAS

CONVENIO INTERADMINISTRATIVO

CORPOCESAR - INGEOMINAS

PROYECTO

EVALUACION DEL AGUA SUBTERRANEA EN EL DEPARTAMENTO DEL CESAR

INVESTIGACION HIDROGEOQUIMICA DEL AGUA SUBTERRANEA EN EL DEPARTAMENTO DEL CESAR

INFORME FINAL

Por:

Alvaro Vargas - Carlos E. Angel M.

Santafé de Bogotá, D.C., Febrero de 1995

INGEOMINAS

CONTENIDO

Pág.

RESUMEN

1. INTRODUCCION 1

1.1. OBJETIVOS 1

1.2. METODOLOGIA 1

1.2.1 Muestreo. 1

1.2.2 Preservación. 2

1.2.3 Análisis. 3

1.2.3.1. Análisis de Campo. 3

1.2.3.2. Análisis de Laboratorio. 6

1.2.4 Resultados 8

1.2.4.1. Calidad del Análisis. 8

2. INTERPRETACION DE RESULTADOS 10

2.1. CALIDAD DEL AGUA SUBTERRANEA 10

2.1.1. Calidad del Agua para Consumo Humano. 10

2.1.1.1 Unidades acuíferas de edad cuaternaria. 12

2.1.1.1.1 Distribución geográfica de las aguas subterráneas con base en su potabilidad química para los acuíferos Cuaternarios. 15

2.1.1.2 Unidades acuíferas del Terciario. 17

2.1.1.3 Unidades acuíferas del Cretáceo. 17

2.1.1.4 Unidades acuíferas del Jurásico. 17

2.1.1.5 Parámetros que afectan la potabilidad. 17

2.1.2. Calidad del Agua para Irrigación. 22

2.1.2.1. Hierro y Manganeso. 22

INGEOMINAS

2.1.2.2. Características de pH. 23

2.1.2.3. Relación de Adsorción de Sodio. 23

2.1.2.4. Conductividad. 26

2.1.2.5. Clasificación de las Aguas Subterráneas para Riego, según el Diagrama Wilcox-Thorne. 27

2.1.2.6 Carbonato de Sodio Residual. 27

2.1.2.7 Síntesis de Resultados de Clasificación del Agua Subterránea para Riego. 28

2.1.2.7.1 Distribución Geográfica de las Aguas Subterráneas, de los Acuíferos de Edad Cuaternaria, en el Departamento del Cesar, en función de su calidad para irrigación. . . 29

2.1.2.7.2. Calidad Agua para Riego en las Unidades Acuíferas del Terciario. 30

2.1.2.7.3. Calidad para Riego en las Unidades del Cretáceo. 31

2.1.2.7.4. Calidad del Agua para Riego en las Unidades Acuíferas del Jurásico. 31

2.1.3 Calidad del Agua para usos Industriales. 32

2.1.3.1 Corrosión e Incrustación. 32

2.1.3.1.1 Indice de saturación. 33

2.1.3.2 Otros factores. 34

2.1.3.2.1 Hierro y Manganeso. 34

2.1.3.2.2 Potencial Redox. 36

2.1.3.2.3 Relación entre el Contenido de Hierro y Manganeso y el Potencial Redox. 37

2.1.3.2.4 Oxígeno Disuelto. 38

2.1.3.2.5 Cloruros. 39

2.1.3.2.6 Sulfatos. 40

2.2 HIDROGEOQUIMICA 40

2.2.1 Conductividad. 41

2.2.1.1 Clasificación de las aguas. 41

2.2.1.1.1 Unidades acuíferas del Cuaternario. 41

2.2.1.1.1.1 Dirección del flujo subterráneo en los acuíferos libres cuaternarios. 43

2.2.1.1.2 Unidades acuíferas del Terciario. 43

2.2.1.1.3. Unidades acuíferas de Cretáceo. 43

2.2.1.1.4 Unidades acuíferas del Jurásico. 44

2.2.2 Clasificación Geoquímica. 44

2.2.2.1 Unidades Acuíferas de edad Cuaternaria. 47

2.2.2.1.1 Relación entre las Unidades Acuíferas del Cuaternario y las Características Físico-químicas de sus Aguas Subterráneas. 48

2.2.2.2 Unidades Acuíferas de edad Terciaria. 54

2.2.2.3 Unidades acuíferas de edad Cretácea. 54

2.2.2.4 Unidades Acuíferas del Jurásico. 55

3. AGUAS SUPERFICIALES 56

3.1 TOMA DE MUESTRAS 56

3.2 ANALISIS 57

3.3 RESULTADOS 57

3.4 INTERPRETACION DE RESULTADOS 57

3.4.1 Calidad del Agua para Consumo Humano. 58

3.4.2 Calidad del Agua para Irrigación. 59

4. CONCLUSIONES 60

5. RECOMENDACIONES 63

BIBLIOGRAFIA 64

INGEOMINAS

FIGURAS

		Pág.
Figura 1.	Diagrama de la clasificación de aguas para riego.	25
Figuras 2 a 28.	Diagramas Wilcox - Thorne	Anexo 2
Figura 29.	Subdivisiones del Diagrama Piper. Iones dominantes en aguas subterráneas.	45
Figuras 30 a 52.	Diagramas Piper	Anexo 3
Figura 53.	Distribución clasificación geoquímica de las aguas de los acuíferos Cuaternarios.	46
Figura 54.	Diagrama de flujo de procesos implicados en salinización de aguas del acuífero libre del Cuaternario.	52

INGEOMINAS

ANEXOS

Anexo 1. Resultados del Análisis físico-químico de las aguas superficiales.

Anexo 2. Clasificación de las aguas subterráneas para riego: Diagrama Wilcox Thorne.

2.1 Diagramas Wilcox Thorne

2.2 Listados de las muestras respectivas

Anexo 3. Diagramas Piper.

INGEOMINAS

MAPAS
(En bolsillo)

Plancha 1. (Norte y Sur) - Mapa de distribución de potabilidad química del agua de los acuíferos de las unidades Cuaternarias, según las normas OMS - 1971.

Plancha 2. (Norte y Sur) - Mapa de distribución de calidad del agua para irrigación y curvas de isoconductividad para el acuífero libre de las unidades Cuaternarias.

INGEOMINAS

TABLAS

Pág.

Tabla 1. Preservación de muestras. 3

Tabla 2. Análisis fisicoquímico. 6

Tabla 3. Métodos analíticos. 7

Tabla 4. Normas y criterios de calidad física y química del agua potable. 11

Tabla 5. Normas de calidad para el agua potabla OMS, 1971 (Parámetros físico-químicos). 12

Tabla 6. Muestras en las cuales un parámetro sobrepasa el máximo permisible de las normas OMS 1971. 13

Tabla 7. Muestras en las cuales más de un parámetro sobrepasa el máximo permisible de la OMS 1971. 14

Tabla 8. Rangos de concentración hallados en las muestras relacionadas en las tablas 6 y 7. 15

Tabla 9. Criterios físico-químicos, de calidad, admisibles. Agua para uso agrícola según el Decreto 1594 de 1984. 23

Tabla 10. Clasificación de las aguas respecto al riesgo por salinidad. 26

Tabla 11. Rangos de las concentraciones límites recomendadas para las aguas de procesos industriales. 33 A/B

Tabla 12. Muestras con más de 2 mg/L de Fe. 34

Tabla 13. Muestras con más de 1 mg/L de Mn. 35

Tabla 14. Relación entre el Potencial Redox y el Contenido de Hierro y Manganeso en pozos. 38

Tabla 15. Aguas corrosivas por valores de cloruros mayores de 500 mg/L. 39

Tabla 16. Rangos de profundidad de pozos y aljibes muestreados. 41

INGEOMINAS

FOTOGRAFIAS

Pág.

Fotografía 1. Toma de muestras con muestreador. 4

Fotografía 2. Análisis en sitio de muestreo. 5

RESUMEN

El presente estudio hidrogeoquímico hace parte del denominado "Evaluación del agua subterránea en el Departamento del Cesar", en cumplimiento del convenio INGEOMINAS - CORPOCESAR del 28 de Agosto de 1992. Sus objetivos principales son la evaluación de la calidad del agua subterránea para consumo humano, irrigación y uso industrial; asi mismo su evolución geoquímica e implicaciones de la misma. Para este efecto se colectaron muestras de agua con una densidad aproximada de una por cada 10 km^2 en pozos, aljibes y manantiales, a las cuales se les efectuó análisis fisico-químico.

Los resultados, acompañados de mapas de distribución y explicaciones probables de ésta, muestran que el 80% de las aguas subterráneas muestreadas en el Departamento son químicamente potables, de acuerdo con las normas OMS(1971). Por otro lado el 70% de esas aguas son adecuadas para riego, en suelos que tengan lavado moderado y en plantas moderadamente tolerantes a las sales. Para usos industriales, en general las aguas subterráneas de captaciones con caudales mayores a 2 l/s, tienen tendencia a ser "agresivas", además por sus contenidos de hierro y manganeso, las aguas de pozos son en su mayoría adecuadas para este uso con excepciones de carácter local.

Desde el punto de vista geoquímico, las aguas subterráneas del Departamento son predominantemente bicarbonatadas cálcicas y/ó magnésicas, las cuales a su vez son guía para saber donde ocurre la mayor parte de la recarga hacia los acuíferos. En segunda instancia dichas aguas se clasifican como bicarbonatadas sódicas. Al respecto se encontró que las áreas con tipo de agua bicarbonatado sódico tienden a estar aguas abajo de las áreas ocupadas por las aguas cálcicas y/ó magnésicas. Referente a esto se presenta una hipótesis explicatoria. También de la distribución regional de las líneas de isoconductividad eléctrica, hechas para las aguas de los acuíferos libres de edad cuaternaria, se puede deducir que el flujo de éstas es hacia los cauces de los rios Cesar, Ariguaní y Magdalena, lo mismo que hacia la zona de ciénagas.

Con referencia a las aguas que no son químicamente potables o que ofrecen inconvenientes para uso industrial, se enuncian los tratamientos y correctivos respectivos que eventualmente las habilitaría para estos usos. Finalmente se dan algunas recomendaciones sobre prevención y control de la contaminación en acuíferos superficiales, a partir de aljibes y manantiales, lo mismo que en suelos a partir del agua de riego.

INGEOMINAS

1. INTRODUCCION

El presente trabajo es parte integral del estudio "Evaluación del agua subterránea en el Departamento del Cesar", realizado por el INGEOMINAS para CORPOCESAR, dentro del convenio firmado el 28 de agosto de 1992 para este fin.

1.1. OBJETIVOS

- Evaluación de la calidad del agua subterránea del departamento, para consumo humano, irrigación y uso industrial.
- Clasificación geoquímica de las aguas subterráneas.
- Determinación de la dirección aproximada del flujo subterráneo en el acuífero libre.

1.2. METODOLOGIA

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

1.2.1 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 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.

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

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.

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).

En los pozos, la muestra se tomó a la salida del sistema de bombeo después de esperar un tiempo suficiente, para permitir la evacuación del agua almacenada en la tubería del pozo y la salida de agua proveniente directamente del acuífero.

Para los aljibes, se utilizó un muestreador especial diseñado en INGEOMINAS, fotografía No. 1, de tal manera que las muestras se tomararon a un metro de profundidad, respecto al nivel estático. Este procedimiento se usó también en algunos pozos que carecían de equpo de bombeo.

En los manantiales la muestra se tomó superficialmente, libre de turbiedad, en lo posible.

Las muestras de los ríos y Ciénagas son puntuales y se tomaron en general al centro de aquellos y a unos 100 metros de la orilla de éstas.

1.2.2 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 1.

INGEOMINAS

TABLA 1
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

1.2.3 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. En la tabla 2, se relacionan los parámetros que comprende el análisis físico químico. 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.

1.2.3.1. 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 (Fotografía No. 2).

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



Fotografía No. 1

Toma de muestras con muestreador en un pozo.



Fotografía No. 2

Análisis en el sitio de muestreo.

INGEOMINAS

Tabla 2

Análisis Fisicoquímico

	Unidades
Temperatura	°C
Alcalinidad total	mg Caco3/l
Color	Co - Pt
Conductividad	ms/m
Dureza total	mg CaCO3/l
pH	
Solidos en solución	mg/l
Turbiedad	NTU

Iones en solución: (mg/l)

Calcio,	Ca^{++}
Hierro,	Fe^{++}
Magnesio,	Mg^{++}
Manganeso,	Mn^{++}
Potasio,	K^{+}
Sodio,	Na^{+}
Bicarbonatos,	HCO_3^{-}
Carbonatos,	CO_3
Cloruros,	Cl^{-}
Nitratos,	NO_3^{-}
Sulfatos,	$SO_4^{=}$

1.2.3.2. 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 con lo indicado en la tabla 3.

El procedimiento seguido se señala con siglas, que indican el manual de referencia, así: SM = Clesceri (1989).
QA: Laboratorio de Química Ambiental (1991).
ASTM: American Society for testing materials (1977).
Como control, se analizó, paralelamente a las muestras, una muestra de agua sintética, referencia AVQA, cuya composición teórica es la siguiente:

	mg/l
Cloruros como cl	125
Sodio como Na	95
Nitratos como NO3	2
Potasio como K	5.6
Magnesio como Mg	40
Sulfatos como So4=	158
Alcalinidad total como CaCo3	30

Tabla 3
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	
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 3.

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.

1.2.4 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.

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

Los resultados analíticos de las aguas superficiales se presentan en el ANEXO 1.

1.2.4.1. Calidad del Análisis. La calidad de los resultados del presente estudio se fundamenta en el balance iónico calculado para cada muestra y en el control interno de análisis, basado en la muestra de agua sintética referencia AVQA.

En términos generales el error del balance iónico, en función de la conductividad, de las muestras de agua analizadas, está dentro del rango admisible establecido por Anderson (1966, en Custodio y Llamas, 1983, pag. 223).

