# CARACTERIZACIÓN HIDROQUÍMICA Y BACTERIOLÓGICA DEL ACUÍFERO MORROA EN LOS MUNICIPIOS DE SAMPUÉS, SINCELEJO, MORROA, COROZAL Y LOS PALMITOS EN EL DEPARTAMNTO DE SUCRE

HELMUTH ARGUMEDO VIVAS

GUBERNEY RODELO BEJARANO

NICOLAS RODRIGUEZ SUAREZ

UNIVERSIDAD DE SUCRE

FACULTAD DE INGENIERIA

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA AGRÍCOLA

SINCELEJO

2002

# CARACTERIZACIÓN HIDROQUÍMICA Y BACTERIOLÓGICA DEL ACUÍFERO MORROA EN LOS MUNICIPIOS DE SAMPUÉS, SINCELEJO, MORROA, COROZAL Y LOS PALMITOS EN EL DEPARTAMNTO DE SUCRE

HELMUTH ARGUMEDO VIVAS

GUBERNEY RODELO BEJARANO

NICOLAS RODRIGUEZ SUAREZ

Trabajo de grado para optar al titulo de Ingeniería Agrícola

Director:

ANTONIO TOVAR ORTEGA

Ing. Agrícola

Esp. Manejo de Aguas y Suelos

UNIVERSIDAD DE SUCRE

FACULTAD DE INGENIERIA

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA AGRÍCOLA

SINCELEJO

2002

## NOTA DE ACEPTACIÓN

_____

_____

_____

_____

**Presidente del Jurado**

_____

**Jurado**

_____

**Jurado**

**"Únicamente los autores son responsables de las ideas expuestas en el presente trabajo".**

"Parágrafo, Articulo 12, Res. 004/2001. Consejo Académico Universidad de Sucre".

## DEDICATORIA

"A la memoria de mi madre"
A mi familia por su constante
apoyo y confianza.

GUBERNEY

A Dios
A mis padres: Alfredo y Ana por
su gran apoyo y dedicación
A mis hermanos: Martín, Guido,
Harold y Eliana
A mi sobrino: Camilo
A mi novia Evis.

HELMUTH

A Dios
A mi Padre y Madre, por su apoyo
A mi hijo Camilo
A mi esposa Yoiris
A mis hermanas: Nidia, Nieves,
Dalcy, y Diana.
A mi tío Edilberto.

NICOLAS

## AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a:

ANTONIO TOVAR ORTEGA, Ingeniero Agrícola, Especialista en manejo de Aguas y Suelos, Director del proyecto, por su valiosa colaboración.

HECTOR MARIO HERRERA, Ingeniero Geólogo, Especialista en Ciencias Ambiéntales, Coordinador del grupo de Aguas de CARSUCRE, Coordinador y Asesor del proyecto, por sus invaluables aportes durante la ejecución y organización de este trabajo.

LUZ ELENA ROMERO, Ingeniero Agrícola, Especialista en Ciencias Ambientales, funcionaria de CARSUCRE, por su apoyo, colaboración, asesoria oportuna y acompañamiento tanto en el trabajo de campo, como en el de oficina.

EURIEL MILLAN ROMERO, Ingeniero Agrícola, Decano Facultad de Ingeniería Universidad de Sucre.

OMAR PEREZ, funcionario de CARSUCRE, por sus aportes y acompañamiento en el trabajo de campo.

CESAR VALETA, Ingeniero Agrícola, Jefe de Departamento de Ingeniería Agrícola.

Departamento Administrativo De Seguridad Social En Salud De Sucre – DASSSALUD – por la realización de análisis bacteriológicos y aportes bibliográficos.

INGEOMINAS, por su asesoría en la toma de muestras; manejo de programas y realización d los análisis físico – químicos.

Corporación Autónoma Regional de Sucre – CARSUCRE – por su apoyo logístico, bibliográfico y la oportunidad de realizar éste trabajo.

UNIVERSIDAD DE SUCRE, por la formación integral de profesionales idóneos.

A la biblioteca de la UNIVERSIDAD DE SUCRE

Al Grupo de Aguas de CARSUCRE, por su apoyo logístico, aportes bibliográficos y de conocimientos necesarios para la culminación del trabajo.

Todas aquellas personas que de una u otra forma colaboraron y apoyaron para que éste trabajo llegara a su feliz término.

# TABLA DE CONTENIDO


| | Pág. |
|---|---|
| INTRODUCCIÓN | 1 |
| 1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA | 2 |
| 2. JUSTIFICACIÓN | 3 |
| 3. OBJETIVOS | 4 |
| 3.1 OBJETIVO GENERAL | 4 |
| 3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS | 4 |
| 4. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO | 5 |
| 4.1 LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO | 5 |
| 4.2 CARACTERISTICAS GEOLÓGICAS | 7 |
| 4.2.1 Formación El Carmen | 9 |
| 4.2.2 Formación Antonio | 9 |
| 4.2.3 Formación Sincelejo | 9 |
| 4.2.3.1 Formación Sincelejo Inferior | 9 |
| 4.2.3.2 Formación Sincelejo Superior | 9 |
| 4.2.4 Formación Morroa | 10 |
| 4.2.4.1 Formación Morroa Arenosa | 10 |
| 4.2.4.2 Formación Morroa Arcilloso | 11 |

4.2.5 Formación Betulia 11

4.3 Hidrogeología 12

4.3.1 Unidad Hidrogeológica 1 12

4.3.2 Unidad Hidrogeológica 2 14

4.3.3 Unidad Hidrogeológica 3 14

4.3.3.1 Características Hidrogeológicas 14

4.3.3.2 Niveles Acuíferos de la Formación Morroa 15

4.3.4 Unidad Hidrogeológica 4 18

4.3.5 Unidad Hidrogeológica 5 18

4.3.6 Unidad Hidrogeológica 6 19

4.4 FISIOGRAFIA 19

4.4.1 Hidrografía 20

4.4.2 Clima 20

5. MATERIALES Y EQUIPOS 21

6. ESTADO DEL ARTE 23

6.1 OCURRENCIA DEL AGUA SUBTERRÁNEA 23

6.2 DISTRIBUCIÓN VERTICAL DEL AGUA SUBTERRÁNEA 23

6.3 TIPOS DE ACUÍFEROS 25

6.3.1 Acuíferos Libres 25

6.3.2 Acuíferos Confinados 26

6.3.3 Acuíferos Semiconfinados 26

6.4 ANALISIS QUÍMICO EN AGUAS SUBTERRÁNEAS 27

6.4.1 Parámetros de Calidad de la Aguas 27

6.4.1.1 Parámetros Físicos 27

6.4.1.2 Parámetros Químicos 29

6.4.1.3 Parámetros Bacteriológicos 34

6.4.1.4 Parámetros Radiológicos 35

6.4.2 Presentación de Resultados de los Análisis 35

6.4.2.1 Diagramas Individuales 35

6.4.2.2 Diagramas Colectivos 37

6.4.2.3 Planos Hidroquímicos 39

6.5 DETERMINACIÓN DE LA ROCA FUENTE 40

6.5.1 Deducción de Roca por Análisis Químicos 41

7. METODOLOGÍA 46

7.1 REVISIÓN DE LA INFORMACIÓN EXISTENTE 46

7.2 SELECCIÓN DE LOS POZOS A MUESTREAR 46

7.3 TRABAJO DE CAMPO 47

7.3.1 Visitas Previas 47

7.3.2 Toma de Muestras 47

7.3.3 Registro de parámetros *In Situ* 49

7.4 TRABAJO DE LABORATORIO 51

7.4.1 Análisis físico – Químicos 51

7.4.2 Análisis Bacteriológicos 53

7.5 ACTIVIDADES DE OFICINA 53

8. RESULTADOS 55

9. ANÁLISIS DE RESULTADOS 62

9.1 EVALUACIÓN DE ANÁLISIS FISICO – QUÍMICOS 62

9.2 CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO 68

9.2.1 Calidad Físico – Química 68

9.2.2 Calidad Bacteriológica 72

9.3 CALIDAD DEL AGUA PARA RIEGO 75

9.4 HIDROQUÍMICA 81

9.4.1 Clasificación Geoquímica 81

9.4.2 Variación Espacial 90

9.4.3 Determinación de la Roca Fuente 95

10. CONCLUSIONES 99

11. RECOMENDACIONES 102

12. BIBLIOGRAFÍA 104

ANEXOS 107

# LISTA DE FIGURAS

**Pág.**


Figura 1. Localización del Área de Estudio en Planchas 1:25.000 del IGAC. 7

Figura 2. Distribución Vertical del Agua Subterránea 24

Figura 3. Tipos de acuíferos 26

Figura 4. Diagramas Columnares 36

Figura 5. Diagramas Radiales 36

Figura 6. Diagramas de Stiff 37

Figura 7. Diagrama de Piper 38

Figura 8. Diagrama de Scholler – Berkaloff 39

Figura 9. Mapas de Isolineas. 40

Figura 10. Toma de Muestras. Recipientes plásticos. 48

Figura 11. Toma de Muestras. Enjuague de recipientes. 48

Figura 12. Toma de muestras. Llenado de recipientes. 49

Figura 13. Determinación de T°, CE, pH "I*n Situ*". Multiline $P_4$F/SET – 3 50

Figura 14. Determinación de alcalinidad "I*n Situ*". 50

Figura 15. Trabajo de Oficina. (Elaboración de tablas). 54

Figura 16. Trabajo de Oficina. (Uso de Softwards). 54

Figura 17. Diagrama de Schoeller – Berkaloff. 73

Figura 18. Diagrama de Schoeller – Berkaloff. 74

Figura 19. Diagrama para clasificación de aguas para riego (USDA). 77

Figura 20. Clasificación iónica según Piper. Primer grupo. 82

Figura 21. Clasificación iónica según Piper. Segundo grupo. 83

Figura 22. Diagrama de Piper para el cambio iónico. 85

Figura 23. Diagramas de Stiff. 86

# LISTA DE MAPAS

**Pág.**


Mapa 1. Mapa de Localización 6

Mapa 2. Mapa geológico de la Zona de Estudio 8

Mapa 3. Mapa hidrogeológico de la zona de estudio 13

Mapa 4. Mapa Isosólidos Disueltos 91

Mapa 5. Mapa Isoconductividad 92

Mapa 6. Mapa Isocloruros 93

Mapa 7. Mapa Isocalcio 94

# LISTA DE TABLAS

**Pág.**

Tabla 1. Resumen análisis físico – químicos UNISUCRE. 56

Tabla 2. Resumen análisis físico – químicos INGEOMINAS. 58

Tabla 3. Resumen análisis bacteriológico DASSSALUD 60

Tabla 4. Relaciones de chequeo análisis físico – químicos UNISUCRE. 63

Tabla 5. Relaciones de chequeo análisis físico – químicos INGEOMINAS. 66

Tabla 6. Criterios e Indices de clasificación de agua para riego. 76

Tabla 7. Grupo de agua e índice de clasificación para riego. 80

Tabla 8. Clasificación iónica de las aguas según Piper 84

Tabla 9. Planilla de deducción de la roca. 96

# LISTA DE CUADROS

**Pág.**

Cuadro 1. Parámetros "In Situ". 49

Cuadro 2. Análisis Físico – Químicos 52

Cuadro 3. Microorganismos Indicadores 53

# LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Inventario de Pozos. SIGAS, 2001

Anexo B. Normas de INS (Instituto Nacional de Salud).

Anexo C. Análisis Bacteriológico DASSSALUD

Anexo D. Análisis Fisicoquímicos INGEOMINAS

Anexo E. Tabla de Conversión (Parámetros físico – químicos en meq/lt.)

Anexo F. Deducción de la Roca Fuente (Memoria Curso Hídroquimica de Chile, Agosto 2002).

# RESUMEN

El presente estudio se llevo a cabo con el objetivo de caracterizar hidroquímica y bacteriológicamente el agua subterránea del acuífero Morroa en los municipios de Sampués, Sincelejo, Corozal, Morroa y Los Palmitos.

Para ello, se obtuvieron 36 muestras de aguas subterráneas para igual numero de análisis físico – químicos y 50 para análisis bacteriológicos.

De acuerdo a los resultados obtenidos de los análisis químicos es posible señalar que las aguas analizadas corresponden al tipo geoquímico bicarbonatadas sódicas, bicarbonatadas sódico–cálcicas y bicarbonatadas sódico – cálcico – mágnesicas; en su mayoría, estas clases de agua tienen relación directa con la reacción notable de intercambio iónico existente en la interacción agua – roca.

Del estudio de los análisis físico – químicos de las aguas, se concluye que en general son aptas para el consumo humano, y no presentan limitaciones severas en cuanto a la salinidad y sodio intercambiable para el riego complementario. El 75% de las aguas corresponde según el diagrama de USDA a la clase $C_2$ - $S_1$.

Bacteriológicamente las aguas estudiadas, para consumo humano, necesitan de tratamientos convencionales como cloración, para su potabilización.

## ABSTRACT

This study made with the objective of to characterize hidrochemically and bacteriologically the groundwater from the Morroa´s aquifer, localized on the municipalities of Sampués, Corozal, Morroa and Los Palmitos.

For to do the labour, were obtained thirty – six samples of groundwater for equal quantity of physical and chemical analysis and another fifty samples for a bacteriological analysis.

According to obtained results on the chemical analysis, is possible to indicate that the analyzed waters form part of the geochemical groups named: bicarbonated – sodics – calcics, bicarbonated – sodic – calcic – magnesics. In its majority, those kinds of water have direct relation with the existent notable relation of ionic interchange on the water – rock interaction.

According at physical – chemical analysis of groundwater, allow its human consumption, and doesn't presents several limitations because the salinity and interchangeable sodium for the complementary irrigation. The seventy – five per cent of water regards, according to the USDA diagram, to the $C_2 – S_1$ class.

Bacteriologically, the studied waters need conventional treataments for human consumption, like cloration, for the potabilization.

# INTRODUCCIÓN

En general, los recursos de agua subterránea suelen recargarse con las precipitaciones que se infiltran y percolan a través del suelo hasta encontrar estratos con características hidrogeológica favorables, donde se acumulan formando embalses subterráneos conocidos mayormente como acuíferos.

En el área de estudio la cantidad y calidad de los recursos de agua dulce están sufriendo un deterioro progresivo inducido básicamente por actividades antropogénicas, resultando especialmente amenazado el sistema hídrico subterráneo, siendo ésta la principal fuente de abastecimiento de los municipios de Sincelejo, Sampués, Corozal, Los Palmitos y Morroa.

El presente trabajo forma parte del Proyecto de Protección Integral de Aguas Subterráneas (PPIAS) que adelanta CARSUCRE, y el cual es apoyado por la Universidad de Sucre, mediante el Convenio Interinstitucional N° 004 del 13 de Junio de 2001, a través de Tesis de Grado de los estudiantes de los programas de Ing. Agrícola e Ing. Civil de la Universidad. Tiene como objetivo caracterizar físico-químicamente las aguas del acuífero, lo mismo que su calidad bacteriológica tanto para riego como para consumo humano. Para lo cual se muestrearon 36 pozos profundos distribuidos en el área de estudio para la realización de los análisis requeridos en dicha caracterización, y así contribuir a salvaguardar los intereses de la sociedad en cuanto al manejo del recurso hídrico subterráneo de la región.

# 1. FORMULACION DEL PROBLEMA

El acuífero Morroa, se ha venido explotando en las ultimas décadas como principal fuente de abastecimiento de las poblaciones asentadas, entre las cuales tenemos las zonas de Ovejas, Los Palmitos, Corozal, Morroa, Sampués, Sincelejo y Betulia, dado la ausencia de una fuente superficial de agua perenne de buena calidad.

Esta explotación intensiva asociada al acelerado crecimiento poblacional, el mal manejo de su zona de recarga y otros factores contaminantes (descargas de aguas servidas en terreno y arroyos, saneamiento y fugas en alcantarillado, laguna de oxidación de aguas servidas, lixiviación en rellenos sanitarios o basureros, descargas industriales, prácticas agrícolas inadecuadas, como vertimientos de herbicidas, pesticidas, etc. en algunas fincas aledañas a la zona de recarga, pozos abandonados inactivos sin sellos sanitarios, entre otros) hacen prever un deterioro progresivo del acuífero en mención, por tal motivo se hace necesario implementar un muestreo de estas aguas que permita apreciar la variación espacio temporal de su calidad para tomar las medidas correctivas del caso, y realizar las recomendaciones necesarias para su uso y manejo adecuado.

# 2. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

Las poblaciones posicionadas en el área del acuífero Morroa, se han abastecido los últimos 50 años de una explotación intensiva de las aguas del acuífero, dado que las condiciones hidroclimatológicas del área no son favorables a un régimen superficial que permita suplir las necesidades de la creciente población. Por ello, es importante la realización de éste trabajo, para actualizar los conocimientos en cuanto a la composición físico–química y bacteriológica del agua del acuífero y con estos, inferir sobre su hidroquímica, calidad para riego y el consumo diario de más de 500.000 habitantes.

Por otra parte, en los últimos años se ha notado un incremento de la población en la zona de recarga, un mal manejo de los desechos sólidos y líquidos, contaminación de los arroyos del área, lo cual prevé un deterioro en la calidad del agua del acuífero.

# 3. OBJETIVOS

## 3. 1 OBJETIVO GENERAL

Caracterizar física, química y bacteriológicamente las aguas del Acuífero Morroa, en los municipios de Sampués, Sincelejo, Corozal, Los Palmitos y Morroa, como contribución al manejo del recurso hídrico subterráneo del departamento.

## 3. 2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

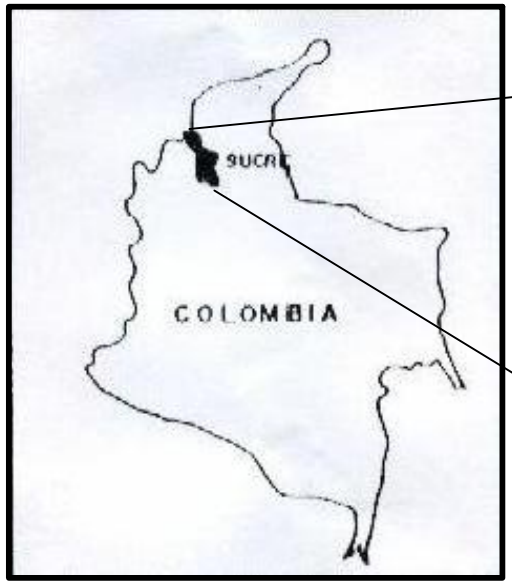
- Obtener muestras representativas de aguas del Acuífero Morroa para analizar los parámetros físicos, químicos y bacteriológicos requeridos para la caracterización.
- Representar en tablas, mapas y diagramas los resultados obtenidos en los análisis físico–químicos y bacteriológicos.
- Caracterizar hidroquímicamente el agua subterránea, lo mismo que la calidad físico–química para riego y consumo humano.
- Hacer las recomendaciones necesarias con base en los resultados obtenidos.
- Analizar la calidad físico-química y bacteriológica del agua para consumo humano y riego.

# 4. DESCRIPCIÓN DEL AREA DE ESTUDIO

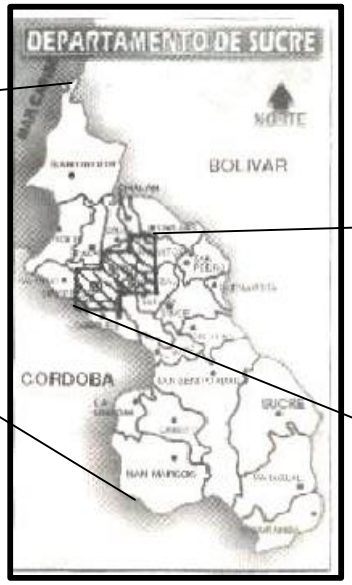
## 4. 1 LOCALIZACIÓN DEL AREA DE ESTUDIO

El departamento de sucre está localizado en la parte noroccidental de Colombia, en la Región Caribe, entre los 10° 9' y 8° 17' de Latitud Norte y entre los 74° 32' y 75° 42' Longitud Oeste (mapa 1).

La zona del acuífero en estudio, se encuentra localizada en la parte central del departamento con un área aproximada de 820 $Km^2$ y comprende parcialmente los municipios de Sampués, Sincelejo, Corozal, Morroa y Los Palmitos. Se encuentra ubicadas entre las coordenadas geográficas $X_1$=1'500.000, $X_2$=1'540.000, $Y_1$=846.000, $Y_2$=880.000, de las planchas topográficas 44-IV-B, 44-IV-C, 44-IV-D, 52-II-A, 52-II-C, 52-II-B, 52-I-B, 52-I-D, a escala 1:25000 del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) (figura 1).




SITUACIÓN DEL DEPARTAMENTO DE SUCRE EN EL MAPA DE COLOMBIA




LOCALIZACIÓN DEL AREA DE ESTUDIO EN EL DEPARTAMENTO DE SUCRE

**AREA DE ESTUDIO**

**Convenciones**

- limite Municipal
- Municipio

| | |
|---|---|
| **UNIVERSIDAD DE SUCRE**<br><br>FACULTAD DE INGENIERÍA<br>DEPARTAMENTO INGENIERÍA AGRÍCOLA | |
| **TRABAJO DE GRADO:**<br>"CARACTERIZACIÓN HIDROQUÍMICA Y BACTERIOLÓGICA DEL ACUÍFERO MORROA EN LOS MUNICIPIOS DE SAMPUÉS, SINCELEJO, MORROA, COROZAL Y LOS PALMITOS EN EL DEPARTAMENTO DE SUCRE." | |
| AUTORES: HELMUTH ARGUMEDO VIVAS<br>GUBERNEY RODELO BEJARANO<br>NICOLAS RODRÍGUEZ SUAREZ | |
| MAPA 1. MAPA DE LOCALIZACIÓN | FECHA: octubre de 2002 |

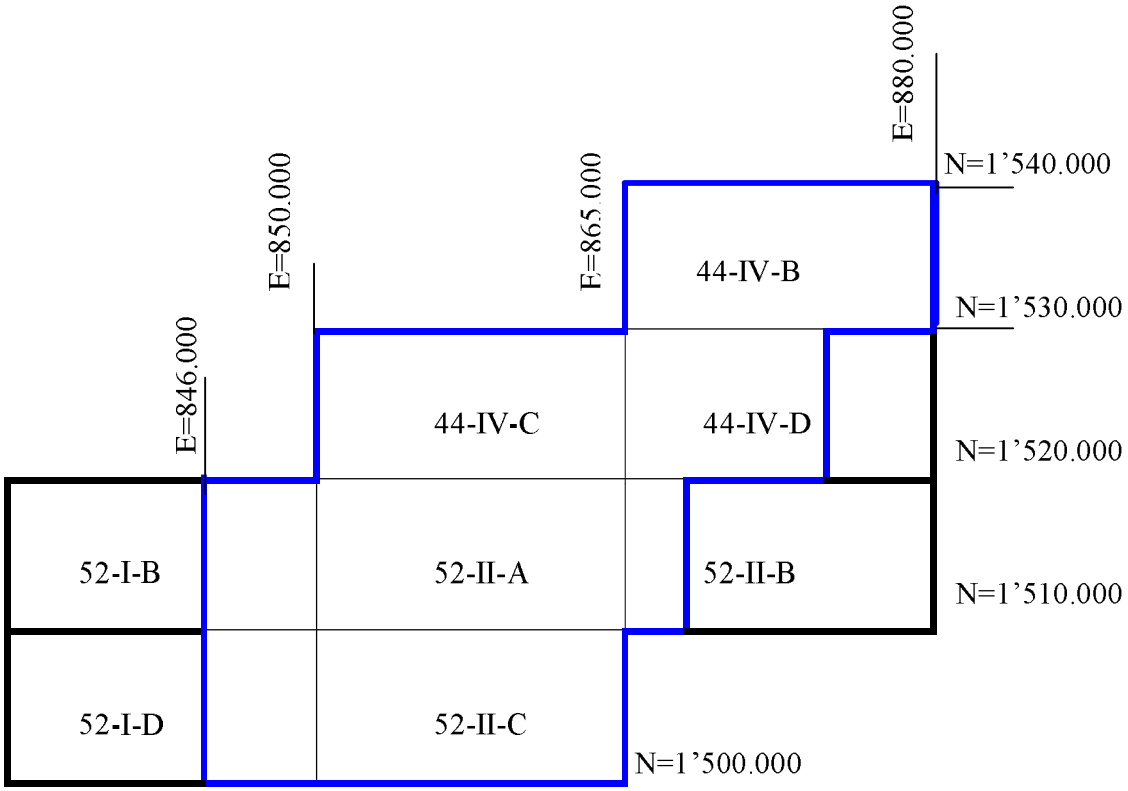
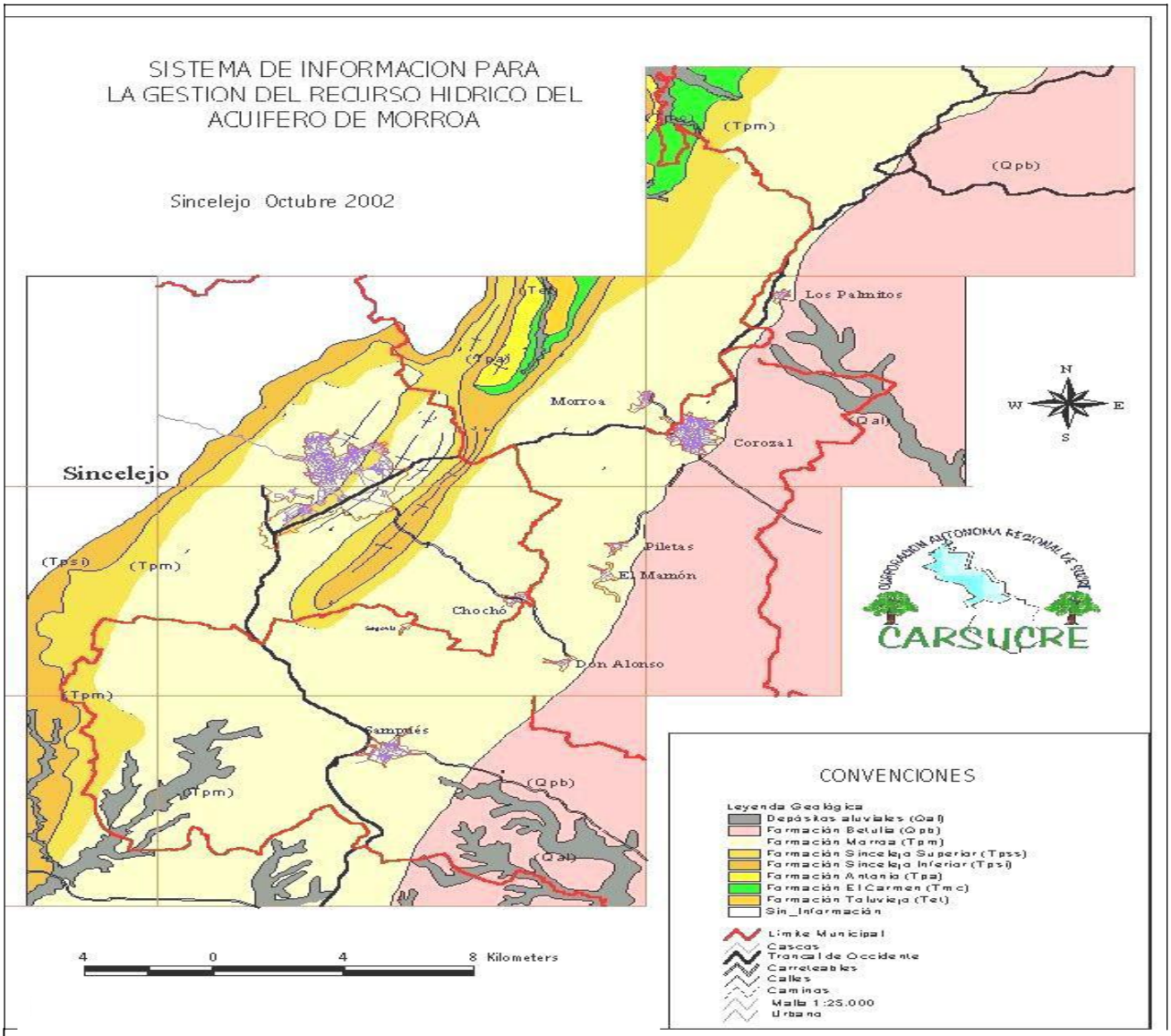



FIGURA 1. Localización del área de estudio en planchas 1:25.000 del IGAC.