La muestra de control se analizó once veces. Los resultados obtenidos están dentro de los siguientes rangos:

	mg/l
Cloruros como Cl^-	121 - 129
Sodio como Na^+	90 - 99
Nitratos como NO_3	1.8 - 2.2
Potasio como K^+	4.0 - 6.0
Magnesio como Mg^+	39 - 44
Sulfatos como SO_4^-	156 - 162
Alcalinidad como CaC03.	35 - 40

1.2.4.2. Límites de detección. Los límites de detección de los métodos utilizados, se presentan en la tabla 3. Es importante resaltar que, los valores reportados que son inferiores a estos límites significan, solamente que no fueron detectados en el análisis.

INGEOMINAS

2. INTERPRETACION DE RESULTADOS

El objeto de los resultados es el conocimiento de la calidad del agua y la interpretación hidrogeoquímica de los mismos.

2.1. CALIDAD DEL AGUA SUBTERRANEA

Se evalúa la calidad del agua para: consumo humano, irrigación y uso industrial.

2.1.1. 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 4 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.

INGEOMINAS

Tabla 4
NORMAS Y CRITERIOS DE CALIDAD FISICA Y QUIMICA DEL AGUA POTABLE

	DECRETO 2105 DE 1983		DECRETO 1594 DE 1984	
	Valor Adminis.	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

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.

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 5. El límite de nitratos es tomado de las normas WHO (1984).

Tabla 5
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

2.1.1.1 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 6, 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 7 se indican tanto los parámetros como las muestras.

En resumen el 20% de las muestras es impotable por los parámetros mencionados en las tablas 6 y 7. Los valores hallados de estos componentes oscilan dentro de los rangos que se muestran en la tabla 9.

El resultado de hierro total significa que la suma de hierro soluble (fe++ más Fe+++) más el linsoluble originalmente presentes en el agua in situ. La técnica utilizada en el presente estudio consiste en determinar el hierro en solución (Fe++ + Fe+++) resultante en la alicuota filtrada y acidulada y el hierro en suspención que queda retenido en la membrana del filtración (de 0.45 micrometros). Este es tanto el hierro insoluble del agua in situ más el hidróxido férrico, $Fe(OH)_3$ formado por la aireación, normal e inevitable, desde el momento de la toma hasta el de su filtración.

Tabla 6.
Muestras en las cuales un parámetro sobre pasa el máximo permisible de las normas OMS (1971, en Catalán, 1981)

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 7

Muestras en las cualesmás de un parámetro sobrepasa el máximo permisible de las OMS (1971 en Catalán 1981)

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 8.

Rangos de concentración hallados en las muestras que sobrepasan los máximos permisibles de la OMS, correspondientes a las muestras relacionadas en las tablas 6 y 7.

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

En las tablas 6 y 7 se puede observar que, en las muestras relacionadas, los niveles de impotabilidad predominante corresponde 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.

2.1.1.1.1 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, (plancha 1), 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, en Catalán, 1981).

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 da como resultado áreas 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 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 6 y 7, se localizan puntualmente en el 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.

2.1.1.2 Unidades acuíferas del Terciario. Las captaciones en estas unidades muestran la presente distribución en cuanto a anomalías de potabilidad:

a) Sedimentitas de Arjona (Tpaa). Tienen en común su valor de pH (<6.5). Existen dos pozos, 55IB78 y 55IB86 cuyo valor de hierro total es mayor de 1.0 mg/L. Estas captaciones se encuentran en el sector de Chimichagua.

b) Formación Los Cuervos (Tec). Se encontró una muestra anómala la 48IB7, ubicado en la Jagua de Ibirico, la cual es impotable por su contenido de hierro.

c) Formación Barco (Tpb). Se dispone de información en dos pozos, uno en la Jagua de Ibirico y otro en la localidad de la Palmita y de un aljibe al este de Loma Colorada. Los valores de hierro, pH y nitratos, respectivamente, están fuera del rango de las normas OMS (1971).

2.1.1.3 Unidades acuíferas del Cretáceo.

a) Formación Molino (Ksm) hay dos aljibes con aguas impotables en Bosconia. Dos de ellos tienen en común sus altos valores de dureza total y sólidos disueltos.

b) Formación Rionegro (Kir). Se muestreó agua de solamente un pozo No. 48IIIC48, ubicado al Norte de San Roque, con más de 0.5 mg/L de manganeso.

2.1.1.4 Unidades acuíferas del Jurásico. En captaciones de La Unidad La Quinta Volcano clástico (Jqv) hay cuatro aljibes con agua impotable. Uno en la localidad de las Vegas y los otros tres, de la localidad del Burro hacia el sur (unos 10 km). Sus resultados anómalos no guardan entre sí, relación alguna. Una es impotable por el contenido de dureza total, sólidos disueltos y sulfatos, y las otras tres por pH, nitratos y manganeso, respectivamente.

Por lo anterior, es importante conocer el efecto de tales componentes que afectan la potabilidad del agua.

2.1.1.5 Parámetros que afectan la potabilidad. A continuación se presenta el significado de los parámetros de mayor incidencia en la

potabilidad de las aguas subterráneas del Cuaternario: Dureza, Sólidos Disueltos, Nitratos, Hierro, Manganeso, Cloruros, PH y Sulfatos.

a) Dureza. La dureza del agua es una medida tradicional de su capacidad para reaccionar con el jabón OPS (1987). Por consiguiente, cuando el agua dura se utiliza para el lavado con jabón, se requiere una cantidad adicional de éste. La dureza en las aguas subterráneas del Cesar es producida esencialmente por la presencia de calcio y magnesio en solución.

Una persona adulta necesita un aporte diario de 800 a 1000 mg de calcio y de 300 a 500 de magnesio. En términos generales, todos los alimentos contienen calcio y magnesio. La presencia de estos elementos en el agua influye en el aporte para la población que la consume.

No hay evidencia de efectos adversos a la salud que sean específicamente atribuibles a altos niveles de calcio o de magnesio en el agua (Aguas muy duras). El valor máximo permisible de dureza: 500 mg $CaCO_3$/L (OMS, 1971, en Catalán, 1981), se basa en consideraciones estéticas.

Entre los efectos de la dureza se tiene que las aguas duras dificultan la cocción de alimentos y de que las aguas muy blandas pueden no ser adecuadas para la bebida Custodio & Llamas (1983).

- Ablandamiento de las aguas. En términos generales, existen dos tratamientos: El primero se basa en la transformación de los componentes solubles que son responsables de la dureza del agua, en compuestos insolubles. Esto se logra mediante la aplicación de agentes químicos, en caliente o en frío. El segundo, consiste en el empleo de resinas de intercambio iónico.

  Para ablandar las aguas destinadas a usos domésticos, se emplea a veces disolución de amoníaco o de hidróxido sódico.

  La dureza que proporcionan al agua los bicarbonatos de calcio y de magnesio (dureza temporal), puede eliminarse por ebullición Catalán (1981).

b) Sólidos Disueltos. Los sólidos disueltos en el agua comprenden principalmente los componentes denominados iones fundamentales, descritos en el numeral 1.2.3. Estas sales minerales comunes, disueltas en cantidad considerable, afectan el sabor del agua.

"No existen evidencias de que se produzcan reacciones fisiológicas nocivas en personas que consumen agua potable, proveniente de

abastecimientos, que tienen niveles de sólidos disueltos por encima de 1000 mg/L. Al parecer, los resultados de ciertos estudios epidemiológicos sigieren que los sólidos disueltos en el agua potable pueden incluso tener efectos benéficos sobre la salud."OPS (1987).

El valor máximo permisible para el agua potable, recomendado por la OMS (1971, en Catalán 1981) es de 1.500 mg/L.

Los valores elevados de sólidos disueltos producen la salinidad de las aguas. Si ésta se debe a la dureza, puede eliminarse por ablandamiento. En cuanto a conversión de aguas salinas en dulces, en general el proceso que más se utiliza es la electrodiálisis, especialmente de aquellas que contienen de 1.000 a 5.000 mg/L de sólidos totales disueltos. Este consiste en eliminar las sales mediante el empleo de membranas de plástico especiales y de una corriente eléctrica continua; los iones a ser eliminados atraviesan dichas membranas. AWWA (1975).

c) Nitratos. El uso de fertilizantes, la materia descompuesta de origen vegetal y animal, los efluentes domésticos, la eliminación de lodos cloacales en el terreno, las descargas industriales, las filtraciones de "Vaciaderos" y el arrastre de agua pluvial, todos ellos son factores que contribuyen a la presencia de nitratos (y nitritos) en las fuentes de agua OPS (1987). Estas fuentes de nitrógeno, por consiguiente, presentan gran riesgo de contaminación bacteriológica para el agua subterránea.

En cuanto a potabilidad, el límite máximo admisible (WHO, 1984), es de 10 mg N-NO3/L, es decir 45 mg NO3/L. Se ha recomendado que los abastecimientos de agua que contienen niveles altos de nitrato (más de 100 mg NO3/L), no deberán utilizarse en la preparación de alimentos para infantes; se recomienda como alternativa recurrir a abastecimientos con bajo contenido de nitratos, llegando incluso a usar agua embotellada.

La causa más común de metahemoglobinemia infantil, disminución de oxígeno en el torrente circulatorio, la constituyen los niveles excesivos de nitratos en el agua que se emplea para la preparación de los alimentos para bebés. El problema de la metahemoglobinemia no se presenta en personas adultas. OPS (1987). La literatura no menciona procedimientos particulares para eliminación de nitratos en el agua.

d) Hierro y Manganeso. En las aguas subterráneas, la procedencia del hierro y manganeso se atribuyen a la disolución de minerales, entre otros, de óxidos, sulfuros, carbonatos y silicatos.

En algunos casos el hierro proviene de tuberías del bombas y otros equipos.

Frecuentemente, la disolución de los minerales ferríferos y manganíferos se atribuye a la acción del dióxido de carbono en las aguas subterráneas. La disolución de éstos minerales, puede tener lugar en condiciones anaeróbicas y en presencia de agentes reductores.

Al exponerse el agua subterránea al contacto con el aire, el hierro ferroso se oxida, convirtiéndose en hidróxido férrico, el cual se deposita formando un sedimento color pardo rojizo. El hierro, además, favorece el crecimiento de las bacterias del mismo nombre. Tales micro-organismos extraen su energía de la oxidación del hierro ferroso a hierro férrico, y en esta operación depositan un revestimiento viscoso en las tuberías. Dichos problemas suelen presentarse cuando la concentración de hierro es aproximadamente 0,3 mg/litro o mayor.

Cuando los compuestos manganosos del agua se oxidan, el manganeso se precipita originando problemas de incrustración, formando capas en las tuberías que pueden desprenderse luego en forma de un precipitado negro. El manganeso puede favorecer el desarrollo de ciertos organismos que lo concentran y originan problemas de sabor, olor y turbiedad en el agua.

La presencia de hierro en los abastecimientos es objetable debido a una serie de razones que no guardan precisamente relación con la salud. En el caso del manganeso puede ser objetable por razones similares.

El decreto 2105 de 1983 establece como valores admisibles de hierro manganeso para el agua potable, 0.3 mg Fe/L, y 0.1, mg Mn/L respectivamente, mientras que las máximas concentraciones pora estos elementos, definida por la Organización Mundial de la Salud (1971, en Catalán 1981) son: 1.0 mgFe/L y 0.5 mg Mn/L, respectivamente.

Para la eliminación de hierro y manganeso en agua subterráneas, entre otros, existen tres métodos:

* Precipitación y filtración
* Intercambio iónico
* Estabilización con polifosfatos.

e) Cloruros. La presencia de cloruros en las aguas subterráneas provienen, entre otras, de las siguientes fuentes:

* Intercambio con aguas de mar actuales o antiguas.

* Drenaje de irrigaciones
* Contaminación por infiltraciones de descargas de aguas residuales domésticas o industriales.

El cloruro es el anión que más abunda en el cuerpo humano y contribuye significativamente, junto con los cationes que se asocian a la actividad osmótica del líquido extracelular.

El umbral de sabor para cloruro en el agua potable depende del catión que se le asocie, pero, por lo general, está entre 200 y 300 mgCl^-/L.

El valor máximo permisible de cloruros, establecido por la OMS (1971, en Catalán, 1981) es de 600 mg Cl^-/L para el agua potable.

Para tratamiento, ver elecrodiálisis (numeral 2.1.1.5) (b).

f) pH. El valor de pH en las aguas subterráneas se origina por el ácido carbónico disuelto. Este proviene de la atmósfera a través del agua lluvia y principalmente del producido por la respiración de los organismos vivos, en la zona de infiltración del suelo. Otra fuente es la disolución de carbonatos por acción de los ácidos, Catalán (1981).

Los ácidos orgánicos, entre ellos los ácidos húmicos que se originan en el mantillo de los bosques, también son frecuentes en las aguas.

El máximo rango permisible de las normas OMS (1971, en Catalán, 1981) para el agua potable es 6.5 a 9.2.

g) Sulfatos. Los sulfatos provienen principalmente de la disolución del yeso, $CaSO4. 2H_2O$. También pueden originarse en la oxidación de los sulfuros.

Las concentraciones umbrales de sabor para la mayor parte de las sales de sulfato del catión predominante son: 200 -500 mg/L para el sulfato de sodio; 250-900 mg/L para el sulfato de calcio y 400-600 mg/L para sulfato de magnesio. Estos valores están relacionados con el efecto catártico del sulfato. En lo anterior se fundamenta el nivel de 400 mg $SO4^=$/L, máximo valor permisible establecido por la OMS (1971, en Catalán, 1981) para el agua potable.

La literatura disponible no cita tratamientos disponibles para eliminar sulfatos en aguas.

h) Bacteriología. Debe tenerse en cuenta que el agua potable debe cumplir las normas y criterios de calidad bacteriológica, como

se indica en el decreto 2105/83, además de los requisitos físicos y químicos ya estudiados en los numerales anteriores.

Como norma general, se recomienda que en todas las fuentes de abastecimiento de agua subterránea se adapten adecuadamente procedimientos de desinfección.

2.1.2. 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 9. 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).

2.1.2.1. Hierro y Manganeso. Aunque los límites del Decreto 1594 son aplicables al uso continuo de estas aguas en cualquier tipo de suelos, de acuerdo con Branson et al (1975, en Lloyd y Heathcote, 1985), no siempre los efectos son adversos para cultivos o suelos.

Las muestras que sobrepasan el valore de 5 mg/L de hierro total son las tomadadas en los siguientes pozos:

No.	Fe total (mg/L)
48IB7	8.8
86IIIC33	10.6
97IA6	15.5
97IC6	10.2

El primer punto, que es una captación de la Formación Los cuervos (Tec), se localiza en la Jagua de Ibirico y los demás, cuyas aguas provienen de los acuíferos confinados de la Unidad Qal, se ubican

en el extremo Sur del Departamento, entre la localidad de Minas y el área aledaña a la quebrada San Alberto del Espíritu Santo.

Para el caso del manganeso, puede tomarse como guía la distribución areal de valorees superiores a 0.5 mg/L indicada en la plancha 1 Norte y Sur.

2.1.2.2. Características de pH. El rango de pH admisible para irrigación es de 4.5 a 9.0.

Presentan valor de pH menor de 4.5 solamente las siguientes muestras: 47IIB22 y 47IVB12, procedentes de aljibes y 48ID11 de un manantial.

TABLA 9.

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

2.1.2.3. 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.

El RAS se define por la fórmula.

$$RAS = \frac{Na^{+}}{\frac{CA^{++} + Mg^{++}}{2}}$$

donde la concentración de cada ión se expresa en miliequivalentes /litro.

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. Ver figura 1. Las curvas de la figura se basan en ecuaciones empíricas, estudiadas por el USDA.

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, como se aprecia en el eje de las ordenadas del diagrama, en cuatro grupos.

- S1, Agua baja en sodio: puede usarse para el riego en casi todos los suelos, sin riesgo de que se produzcan niveles perjudiciales de sodio intercambiable. Sin embargo, cultivos sensibles el sodio, como algunos frutales y aguacates, pueden acumular cantidades perjudiciales de sodio.

- S2, Agua media en sodio: Representa un peligro considerable de sodización, en suelos de textura fina con alta capacidad catiónica de cambio, especialmente bajo condiciones de lavado deficiente, a menos que el suelo contenga yeso. Esta agua puede usarse en suelos de textura gruesa o en suelos orgánicos de buena permeabilidad.

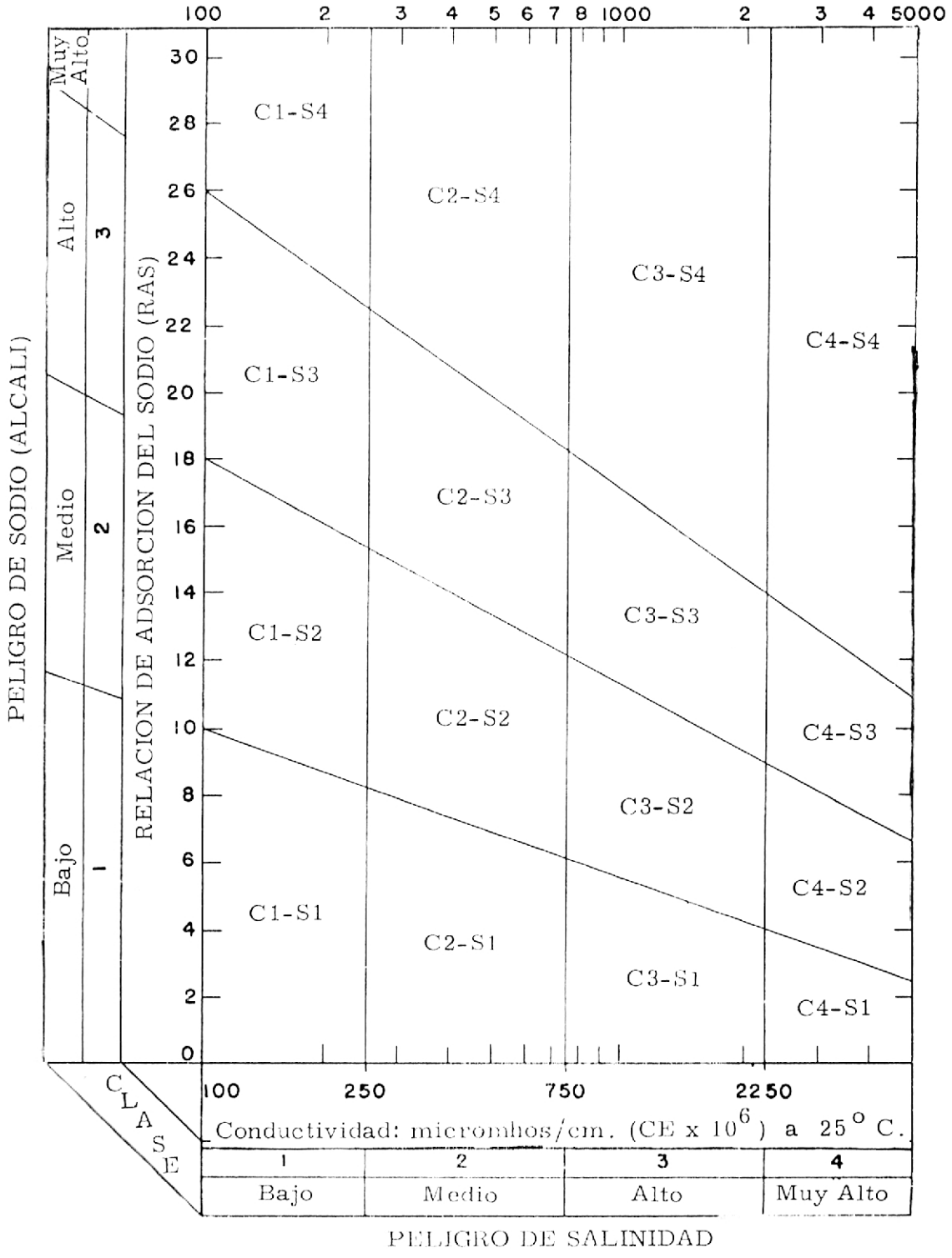
- S3, Agua alta en sodio: Puede producir niveles perjudiciales de sodio intercambiable en la mayoría de los suelos. Por lo tanto, éstos requerirán un manejo especial: buen drenaje, lavado abundante y adiciones de materia orgánica. Los suelos yesíferos, cuando se riegan con este tipo de aguas, no desarrollan niveles perjudiciales de sodio intercambiable. Para sustituir este sodio intercambiable, pueden requerirse enmiendas químicas. Sin embargo, tales enmiendas no serán económicas si se usan aguas de muy alta salinidad.

- S4, Agua muy alta en sodio: generalmente no es satisfactoria para riego, excepto cuando su salinidad es baja o quizá mediana y cuando la disolución del calcio del suelo o la aplicación de yeso y otras enmiendas no hagan antieconómico el uso de esta clase de aguas.

Figura : 1

DIAGRAMA DE LA CLASIFICACION DE AGUAS PARA RIEGO

(Original de Wilcox - Thorne)



2.1.2.4. Conductividad. En el eje de las abscisas del mismo diagrama, figura 1, 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, como se observa en el diagrama figura 1. Estos grupos se describen en la tabla 10.

Tabla 10.
Clasificación de las Aguas Respecto al Riesgo por Salinidad.

CLASE	CONDUCTIVIDAD (CE) A 25°C μmhos/cm	DESCRIPCION
C_1	O < 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.

Como síntesis, se observa en la figura 1, que el diagrama de clasificación de aguas para riego distingue, en función del RAS y la conductividad, 16 clases de aguas.

2.1.2.5. Clasificación de las Aguas Subterráneas para Riego, según el Diagrama Wilcox-Thorne. Para clasificar las aguas del presente estudio, se tienen en cuenta cuatro grandes grupos, de acuerdo con el riesgo por salinidad, (valores de conductividad) de la tabla 10.

a) Clases: C_1S_1, C_1S_2, C_1S_3, C_1S_4, para conductividades menores de 250 micromhos/cm.
b) Clases: C_2S_1, C_2S_2, C_2S_3 y S_2S_4, para el rango del conductividad de 250 a 750 micromhos/cm.
c) Clases: C_3S_1, C_3S2, C_3S_3 y C_3S_4, para el rango de conductividad de 750 a 2.250 micromhos/cm.
d) Clases: C_4S_1, C_4S_2, C_4S_3 y C_4S_4, para conductividades mayores de 2.250 micromhos/cm.

Los resultados de las muestras analizadas se agruparon en estos cuatro rangos de conductividad y se representaron en diagramas Wilcox Thorne. También se agruparon de acuerdo con las unidades geológicas captadas en los puntos muestreados. Se obtuvieron entonces las gráficas de las figuras No. 2 a 21 que corresponden a captaciones del Cuaternario (Qal, Qlla, Qp, Qt, Qcal) y las No. 22 a 28 a aquellas de Terciario (Tpaa, Tmc, Tec, Tpb), del cretáceo (Ksl y Kmc) y del Jurásico (Jqv y Jgr). Tanto las figuras como el listado de cada una se presentan en el anexo 2.

Lo anterior proporciona la siguiente agrupación de las aguas estudiadas:

a) El 69% se clasifica como C_1S_1 ó C_2S_1
b) El 31% se encuentra dentro del rango amplio comprendido entre las clases C_3S_1, C_3S_2, C_3S_3, C_3S_4, C_4S_1, C_4S_2, C_4S_3 y C_4S_4.

2.1.2.6 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

De acuerdo con este criterio, las muestras de agua en estudio se clasifican así: el 75% como buenas, el 10% como dudosas y el 15% restante como inadecuadas para riego.

2.1.2.7 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 llega a las siguientes conclusiones:

a) En términos generales, el 70% de las aguas se clasifican como C_1S_1 o C_2S_1 y su valor de Carbonato de Sodio Residual es inferior a 1.25. Las aguas de éste grupo, presentan salinidad de baja a media y bajo contenido de Sodio. Pueden usarse en suelos que tengan lavado moderado y en plantas moderadamente tolerantes a las sales, sin necesidad de prácticas especiales de control de salinidad. En general son adecuadas para riego.

b) El 30% restante se clasifica dentro del rango de las clases C_3S_1, C_3S_2, C_3S_3, C_3S_4 y C_4S_1, C_4S_2, C_4S_3 y C_4S_4; su valor de Carbonato de Sodio Residual es superior a 1.25. En éste grupo se originan dos categorías:

   - La primera, con clasificación C_3S_1 y Carbonato de Sodio Residual $1.25 < CSR < 2.5$. Estas presentan alto peligro de salinización y bajo peligro de sodización para los suelos. Pueden requerirse técnicas especiales para controlar la salinidad y seleccionar plantas con alta tolerancia a las sales. En cuanto al CSR se clasifican como dudosas. En este sentido puede corregirse a veces con el enyesado, siempre que el contenido de sales no sea muy elevado (Catalán, 1981). Por lo anterior, estas aguas se consideran de regular calidad para riego.

- La segunda, dentro del rango de clasificaciones C_3S_2, C_3S_3, C_3S_4 y C_4S_1, C_4S_2, C_4S_3 y C_4S_4, cuyo valor de CSR es superior a 2.5. Estas presentan de alto a muy alto peligro de salinización y de medio a alto peligro de sodización para los suelos. En general, no son adecuadas para riego. Ocasionalmente pueden usarse para riego, en circunstancias muy especiales. En cuanto al CSR se clasifican como inadecuadas, y su correlación tiene como limitante el contenido de sales. Bajo tales circunstancias, estas aguas pueden considerarse como inadecuadas para riego.

2.1.2.7.1 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, las agua para riego se clasifican en tres grandes grupos:

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

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 plancha 2. En él se pueden apreciar las siguientes regiones:

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 (Plancha 2 Norte); 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).

2.1.2.7.2. Calidad Agua para Riego en las Unidades Acuíferas del Terciario.

a) Sedimentitas de Arjona (Tpaa).
Los pozos y aljibes de esta unidad se localizan principalmente en dos sectores: El primero, entre Mandinguilla, Astrea y Arjona y el segundo en los alrededores de La Candelaria. En el primero predominan las aguas adecuadas para riego, con ligera tendencia a calidad regular e inadecuada. En el segundo, las aguas son adecuadas para riego. Por otra parte, aisladamente, se halla un pozo en alrededores de Curumaní, con agua también adecuada para riego.

El contenido alto de hierro en las aguas de ésta unidad se relaciona seguramente con valores bajos de pH, lo cual facilita la disolución de hierro presente como mineral en ésta unidad.

b) Formación Cuesta (Tmc).
Un pozo y un aljibe de esta formación se ubica al este de la vía La Loma-Cuatro Vientos (a unos 10 km), y otro pozo en

Chimichagua. Este de excelente calidad y los otros de calidad adecuada para riego.

c) Formación Los Cuervos (Tec).
De esta Formación, solamente en un pozo No. 48IB7, se tomó muestra de agua. Se clasifica como C_2S_1. En cuanto al riesgo por bicarbonatos (CSR) se clasifica como dudosa.

d) Formación Barco (Tpb).
Se tomaron muestras de agua en un pozo, dos aljibes y un manantial. Se localizan: el pozo en el sector de Puerto Lajas, los aljibes al este de la Localidad de Loma Colorada y el manantial al este de la Palmita. Se clasifica para riego así: el pozo como C_3S_1, los aljibes como C_3S_4 y el manantial como C_1S_1. En cuanto al CSR todas son adecuadas excepto la de un aljibe (40IIC6).