FUENTE: SIGAS, 2001

## 4. 2 CARACTERÍSTICAS GEOLOGICAS

Geológicamente en la región estudiada aparecen las siguientes unidades lito - estratigráficas (mapa 2)




**UNIVERSIDAD DE SUCRE**

FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA AGRÍCOLA

**TRABAJO DE GRADO:**

"CARACTERIZACIÓN HIDROQUÍMICA Y BACTERIOLÓGICA DEL ACUÍFERO MORROA EN LOS MUNICIPIOS DE SAMPUÉS, SINCELEJO, MORROA, COROZAL Y LOS PALMITOS EN EL DEPARTAMENTO DE SUCRE."

AUTORES:
HELMUTH ARGUMEDO VIVAS
GUBERNEY RODELO BEJARANO
NICOLAS RODRÍGUEZ SUAREZ

MAPA 2. Mapa geológico de la zona de estudio.

FUENTE:
CARSUCRE, 2001.

**4. 2. 1 Formación El Carmen ( Oligoceno- Mioceno, Tmc )**. Esta Formación se encuentra distribuida según rumbo NE –SW; en la zona asociada a zonas bajas (sinclinales); en la parte norte se encuentra debajo de la Formación Sincelejo Inferior. Consta principalmente de arcillas con intercalaciones de areniscas con abundantes láminas de yeso selenitico. Es una formación típicamente marina de aguas profundas[1].

**4. 2. 2 Formación Antonio (Plioceno, Tpa )**. "litologicamente la formación consta de areniscas compactadas y arcillolitas con intercalaciones de nódulos de areniscas calcáreas, hacia el techo la información es conglomeratica"[2]

**4. 2. 3 Formación Sincelejo**. Esta formación se compone de dos conjuntos que son:

**4. 2. 3. 1 Formación Sincelejo Inferior ( Plioceno, Tpsi)**. Se caracteriza por la gran variabilidad en potencia, y cambios laterales y verticales de facies. Litologicamente consta de un conjunto de areniscas arcillosas "sucias" con cemento arcilloso-calcáreo, capas conglomeraticas y un conjunto arcilloso con turbas hacia el sur, hacia el norte la compone una arenisca y una pequeña intercalación arcillosa sin turbas[3].

**4. 2. 3. 2 Formación Sincelejo Superior (Plioceno, Tpss)**. Se caracteriza por presentar la mayor homogeneidad tanto en su potencia (+ / - 200 mts) como en los cambios de facie. Litológicamente esta conformada por una serie de areniscas micáceas de grano fino a

---

[1] Estudio Hidrogeológico del Flanco Nororiental de la Serranía de San Jacinto y de la Zona Litoral del Golfo de Morrosquillo. Tomo I: Generalidades Geología. Convenio Colombo – Holandés. Bogotá, 1991, Pág. 10.
[2] Ibid, Pág. 11
[3] Ibid. Pág. 12.

medio, poco cementadas con cemento arcilloso, alternando con areniscas conglomeráticas compuestas por cantos de liditas y cuarzo mejor cementado donde el cemento calcáreo es dominante[4]

**4. 2. 4 Formación Morroa (Plioceno, Tpm).** Aflora en toda la zona de estudio, formando una franja amplia y alargada que se extiende en dirección N $10^0$ E. Es sobre esta formación que se encuentra localizadas las cabeceras municipales de Sincelejo, Corozal, Morroa, Los Palmitos y Sampués. Se caracteriza por presentar una topografía ondulada formada por un sistema de colinas bajas alargadas, de pendientes suaves a moderadas y vertientes cortas, alternando con valles pequeños pocos profundos. (CARSUCRE, 2001, 53).

Litológicamente ésta formación "consta de un conjunto de areniscas friables poco cementadas, con intercalación de conglomerados también mal cementados formados por pequeños cantos de cuarzo, lutita, areniscas y delgadas capas de arcilla"[5].

Dentro de la Formación Morroa, la descripción de Morroa realizada por FINAGUAS – CARSUCRE, está delimitada en dos zonas:

**4. 2. 4. 1 Formación Morroa Arenosa ($Tpm_1$).** Conformada por areniscas de color gris muy friables con estratificación cruzada, localmente numerosos nódulos de arenisca calcárea, intercalaciones de conglomerado y arcillolitas.

[4] Ibid, Pág. 12.
[5] Ibid, Pág. 12

**4. 2. 4. 2 Formación Morroa Arcillosa ($Tpm_2$).** Esta constituida por un conjunto de arcillolitas de diferentes colores Interestratificada con arenisca conglomerática de color amarillo y lentes de conglomerado.

**4. 2. 5 Formación Betulia (Pleistoceno, Qpb).** Aflora en la parte oriental del área de estudio, caracterizándose por presentar colinas muy suaves de poca altura con topografía plana a ligeramente ondulada que desciende ligeramente hacia el sureste, morfología típica de las Sabanas de Sucre.

Litológicamente está constituida por una secuencia monótona de arcillas abigarradas con intercalaciones de arcillas arenosas, arcillas con gravas y delgadas capas y lentes de arenas arcillosas. (CARSUCRE - FINAGUAS, 2001, Pág. 54 – 55).

## 4. 3 HIDROGEOLOGÍA

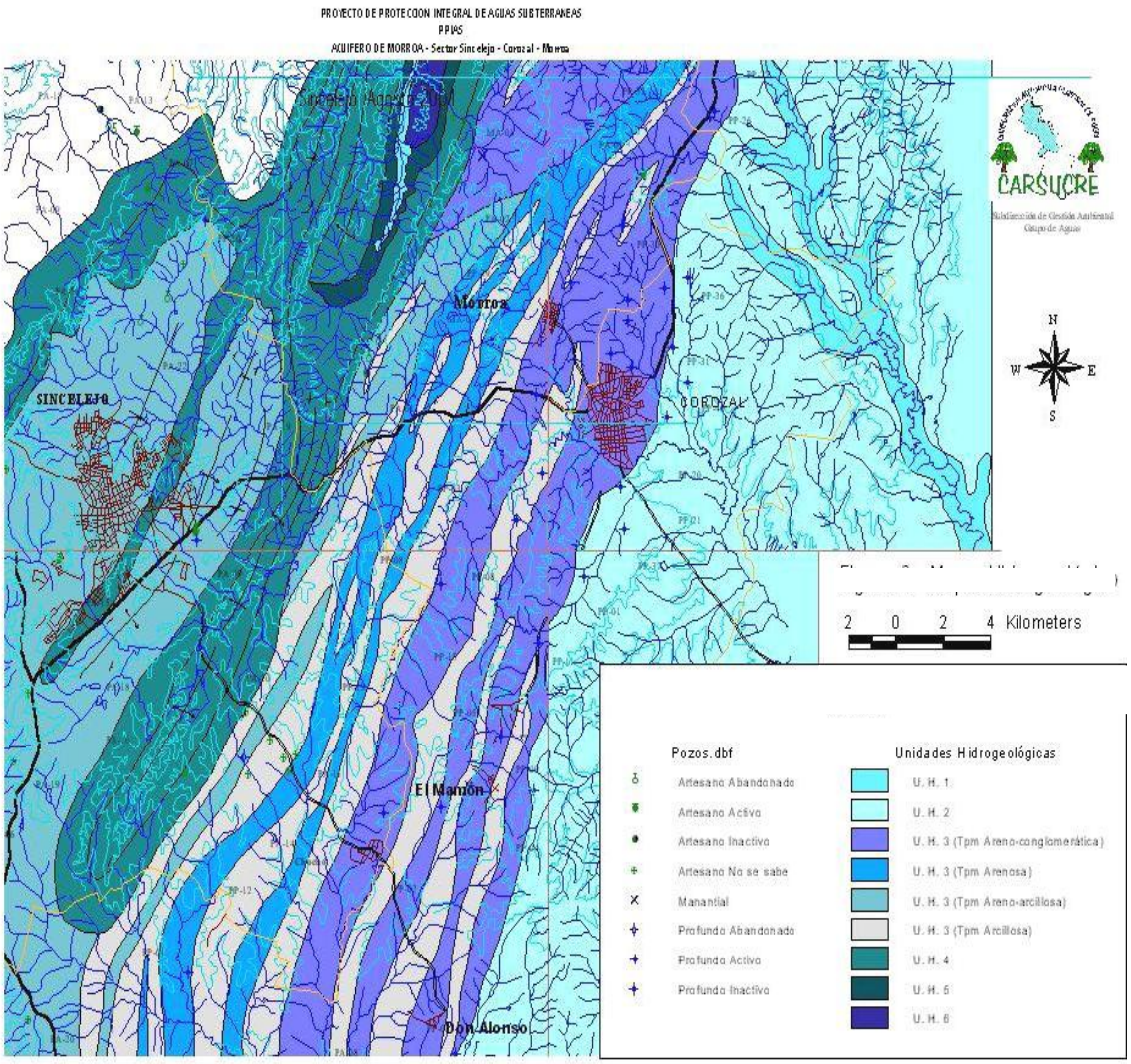
Según el estudio más reciente de CARSUCRE (SIGAS 2001), realizado por FINAGUAS, los materiales geológicos que se encuentran en la zona de estudio se pueden clasificar en base a su facilidad para almacenar y transmitir el agua en:

- Acuíferos de permeabilidad primaria: Como las rocas que conforman la formación Toluviejo.
- Acuitardos: Los rendimientos de la formación Betulia y la formación El Carmen.

Teniendo en cuenta ésta primera subdivisión además de las características topográficas, geológicas (composición litológica y disposición estructural), hidráulicas (permeabilidad conductividad hidráulica y almacenamiento) y químicos de los materiales del área de estudio se diferenciaron 6 unidades hidrogeológicas (mapa 3 ).

**4. 3. 1 Unidad Hidrogeológica 1 (U. H. 1).** La conforman los depósitos aluviales de los principales arroyos que hay en la zona, presenta una permeabilidad primaria moderada y una estructura favorable para la recarga, por su escaso espesor tiene poco almacenamiento. Los espesores de ésta unidad no sobrepasan los 15 metros.

Litologicamente está constituida por arenas, gravas, limos y arcillas. El carácter permeable de alguno de sus componentes y su poco espesor hace que esta unidad se considere de alta vulnerabilidad a la contaminación y más si se le tiene en cuenta su relación con las aguas




**UNIVERSIDAD DE SUCRE**

FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA AGRÍCOLA

**TRABAJO DE GRADO:**
"CARACTERIZACIÓN HIDROQUÍMICA Y BACTERIOLÓGICA DEL ACUÍFERO MORROA EN LOS MUNICIPIOS DE SAMPUÉS, SINCELEJO, MORROA, COROZAL Y LOS PALMITOS EN EL DEPARTAMENTO DE SUCRE."

AUTORES:
HELMUTH ARGUMEDO VIVAS
GUBERNEY RODELO BEJARANO
NICOLAS RODRÍGUEZ SUAREZ

MAPA 3 MAPA HIDROGEOLÓGICO DE LA ZONA DE ESTUDIO

FUENTE:
CARSUCRE, 2001 .

superficiales sobre las cuales se hacen los vertimientos líquidos que genera la población. La recarga de ésta unidad es principalmente por aguas lluvias.

**4. 3. 2 Unidad Hidrogeológica 2 (U. H. 2).** En general se considera ésta unidad hidrogeológica como un Acuitardo, debido a su carácter predominante arcilloso. Sin embargo las capas permeables de ésta unidad, se encuentran confinadas, son de espesor variable y no tienen recarga directa por aguas lluvias. Se presume una recarga por goteo de los sedimentos arcillosos que la confinan. Su espesor aumenta hacia el oriente.

**4. 3. 3 Unidad Hidrogeológica 3 (U. H. 3).** Es la de mayor importancia en la zona de estudio del presente trabajo. Corresponde con los sedimentos de la formación Morroa. Se encuentra en la parte del área estudiada, conformando una franja ancha y alargada de dirección SW – NE y es la unidad hidrogeológica más explotada de la zona.

**4. 3. 3. 1 Características Hidrogeológicas.** El Acuífero Morroa es un Acuífero complejo, constituido por capas de areniscas y conglomerados poco consolidados, intercalados con capas de arcillolitas, producto de la sedimentación detrítica en un ambiente típico de avanico aluvial y cauces aluviales. (Herrera 1997, referenciado por SIGAS – 2001).

Estructuralmente éste Acuífero se encuentra dispuesto en forma monoclinal, en su mayor parte presenta dirección N 25° E y una inclinación hacia el este, variable, entre 25° en la base y de 5° a 6° en el techo. Descansa con un ángulo cerca de 20° de inclinación sobre el Sincelejo Superior, que presenta cerca del tope una inclinación de 45°, lo cual indica una posible discordancia entre las dos formaciones.

Tiene un espesor variable de hasta 500 metros. (Rodríguez, 1993, 46). "Teniendo en cuenta estudios anteriores se subdividió el Acuífero Morroa en cuatro grupos principales" [6].

- Formación Morroa areno – conglomerática: La conforman los niveles acuíferos A y B
- Formación Morroa arenosa: Corresponde con los niveles acuíferos C y D.
- Formación Morroa areno – arcillosa: Constituida por los niveles E y F.
- Formación Morroa arcillosa: La conforman las capas y lentes de arcilla que separan los niveles acuíferos de la formación ... véase mapa 3 ...

### 4. 3. 3. 2 Niveles Acuíferos de la Formación Morroa.

- Nivel acuífero A. Éste nivel se encuentra hacía el techo de la formación Morroa, en contacto con la formación Betulia y se correlaciona con los niveles A y B, definidos en el estudio del INSFOPAL. El casco urbano de los municipios Corozal y de Los Palmitos se encuentra sobre este nivel acuífero y las comunidades de Pileta, El Mamón y Don Alonso.

Litológicamente está compuesto por areniscas líticas de grano fino hasta grueso, de color gris claro y pardo, con lentes conglomeráticos y algunas capas y lentes de arcillas. El espesor de las capas permeables varía entre 30 a 226 m., con buzamientos hacía el oriente entre 5 y 10°.

---

[6] CARSUCRE – FINAGUAS. Sistema de información para la gestión del recurso hídrico en el Acuífero de Morroa (SIGAS). Sincelejo, 2001. Pág. 86.

Presentan una permeabilidad primaria alta y tiene una disposición estructural favorable a la recarga y al almacenamiento de agua subterránea.

Desde el sector de Piletas hasta Don Alonso se subdividen en tres niveles acuíferos $A_1$, $A_2$, $A_3$, que luego se unen para conformar un solo nivel en el área de Sampués y subdividiéndose hacia el sur (Chinú) en dos niveles.

- Nivel Acuífero B. Éste nivel se encuentra debajo del nivel A, separado de esta por un lente de arcilla y se correlaciona con los niveles C y D, definidos en el estudio del INSFOPAL. El casco urbano del municipio de Morroa y el corregimiento de Chochó se encuentran sobre éste nivel acuífero.