2.1.2.7.3. Calidad para Riego en las Unidades del Cretáceo.

a) Formación La Luna (Ks1).
Del acuífero de esta formación se analizaron dos muestras captadas por pozos. Uno se localiza al este del Cerro Porrilla (a unos 5 Km) y el otro al Sureste del mismo (a unos 4 km). En el primero el agua se clasifica como C_3S_2, y en el segundo como C_2S_1. En cuanto al riesgo por bicarbonatos, el agua es inadecuada para riego en el primero y dudosa en el segundo.

b) Grupo Cogollo (Kmc).
Las captaciones analizadas de este grupo son aljibes ubicadas en sectores de Bosconia, Caracolí y Codazzi. Se incluye también un pozo, localizado al sur de esta última localidad. El agua de los aljibes se clasifica dentro del rango, C_2S_1, C_3S_1, C_4S_1, C_4S_2 y en el pozo, como C_2S_1. En general, no presentan riesgo por bicarbonatos para riego.

2.1.2.7.4. Calidad del Agua para Riego en las Unidades Acuíferas del Jurásico.

a) Quinta Volcano clástica (Jqv).
En esta unidad, las captaciones, todas de aljibes, se encuentran ubicadas primordialmente en la región comprendida entre las localidades de Las Vegas y El Burro. Se caracterizan estas aguas, en general, por presentar alto peligro de salinización y bajo peligro de sodización para los suelos. En cuanto a bicarbonatos son adecuadas para riego.

b) Granitoides Jurásicos (Jgr).
Se muestrearon dos aljibes, que captan aguas en ésta unidad, ubicados al este de El Copey; éstas son adecuadas para riego respecto al CSR y se clasifican como C_2S_1.

2.1.3 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 es útil cosmo 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.

Acerca de los niveles límites de los componentes que pueden estar presentes en el agua utilizada por una industria, la AWWA (1975) recopiló los valores indicados en la tabla 11, la cual se presenta a manera de información.

Para la generación de vapor, las exigencias de sólidos totales, alcalinidad total, los sólidos suspendidos y de silicio varían en función de la presión a la salida de la caldera.

Teniendo en cuenta lo anterior, en el presente estudio, 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.

2.1.3.1 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.

Desde el punto de vista de la corrosividad, el criterio más aceptado es la estabilidad, la cual se manifiesta mediante la saturación con carbonato de calcio, teniendo en cuenta su posible efecto sobre las tuberías de explotación y de abastecimiento.

Cuando un agua está sobresaturada con respecto al carbonato de calcio, $CaCO_3$, éste tiende a precipitarse, y cuando es no saturada, tiende a disolver al $CaCO_3$. Por consiguiente, un agua en equilibrio no tiene tendencia ni a precipitar ni a disolver el $CaCO_3$.

2.1.3.1.1 Indice de saturación. 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):

$$Is = pH - pHs$$

El pH de saturación es el mismo pH del agua si los iones calcio (Ca++) y bicarbonato (HCO_3-), estuvieran en equilibrio con el carbonato de calcio, $CaCO_3$.

El Indice de saturación depende de los valores de temperatura, sólidos disueltos, y alcalinidad y de la concentración de los iones Ca^{++}, Mg^{++}, HCO_3^- y $CO_3^=$.

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).

TABLA 11. Rangos de las concentraciones límites recomendadas para las aguas de procesos industriales (excepto cuando se indica lo contrario, las unidades se expresan en mg/l)

Empleo	Turbiedad, unidades	Color, unidades	Umbral de sabor y olor	Sólidos disueltos	Dureza, expresada en $CaCO_3$	Alcalinidad, expresada en $CaCO_3$	pH unidades	Cloruros, expresados como Cl	Sulfatos, expresados como SO_4	Hierro, expresado como Fe	Manganeso, expresado como Mn	Hierro más manganeso	Sulfuro de hidrógeno	Fluoruros, expresados como Fl	Otras exigencias
Aire acondicionado	—	—	Bajo	—	—	—	—	—	—	0,5	0,5	0,5	—	—	No debe ser corrosivo, ni fomentar la formación de fangos.
Panadería	10	10	Ninguno-bajo	—	[a]	—	—	—	—	0,2	0,2	0,2	0,2	—	Potable.
Alimentación de calderas	—	—	—	—	—	—	Véase capítulo 16	—	—	—	—	—	—	—	Potable, si se emplea vapor en la preparación de alimentos.
Cervecería	0-10	0-10	Ninguno-bajo	500-1.500[b]	[a]	75-80[d]	6,5-7,0[e]	60-100	—	0,1	0,1	0,1	0,2	1,0	Potable; otros muchos requisitos.
Bebidas carbonatadas	1-2	5-10	Ninguno-bajo	850	200-250	50-130	—	250	250	0,1-0,2	0,2	0,1-0,4	0-0,2	0,2-1,0	Potable; COD, 1,5; materia orgánica, infinitesimal; algas y protozoos, ninguno.
Vestimenta	—	—	Bajo	50-100	—	—	>7,0	—	—	0,2	0,2	0,2	0,2	—	Potable.
Refrigeración	—	—	—	—	—	—	Véase capítulo 16	—	—	—	—	—	—	—	——
Industrias lácteas	—	Ninguno	Ninguno	500[f]	180	—	—	30	60	0,1-0,3	0,03-01	—	—	—	Potable; NO_3-N, 5,5; NO_2-N, 0; NH_3-N, tan sólo trazas; COD y $KMnO_4$, 12.
Bebidas	5	15	3, inofensivo	500	—	—	—	250	250	0,3	0,05	—	—	1,4-2,4[g]	Potable. Véase apéndice a este capítulo.
Conservación y congelación de alimentos	1-10	—	Ninguno-bajo	850	[a]	30-250	≥7,5	—	—	0,2	0,2	0,2-0,3	1,0	1,0	Potable; exento de organismos saprofíticos; NaCl, 1.000-1.500; NO_3-N, 2,8; NH_3-N, 0,4.
Equipo de alimentación, lavado	1	5-20	Ninguno	850	10	—	—	250	—	—	—	0,1	—	1,0	Potable; materia orgánica, infinitesimal.
Proceso de alimentos en general	1-10	5-10	Bajo	850	10-250	30-250	—	—	—	0,2	0,2	0,2-0,3	—	1,0[c]	Potable.
Fabricación de hielo	5	5	Bajo	170-1.300	—	—	—	—	—	0,2	0,2	0,2	—	—	Potable, SiO_2, 10.
Lavandería	—	—	—	—	0-50	60	6,0-6,8[e]	—	—	0,2-1,0	0,2	0,2-1,0	—	—	——
Papel y pulpa, finos	10	5	—	200	100[f]	75	—	—	—	0,1	0,05	—	—	—	SiO_2 libre, 20; CO_2 libre, 10; Cl_2 residual, 2.
Papel, pasta de madera	50[h]	30	—	500	200	150	—	75	—	0,3	0,1	—	—	—	SiO_2 soluble, 50; CO_2 libre, 10.
Papel Kraft blanqueado	40	25	—	300	100	75	—	200	—	0,2	0,1	—	—	—	SiO_2 soluble, 50; CO_2 libre, 10.
Papel Kraft sin blanquear	100	100	—	500	200	150	—	200	—	1,0	0,5	—	—	—	SiO_2 soluble, 100; CO_2 libre, 10.
Papel, pastas a la sosa y al sulfato	25[h]	5	—	250	100[f]	75	—	75	—	0,1	0,05	—	—	—	SiO_2 soluble, 20; CO_2 libre, 10.

Tomado de AWWA (1.975)

TABLA 11 Rangos de las concentraciones límites recomendadas para las aguas de procesos industriales (excepto cuando se indica lo contrario, las unidades se expresan en mg/l) (continuación)

Empleo	Turbiedad, unidades	Color, unidades	Umbral de sabor y olor	Sólidos disueltos	Dureza, expresada en $CaCO_3$	Alcalinidad, expresada en $CaCO_3$	pH unidades	Cloruros, expresados como Cl	Sulfatos, expresados como SO_4	Hierro, expresado como Fe	Manganeso, expresado como Mn	Hierro más manganeso	Sulfuro de hidrógeno	Fluoruros, expresados como Fl	Otras exigencias
Producción de fibras de rayón y acetato, y de pulpas	5	5	—	100[f]	8	50-75	—	—	—	0,05	0,03	0,05	—	—	Al_2O_3, 8; Si, 25; Cu, 5.
Manufacturas de rayón	0,3	—	—	—	55	—	7,8-8,3	—	—	0,0	0,0	0,0	—	—	———
Industria azucarera	—	—	—	Bajo	Bajo	—	—	20	20	0,1	—	—	—	—	Ca, 20; Mg, 10; bicarbonato, expresado como $CaCO_3$, 100; estéril, ningún organismo saprofítico.
Curtido	20	10-100	—	—	50-500	130	6,0-8,0	—	—	0,1-0,2	0,1-0,2	0,2	—	—	Dureza de bicarbonato, baja.
Textiles	0,3-25	0-70	—	—	0-50	—	—	100	100	0,1-1,0	0,05-1,0	0,2-1,0	—	—	DQO, 8; metales pesados, ninguno; Ca, 10; Mg, 5; bicarbonato como $CaCO_3$, 200.

[a] Se precisa algo de calcio para la acción de las levaduras. Una dureza demasiado elevada retrasa la fermentación, pero si es demasiado baja reblandece el gluten y produce un pan muy húmedo. Para la fermentación de algunos productos de confitería se necesita agua de dureza cero.

[b] No más de 300 mg/l de cualquiera de estas sustancias.

[c] No más de 100-500 mg/l de $CaSO_4$; no más de 50-200 mg/l de $MgSO_4$.

[d] En el caso de la cerveza negra, la alcalinidad expresada en $CaCO_3$ puede oscilar entre 80-150 mg/l.

[e] Rango, límites inferior a superior.

[f] Sólidos totales.

[g] El límite de tolerancia depende de la media anual de las temperaturas diarias máximas del aire durante un mínimo de cinco años.

[h] Para legumbres, 25 a 75; para frutas y productos hortícolas, 100 a 200; para guisantes, 200 a 400.

[i] Se sabe por experiencia que 1,5 mg/l de fluoruro puede ocasionar fragilidad y resquebrajamiento del hielo.

[j] Dureza de calcio, 50.

[k] Sin contener arenilla.

[l] Dureza de calcio, 50; dureza de magnesio, 50.

Tomado de AWWA (1.975)

INGEOMINAS

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:

Identificación	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.

2.1.3.2 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.

2.1.3.2.1 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 12 y 13).

Tabla 12.
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 13.
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 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 (Ver plancha 1) 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.

Para la elimimación de hierro y manganeso ver numeral 2.1.1.5 (d).

2.1.3.2.2 Potencial Redox. Según la definición de Hood y Rohlich, en Catalán (1981), el potencial redox (Eh) consiste en la presión electrónica existente en una solución, como resultado de las respectivas concentraciones de iones oxidantes y reductores presentes. El potencial redox 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.

La medición del potencial redox es cualitativa, y se realiza mediante una pila redox.

El valor del potencial redox generalmente aumenta con la concentración de oxígeno y los iones Fe+++, Mn+++ y baja al aumentar la materia orgánica, el ácido sulfhídrico (H_2S) y los iones Fe++ y Mn++.

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).

Procesos de oxidación en el agua son por ejemplo el cambio de Fe^{++} a Fe^{+++} de los minerales primarios y la oxidación de sulfuros a sulfatos. Por otra parte, entre los procesos que suceden bajo condiciones reductoras se pueden mencionar la formación de compuestos ferrosos (Fe++) y manganosos (Mn++), a partir de férricos y mangánicos.

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

INGEOMINAS

que impida al máximo la posibilidad de aireación. Para determinar el potencial redox en aguas de pozos la literatura (Lloyd y Heathcote, 1985) recomiendan 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.

2.1.3.2.3 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 por las razones expuestas en el numeral 2.1.3.2.2. 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 14.

INGEOMINAS

Tabla 14.
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 los diagramas piper anexo 3, 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.

2.1.3.2.4 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.

La presencia de oxígeno disuelto en el agua subterránea, normalmente indica que el agua ha estado recientemente en contacto con atmósfera, como sucede con el agua de infiltración. Sin embargo este oxígeno puede llegar a consumirse rápidamente por oxidación de materia orgánica presente.

El oxígeno disuelto en el agua produce corrosividad en los sistemas de distribución (tuburias). 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.

2.1.3.2.5 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 15.
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 de sólidos y dureza total del mapa de la plancha 1 y en el sector de Lomalinda, un poco más al sur.

INGEOMINAS

2.1.3.2.6 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 anomalias de 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.

2.2 HIDROGEOQUIMICA

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 están relacionadas.

En el departamento del Cesar, las muestras de agua subterránea tomadas para ser analizadas, provienen de pozos, aljibes y manantiales de unidades acuíferas de edad Cuaternario (88%) Terciario (7%), Cretáceo (3%) y Jurásico (2%).

La tabla 16 indica los rangos de profundidad de los pozos, los aljibes y las unidades acuíferas de donde captan el agua subterránea.

INGEOMINAS

Tabla 16
Rangos de Profundidad de Pozos y Aljibes Muestreados en las Unidades Acuíferas

	Unidades Acuíferas	Rango de Profundidad (m)	
		Pozos	Aljibes
Cuaternario	Qal, Qlla, Qp, Qt, Qcal	10 - 160	2 - 31
Terciario	Tpaa, Tmc, Tec, Tpb	6 - 186	2 - 35
Cretáceo	Ksl, Kmc, Kir,	20- 78	5 - 19
Jurásico	Jqv, Jgr		5 - 35

2.2.1 Conductividad.

Los valores de conductividad de las aguas subterráneas del Departamento variaron dentro de los siguientes rangos en micromhos/cm.

Acuíferos de Edad	Pozos	Aljibes
Cuaternario	36 - 1.520	13 - 11.130
Terciario	10 - 1.869	63 - 1.609
Cretáceo	509 - 1.200	655 - 2.454
Jurásico		400 - 3.700

2.2.1.1 Clasificación de las aguas. 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:

2.2.1.1.1 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.

INGEOMINAS

Dada la magnitud de la información, se elaboró un mapa, escala 1:250.000 de isolíneas de conductividad, plancha No. 2 (norte y sur). En este se puede observar, de norte a sur, la siguiente distribución:

- Agua dulce. Se localiza en tres regiones:

a) Un área extensa que abarca desde el piedemonte de la Sierra Nevada de Santa Marta hasta el Río Cesar, entre Badillo y el Río Potrerillo (al occidente de San Diego), se prolonga hacia el suroeste aproximadamente equidistante entre el piedemonte y el río Cesar, luego se ensancha a la altura de Los Venados, avanza más estrecha hacia el sur pasando por Bosconia y llegando hasta El Copey, al occidente de la Sierra Nevada.

b) Un área que bordea el piedemonte de la Serranía del Perijá, que se extiende desde Los Brasiles hacia el sur hasta Becerril en donde se amplía en forma de abanico hacia el suroccidente, aproximándose paralelamente al río Cesar.

c) Una región muy amplia, en la mitad sur del Departamento, a partir del río calenturitas o, en otros términos, desde una línea imaginaria determinada por las localidades El Paso - La Loma - Becerril, hasta el extremo sur. Se caracteriza el agua subterránea de esta región por ser dulce, con conductividades inferiores a 800 micromhos/cm, siendo la mayor parte de sus valores menores de 500.

- 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. Plancha 2 Norte.

- 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.

2.2.1.1.1.1 Dirección del flujo subterráneo en los acuíferos libres cuaternarios. En la misma plancha 2, 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 53). 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.

2.2.1.1.2 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. De la Formación Cuesta (Tmc), un pozo muestreado al nordeste (a 10 km) de la localidad de La Loma y un aljibe al oriente de Cuatro Vientos (a 15 km) también presentan aguas dulces. Las aguas restantes de otras unidades son ligeramente salobres (1.000 a 1.600 umhos/cm) captadas puntualmente así: un pozo en Arjona y otro en Astrea; un aljibe en Bosconia y otro en Cuatrovientos.

2.2.1.1.3. Unidades acuíferas de Cretáceo.

- Grupo Cogollo (Kmc). El 50% de las muestras tomadas en esta unidad es dulce y se localiza sectorizada en alrededores de Caracolí (aljibes) y A. Codazzi (un pozo y un aljibe), y puntualmente al norte de Bosconia (un aljibe) y al nordeste de Casacará (un manantial).

El 50% restante aljibes es salobre (1.000 a 2.500 us/cm), ubicado principalmente en el área de Bosconia. Se exceptúa el agua de un aljibe, en Bosconia, la cual es salada.

- Formación La Luna (Ksl). De esta formación se analizaron muestras de agua tomada en dos pozos: uno al oriente del Cerro Porrilla y el otro al sureste del mismo. La primera es dulce y la segunda ligeramente salobre.

2.2.1.1.4 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.

2.2.2 Clasificación Geoquímica.

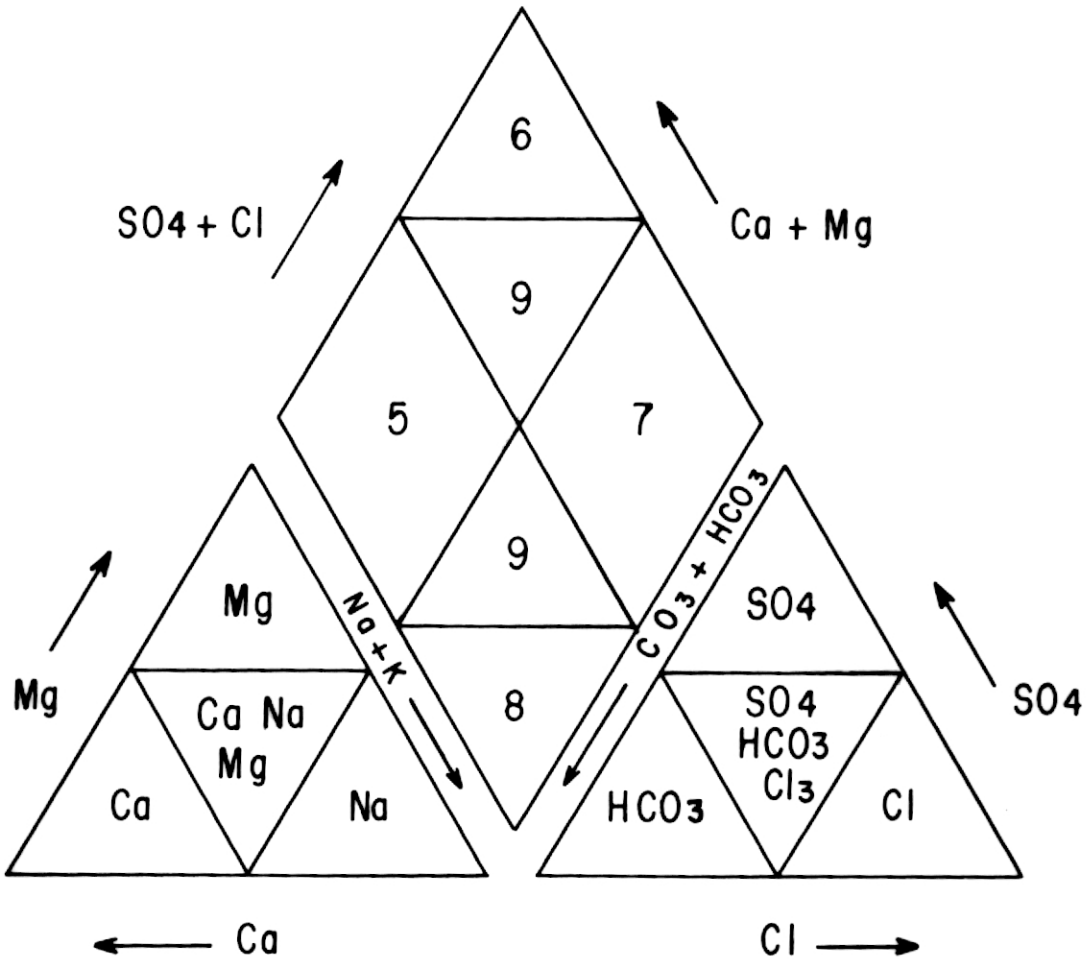
Con el fin de obtener la clasificación geoquímica de las aguas en estudio, los resultados analíticos se trasladaron a diagramas Piper. Estos últimos representan los aniones HCO_3^- + ($CO_3^=$), $SO_4^=$, Cl^- y los cationes Na^+ + (K^+), Ca^{++}, Mg^{++}, expresados en miliequivalentes/litro. Estos diagramas se graficaron mediante el programa GEOBASE 6.0. Se elaboraron cuatro series de gráficas selectivamente para las unidades acuíferas agrupadas por edad Cuaternario al Jurásico, de las cuales se capta el agua subterránea, en el siguiente orden (Anexo 3):

Figuras	Unidad Geológica
30 a 45	Cuaternario
46 a 48	Terciario
49 a 50	Cretáceo
51 a 52	Jurásico

Cada figura incluye la identificación de las muestras procesadas.

En cada diagrama se puede apreciar cuales son los iones dominantes del agua en él representada, de acuerdo con la distribución indicada en la figura 29. Así mismo indica el porcentaje de cada uno de los cationes y aniones presentes en la muestra de agua dada respecto al balance iónico.

Lo anterior permite obtener la clasificación geoquímica de cada muestra: 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).



ZONA	ION DOMINANTE EN EL AGUA SUBTERRANEA
6 y 9 sup.	$SO_4^=$ y/o Cl^- Ca^{++} y/o Mg^{++}
8 y 9 inf.	HCO_3^- Na^+
5	HCO_3^- Ca^{++} y/o Mg^{++}
7	Cl^- y/o $SO_4^=$ Na^{++}

CONVENIO CORPOCESAR-INGEOMINAS

EVALUACION DEL AGUA SUBTERRANEA EN EL DEPARTAMENTO DEL CESAR

SUBDIVISIONES DE DIAGRAMA PIPER: IONES DOMINANTES EN AGUAS SUBTERRANEAS

Autor: Alvaro Vargas	Dibujó: Cartografía – Ingeominas
	Fecha: Oct-1994 — Figura 29

La clasificación geoquímica por sí sola no da información sobre el grado de salinidad del agua, una propiedad fundamental, por lo cual se recomienda tener en cuenta el valor de conductividad, relacionado individualmente en la base de datos y las curvas de isoconductividad para los acuíferos cuaternarios de la plancha 2.

2.2.2.1 Unidades Acuíferas de edad Cuaternaria. Comprenden captaciones de las unidades Qal, Qcal, Qlla y Qt. Los diagramas Piper de las muestras de agua captadas del cuaternario, (ver anexo 3, figuras 30 a 45), proporcionan la clasificación geoquímica de las muestras tomadas en éstas unidades. A continuación se presenta la clasificación de las mismas y su distribución areal en el departamento, en función de los iones predominantes. Ver mapa de la figura 53.

a) Aguas Bicarbonatadas Cálcicas y/o Magnésicas. Se distinguen varias áreas:

- Un área amplia que forma parte del Valle del Río Cesar, desde su parte alta, a la altura de la población de Badillo, limitada al occidente por la Sierra Nevada de Santa Marta (SNSM) y al oriente por la Serranía de Perijá. Se extiende hacia el sur hasta la población de San Diego, donde se bifurca y se prolonga, por el occidente bordeando las estribaciones de la SNSM hasta el sector de Los Venados, y por el oriente bordeando la Serranía del Perijá, hasta el sector Rincón Hondo - Chiriguaná.

- Un área restringida, localizada al noroeste de Bosconia.

- Dos áreas pequeñas: la primera, en alrededores de las poblaciones de Las Vegas - Soledad y la otra, entre Pailitas - Tamalameque.

- Finalmente, en la parte sur del departamento, se forma una franja paralela al borde montañoso de la Serranía del Perijá, ubicada aproximadamente entre las poblaciones de Pelaya al norte y San Alberto en su extremo sur.

b) Aguas Bicarbonatadas Sódicas. Se diferencian varias áreas:

- La más extensa se encuentra formando una franja de unos 7 Km de ancho, ubicada esencialmente en la márgen derecha del Río Cesar y entre la población de San Diego, en su extremo norte y el Río Garupal, en su extremo suroccidental.

- Dos áreas relativamente cercanas se localizan, la primera contigua y al norte de Cuatrovientos, y la segunda en alrededores de la población de La Loma.

- En la mitad sur del departamento hay dos áreas pequeñas, la primera entre las poblaciones de Costilla y Simaña (al oeste de Pelaya); la segunda al occidente de AguaChica y entre las poblaciones de Gamarra y Puerto Mosquito.

c) Aguas Sulfatadas y/o Cloruradas, Cálcicas y/o Magnésicas. Se ubican en dos áreas restringidas, la primera al occidente de las poblaciones de El Copey - Caracolicito y la otra inmediatamente al suroccidente de La Jagua de Ibirico.

d) Aguas Cloruradas y/o Sulfatadas Sódicas. Existen sólamente dos áreas pequeñas. La primera se ubica en un sector aledaño al Río Ariguaní y unos 10 Km al noroeste de Bosconia; la segunda se localiza inmediatamente al norte de la población de la Jagua de Ibirico.

e) Aguas en Areas no Demarcadas. Las áreas restantes, que no han sido señaladas anteriormente ni aparecen destacadas en el mapa de la figura 53, corresponden a aguas subterráneas en las cuales ninguno de los iones presentes es predominante, o en algunos casos a áreas en las cuales no se tiene información, como en el caso de la zona cubierta por Ciénagas.

2.2.2.1.1 Relación entre las Unidades Acuíferas del Cuaternario y las Características Físico-químicas de sus Aguas Subterráneas. La relación que se observa en la figura 53, 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^- Ca^{++}, Mg^{++} a HCO^- Na^+, a medida que van circulando en el acuífero somero, en el mismo sentido del flujo subterráneo (figura 53).

INGEOMINAS

c) Intercambio Iónico. La presencia de terrenos esencialmente arcillosos en las zonas topográficamente bajas, las cuales coinciden con las áreas de aguas HCO^{-} 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^{+2} y Mg^{+2} 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. 53) 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 2.2.2.1.1 (b)), 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 (Fig. 53):

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^{+2} y/o Mg^{+2}. 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 pem 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. 53).

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 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.