Litológicamente está compuesto por areniscas muy friables de grano fino a medio de color amarillo a ocre, con lentes y capas de gravas sueltas hacia el techo y delgadas capas de arcilla finamente estratificadas. El espesor de las capas permeables varía entre 38 y 164 m., con buzamientos hacia el oriente entre 10° y 15°.

Presentan una permeabilidad primaria moderada a alta y tiene una disposición estructural favorable a la recarga y almacenamiento de agua subterránea. Hacia el sur en el área de Sampués se subdivide en los niveles acuíferos $B_1$ Y $B_2$.

Los niveles acuíferos A y B, de la formación Morroa son los que presentan una intensa explotación en el área de estudio.

- Nivel Acuífero C. Éste nivel debajo del nivel B, separado de ésta por una capa de arcilla y se correlaciona con lo niveles E y F definidos en el estudio del INSFOPAL.

Litológicamente está constituido por areniscas líticas finas y medias de color gris, ferruginosas, lentes y capas de grava de color gris amarillento, areniscas arcillosas muy friables y algunos lentes de arcillolitas. El espesor de las capas permeables varía entre 40 y 60 m., con buzamiento hacia el oriente 15°.

Presenta una permeabilidad primaria alta y tiene una disposición estructural favorable a la recarga y al almacenamiento de agua subterránea. Este nivel también se explota sobre todo en la zona norte, por medio de canteras para la extracción de materiales de construcción.

- Niveles acuíferos D y E. Están separados del nivel acuífero C, por una capa de arcilla y entre si por un lente arcilloso. Se correlacionan con el nivel G, definido en el estudio del INSFOPAL.

Litológicamente está constituido por areniscas líticas medias de color amarillo grisáceo algo consolidadas, areniscas finas arcillosas, algunos lentes conglomeráticos y lentes arcillosos. El espesor de las capas permeables varía entre 40 y 50 m. Para el nivel D y de 40 a 60 m., para el nivel E, con buzamientos hacia el oriente de 15°.

Presentan una permeabilidad primaria baja a moderada (nivel D) y moderada a alta (nivel E) y tiene una disposición estructural favorable a la recarga y al almacenamiento de agua subterránea.

- Nivel Acuífero F. Se encuentra ubicado hacia la base de la formación Morroa, aflorando desde el noroccidente del casco urbano de Morroa hasta el sur del corregimiento de Bremen. Está separado del nivel E por una capa de arcilla y entre sí por lentes arcillosos. Se correlaciona con el nivel H definido en el estudio del INSFOPAL.

Litológicamente está constituido por areniscas líticas finas a medias algo consolidadas, areniscas finas arcillosas dentro de las cuales son comunes las concreciones endurecidas de areniscas calcáreas, algunos lentes conglomeraticos consolidados y lentes arcillosos, con buzamientos hacia el oriente entre 15° y 25°.

Por sus características litológicas se presume una permeabilidad primaria baja y una disposición estructural favorable a la recarga y al almacenamiento de agua subterránea.

**4. 3. 4 Unidad Hidrogeológica 4 (U. H. 4).** La conforman las formaciones Sincelejo superior e inferior y formación Antonio y se encuentra debajo de la unidad hidrogeológica 3. Tienen una permeabilidad primaria baja y una permeabilidad secundaria moderada a baja, por su grado de consolidación y por la calidad química del agua que contiene las capas permeables (generalmente de regular calidad físico – química), no es explotada intensamente en la zona.

**4. 3. 5 Unidad Hidrogeológica 5 (U. H. 5).** Corresponde con las rocas de la formación El Carmen y se encuentra en la parte norte conformando los flancos de un pliegue anticlinal. Tienen una permeabilidad primaria baja.

**4. 3. 6 Unidad Hidrogeológica 6 (U. H. 6).** Corresponde con las rocas calcáreas de la formación Toluviejo. Se encuentra al norte de la zona de estudio conformando el núcleo de un pliegue anticlinal.

Hidrogeológicamente no se reconoce el comportamiento acuífero de ésta unidad. Sin embargo, por su composición litológica se presume la existencia de acuíferos de permeabilidad secundaria muy alta, tipo Karst (formación de cavernas por disolución de calizas), con aguas duras de buena calidad.

## 4. 4 FISIOGRAFIA

En el departamento de Sucre se pueden diferenciar fisiográficamente cuatro grandes subregiones, de las cuales dos se presentan en la zona de estudio:

- Subregión Montes de María: "Éste paisaje montañoso o de colinas, corresponde a las estribaciones septentrionales de la serranía de San Jerónimo, denominadas en éste departamento como los Montes de María"[7]. Presentan un rumbo suroeste a noreste, ganando altura en esta misma dirección. Comprende los municipios de Sincelejo, Morroa y el occidente de Los Palmitos.

- Subregión Sabanas: Éste paisaje se caracteriza por estar conformado por una serie de pequeñas y numerosas formas en donde se alternan bosques de vegetación

[7] Barrera, Rodolfo. Exploración y Evaluación de Aguas Subterráneas: Mapa Hidrogeológico de Sucre Informe Geológico. Cartagena. 1988.

secundaria, pequeños y aislados restos de vegetación primaria, matorrales y bastos pastizales. (Barrera, 1988).

**4. 4. 1 Hidrografía.** El principal cuerpo de agua de la zona de estudio lo constituye el arroyo grande de Corozal; que nace en Sincelejo en la confluencia de los arroyos Caimán y San Miguel, cerca de Bremen. Su recorrido va de norte a sur, captando afluentes como: El Pintado, El Cauca (en Sincelejo), encontrándose con el arroyo Morroa (en Morroa), atravesando la zona de recarga del acuífero. Al sur del área de estudio encontramos el arroyo Canoas, Pachotó y al suroccidente el arroyo Mochá.

**4. 4. 2 Clima.** La región estudiada presenta un clima de sabana tropical alternativamente húmeda y seca (IGAC, 1969). La temperatura media fluctúa entre 26.5 y 28.5° C y la precipitación media anual es de 1126 mm. En términos generales, los meses de mayo a Noviembre son los más lluviosos y el período seco está comprendido entre los meses de diciembre y marzo.

# 5. MATERIALES Y EQUIPOS

Durante la presente investigación se usaron entre otros, los siguientes equipos y materiales:

- Planchas topográficas a escala 1: 25000
- Estudios hidrogeológicos del Acuífero Morroa.
- Textos, fotocopias de figuras, tablas y documentos
- Nevera de icopor
- Hielo
- Equipo Multiline P4 F/set – 3 para determinación de T°, CE y pH "in situ" .
- Cinta métrica.
- Cinta de enmascarar
- Marcadores
- Formatos para registros de datos en campo.
- Trípode y pinzas dobles
- Frascos volumétricos y Beakers.
- Solucion de HCL 0,026N y 0,0292N.
- Frascos plásticos de 1000ml. con tapa a rosca
- Frasco de vidrio de 500ml. con tapa a rosca (previamente esterilizados)
- Frasco lavador con agua destilada
- Soluciones buffer pH4 y pH7.
- Indicadores de virage, fenolftaleina y rojo de metilo

- Cámara digital
- Computador e impresora
- Calculadora Casio FX – 880P
- Disquetes y CD's
- Scanner, quemador
- Software Acuachem, para la realización de los diagramas de Piper y Stiff.
- Software Easy – Quim, para la conversión de unidades y elaboración de diagramas de Scholler y Piper.
- Software Surfer, para la elaboración de Isomapas.
- Sondas eléctricas para toma de niveles de agua en los pozos.
- Geoposicionador (GPS)
- Papelería y útiles de oficina en general

# 6. ESTADO DEL ARTE

## 6. 1 OCURRENCIA DEL AGUA SUBTERRÁNEA

El agua subterránea ocurre de las aguas que se infiltran y percolan a través del suelo hasta alcanzar formaciones geológicas favorables donde se almacenan ocupando sus intersticios (zonas saturadas), formando embalses subterráneos, más conocidos como acuíferos.

## 6. 2 DISTRIBUCIÓN VERTICAL DEL AGUA SUBTERRÁNEA

Según Pérez[8], el agua que penetra en el suelo, queda situada a distintas profundidades, ocupando dos zonas. La zona no saturada o de aireación y la zona de saturación. En la zona de aireación, los intersticios están ocupados parcialmente por agua y aire, y el agua en exceso drena verticalmente (percola) por acción de la gravedad, hasta alcanzar la zona de saturación. En la zona de saturación todos los intersticios están ocupados por agua. Desde el punto de vista geológico, las zonas de aireación y saturación ocupan lo que se llama zona de fractura de las rocas, y el agua que aparece en ella se puede nombrar agua intersticial. La figura 2 muestra en forma general la distribución vertical en la zona de fractura de las rocas.

[8] Pérez, Diosado. La explotación del agua subterránea. Un nuevo enfoque. La Habana, 1995. p. 9-10.

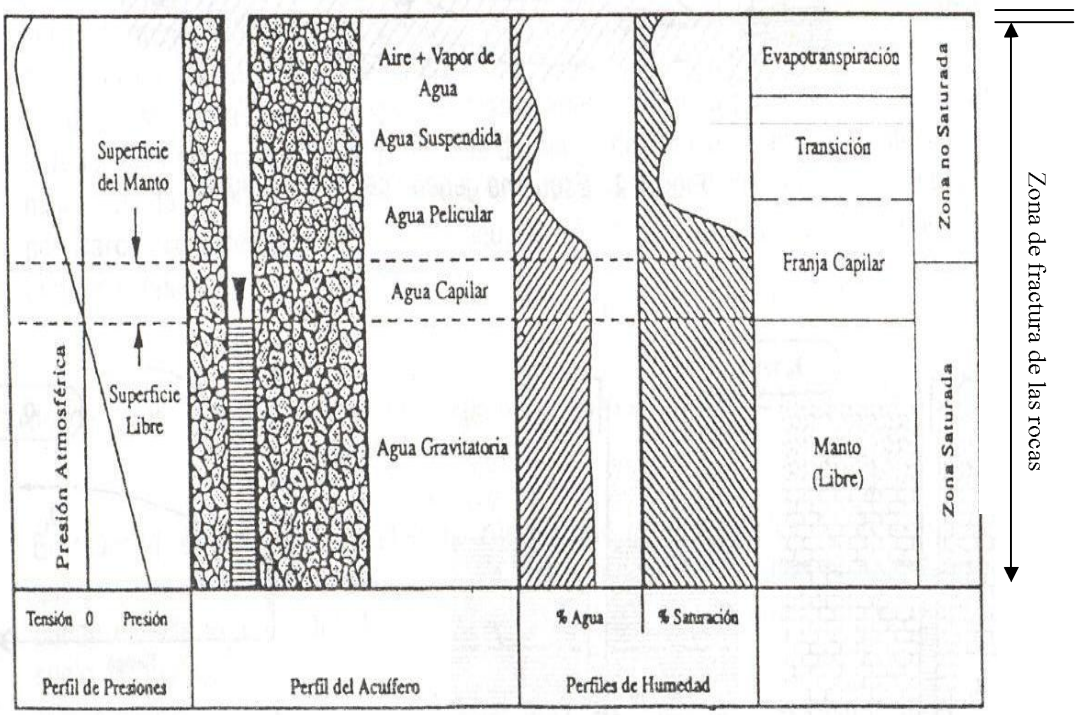



**Figura 2. Distribución vertical del agua subterránea** (Fuente: Memorias Curso Hidroquímica, Santiago de Chile)

El límite superior de la zona de saturación puede ser la superficie del agua que satura los intersticios de dicha zona, llamada superficie freática, o bien un estrato impermeable o el propio lecho de rocas.

En la zona de aireación, en forma general, se pueden distinguir tres subzonas que aparecen en el orden siguiente, descendiendo desde la superficie del terreno: Subzona de agua del suelo, subzona intermedia y subzona capilar. El agua contenida en esta zona se designa como agua suspendida o vadosa.

El agua de la zona de saturación es la que se considera como agua subterránea propiamente dicha y se encuentra siempre a una presión mayor que la atmosférica, cuando menos, igual a ella.

Los diferentes tipos de rocas se pueden agrupar de acuerdo a sus posibilidades de contener agua y de permitir el flujo de ésta a través de ella en tres clases:

- Acuíferos: Es aquel estrato o formación geológica que permite la circulación del agua por sus poros y/o grietas con relativa facilidad bajo condiciones naturales de campo.
- Acuitardos: Formaciones geológicas impermeables que contienen agua pero no la transmiten.
- Acuífugos o Acuicierres: Este término se refiere a aquella formaciones geológicas impermeables que no contienen agua ni la pueden transmitir.

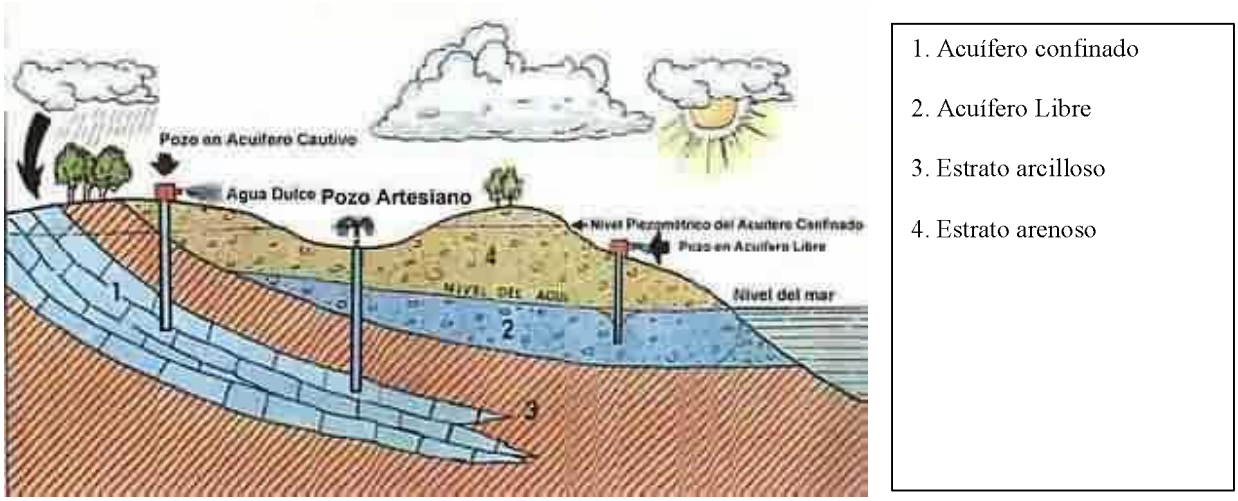
## 6. 3 TIPOS DE ACUÍFEROS

De acuerdo con el grado de confinamiento de las aguas que contienen, pueden clasificarse en tres grupos importantes:

**6. 3. 1 Acuíferos Libres.** Son aquellos en los cuales el agua subterránea presenta una superficie libre, sujeta a la presión atmosférica, como límite superior de la zona de saturación. La superficie del agua será el nivel freático y coincidirá con el nivel piezométrico (figura 3).