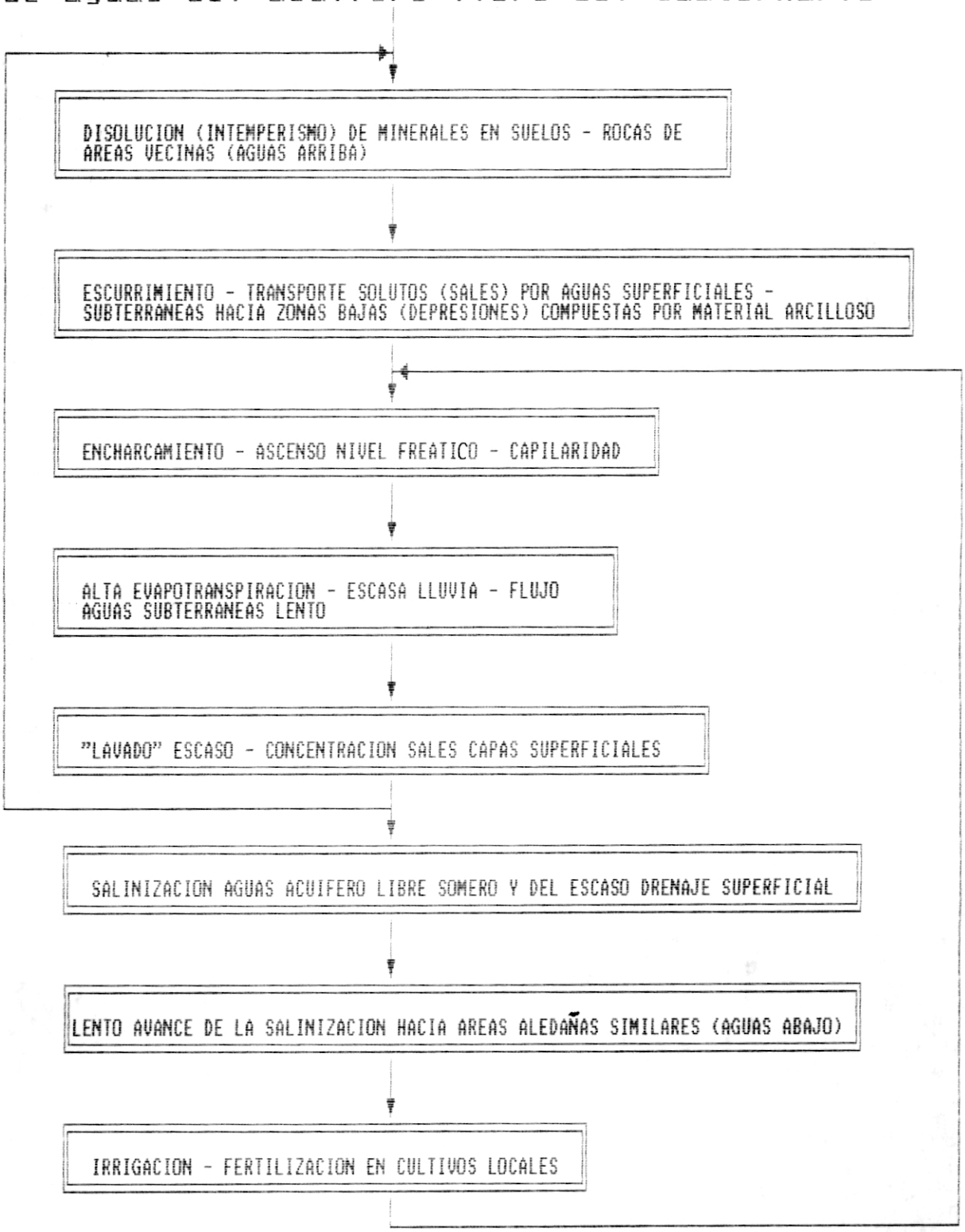
c) Procesos artificiales de salinización. Dentro de estos se consideran la irrigación y fertilización de áreas que en alguna época han sido intensamente cultivadas.

En la figura 54, a manera de síntesis, se presenta un diagrama de flujo de los procesos implicados en la salinización progresiva de éstas áreas.

INGEOMINAS

Figura 54

Diagrama de flujo de procesos implicados en salinizacion de aguas del acuifero libre del Cuaternario



INGEOMINAS

En otro sector ubicado en la parte media del Departamento entre las poblaciones de La Loma, La Jagua de Ibirico y Rincón Hondo, plancha No. 1, 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 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. 53).

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 Formacón Cuesta (Tmc).

Inmediatamente al sur del anterior sector, hay dos pequeñas áreas que se extienden hasta la altura de la población de Zapatosa (Plancha 1 sur). Estas se caracterizan también por sus valores bajos de pH, y un área aledaña restringida, en alrededores de saloa, allí se asocian contenidos anómalos de manganeso. El origen de éstas características implica un proceso similar al ya descrito para el sector de La Jagua - Rincón Hondo - La Loma. Sin embargo, en este caso los minerales primarios son sulfuros de hierro y manganeso, provenientes de los afloramientos de las unidades Jqv, que es de oigen esencialmente volcánico, y de la unidad Pzmv, constituida por rocas metamórficas, que afloran en el área montañosa, inmediatamente aguas arriba de las áreas mencionadas.

Finalmente, en el borde sur del departamento, hay una franja de aguas subterráneas caracterizada por contenidos altos de hierro y manganeso (Plancha 1). Estas aguas se encuentran en ambiente reductor como lo demuestran los valores negativos del potencial redox (Tabla 14). 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 para el acuífero profundo con profundidades de 60 m o más.

2.2.2.2 Unidades Acuíferas de edad Terciaria. De los diagramas de Piper, figuras No. 46, 47 y 48 (Anexo 3), se deduce la siguiente clasificación geoquímica:

a) Sedimentitas de Arjona (Tpaa). El agua proveniente de este acuífero se clasifica primordialmente como bicarbonatada sódica. Se encuentra en pozos del área Astrea - Arjona - Mandinguilla (y puntualmente en Tamalameque y Curumaní); también, en aljibes del sector Chimichagua - Candelaria. De Mandinguilla hacia el sur hasta Candelaria, aisladamente el agua es bicarbonatada cálcica. También lo es aquella de Curumaní.

   El contenido alto de hierro en las aguas de esta unidad se relaciona seguramente con sus valores bajos de pH, lo cual facilita la disolución de algunos óxidos de hierro presentes como minerales en esta unidad.

b) Formación Cuesta (Tmc). En este acuífero no se observa uniformidad de iones dominantes en el agua, solamente una tendencia a tener en común los iones bicarbonatos y calcio, sin estar en proporción dominante. Los puntos de captación se localizan en Chiriguaná y entre la población de La Loma y la loma llamada los Venados. Esta se halla equidistante entre La Loma y La Jagua de Ibirico.

c) Formación Los Cuervos (Tec). Solamente se dispone de la información de dos (2) pozos: Uno ubicado en la Jagua de Ibirico, que se caracteriza por tener agua bicarbonatada magnésica, y el otro en la localidad de La Palmita, de conductividad muy baja, en la cual los iones no son detectables por el análisis realizado.

   El contenido alto de hierro encontrado en el pozo No. 48IB7 se debe a la presencia de Pirita, como se explicó ya anteriormente.

d) Formación Barco (Tpb). Se muestrearon captaciones de este acuífero en los sectores de Loma Colorada, Jagua de Ibirico y Puerto Lajas. Alternan las aguas cloruradas sódicas, las bicarbonatadas sódicas y las bicarbonatadas cálcicas.

2.2.2.3 Unidades acuíferas de edad Cretácea.

a) Formación La Luna (Ksl). Se tienen dos muestras de este acuífero, tomadas en pozos ubicados al costado occidental del Municipio Agustín Codazzi. En uno, la clasificación es

bicarbonatada sódica y en el otro, bicarbonatada cálcico magnésica.

b) Grupo Cogollo (Kmc). Las aguas analizadas de este acuífero son captadas por aljibes localizados bordeando el extremo sur de la Sierra Nevada de Santa Marta, desde Bosconia hasta Caracolí. En el área de Codazzi están ubicados un pozo y un aljibe y en la de Casacará, un manantial. Estas aguas en general se clasifican como bicarbonatadas cálcicas y/o magnésicas.

c) Formación Rionegro (Kir). El agua del pozo 48IIIC48 es del tipo bicarbonatada cálcica y/o magnésca.

2.2.2.4 Unidades Acuíferas del Jurásico.

a) Unidad La Quinta Volcanoclástica (Jqv). Las captaciones muestreadas en esta unidad se ubican en la región que se extiende entre las localidades de Las Vegas y El Burro. En estas aguas no se observa una tendencia general de iones dominantes. Alternan los aniones bicarbonato y cloruro (sulfato puntualmente en Palestina) y los cationes calcio y sodio (puntualmente magnesio en Chimichagua y potasio en Las Vegas).

Los valores anómalos de manganeso, sulfatos, pH y sólidos disueltos, aunque no se muestran arealmente constantes, están directamente relacionados con la composición mineralógica característica de las unidades de origen valcánico, como lo es ésta.

b) Granitoides Jurásicos (Jgr). Las captaciones analizadas en esta unidad, son dos aljibes, localizados al oriente de El Copey. El agua de éstos se clasifica como bicarbonatada cálcico - magnésica.

INGEOMINAS

3. AGUAS SUPERFICIALES

Con el fin de tener una visión global de la calidad de las aguas superficiales del Departamento, se colectaron unas pocas muestras a lo largo del recorrido realizado durante la toma de muestras de aguas subterráneas.

3.1 TOMA DE MUESTRAS

Los sitios se seleccionaron en procura de obtener muestras de los principales cuerpos de agua superficial.

Sin embargo, su representatividad tiene limitaciones: En cada sitio seleccionado se tomó una muestra puntual y no una serie de muestras compuestas e integrales como es lo recomendable en estos casos.

Se tomaron muestras de ríos, quebradas, ciénagas, plantas de tratamiento y agua lluvia. En los ríos y ciénagas se utilizó el mismo muestreador de aguas en aljibes (fotografía 1). Las muestras se discriminan así:

a) Ríos. Se tomaron al centro del cauce y, en general, a media altura de su profundidad. En cada ocasión, la toma se realizó desde un puente.

   Se seleccionaron los siguientes ríos:
   1- R. Aguas Blancas
   2- R. Ariguaní
   3- R. Sicarare
   4- R. Maracas
   5- R. Guatapurí
   6- R. Cesar
   7- R. Garupal
   8- R. María Angola
   9- R. Callao
   10- R. Tucuy
   11- R. Calenturitas
   12- R. Canoas
   13- R. Magdalena

b) Ciénagas. La distancia desde la orilla y la profundidad a la cual se tomó fue variable, de acuerdo con las disponibilidades locales de acceso. Se tomó muestra en tres ciénagas:

- Ciénaga Saloa: en la localidad de Saloa, a 500 metros de distancia, hacia el centro de la misma, a tres metros de profundidad.

- Ciénaga Zapatosa: en la localidad de Candelaria; a 30 metros de la orilla superficialmente.

- Ciénaga Doña María: en el municipio de Patiño; a 4 metros de distancia desde la orilla, a un metro de profundidad.

c) Quebradas. En la mitad del cauce y a profundidad media, se tomó mjestra en tres Quebradas: Q. Honda, Q. Buturama y Q. Torcoroma.

d) Agua lluvia. Se tomó una muestra en el área de la plancha 41IC, unos 20 Km al nordeste de la localidad de Casacará.

e) Plantas de Tratamiento. Se tomaron muestras de agua tratada en las plantas de tratamiento, para abastecimiento de auga potable en la ciudad de Aguachica y en el municipio de La Gloria. Aquella se abastece del agua de la Quebrada Buturama y éste del Río Magdalena.

La relación de muestras tomadas se presenta junto con los resultados analíticos y su localización en el Anexo 1.

3.2 ANALISIS

El procedimiento seguido para preservación y análisis de las muestras es el mismo utilizado en las aguas subterráneas (numerales 1.2.2 y 1.2.3) se realizó análisis físico-químico a todas las muestras.

3.3 RESULTADOS

Los resultados de análisis obtenidos para cada punto se presentan en el anexo 1.

3.4 INTERPRETACION DE RESULTADOS

Teniendo en cuenta que el aprovechamiento primordial del agua superficial es para consumo humano y el de irrigación, la evaluación de los resultados se hace desde éstos puntos de vista.

INGEOMINAS

Sin embargo, debe tenerse en cuenta que los resultados de calidad de agua que se dan a continuación, se refieren a un muestreo puntual, lo cual indica las condiciones del agua en el instante de tomar la muestra y no en general las características de cada cuerpo de agua. Para la toma de decisiones de uso del agua se requiere un muestreo seriado y sistemático, que incluya además del análisis físico - químico, el bacteriológico.

3.4.1 Calidad del Agua para Consumo Humano.

Para esto se aplican las normas, establecidas en el Decreto 1594 de 1984, (tabla 4), la cuales debe cumplir el agua que para su potabilización solo requiere tratamiento convencional. Al respecto, el decreto presenta la siguiente definición: "Entiéndese por TRATAMIENTO CONVENCIONAL para potabilizar las aguas, los siguientes procesos y operaciones: coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección".

Una evaluación de los resultados frente al decreto permite concluir lo siguiente:

a) Todas las muestras de agua tomadas, para su potabilización solo requieren tratamiento convencional, excepto la del Río Ariguaní y la de la Ciénaga Zapatosa. La primera sobrepasa el valor de color establecido y la segunda los valores de color, pH y manganeso, según se indica a continuación:

Identificación	R. Ariguaní Puente Bosconia - El Difícil (93 06 12)	Ciénaga Zapatosa Localidad La Candelaria 93 03 01	Valor máximo recomendable Decreto 1594/84
Color, Unidades Pb - Co	100	300*	75
pH (a temp. de toma)		9.74	5.0 - 9.0
Manganeso en soluc, mg Mn/L		10	

* Color verde amarillento

Aunque esta norma no establece valor alguno para Manganeso, el resultado de la ciénaga de Zapatosa se considera anómalo para la potabilidad del agua, por lo cual se menciona.

INGEOMINAS

3.4.2 Calidad del Agua para Irrigación.

Para evaluar las aguas en este sentido, se clasificaron para riego, mediante el Diagrama de Wilcox - Thorne. Esto dio como resultado que todas se clasifican en la categoría C1S1, es decir, son adecuadas para riego.

INGEOMINAS

4. CONCLUSIONES

* El 80% de las aguas subterráneas muestreadas en el Departamento son químicamente potables, respecto a las normas OMS (1971, en Catalán, 1981).

* En términos generales el 70% de las aguas subterráneas muestreadas en el Departamento son adecuadas para riego, en suelos que tengan lavado moderado y en plantas moderadamente tolerantes a las sales.

* Un área amplia, localizada al extremo sur y suroccidente de la S.N. de Santa Marta se caracteriza por tener aguas subterráneas, en el acuífero libre del edad Cuaternario, con tendencia a ser impotables por los niveles de dureza total, sólidos disueltos, cloruros y sulfatos, e inadecuadas para riego por sus elevados valores de Relación de Adsorción de sodio, salinidad, y carbonato de sodio residual.