**6. 3. 2 Acuíferos Confinados.** Conocidos también como acuífero artesianos, son formaciones geológica permeables, completamente saturadas de agua, confinadas bajo presión en medio de rocas impermeables. En estos acuíferos el nivel del agua en un pozo se eleva por encima de la parte superior (techo) del acuífero hasta un nivel que se denomina nivel piezométrico (figura 3).

**6. 3. 3 Acuíferos Semiconfinados.** Son acuíferos completamente saturados de agua limitados en su parte superior por una capa semipermeable (Acuitardo) y en su parte inferior por una capa impermeable (acuicierre), o por otro Acuitardo.




1. Acuífero confinado
2. Acuífero Libre
3. Estrato arcilloso
4. Estrato arenoso

**Figura 3. Tipos de Acuíferos.** (Fuente: Internet, Hidrogeología, Introducción).

## 6. 4 ANÁLISIS QUÍMICOS EN AGUAS SUBTERRÁNEAS

El análisis químico es la base para la evaluación de acuíferos, para la investigación de las propiedades hidrogeológicas del agua de una zona, para registrar cambios espaciales y temporales en sistemas hidrológicos e investigar la causas naturales o humanas de estos cambios.

Dependiendo del objetivo de la investigación (por ejemplo, preestudios para la explotación del agua subterránea, contaminación, control de calidad de aguas de un pozo, etc.), hay que determinar distintos parámetros físicos y químicos del agua.

**6. 4. 1 Parámetros de calidad de las aguas.** Los parámetros más importantes que se determinan en casi todos los análisis se pueden dividir en cuatro grandes grupos: Físicos, Químicos, Bacteriológicos y Radiológicos.

### 6. 4. 1. 1 Parámetros Físicos.

- **Sabor y Olor.** "El olor y el sabor del agua son determinaciones organolépticas de determinación subjetiva, para las cuales no existen instrumento de observación, ni unidades de medida. Tienen un interés evidente en las aguas potables destinada al consumo humano". (Rigola, 1999. 27).

- **Color.** El color es la capacidad de absorber ciertas radiaciones del espectro visible. Las medidas de color se hacen normalmente en laboratorio, por comparación con un

estándar arbitrario a base de cloruro de cobalto, $Cl_2$ Co, y cloroplastinato de potasio, $Cl_6$ Pt $H_2$, y se expresa en una escala de unidades de Pt – Co (unidades Hazen) o simplemente Pt. Las aguas subterráneas no suelen sobrepasar valores de 5 ppm. de Pt. (27).

- **Temperatura.** Se mide en el momento del muestreo. Es importante para interpretaciones detalladas de la composición química del agua. En las aguas subterráneas es aproximadamente la temperatura media anual más el gradiente geotérmico regional (normalmente la temperatura del subsuelo aumenta 3°C cada 100 metros de profundidad).

- **Turbidez.** La turbidez es la medida de la dificultad del agua para transmitir la luz debido a materiales insolubles en suspensión.

- **Conductividad.** La conductividad eléctrica es la medida de la facilidad del agua de conducir la corriente eléctrica. La conductividad aumenta rápidamente con la cantidad de iones disueltos. Su importancia se basa en que se mide muy fácilmente y nos indica aproximadamente la salinidad del agua. Se expresa generalmente en µmhos / cm.

### 6. 4. 1. 2 Parámetros Químicos.

- **pH.** Es el cologaritmo de la concentración de hidrogeniones de un agua (pH = - log.{$H^+$}. La determinación del pH suele hacerse *in situ.* En aguas subterráneas varía entre 6,5 y 8,5.

- **Dureza.** Propiedad de un agua caracterizada por la dificultad de hacer espuma con jabón. Es debida a la presencia de alcalinotérreos (en el agua : Ca y Mg). Se expresa como Mg / L de Ca $CO_3$ ó °F (grados Franceses).

- **Alcalinidad.** La alcalinidad es una medida de la capacidad para neutralizar ácidos. Contribuyen a la alcalinidad principalmente los iones bicarbonatos, carbonatos y oxidrilo. Se mide en las mismas unidades de la dureza.

- **Sólidos disueltos.** Según Rigola, los sólidos disueltos o salinidad total, es una medida de la cantidad de materia disuelta en el agua, determinada por evaporación de un volumen de agua previamente filtrada. (1999. p. 32).

- **Ión Cloruro, $Cl^-$.** el ión cloruro, forma sales en general muy solubles, muy estables en disolución y muy difícilmente precipitables. No se oxida ni reduce en aguas naturales. Las aguas dulces contienen entre 10 y 250 ppm. de cloruros, pero no es raro encontrar valores mucho mayores.

El contenido en cloruros afecta la potabilidad del agua y su potencial uso agrícola e industrial. A partir de 300 ppm. comunican sabor salado al agua de bebida, pero no es peıjudicial por lo menos hasta algunos miles de ppm. Contenidos elevados son perjudiciales para muchas plantas y comunican corrosividad al agua. Se valora con nitrato de plata ($Ag\ NO_3$), usando cromato potasico como indicador.

Su presencia en el agua se debe al agua marina atrapada en el interior de los sedimentos, de la disolución de la sal común y de los minerales afines que existen en las formaciones de evaporitas, de los cloruros existentes en el agua de lluvia y nieve.

- **Ión Sulfato, $So^{=}_4$ .** Su presencia se debe a disolución de minerales sulfatados existentes en las rocas sedimentarias. Las arcillas orgánicas pueden proporcionar grandes cantidades de sulfato mediante la oxidación de la marcasita y pirita. Corresponde a sales moderadamente solubles a muy solubles. Las aguas dulces contienen de 2 a 150 ppm, y el agua de mar cerca de 3000 ppm.

  Las aguas selenitosas (elevado contenido en sulfato) no quitan la sed y tienen sabor poco agradable y amargo. En cantidades elevadas puede ser peıjudicial a las plantas y perjudicar la resistencia del hormigón.

- **Iones Bicarbonato y Carbonato, $CO_3H^-$ y $CO_3^{=}$.** Procede de la disolución de $CO_2$ existente en la atmósfera y de los carbonatos, fundamentalmente caliza y

dolomita. Las concentraciones mas frecuentes suelen oscilar entre 50 y 400ppm. las aguas bicarbonatadas sódicas son restringidas para riego, debido a la fijación de Na en el terreno y creación de un medio alcalino.

- **Ión Nitrato, $NO_3^-$.** Forma sales muy solubles y por lo tanto es muy dificilmente precipitables. Las aguas normales contienen entre 0,1 y 30 ppm. En concentraciones elevadas en agua de bebida puede producir cianosis en los niños y comunican corrosividad (oxidaciones) al agua y producen interferencias en fertilizantes agrícolas.

  Su presencia en el agua se debe a descomposición de materia orgánica, contaminación industrial, agrícola y urbana, y el uso de los fertilizantes agrícolas.

- **Ión Fosfato, $PO_4^{-3}$.** forma sales muy poco solubles y precipita fácilmente como fosfato calcico. En general no se encuentra en el agua mas de 1 ppm., pero puede llegar a algunas decenas debido al uso de fertilizantes.

- **Ión Calcio, $Ca^{++}$.** Su presencia en el agua se debe a rocas carbonatadas o sulfato de calcio como; calizas, dolomitas, anhidritas, y yesos, forma sales de moderadamente solubles a muy solubles, es muy fácil de precipitar como $CO_3$ Ca y su concentración en aguas dulces se encuentra entre 10 y 250 ppm.

- **Ión Sodio, $Na^+$.** Corresponde a sales de solubilidad muy elevada y muy difícil de precipitar, en aguas dulces el contenido suele estar entre 1 y 150 ppm. su presencia en el agua se debe a feldepatos, disolución de sulfatos y nitratos sódicos, sal gema, intrusión marina. Las aguas con concentraciones elevadas en sodio son perjudiciales a las plantas al reducir la permeabilidad del suelo.

- **Ión Potasio, $K^+$.** Su presencia en el agua se debe a productos que se forman en la descomposición meteórica de las ortoclasas, silvina y nitrato potasico. Se encuentra en el agua natural en proporción inferior a 10 veces el sodio, motivado por la introducción del sodio en las estructuras de algunas arcillas y a la resistencia meteórica de los elementos que lo contienen.

  Corresponde a sales de solubilidad muy elevada y difíciles de precipitar. La concentración en aguas subterráneas suele ser inferior a 10 ppm.

- **Ión Magnesio, $Mg^{++}$.** Su presencia en el agua se debe a las dolomitas y silicatos de magnesio, lavados de evaporitas, agua de mar, las concentraciones mas frecuentes de magnesio varían entre 1 y 400 ppm. sus sales son más soluble y mas difíciles de precipitar que las del calcio.

  Contribuye al igual que el calcio a la dureza del agua, en concentraciones de algunos centenares de ppm confiere propiedades laxantes y de sabor amargo al agua de bebida.

- **Ión Hierro, $Fe^{++}$, $Fe^{+++}$.** El ión hierro se puede presentar como ión ferroso, $Fe^{++}$ o en la forma más oxidada de ión ferrico, $Fe^{+++}$. La presencias del ión hierro puede afectar la potabilidad del agua y, en general, es un inconveniente en las aguas de uso industrial por dar lugar a depósitos e incrustaciones, la concentración suele estar entre 0 y 10 ppm de $Fe^{++}$.

  Entre los minerales y grupos mineralógicos mas importantes que pueda contener grandes cantidades de hierro están la magnetita, la pirita, la biotita, los anfíboles, piroxenos y los granates.

- **Ión Manganeso, $Mn^{++}$.** El manganeso tiene un comportamiento similar al hierro. Además de actuar con dos y tres cargas positivas, actúa con valencia $^{+}4$ formando el $MnO_2$ insoluble. La concentración en general esta por debajo de 0,2 ppm., rara vez por encima de 1, y entonces requiere un pH ácido. Al oxidarse forma manchas negruzcas y favorece al crecimiento de ciertas bacterias.

- **Principales gases disueltos.** El Dióxido de Carbono, $CO_2$, es un gas relativamente soluble y que al hidrolizarse produce ácido carbónico parcialmente disociado. Su presencia se debe a la disolución del gas carbónico del aire por la lluvia, descomposición de materia orgánica, disolución de gases en formaciones no saturadas. Un exceso de $CO_2$ hace al agua corrosiva y las que pierden $CO_2$ pueden convertirse en incrustantes.

El Oxigeno, $O_2$, Produce un medio oxidante y juega un papel de gran importancia en la solubilización e insolubilización de iones que cambian con facilidad la valencia así como en la actividad de los microorganismos. La mayoría de las aguas subterráneas tienen entre 0 y 5 ppm., frecuentemente por debajo de 2 ppm.

El Ácido Sulfhídrico, $SH_2$. Causa un olor a huevos podridos y es causa de corrosión.

### 6. 4. 1. 3 Parámetros Bacteriológicos.

- **Escherichia coli.** Uno de los indicadores universalmente empleados como indicador de contaminación fecal es la bacteria *Escherichia coli,* miembro de la familia Enterobacterias, la cual es muy abundante en las heces humanas y animales.

- **Coliformes Fecales, CF.** El término "Coliformes Fecales" encierra un grupo de bacterias coliformes de forma cilíndrica, capaces de fermentar la glucosa y la lactosa. El análisis de coliformes fecales se ha convertido en un método rutinario para verificar la presencia de contaminación fecal en el agua utilizada para consumo humano. Otros organismos utilizados como indicadores de contaminación fecal son los estreptococos y los clostridios.

Los análisis bacteriológicos de agua se realizan por el método de los tubos múltiples y se expresan en términos de el "número más probable" (índice NMP) en 100 ml. de agua. La aguas con un NMP inferior a 1, son satisfactoriamente potables.

**6. 4. 1. 4 Parámetros Radiológicos.** La presencia de materiales radioactivos en las aguas es un riesgo de importancia creciente. Al estar sometida las fuentes de suministro a un creciente peligro de contaminación, las autoridades han establecido valores limites de aceptación. Suelen medirse las actividades alfa y beta mediante contadores de centelleo. (Rigola, 1999, 39)

**6. 4. 2 Presentación de resultados de los análisis.** La representación de los análisis químicos es una necesidad que viene derivada del tratamiento de numerosos análisis de un elevado número de muestras. En consecuencia, es de gran utilidad compendiar los factores destacables de tales análisis mediante representaciones gráficas y mapas.

Dentro de los gráficos comúnmente usados para la presentación de datos existen principalmente dos alternativas: diagrama individuales (que muestran las propiedades individuales de una sola muestra) y diagramas colectivos (que muestran las informaciones de muchas muestras).

**6. 4. 2. 1 Diagramas Individuales.**

- **Diagramas Columnares.** El diagrama de Collins consiste en representar en una columna a la izquierda los cationes en el siguiente orden: de abajo hacia arriba $Ca^{++}$,

$Mg^{++}$, $Na^{++}$, y en una columna adosada a la derecha en el mismo orden $CO_3H^-$, $SO_4^{=}$ Y $Cl^-$. Tales gráficos se expresan en miliequivalentes o porcentaje de miliequivalentes y suelen tener la misma altura ya que la suma de cationes y aniones ha de coincidir. (figura 4).