* Los acuíferos de edad Cuaternaria, tienen sectores con aguas de calidad regular a inadecuada para irrigación, ubicados solamente al Norte del pueblo de Chiriguaná; pero éstos se extienden arealmente de manera especial hacia el NW y NE de La Loma. En el resto del Departamento, especialmente hacia el sur de Chiriguaná, las aguas de éstos acuíferos son aptas para el riego.

* Las aguas subterráneas clasificadas como químicamente impotables en los acuíferos de edad Cuaternaria, se deben predominantemente a valores bajos de pH y valores de manganeso por encima del máximo permisible de las Normas OMS (1971, en Catalán, 1981).

* En términos generales, existen dos áreas amplias de aguas predominantemente potables, en el acuífero libre de los depósitos de edad Cuaternaria: la primera, se extiende desde Bosconia - La Loma - Becerril hacia el Norte, hasta el extremo nororiental del Departamento, y la segunda, al sur del mismo, desde la altura de Zapatosa hasta la altura de Montecitos.

* En general, las aguas subterráneas, de captaciones con caudal mayor de 2 litros/seg, tienen tendencia a ser agresivas. No tienen tendencia a precipitar carbonato de calcio, en usos industriales, a pesar de ser predominantemente bicarbonatadas cálcicas y/o magnésicas.

INGEOMINAS

* Respecto al contenido de hierro y manganeso, las aguas de pozos, en general son adecuadas para usos industriales, excepto la de algunos localizados puntualmente, especialmente en el extremo sur del departamento.

* En términos generales, el agua subterránea del acuífero libre del Cuaternario, en un área ubicada al noroeste de Bosconia, es inadecuada para usos industriales por su alta salinidad, debida en parte a la presencia de valores altos de cloruros y sulfatos.

* El agua subterránea dulce de los acuíferos libres Cuaternarios, se localiza principalmente en el piedemonte, tanto de la Sierra Nevada de Santa Marta, paralelamente al Río Cesar, como en el de la Serranía del Perijá, desde la población Los Brasiles hasta el extremo sur del Departamento.

* Del punto de vista geoquímico, las aguas subterráneas del Departamento son predominantemente bicarbonatadas cálcicas y/o magnésicas y en segundo lugar bicarbonatadas sódicas.

* De la distribución regional de las líneas de isoconductividad, para las aguas de los acuíferos libres del Cuaternario, se puede deducir que el flujo de éstas aguas es hacia los cauces de los ríos Cesar, Ariguaní y Magdalena, lo mismo que hacia la zona de Ciénagas.

* Para las aguas de las unidades acuíferas del Cuaternario:

  - Las áreas con tipo de agua bicarbonatado sódico, tienden a estar localizadas aguas abajo de las áreas ocupadas por aguas bicarbonatadas cálcicas y/o magnésicas, teniendo en cuenta la dirección del flujo subterráneo. Esto se debe a:

  i) La composición característica HCO_3^- Ca^{+2} y/o Mg^{+2} de las aguas de zona de recarga.

  ii) La evolución natural de las aguas de circulación regional (Custodio & Llamas, 1983).

  iii) Procesos de intercambio iónico sucediendo especialmente en las zonas arcillosas y topográficamente bajas.

  - Algunas áreas restringidas con distribución anómala de los tipos de agua, respecto a su evolución físico - química natural, tienen relación con la influencia del "lavado" de aguas connatas marinas y de la lixiviación de minerales primarios, ambos pertenecientes a unidades geológicas que afloran en sectores aledaños y tienen conexión hidráulica con los acuíferos respectivos de edad Cuaternaria.

- La distribución encontrada, al norte de la línea El Paso - La Loma - Becerril, de aguas con calidad regular a inadecuada para riego, está influida por:

i) La evolución natural de las aguas subterráneas en el acuífero más superficial (libre).

ii) La estrecha interrelación de varios factores naturales que confluyen en esta región: condiciones climáticas, suelos salinos de textura fina, niveles freáticos someros.

iii) Procesos artificiales que incrementan la salinización en los suelos y el agua subterránea freática.

- Las áreas con valores anómalos de hierro y manganeso se asocian a dos situaciones diferentes:

i) Aguas agresivas (pH ácido).

ii) Ambiente reductor (potencial redox negativo), especialmente para los acuíferos profundos.

- Las áreas de los acuíferos del Cuaternario, señaladas por tener aguas del tipo bicarbonatado cálcico y/o magnésico, sirven de guía para indicar donde puede estar ocurriendo la mayor parte de la recarga hacia éstos depósitos (Fig. 53).

INGEOMINAS

5. RECOMENDACIONES

* Asesorar a los usuarios para proteger primordialmente los aljibes y manantiales que, en general, están expuestos a contaminación por infiltración, especialmente de estiercol de ganado y de residuos domésticos (aguas negras y basuras).

* Adecuar sistemas de desinfección, previo estudio bacteriológico, en las aguas para consumo humano, principalmente en aljibes.

* Controlar la aplicación de los sistemas de riego, para que se use el tipo de agua adecuada 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 naturalmente potables o que no cumplen los requisitos para uso industrial, como su problema es esencialmente por hierro, manganeso, pH y en menor escala por Dureza, y sólidos totales disueltos, sus tratamientos para volverlos potables son relativamente sencillos y pueden perfectamente ser considerados desde el punto de vista económico, como alternativas para consumo humano en las regiones respectivas.

INGEOMINAS

BIBLIOGRAFIA

American Society for Testing and Material, 1977, part 31. Philadelphia, Pa.

American Water Works Association, 1975. Control de calidad y tratamiento del agua. Manual de abastecimientos públicos de aguas. Instituto de Estudios de Administración Local, Madrid.

Brownn E., Skougstad M. W. y Fishman M. J., 1970. Methods for Collection and analysis of water samples for dissolved minerals and gases Techiques of water - Resources Investigations of the united states Geological survey (USGS), Washington.

Catalán, J., 1981. Química del Agua, Talleres Gráficos Alonso, Madrid.

Clesceri, L. S. Greenborg, A. E. y Trussel, R. 1989. Standard Methods for the examination of water and Wastewater. 17th edition. Publication office APHA, Washington, D.C.

Custodio E. y Llamas R, 1983. Hidrología subterránea, 2a. edición corregida. Ediciones Omega, Barcelona.

Fassbender H. W., 1982. Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. Instituto Interamericano de Cooeración para la Agricultura. San José, Costa Rica.

HEM, J. D., 1971. Study and Interpretation of the Chemical characteristics of Natural Water. U.S. Geol. Survey Wat. Sup. Paper 1473. 269 pp. Washington.

ICP, 1991. Seminario "Evaluación de dificultades y mejoramiento del control de calidad en el análisis de las aguas subterráneas. Bucaramanga.

Laboratorio de Química Ambiental, 1991, Manual de Técnicas de Análisis de Aguas. INGEOMINAS, Bogotá.

Lloyd J. W. y Heathcote J. A., 1985. Natural inorganic hydrochemistry in relation to groundwater. Clarendon Press - Oxford.

INGEOMINAS

Organización Panamericana de La Salud (OPS), 1987. Guías para la calidad del agua potabla, volumen2. Washington.

Richards L. A., 1973. Suelos Salinos y Sódicos. Departamento de Agrucultura de los Estados Unidos de América, Editorial Limusa. México.

TAHAL Consulting Engineers Ltd., 1972. Cesar No. 1 Project Feasibility Study, Stage One Development Area, Vol. 2, Basic Data, INCORA. Bogotá.

WHO, 1984. Guidelines for drinking water quality, Vol. 1. Recommendations, WHO. Geneva.

INGEOMINAS

ANEXO 1.

RESULTADOS DEL ANALISIS FISICO - QUIMICO DE LAS AGUAS SUPERFICIALES

	Río Aguas Blancas Puente vía u/par Bosconia	Río Ariguaní Puente vía Bosconia - El Difícil	Agua lluvia	Río Sicarare Puente vía Codazzi - Casacará	Río Maracas Puente vía Becerril - Pailitas
Plancha	**34IC**	**40IA**	**41IC**	**41IIID**	**41IIID**
Fecha de Toma	**93-06-10**	**93-06-12**	**93-09-13**	**93-09-17**	**93-12-05**
Temperatura de toma, °C	29.4	30.6	24.8	30.8	30.5
No. Muestreo					
Identificación					
Alcalinidad total como $CaCo_3$ mg/L	90	74	7	100	138
Acedez total como $CaCo_3$ mg/L					
Color, unidades Pt-Co	15	100	<5	10	15
Conductividad específica a 25°C, micromhos/cm	246	141	10	22	39
Dureza total (Ca, Mg) como $CaCo_3$ mg/L	92	44	<10	95	168
pH potenciométrico a °C	7.50	7.34	7.24	8.20	7.20
Sólidos totales (evaporación 105°C), mg/L					
Sólidos en solución (evaporación 105°C), mg/L	150	80	6.0	132	251
Sólidos en suspensión, mg/L					
Turbiedad, NTU	10	15	<5.0	15	10
IONES EN SOLUCION (mg/L):					
Calcio como Ca^{++}	27	13	4	25	51
Hierro total como Fe	50.1	0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Magnesio como Mg^{++}	5.8	2.9	<3.0	7.8	10
Manganeso total como Mn	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Potasio como K^+	0.8	3.5	<1.0	1.3	18
Sodio como Na^+	17	13	<1.0	6.0	4.8
Bicarbonatos como HCO_3-	110	90	8.5	122	168
Carbonatos como CO_3=	0.0	0.0	0	0	0
Cloruros como Cl-	11	14	<5.0	7.1	7.1
Nitratos como NO_3-	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0
Sulfatos como SO_4	37	4.8	<5.0	40	58
Fosfatos como P					

INGEOMINAS

	Río Guatapurí Puente Hurtado Valledupar	Río Cesar Puente Salguero	Río Guarupal Puente vía Valledupar-Bosconia	Río Ma. Angola Puente vía Valedupar-Bosconia	Río Callao Puente vía Valledupar-Bosconia
Plancha	**27IIIB**	**33IVB**	**33IVC**	**33IVB**	**34IB**
Fecha de Toma	**93-06-10**	**93-06-25**	**93-09-22**	**93-05-24**	**93-062-10**
Temperatura de toma, °C	31.0	30.5	29.8	29.5	29.7
No. Muestreo					
Identificación					
Alcalinidad total como $CaCo_3$ mg/L	16	61	55	62	68
Acedez total como $CaCo_3$ mg/L					
Color, unidades Pt-Co	15	25	10	30	35
Conductividad específica a 25°C, micromhos/cm	65	167	119	145	155
Dureza total (Ca, Mg) como $CaCo_3$ mg/L	22	49	50	210	64
pH potenciométrico a °C	7.10	7.02	7.40	7.4	7.95
Sólidos totales (evaporación 105°C), mg/L					
Sólidos en solución (evaporación 105°C), mg/L	37	115	67	87	90
Sólidos en suspensión, mg/L					
Turbiedad, NTU	5.0	40	10	5.0	10
IONES EN SOLUCION (mg/L):					
Calcio como Ca^{++}	5.2	16	14	8.8	18
Hierro total como Fe	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Magnesio como Mg^{++}	2.2	2.3	3.9	6.3	4.4
Manganeso total como Mn	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Potasio como K^+	<1.0	3.9	3.9	1.2	1.2
Sodio como Na^+	4.1	16	8.7	9.2	9.4
Bicarbonatos como HCO_3^-	19	74	67	76	83
Carbonatos como $CO_3=$	0.0	0.0	0	0.0	0.0
Cloruros como Cl-	6.0	11	7.1	14	11
Nitratos como NO_3^-	19	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0
Sulfatos como SO_4	<2.0	4.0	2.4	<5.0	2.4
Fosfatos como P					

INGEOMINAS

	Río Tueuy Puente vía Becerril - La Jagua de Ibirico	Río Calenturitas Puente contiguo a la Hacienda Florito	Río Canoas localidad de Canoas	Ciénaga Saloa localidad de Saloa	Ciénaga Zapatosa Población La Candelaria
Plancha	48IB	40IVD	47IIB	55IIC	55ID
Fecha de Toma	93-12-02	93-11-30	93-09-08	93-12-10	94-03-01
Temperatura de toma, °C	29.6	31.2	28.6	31.0	30.4
No. Muestreo					
Identificación					
Alcalinidad total como $CaCo_3$ mg/L	100	87	80	59	34
Acedez total como $CaCo_3$ mg/L					
Color, unidades Pt-Co	<5	25	25	25	300
Conductividad específica a 25°C, micromhos/cm	26	250	180	155	176
Dureza total (Ca, Mg) como $CaCo_3$ mg/L	100	117	62	64	72
pH potenciométrico a °C	7.10	7.76	7.59	7.10	9.74
Sólidos totales (evaporación 105°C), mg/L					
Sólidos en solución (evaporación 105°C), mg/L	160	190	120	104	98
Sólidos en suspensión, mg/L					
Turbiedad, NTU	10	180	120	10	40
IONES EN SOLUCION (mg/L):					
Calcio como Ca^{++}	26	31	18	16	21
Hierro total como Fe	<0.1	<0.1	<0.1	0.10	<0.1
Magnesio como Mg^{++}	14	9.8	11	5.8	4.8
Manganeso total como Mn	<0.1	<0.1	0.1	0.12	10
Potasio como K^+	1.9	2.4	1.9	3.9	<1.0
Sodio como Na^+	76	7.0	10	10	6.2
Bicarbonatos como HCO_3-	122	106	98	72	42
Carbonatos como CO_3=	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Cloruros como Cl-	5.2	11	8.0	8.8	8.8
Nitratos como NO_3-	<2.0	<2.0	<2.0	2.4	<2.0
Sulfatos como SO_4	21	17	<5.0	<5.0	<5.0
Fosfatos como P					

INGEOMINAS

	Quebrada Honda Puente de Pailitas	Planta de tratamiento de aguas. Municipio La Gloria	Río Magdalena Municipio La Gloria	Quebrada Buturama Localidad de Aguachica	Planta de Tratamiento de Aguas de Aguachica
Plancha	**55IVD**	**65IVC**	**65IVC**	**75IVB**	**75IVB**
Fecha de Toma	**94-03-09**	**94-02-28**	**94-02-28**	**94-03-08**	**94-03-08**
Temperatura de toma, °C	27.2	29.2	29.0	23.6	23.5
No. Muestreo					
Identificación					
Alcalinidad total como $CaCo_3$ mg/L	50	54	58	87	96
Acedez total como $CaCo_3$ mg/L					
Color, unidades Pt-Co	<5	<5	20	<5	<5
Conductividad específica a 25°C, micromhos/cm	145	191	179	222	240
Dureza total (Ca, Mg) como $CaCo_3$ mg/L	61	78	61	105	113
pH potenciométrico a °C	7.8	6.62	7.35	8.21	8.05
Sólidos totales (evaporación 105°C), mg/L					
Sólidos en solución (evaporación 105°C), mg/L	80	125	120	133	150
Sólidos en suspensión, mg/L					
Turbiedad, NTU	10	<5.0	50	5.0	<5.0
IONES EN SOLUCION (mg/L):					
Calcio como Ca^{++}	16.4	26	20	32	34
Hierro total como Fe	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Magnesio como Mg^{++}	4.7	3.4	2.6	5.7	7.0
Manganeso total como Mn	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Potasio como K^{+}	<0.1	<1.0	8.9	<1.0	<1.0
Sodio como Na^{+}	5.7	8.5	2.4	73	8.5
Bicarbonatos como HCO_3-	61	6.6	70	106	117
Carbonatos como CO_3=	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Cloruros como Cl-	11	7.0	10.6	5.0	5.3
Nitratos como NO_3-	11	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0
Sulfatos como SO_4	9.6	26	26	15	13
Fosfatos como P					

INGOMINAS

	Ciénaga Dona María Municipio de Patiño	Quebrada Torcoroma vía Aguachica San Martín			
Plancha	**85IIC**	**86IIIA**			
Fecha de Toma	**94-03-11**	**94-0319**			
Temperatura de toma, °C	30.9	30.2			
No. Muestreo					
Identificación					
Alcalinidad total como $CaCo_3$ mg/L	68	58			
Acedez total como $CaCo_3$ mg/L					
Color, unidades Pt-Co	55	20			
Conductividad específica a 25°C, micromhos/cm	173	131			
Dureza total (Ca, Mg) como $CaCo_3$ mg/L	64	68			
pH potenciométrico a °C	7.75	7.97			
Sólidos totales (evaporación 105°C), mg/L					
Sólidos en solución (evaporación 105°C), mg/L	131	70			
Sólidos en suspensión, mg/L					
Turbiedad, NTU	200	5.0			
IONES EN SOLUCION (mg/L):					
Calcio como Ca^{++}	18	10			
Hierro total como Fe	0.2	< 0.1			
Magnesio como Mg^{++}	4.3	6.0			
Manganeso total como Mn	< 0.1	< 0.1			
Potasio como K^+	2.3	< 1.0			
Sodio como Na^+	8.5	8.1			
Bicarbonatos como HCO_3^-	8.3	70			
Carbonatos como $CO_3=$	0.0	0.0			
Cloruros como Cl-	14	35			
Nitratos como NO_3^-	< 2.0	< 2.0			
Sulfatos como SO_4	< 5.0	< 5.0			
Fosfatos como P					

INGEOMINAS

INGEOMINAS

ANEXO 2.

CLASIFICACION DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS PARA RIEGO

2.1 Diagramas Wilcox Thorne

2.2 Listados de las muestras respectivas

INGEOMINAS

2.1 DIAGRAMAS WILCOX THORNE

INGEOMINAS

2.2 LISTADOS DE LAS MUESTRAS RESPECTIVAS

INGEOMINAS

LISTADO DE MUESTRAS INCLUIDAS EN LA FIGURA No.		
2.	**3.**	**4.**
27 IIC 16	47 IVB 6	55 IVD 11
27 IIIB 10	47 IVD 48	56 IA 6
27 IVA 39	47 IVD 55	56 IA 27
27 IVA 40	48 IA 2	56 IA 28
33 IC 13	48 IA 13	56 IC 6
33 IID 1	48 IB 13	65 IIA 16
33 IIIA 54	48 IC 6	65 IIA 17
33 IVC 8	48 IC 16	65 IIC 11
34 IA 6	48 ID 12	65 IIC 16
34 IC 19	48 IIIA 5	65 IVA 11
41 ID 48	48 IIIA 28	65 IVB 9
41 IIIB 18	48 IIIA 31	75 IVC 17
41 IIIB 84	48 IIIC 21	96 IIB 3
41 IIIC 18	55 IIB 32	97 IC 3
41 IIID 8	55 IID 37	
41 IVA 1	55 IID 133	
47 IIB 16	55 IVA 4	
47 IIB 22	55 IVA 5	
47 IIB 51	55 IVA 9	
47 IIB 55	55 IVB 9	
47 IIC 1	55 IVB 20	
47 IID 2	55 IVC 5	
47 IID 20	55 IVC 19	
47 IID 36	55 IVC 21	

INGEOMINAS

LISTADO DE MUESTRAS INCLUIDAS EN LA FIGURA No.		
5.	6.	7.
27 IIA 1	33 IIIC 34	34 IID 26
27 IIA 5	33 IIIC 42	34 IID 30
27 IIA 6	33 IIIC 43	34 IID 37
27 IIC 2	33 IIID 2	34 IIA 8
27 IIC 10	33 IIID 9	34 IIA 21
27 IIC 11	33 IIID 10	34 IIA 32
27 IIC 18	33 IIID 17	34 IIA 33
27 IIC 23	33 IIID 26	34 IIC 7
27 IIIB 8	33 IIID 31	34 IIC 9
27 IIID 13	33 IVB 11	34 IIC 25
27 IIID 42	33 IVB 12	34 IIIA 13
27 IIID 68	33 IVB 24	34 IIIB 12
27 IIID 91	33 IVB 37	34 IIIB 15
27 IVA 20	33 IVB 39	34 IIIB 22
27 IVA 38	33 IVB 41	34 IIID 32
27 IVC 11	33 IVD 17	34 IVA 7
27 IVC 35	34 IA 1	34 IVA 14
27 IVC 61	34 IB 27	34 IVA 20
27 IVC 86	34 IB 63	34 IVC 11
33 IC 4	34 IC 8	34 IVC 18
33 IC 7	34 IC 37	40 IIA 11
33 IID 2	34 IC 42	40 IIB 5
33 IIIA 11	34 IC 54	40 IIB 6
33 IIIA 40	34 ID 5	40 IIB 9
	34 ID 8	

INGEOMINAS

LISTADO DE MUESTRAS INCLUIDAS EN LA FIGURA No.		
8.	**9.**	**10.**
40 IID 7	48 IB 6	98 IB 5
41 40 IID	48 IC 15	
40 IID 12	55 IIA 13	
40 IVB 2	55 IIB 19	
40 IVC 76	55 IID 7	
41 IA 10	55 IID 16	
41 ID 18	55 IVD 7	
41 ID 32	56 IC 9	
41 ID 46	65 IVB 13	
41 ID 60	65 IVB 18	
41 IIA 3	65 IVD 8	
41 IIA 8	65 IVD 9	
41 IIC 5	75 IIA 5	
41 IIIB 41	75 IIB 13	
47 IVB 41	75 IID 5	
10 47 IVD 31	75 IVB 5	
48 IB 4	75 IVC 1	
	86 IC 4	
	97 IB 3	

INGEOMINAS

LISTADO DE MUESTRAS INCLUIDAS EN LA FIGURA No.		
11.	12.	13.
41 IIC 8	27 IIA 8	33 IIID 1
	27 IIID 35	33 IIID 19
	27 IIID 52	33 IIID 21
	27 IIID 61	33 IIID 24
	27 IIID 73	33 IVB 26
	27 IIID 76	33 IVA 1
	27 IIID 83	33 IVB 42
	27 IVA 5	33 IVC 9
	27 IVA 12	33 IVC 11
	27 IVA 13	33 IVD 13
	27 IVA 25	33 IVD 16
	27 IVA 26	33 IVD 19
	27 IVA 27	33 IVD 33
	27 IV 3	34 IB 1
	27 IVC 37	34 IB 15
	33 IC 8	34 IB 16
	33 IIIA 41	34 IB 28
	33 IIIA 48	34 IB 54
	33 IIIA 53	34 IB 64
	33 IIIC 3	34 ID 19
	33 IIIC 5	34 ID 22
	33 IIIC 6	34 ID 23
	33 IIC 10	34 ID 25
	33 IIIC 14	

INGEOMINAS

LISTADO DE MUESTRAS INCLUIDAS EN LA FIGURA No.		
14.	**15.**	**16.**
34 IIA 16	40 IA 11	40 IVC 70
34 IIA 19	40 IB 2	4 IVD 10
34 IIA 22	40 IB 13	41 1A 7
34 IIA 24	40 IB 37	41 1B 18
34 IIC 4	40 IB 43	41 1B 35
34 IIC 5	40 ID 6	41 1B 52
34 IIC 18	40 ID 10	41 1B 56
34 IIC 20	40 ID 13	41 1C 15
34 IIIA 8	40 ID 16	41 1C 17
34 IIIA 18	40 ID 21	41 1C 25
34 IIIA 35	40 IIA 36	41 1C 27
34 IIIA 44	40 IIA 37	41 IIIA 16
34 IIIA 45	40 IIB 4	41 IIIB 51
34 IIIB 32	40 IIB 14	41 IIIB 81
34 IIIB 35	40 IIB 24	41 IIIC 4
34 IIIC 4	40 IVA 1	41 IIIC 9
34 IIIC 9	40 IVA 6	41 IIIC 11
34 IIIC 19	40 IVA 11	41 IIIC 16
34 IIID 25	40 IVA 19	41 IIID 1
34 IIID 50	40 IVA 24	41 IIID 31
34 IVC 10	40 IVA 32	48 IIIC 30
40 IA 2	40 IVB 5	55 IID 108
40 IA 3	40 IVC 20	47 IIA 23
40 IA 9		47 IIB 49

INGEOMINAS

LISTADO DE MUESTRAS INCLUIDAS EN LA FIGURA No.		
17.	**18.**	**19.**
47 IID 17	27 IIID 44	34 IVC 16
47 IVA 5	27 IVC 89	48 IIIA 42
47 IVB 12	34 IB 5	48 IIIC 37
47 IIA 2	85 IIA 1	55 IIB 40
55 IIB 6	85 IVA 2	55 IID 110
55 IIC 19		56 IA 24
55 IIC 30		65 IIA 1
86 IA 7		65 IIID14
		65 IVA 6
		65 IVA 14
		65 IVD 14
		75 IIB 10
		75 IVD 9
		85 IIC 1
		85 IID 16
		85 IID 20
		85 IVB 5
		85 IVB 8
		85 IVD 6
		86 IIIA 20
		86 IIIC 11
		86 IIIC 33
		96 IIB 27

INGEOMINAS

LISTADO DE MUESTRAS INCLUIDAS EN LA FIGURA No.		
20.	**21.**	**22.**
27 IIIB 11	85 IVB 27	47 IC 1
27 IIID 44	85 IVB 42	47 ID 10
34 IIID 40	85 IVD 2	47 ID 30
41 IIIA 10	85 IVD 33	47 IIIA 3
47 IIC 6	86 IIA 15	47 IIID 8
47 IIC 15	86 IIIC 15	55 IB 78
47 IVA 2	96 IIB 17	55 IB 86
48 IIIA 1	96 IID 3	55 ID 9
55 IIA 9	96 IID 6	65 IB 6
55 IID 98	97 IA 6	40 IB 3
65 IVC 2	97 IA 7	40 IVC 81
65 IVC 5	97 IA 26	47 IIIA 5
75 IIB 9	97 IC 1	47 IIIB 16
75 IVA 1	97 IC 6	47 IIIC 2
75 IVA 7	97 IC 33	55 IB 41
75 IVD 10	97 IC 37	55 IB 52
85 IIA 21		55 IB 88
85 IIB 13		55 ID 19
85 IIB 18		55 IIC 3
85 IIB 21		55 IVA 1
85 IIC 5		
85 IID 28		
85 IID 29		
85 IVB 17		

INGEOMINAS

LISTADO DE MUESTRAS INCLUIDAS EN LA FIGURA No.		
23.	**24.**	**25.**
40 IVC 8	34 IIID 4	33 IIID 33
40 IVD 6	34 IIID 42	33 IVC 31
40 IVD 22	40 IVB 14	33 IVC 32
41 IA 7		40 IB 10
40 IIA 16		40 IB 11
40 IIA 21		40 IB 27
40 IIC 4		40 IB 35
40 IIC 6		41 IIA 13
		41 IB 5
		41 IIC 1

INGEOMINAS

LISTADO DE MUESTRAS INCLUIDAS EN LA FIGURA No.		
26.	**27.**	**28.**
47 IVD 41	55 IID 38	33 IIIB 3
48 IA 4	55 IIA 11	33 IIIB 8
48 IA 10	55 IVB 5	
48 IB 7	55 IVD 5	
48 IC 9	65 IIB 1	
48 IIIC 48	65 IIC 14	
48 ID 11	65 IIC 21	

INGEOMINAS

ANEXO 3.

DIAGRAMAS PIPER

Nota: Para cada muestra, en el respectivo diagrama se especifica:

- Fecha e identificación.
- Zona de iones dominantes en el agua subterránea, de acuerdo con la figura 29.