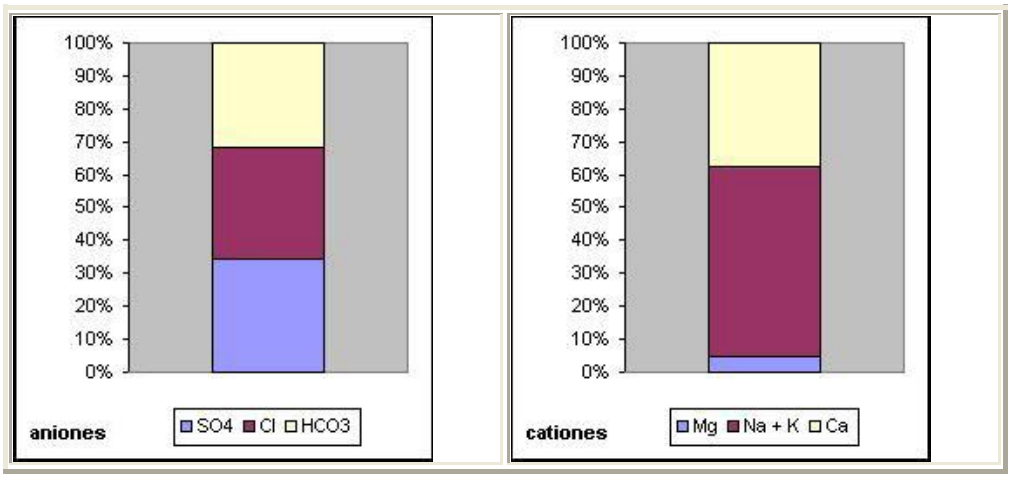



**Figura 4. Diagramas Columnares** (Fuente: Internet, Hidrogeología, Introducción)

- **Diagramas Radiales.** Tienen la ventaja que con poca experiencia se puede analizar y caracterizar la propiedad química de la muestra simplemente observando la forma de la "estrella". Además, cada eje de la diagrama indica la concentración de los iones. (figura 5).

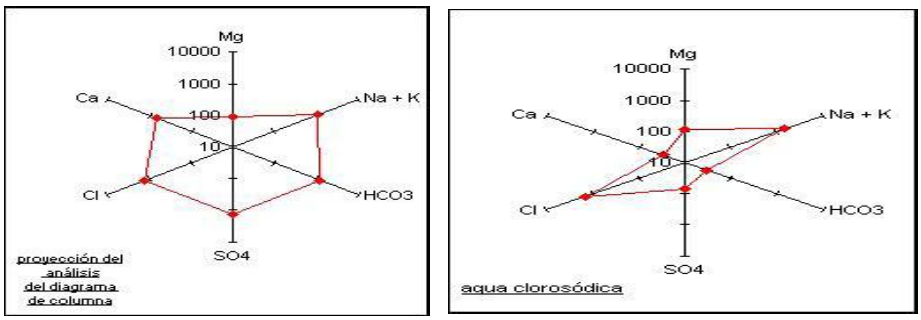



**Figura 5. Diagramas Radiales.** (Fuente: Internet, Hidrogeología, Introducción).

- **Diagrama de Stiff.** Se disponen cuatro rectas paralelas igualmente espaciadas, cortadas en la parte central por una recta vertical; a la izquierda se disponen los cationes y a la derecha, los aniones. Sobre cada recta se toma un segmento proporcional al porcentaje de miliequivalentes por litro (meq./L), obteniendo por unión de todos los segmentos un poliedro (figura 6). Estos diagramas son muy útiles cuando se desea hacer una rápida comparación cualitativa de muchos análisis.

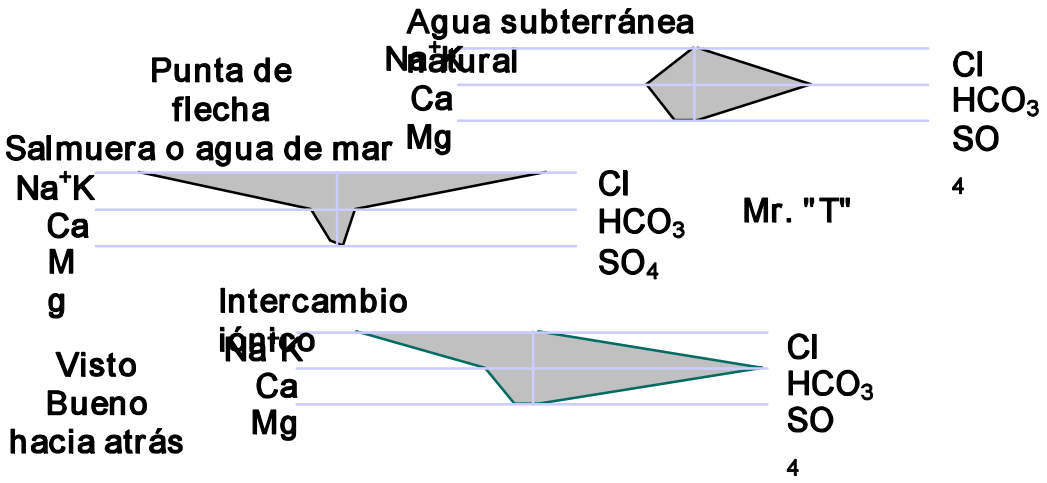



**Figura 6. Diagrama de Stiff.** (Fuente: Memoria, Curso Hidrogeoquímica, Santiago de Chile).

### 6. 4. 2. 2 Diagramas Colectivos.

- **Diagrama de Piper.** Dentro de los diagramas colectivos el que reviste mayor importancia es el diagrama triangular de Piper, que permite la presentación de muchos parámetros en una combinación de dos diagramas triangulares (para

aniones y cationes separados) y un rombo (para mostrar la relación entre grupos de aniones y cationes). Cada muestra está proyectada como un punto en cada uno de los diagramas. (figura 7).

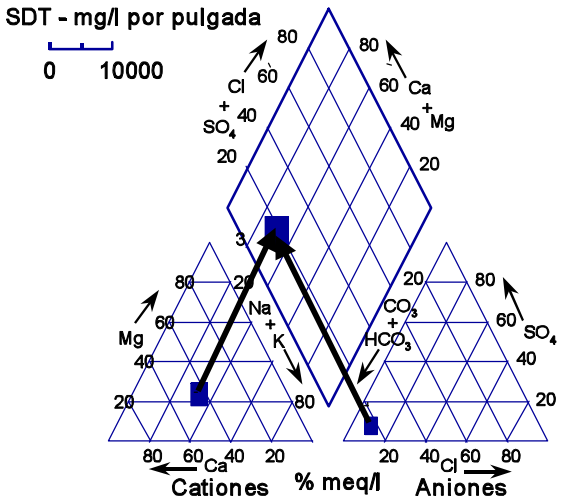



**Figura 7. Diagrama de Piper.** (Fuente: Memoria, Curso Hidrogeoquímica, Santiago de Chile).

El diagrama de Piper suele utilizarse frecuentemente cuando se trabaja con gran número de análisis, pudiéndose realizar una clasificación de los distintos grupos de aguas, detección de mezclas de aguas, identificación de cambio iónico, detección de precipitación y solución de minerales e identificación de las reacciones químicas más comunes, que cambian la composición de los iones principales (relación agua – roca).

- **Diagrama de Potabilidad Química.** Su utilización es muy práctica, dado que pueden representarse un gran número de análisis, obteniéndose una indicación sobre la potabilidad del agua del acuífero y cual es el ión o los iones que no cumplen el limite tolerable. (figura 8).

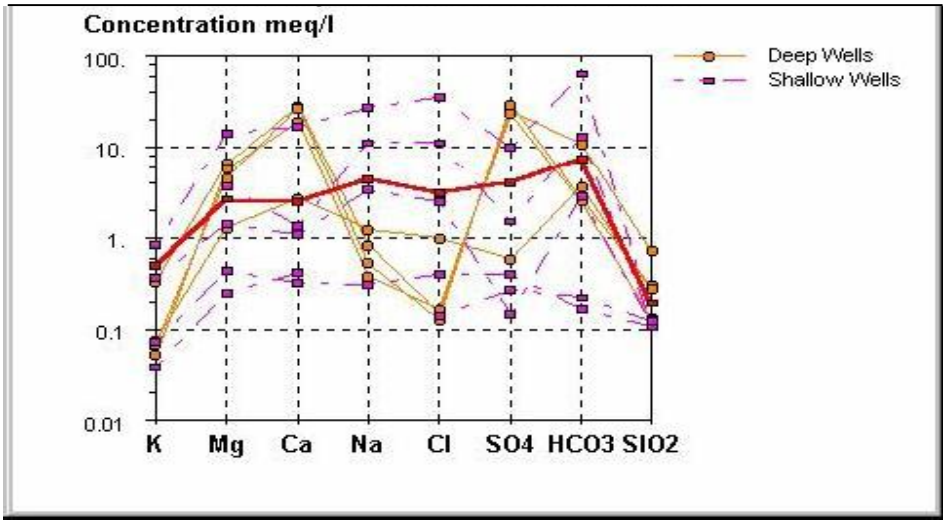



**Figura 8. Diagrama de Scholler – Berkaloff** (Fuente: Software Acuachem).

**6. 4. 2. 3 Planos Hidroquímicos.** Son importantes cuando se trata de definir variaciones locales de la calidad del agua o destacar una peculiaridad de la región en estudio, tales como los mapas de igual contenido de cloruros (o isocloras). Debe tenerse especial cuidado en no agrupar, en los mapas datos químicos procedentes de agua no relacionadas hidrológicamente. (figura 9).

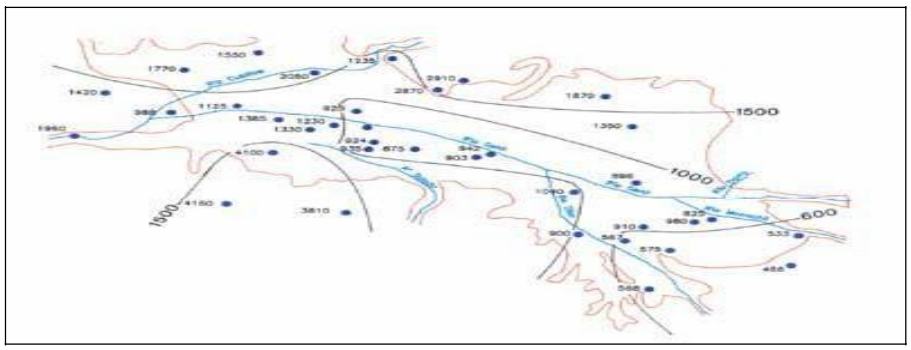



**Figura 9. Mapa de Isolineas.** (Fuente: Software Acuachem).

## 6.5 DEDUCCIÓN DE LA ROCA – FUENTE

Según el curso hidroquímica realizado en Santiago de Chile tenemos:

- La propuesta de esta técnica es dar algunas ideas del origen del agua analizada. Tiene utilidad cuando no se conoce la interacción roca/agua subterránea o para ayudar con el chequeo de la calidad de los análisis químicos (resultados imposibles, por ejemplo).

- La técnica no es infalible, pero puede ayudar

- La composición original del agua subterránea depende del agua de lluvia (agua marina diluida). La composición es alterada por iones de alteración de la roca (intemperismo); evaporación y aireación.

- Durante el intemperismo, $Ca_2^+$, $Mg^{2+}$, $SO_4^{2-}$, $HCO_3^-$, $SiO_2$ son adicionados al agua, función del tipo de roca y del ambiente físico-químico.

**6.5.1 Deducción de roca por análisis químicos**. Según Hounslow 1995, referenciado por Hirata 2002, Memorias del Curso de Hidrogeoquímica, se tienen los siguiente pasos:

**1er Paso**. Si el pH < 5-6, ser cuidadoso con los resultados. El método es insuficiente para algunas situaciones. Las razones son que cuando el pH es bajo, cantidades significantes del mineral de arcilla pueden estar disueltos y desprender cantidades anómalas de sílice (y aluminio) para el agua.

**2do Paso**. Convertir concentración de mg/L para meq/L. El sílice que existe como complejos neutros debe ser convertido a mmol/L.

**3er Paso**. Sumar los cationes y aniones separadamente, omitiendo el sílice. El error debe ser menor que 10%.

**Sodio y Cloruro**.

**Paso 4**. Comparar *Cloruro y Sodio*. Posibilidades de origen:

- (a) disolución de NaCl (halita) o agua marina (vía lluvia, efecto spray)
- (b) disolución de albita-plagioclasa
- (c) cambio iónico
- Na = Cl: disolución de halita
    - Na < Cl: error analítico o salmuera (normalmente TDS>500mg/L) donde un cambio iónico inverso o ablandamiento inverso ocurre.

$$2Na^{+} + Ca\text{-arcilla} \rightarrow Ca^{2+} + 2Na\text{-arcilla}$$

- Na > Cl: indica que la fuente de Na es otra que no halita, tales como albita o ablandamiento natural.

  $Ca^{2+} + 2Na\text{-arcilla} \rightarrow 2Na^{+} + Ca\text{-arcilla}$

**Calcio y Sulfato**

**Paso 5**. Comparar *Sulfato y Calcio*. Orígenes del Sulfato:

- Disolución de yeso (o anidrita)
- Neutralización de aguas ácidas por calizas o dolomita. En este caso el magnesio es elevado, en caso de que sulfato>calcio, entonces calcio debe ser removido de la solución por precipitación de calcita o por cambio iónico.
- $Ca_2^{+} = SO_4^{2-}$: yeso
- $Ca_2^{+} < SO_4^{2-}$: oxidación de pirita, o remoción de Ca, por precipitación de calcita o ablandamiento natural.
- $Ca_2^{+} > SO_4^{2-}$: Fuente de Ca es diferente de la de yeso; tal como calcita, dolomita o silicatos.

**Bicarbonato y Sílice**.

**Paso 6**. Comparar Bicarbonato y Sílice. Orígenes del bicarbonato:

- Reacción de agua y dióxido de carbono hidroliza varios minerales.
- Calizas liberan bicarbonato sin sílice.
- Albita libera bicarbonato con considerables cantidades de sílice.
- Otros silicatos pueden liberar bicarbonato, pero en menores cantidades.
- Bicarbonato/sílice <5: intemperismo de silicato

- Bicarbonato/sílice >10: intemperismo de caliza

**Bicarbonato y Sodio no relacionado a halita.**

**Paso 7**. Comparar sílice y sodio ($Na^+ + K^+ - Cl^-$). Se asume que después de restar el cloruro de sodio, el sodio que resta viene del intemperismo de albita (plagioclasa) o del cambio iónico; y el potasio se debe al intemperismo de biotita y menos probablemente del feldespato potásico. En caso de que otros minerales ferromagnesianos esten presentes, el sílice estará en concentraciones superiores a la suma de sodio + potasio.

Se asume que el producto de intemperismo será una arcilla, como caolinita o montmorillonita. La última libera más sílice que la otra.

- $SiO_2<(Na^+ + K^+ - Cl^-)$: cambio iónico es probablemente la fuente del exceso de sodio. En este caso, es probable que el calcio sea menor que el sulfato, si los carbonatos están ausentes.

- $(Na^+ + K^+ - Cl^-)<SiO_2<2*(Na^+ + K^+ - Cl^-)$: probabilidad de intemperismo de albita. El producto es caolinita o montmorillonita.

- $SiO_2>2*(Na^+ + K^+ - Cl^-)$: la roca contiene considerables cantidades de minerales ferromagnesianos (olivina, piroxeno, o anfiobolita). Bajo estas condiciones la fuente de mucho calcio es probablemente la anortita (plagioclasa).

$(Na^+ + K^+ - Cl^-)$ = Na no de halita y $(Na^+ + K^+ - Cl^-) > SiO_2$

- Indica que el Na proviene de silicatos, pudiendo ser resultado del ablandamiento natural, donde $Ca^{2+}$ puede ser < $SO_4^{2-}$ si los carbonatos están ausentes.

$SiO_2>(Na^+ + K^+ - Cl^-)$

- Indica intemperismo primariamente del granito, debido a la disolución de albita (plagioclasa).

$SiO_2 > (Na^+ + K^+ - Cl^-)$

- Indica intemperismo primariamente de basalto, debido a la disolución de silicatos ferromagnesianos pobres en sodio.

**Calcio y Magnesio en rocas sedimentarias.**

- **$Mg^{2+}/Ca^{2+}$**: disolución de dolomita, normalmente con valores de TDS≈500mg/L. Probabilidad de terrenos ricos en silicatos magnésicos (garbos y basaltos). Cuidado con precipitaciones de $CaCO_3$ o disolución de caliza.

- **Caso $Mg^{2+}/Ca^{2+}\approx 1$**: es probable que el $Ca^{2+}$ haya sido removido de la disolución (desdolomilitización). Probabilidad de disolución de rocas dolomilíticas o serpentinitos.

- **$Mg^{2+} > Ca^{2+}$**: Disolución de minerales ferromagnesianos de rocas máficas y ultramáficas, donde el TDS < 100-200mg/L.

- Intrusión salina del agua del mar, donde TDS > 500mg/L.

- **$Mg^{2+}/Ca^{2+}\approx 5$**: agua marina, sobre todo con Cl alto.

**Sodio y Potasio.**

- Mismo que el sodio y el potasio tengan sido generados por el mismo proceso de intemperismo de una roca ígnea, el sodio > potasio. Hay muchos sumideros de potasio, pero no de sodio.

- Hay algunos casos en que la interpretación debe ser tomada desde el punto de vista geológico. Por ejemplo, caso el intemperismo de caliza es indicado, pero es una arenisca, entonces posiblemente es cemento carbonático que se disuelve.

- Es una relación de utilidad limitada, una vez que existen muchos cambios posibles.

**Sodio y Calcio.**

- Na/Ca del agua es similar para plagioclasio y otros silicatos. Entonces es posible utilizar esta relación para distinguir entre los intemperismos de silicatos y carbonatos. Na/(Na + Ca) ≈0,6 en rocas máficas es común.

- En caliza, Na/Ca es muy bajo, excepto cuando haya cambios de iones.

**Sílice.**

- En los cálculos, es asumido que el sílice proviene del intemperismo de silicatos y no de la disolución de la sílice. La solubilidad del cuarzo es bajo en temperaturas normales (no en sitios geotérmicos).

- Sílice gel es soluble 120mg/L; Krauskopf (1967). White (1979) reporta 40-70mg/L en acuíferos tufaceos en Nevada. Hearnt et al (1985), 38-110mg/L en acuíferos basálticos en Washington. Estos datos sugieren cautela, cuando >30mg/L.

- Concentraciones de sílice pueden ser utilizadas para distinguir entre rocas volcánicas y plutónicas.

**Cloruro y Bicarbonato.**

- $Cl^-/HCO_3^-$: es útil en la caracterización de la intrusión marina ya que el agua continental tiene entre 0,1 y 5 y las aguas marinas 20 hasta 50.

- Cuando existe incremento de cloruros en zonas de regadío, la relación crece mucho menos para igual incremento de cloruro de lo que se produce con intrusión marina.

# 7. METODOLOGÍA

La metodología empleada en este trabajo, comprendió la ejecución de las siguientes actividades:

## 7. 1 REVISIÓN DE LA INFORMACIÓN EXISTENTE

Ésta actividad consistió básicamente en la recopilación de información de estudios anteriores en organismos como: INSFOPAL, INGEOMINAS, CARSUCRE, UNIVERSIDAD DE SUCRE, FINAGUAS, extractando de ellos la información hidrogeológica, geológica, geofísica, hidroquímica, bacteriológica y ambiental, importante para el desarrollo de este trabajo.

## 7. 2 SELECCIÓN DE LOS POZOS A MUESTREAR

Se hizo una primera selección teniendo en cuenta el inventario de pozos del SIGAS 2001, tomando de éste los pozos profundos activos (50 pozos - Anexo A).

Para la segunda selección se tuvo en cuenta la red de monitoreo del proyecto de protección integral de aguas subterráneas (PPIAS), tomando los pozos profundos activos localizados dentro del área de estudios del presente trabajo (36 pozos).

## 7. 3 TRABAJO DE CAMPO

**7. 3. 1 Visitas Previas.** Se realizaron con el fin de localizar los pozos seleccionados, en el campo, y los puntos de toma de muestras de los mismos.

**7. 3. 2 Toma de Muestras.** Esta actividad se llevó a cabo entre las fechas del 18 de septiembre y 8 de octubre de 2001, fechas en las cuales se tomaron muestras compuestas representativas de los 50 pozos seleccionados inicialmente para análisis físico – químicos y bacteriológicos.

Para la recolección de las muestras para los análisis físico – químicos, se emplearon recipientes de plástico con cierre de rosca (figura 10); se dejó correr el agua en el punto de toma ( boca de pozo en unos y grifo más cercanos en otros, durante el bombeo o purga del mismo ), se enjuagó el recipiente 2 o 3 veces con el agua a muestrear (figura 11) y se procedió al llenado y cierre del recipiente no dejando aire en su interior (figura 12), se identificaron y almacenaron en neveras de icopor para refrigerado y posterior transporte al laboratorio (laboratorios de aguas y suelo de la Universidad de Sucre) para ser analizadas.

Para los análisis bacteriológicos la recolección de las muestras se hizo teniendo en cuenta el protocolo de muestreo del Instituto Nacional de Salud (Anexo B), cedidas por el laboratorio a cargo de estos análisis ( DASSSALUD ).

Con el fin de corroborar la calidad de los datos obtenidos en el primer muestreo, se llevo a cabo un segundo muestreo físico – químico de los 36 pozos seleccionados, entre las fechas

**Figura 10. Toma de Muestras. Recipientes plásticos.**

**Figura 11. Toma de Muestras. Enjuague de recipientes.**

**Figura 12. Toma De Muestras. Llenado De Recipientes.**

del 10 de abril al 1 de mayo del 2002 las cuales fueron analizadas por el laboratorio de aguas y gases de INGEOMINAS en Bogotá. El costo de estos análisis lo asumió CARSUCRE en un 70% e INGEOMINAS en un 30% dentro del Proyecto de Protección Integral de Aguas Subterráneas (PPIAS).

**7. 3. 3 Registros de parámetros "*In Situ*"**. Según especificaciones del Instituto Nacional de Salud y el INGEOMINAS, se registraron "in situ" los siguientes parámetros. Figura 13 y 14.

**Cuadro 1. Parámetros "*In Situ*"**

| Parámetro | Unidad | Equipo | Volumen Muestra |
|---|---|---|---|
| PH | Iones | Multiline P4f/set-3 * | Alícuota |
| T° | °C | Multiline P4f/set -3 * | Alícuota |
| Conductividad | µmhos/cm | Multiline P4f/set -3 * | Alícuota |
| Alcalinidad | Como $CaCO_3$mg/L | Método Volumétrico | Alícuota |

* Equipo suministrado por CARSUCRE

**Figura 13. Determinación de T°, CE, pH. *In Situ*. Multiline $P_4F$/SET-3**

**Figura 14. Determinación de Alcalinidad *In Situ*.**

## 7. 4 TRABAJO DE LABORATORIO

**7. 4. 1 Análisis Físico Químicos.** Se analizaron los siguientes iones en solución, calcio, magnesio, hierro manganeso, potasio, sodio, bicarbonato, carbonatos, cloruros, nitratos, sulfatos y fosfatos, se determinaron alcalinidad, dureza, color, turbiedad, sólidos, totales, sólidos en suspensión y sólidos en solución.

Los parámetros seleccionados fueron aquellos que permitieran información del grado de mineralización y su fracción soluble, la importancia de estos como indicadores de la calidad del agua y los recursos disponible para su determinación.

Los análisis fueron realizados por diferentes laboratorios, equipos y metodología ver cuadro 2.

**Cuadro 2. Análisis Físico – Químicos.**

| PARÁMETRO | LABORATORIO | METODO DE ANÁLISIS | UNIDAD |
|---|---|---|---|
| Alcalinidad total | INGEOMINAS | Volumétrico | Como $CaCO_3$ mg/L. |
| PH | Unisucre | Potiencimétrico | ------ |
| Color | INGEOMINAS | Espectrofotómetro | Pt – Co |
| Turbiedad | INGEOMINAS | Turbidímetro, nefelométrico | NTU |
| Conductividad | Unisucre | Conductometrico | µmhos/cm |
| Dureza total | INGEOMINAS | Volumétrico con EDTA | Como Ca $CO_3$ mg/L |
| Sólidos disueltos | INGEOMINAS Unisucre | Gravimétrico | Mg/L. |
| Sólidos suspendidos | INGEOMINAS | Gravimétrico | Mg/L. |
| Sólidos totales | INGEOMINAS | Gravimétrico | Mg/L. |
| Calcio $Ca^{++}$ | INGEOMINAS Unisucre | Absorción atómica Complexométrico | Mg/L. |
| Hierro total Fe | INGEOMINAS Unisucre | Absorción atómica Hach 2010* | Mg/L. |
| Manganeso total Mn | INGEOMINAS | Absorción atómica | Mg/L. |
| Magnesio $Mg^{+}$ | INGEOMINAS Unisucre | Absorción atómica Complexométrico | Mg/L. |
| Potasio $K^{+}$ | INGEOMINAS Unisucre | Absorción atómica Fotometría de llama | Mg/L. |
| Sodio $Na^{+}$ | INGEOMINAS Unisucre | Absorción atómica Fotometría de llama | Mg/L. |
| Bicarbonatos $HCO^{-}_3$ | INGEOMINAS Unisucre | Método de Cooper | Mg/L. |
| Carbonatos $CO^{-}_3$ | INGEOMINAS Unisucre | Método de Cooper | Mg/L. |
| Cloruros $Cl^{-}$ | INGEOMINAS Unisucre | Titulación nitrato de plata Método de Clarkh | Mg/L. |
| Nitratos $NO_3$ | INGEOMINAS | Reducción con Cadmio | Mg/L. |
| Sulfatos $SO^{-}_4$ | INGEOMINAS Unisucre | Turbidimétrico Hach 2010 * | Mg/L. |
| Fosfatos | INGEOMINAS | Calorimétrico | Mg/L. |
| Cobre $Cu^{++}$ | Unisucre | Hach 2010 * | Mg/L. |

* Equipo Suministrado Por CARSUCRE.

**7. 4. 2 Análisis Bacteriológicos.** Los análisis bacteriológicos fueron realizados por el laboratorio de DASSSALUD Sucre (Convenio UNISUCRE, CARSUCRE Y DASSSALUD) de acuerdo a las normas establecidas por el Instituto Nacional de Salud. Los microorganismos indicadores fueron los siguientes:

**CUADRO 3. Microorganismos Indicadores**

| Microorganismos indicadores | Método | Expresado en: |
|---|---|---|
| Número más probable de Bacilos coliformes total | Número más probable (NMP) | Microorganismos / 100 ml |
| Coliformes fecales | Numero más probable (NMP) | Microorganismos / ml. |

## 7. 5. ACTIVIDADES DE OFICINA.

Esta actividad consistió básicamente en la recopilación de los resultados y datos de las actividades realizadas hasta el momento, organizándolos, de tal manera que se elaboraron tablas, figuras, graficas, mapas, que facilitaran el análisis e interpretación y presentación que se muestran en el capitulo siguiente. Figura 15.

Se pone en manifiesto el uso de programas de computación como el EASY- QUIM. 1 (figura 16), para la elaboración de los diagramas de Piper y Scholler – Berkaloff, Aquachem para los diagramas de Stiff, Piper y el Surfer para la realización de los mapas isoquimicos.

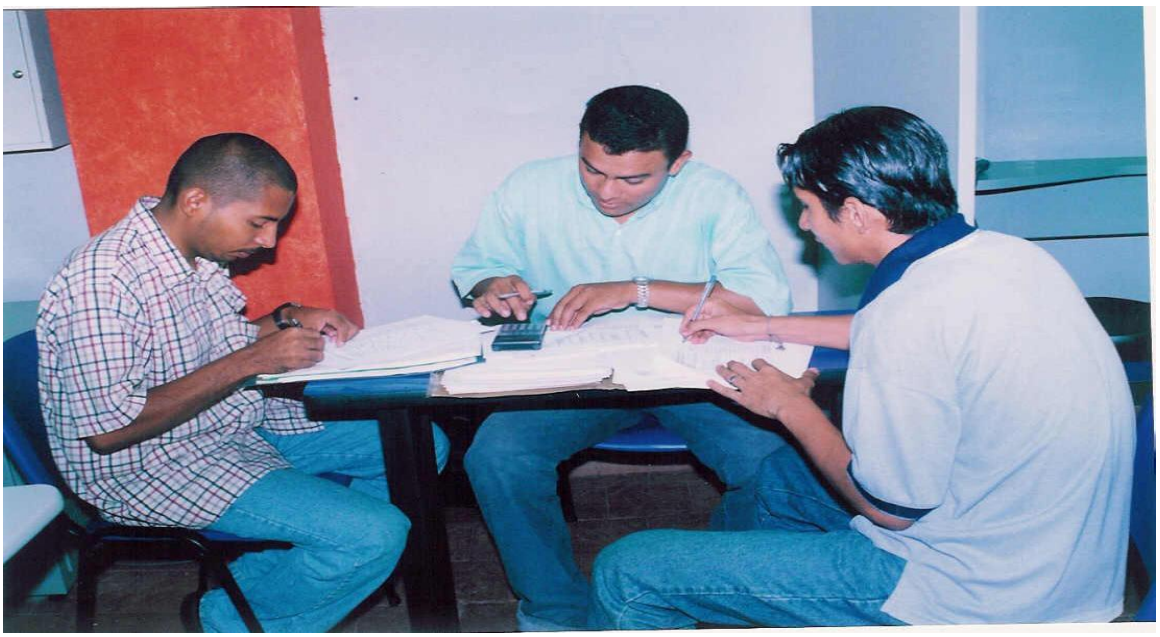


Figura 15. Trabajo de Oficina (Elaboración de Tablas)

Figura 16. Trabajo de Oficina (Uso de Software)

# 8. RESULTADOS

Se realizaron un total de 86 muestreos y 1334 análisis físico – químicos. Las tablas 1 y 2 registran los valores obtenidos para los diferentes parámetros en cada pozo, resaltando los valores máximos y mínimos y comparándolos con los valores permisibles establecidos por el Ministerio de Salud en el Decreto 475 del 10 de marzo de 1998 para agua potable.

Para los análisis bacteriológicos se tomaron un total de 50 muestras para igual número de análisis. Los resultados se pueden observar en la tabla 3.

En el anexo C se muestran los resultados de los análisis bacteriológico entregados por DASSSALUD, en el anexo D los análisis entregados por el laboratorio de INGEOMINAS.

**Tabla 1. Resumen Análisis Físico - Químicos UNISUCRE.**

| CODIGO DEL POZO CARSUCRE | # Muestra | pH (1:1) | C. Ee Us/cm | T °C | S % | mg/Lt | | | | | | | | | | | | | Coordenadas | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | $Ca^{++}$ | $Mg^{++}$ | $K^{+}$ | $Na^{+}$ | $CO_3^{=}$ | $HCO_3^{=}$ | $Cl^{-}$ | $SO_4^{-}$ | $Cu^{++}$ | $Fe^{+++}$ | DT | OD | S.D.T. | X | Y |
| 52 - II - A - PP – 10 | 357 | 7.1 | 250 | 30.7 | 0 | 54 | 23.9 | 0.6 | 44.2 | 33.6 | 252.5 | 124.1 | 1.0 | 0.0 | 0.0 | 233.5 | 1.5 | 240.0 | 863980 | 1516680 |
| 52 - II - A - PP – 19 | 358 | 7.4 | 325 | 30.2 | 0 | 40 | 20.3 | 0.3 | 57.0 | 24.0 | 241.6 | 106.4 | 2.0 | 0.0 | 0.0 | 183.5 | 5.0 | 401.6 | 861740 | 1517210 |
| 52 - II - A - PP – 08 | 359 | 7.36 | 340 | 32.6 | 0 | 58 | 21.5 | 0.4 | 51.1 | 16.8 | 246.4 | 106.4 | 14.0 | 0.0 | 0.0 | 233.5 | 2.1 | 346.0 | 862660 | 1519400 |
| 52 - II - A - PP –13 | 360 | 7.42 | 330 | 30 | 0 | 40 | 22.2 | 0.4 | 55.2 | 36.0 | 176.9 | 99.3 | 1.0 | 0.0 | 0.0 | 191.5 | 4.7 | 319.0 | 861270 | 1514390 |
| 52 - II - A - PP – 09 | 361 | 7.38 | 480 | 29.3 | 0 | 56 | 24.7 | 0.7 | 53.1 | 48.0 | 224.5 | 166.6 | 9.0 | 0.0 | 0.0 | 241.5 | 3.8 | 184.0 | 864700 | 1515720 |
| 52 - II - A - PP – 07 | 362 | 7.25 | 480 | 29.8 | 0 | 72 | 37.3 | 1.0 | 56.1 | 12.0 | 256.2 | 195.0 | 18.0 | 0.1 | 0.1 | 333.5 | 3.4 | 420.0 | 862970 | 1511030 |
| 44 - IV - C - PP - 07 | 363 | 7.82 | 330 | 30.6 | 0 | 20 | 0.0 | 0.1 | 60.5 | 43.2 | 114.7 | 120.5 | 24.0 | 0.1 | 0.0 | 50.0 | 1.7 | 363.0 | 864900 | 1521400 |
| 52 - II - A - PP - 15 | 364 | 8.01 | 320 | 31.3 | 0 | 22.6 | 6.6 | 0.3 | 32.2 | 21.6 | 187.9 | 134.7 | 16.0 | 0.0 | 0.1 | 83.5 | 1.8 | 350.0 | 863880 | 1519150 |
| 44 - IV - D - PP - 35 | 365 | 7.9 | 280 | 30 | 0 | 28 | 11.3 | 0.4 | 55.4 | 28.8 | 185.4 | 127.6 | 9.0 | 0.0 | 0.1 | 116.5 | 4.6 | 322.0 | 865660 | 1520100 |
| 52 - II - B - PP - 01 | 366 | 7.61 | 280 | 30.6 | 0 | 30 | 14.2 | 0.4 | 88.8 | 31.2 | 180.6 | 102.8 | 7.0 | 0.0 | 0.0 | 133.5 | 1.9 | 331.0 | 865830 | 1519540 |
| 52 - II - A - PP - 16 | 367 | 7.45 | 290 | 29.8 | 0 | 40 | 10.1 | 0.5 | 54.3 | 36.0 | 170.8 | 99.3 | 5.0 | 0.1 | 0.0 | 141.5 | 1.5 | 316.0 | 862650 | 1515420 |
| 52 - II - A - PP - 14 | 368 | 7.53 | 450 | 30.3 | 0 | 30 | 8.1 | 0.4 | 247.5 | 19.2 | 261.1 | 145.3 | 118.0 | 0.0 | 0.0 | 108.5 | 1.9 | 351.6 | 861400 | 1515320 |
| 44 - IV - D - PP - 16 | 370 | 7.85 | 195 | 31.4 | 0 | 18 | 7.3 | 0.2 | 21.4 | 16.8 | 168.4 | 106.4 | 3.0 | 0.0 | 0.0 | 75.0 | 4.1 | 225.0 | 866410 | 1523510 |
| 44 - IV - D - PP - 25 | 372 | 7.95 | 205 | 31 | 0 | 10 | 10.1 | 0.3 | 28.3 | 21.6 | 146.4 | 99.3 | 15.0 | 0.1 | 0.0 | 66.5 | 3.1 | 278.3 | 866800 | 1524100 |
| 44 - IV - D - PP - 31 | 373 | 7.71 | 210 | 30.4 | 0 | 20 | 8.1 | 0.2 | 29.4 | 24.0 | 156.2 | 99.3 | 1.0 | 0.0 | 0.0 | 83.5 | 1.6 | 394.0 | 867800 | 1523620 |
| 44 - IV - D - PP - 30 | 374 | 8.27 | 360 | 30 | 0 | 10 | 8.1 | 0.3 | 89.7 | 24.0 | 122.0 | 131.2 | 41.0 | 0.0 | 0.0 | 58.5 | 1.7 | 358.3 | 866690 | 1525800 |
| 44 - IV - C - PP - 09 | 375 | 7.69 | 318 | 29.5 | 0 | 20 | 4.0 | 0.2 | 50.1 | 21.6 | 163.5 | 124.1 | 16.0 | 0.0 | 0.0 | 66.5 | 4.0 | 306.0 | 864000 | 1522250 |
| 44 - IV - C - PP - 06 | 376 | 8.42 | 355 | 28.7 | 0 | 6.2 | 4.7 | 0.2 | 56.1 | 40.8 | 134.2 | 134.7 | 26.0 | 0.0 | 0.1 | 35.0 | 3.3 | 391.6 | 864760 | 1522780 |
| 44 - IV - D - PP - 29 | 377 | 8.06 | 380 | 30.8 | 0 | 30 | 10.1 | 0.4 | 31.3 | 19.2 | 170.8 | 99.3 | 20.0 | 0.0 | 0.1 | 116.5 | 1.7 | 376.0 | 866800 | 1524500 |
| 44 - IV - D - PP - 39 | 378 | 8.2 | 390 | 30.1 | 0 | 24 | 3.6 | 0.3 | 40.3 | 21.6 | 178.1 | 88.6 | 16.0 | 0.0 | 0.0 | 75.0 | 4.6 | 212.5 | 865525 | 1524800 |
| 44 - IV - D - PP - 37 | 379 | 8.27 | 370 | 30.9 | 0 | 20 | 0.0 | 0.3 | 50.1 | 24.0 | 146.4 | 81.5 | 11.0 | 0.0 | 0.0 | 50.0 | 1.3 | 374.0 | 866725 | 1520400 |
| 44 - IV - D - PP - 34 | 380 | 8.09 | 420 | 30.8 | 0.1 | 16 | 14.6 | 0.4 | 48.1 | 21.6 | 187.9 | 95.7 | 9.0 | 0.0 | 0.0 | 100.0 | 1.2 | 323.0 | 866640 | 1521160 |
| 44 - IV - D - PP - 32 | 381 | 7.7 | 470 | 30 | 0.1 | 60 | 16.2 | 0.4 | 20.5 | 9.6 | 280.6 | 88.6 | 9.0 | 0.0 | 0.0 | 216.5 | 2.3 | 215.0 | 868710 | 1527840 |
| 44 - IV - D - PP - 36 | 382 | 7.93 | 420 | 30.5 | 0.1 | 34 | 13.7 | 0.2 | 25.3 | 24.0 | 268.4 | 88.6 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 141.5 | 2.3 | 266.0 | 868120 | 1524880 |
| 44 - IV - D - PP - 19 | 383 | 7.79 | 615 | 30.4 | 0.1 | 60 | 14.2 | 0.5 | 27.4 | 14.4 | 307.4 | 99.3 | 2.0 | 0.0 | 0.0 | 164.2 | 3.6 | 296.6 | 867600 | 1524700 |
| 44 - IV - C - PP - 04 | 384 | 7.8 | 725 | 28.8 | 0.2 | 56 | 47.0 | 0.2 | 57.0 | 54.0 | 247.7 | 191.4 | 62.0 | 0.0 | 0.0 | 333.5 | 3.5 | 708.3 | 857260 | 1520185 |
| 44 - IV - B - PP - 01 | 385 | 8.05 | 420 | 30.1 | 0.1 | 34 | 9.7 | 0.2 | 23.5 | 12.0 | 244.0 | 106.4 | 10.0 | 0.0 | 0.0 | 125.0 | 1.1 | 170.0 | 875160 | 1538420 |
| 44 - IV - D - PP - 24 | 386 | 7.24 | 780 | 30 | 0.2 | 40 | 24.3 | 0.3 | 17.5 | 24.0 | 261.1 | 159.5 | 24.0 | 0.0 | 0.0 | 200.0 | 1.3 | 340.0 | 867670 | 1522400 |

**Tabla 1. Continuación**

| CODIGO DEL POZO CARSUCRE | # Muestra | pH (1:1) | C. Ee Us/cm | T °C | S % | mg/Lt | | | | | | | | | | | | | Coordenadas | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | $Ca^{++}$ | $Mg^{++}$ | $K^{+}$ | $Na^{+}$ | $CO_3^{=}$ | $HCO_3^{=}$ | $Cl^{-}$ | $SO_4^{-}$ | $Cu^{++}$ | $Fe^{+++}$ | DT | OD | S.D.T. | X | Y |
| 44 - IV - D - PP - 33 | 387 | 7.75 | 472 | 31 | 0.1 | 40 | 6.1 | 0.4 | 37.3 | 12.0 | 170.8 | 134.7 | 42.0 | 0.0 | 0.0 | 125.0 | 2.5 | 314.0 | 869710 | 1529940 |
| 44 - IV - D - PP - 28 | 388 | 8.16 | 445 | 30.4 | 0 | 12 | 17.0 | 0.2 | 28.3 | 24.0 | 168.4 | 148.9 | 18.0 | 0.0 | 0.0 | 100.0 | 3.4 | 243.3 | 869090 | 1528810 |
| 52 - II - A - PP - 11 | 389 | 7.21 | 382 | 30.2 | 0 | 26 | 0.4 | 0.3 | 33.4 | 21.6 | 200.1 | 106.4 | 6.0 | 0.0 | 0.0 | 66.5 | 4.7 | 321.0 | 864800 | 1518360 |
| 52 - II - C - PP - 19 | 390 | 8.45 | 450 | 29.8 | 0 | 4 | 7.7 | 0.1 | 75.0 | 19.2 | 358.7 | 109.9 | 5.0 | 0.0 | 0.0 | 41.5 | 2.2 | 318.3 | 858330 | 1508800 |
| 52 - II - C - PP - 18 | 391 | 7.58 | 438 | 29.2 | 0 | 32 | 0.9 | 0.3 | 45.3 | 7.2 | 229.4 | 95.7 | 2.0 | 0.0 | 0.0 | 83.5 | 2.3 | 280.0 | 857140 | 1506230 |
| 52 - II - C - PP - 17 | 392 | 7.33 | 790 | 29.3 | 0.1 | 64 | 7.7 | 0.7 | 50.1 | 28.8 | 319.6 | 120.5 | 1.0 | 0.0 | 0.0 | 191.5 | 1.7 | 248.3 | 855150 | 1505970 |
| 52 - II - C - PP - 20 | 393 | 7.56 | 600 | 28.9 | 0.1 | 46 | 24.3 | 0.6 | 60.0 | 31.2 | 253.8 | 124.1 | 12.0 | 0.0 | 0.1 | 215.0 | 4.7 | 291.6 | 856000 | 1504350 |
| 52 - II - C - PP - 11 | 394 | 8.39 | 330 | 29.6 | 0 | 6 | 16.6 | 0.2 | 94.8 | 28.8 | 185.4 | 113.4 | 28.0 | 0.0 | 0.0 | 83.3 | 1.4 | 360.0 | 859370 | 1509480 |
| 52 - II - A - PP - 17 | 395 | 8.51 | 350 | 31.3 | 0 | 10 | 0.0 | 0.1 | 48.1 | 21.6 | 136.6 | 70.9 | 11.0 | 0.0 | 0.0 | 25.0 | 1.5 | 198.3 | 859680 | 1510130 |
| 52 - II - C - PP - 04 | 396 | 8.26 | 900 | 29.4 | 0.2 | 6 | 12.5 | 0.1 | 147.4 | 26.4 | 231.8 | 177.3 | 62.0 | 0.1 | 0.0 | 66.5 | 2.2 | 332.5 | 856880 | 1509900 |
| 52 - II - C - PP - 08 | 397 | 8.45 | 480 | 31 | 0.1 | 4 | 7.7 | 0.1 | 50.1 | 21.6 | 153.7 | 120.5 | 30.0 | 0.0 | 0.0 | 41.5 | 4.7 | 252.0 | 858500 | 1509130 |
| 52 - II - C - PP - 12 | 398 | 7.58 | 180 | 31.4 | 0 | 6 | 8.5 | 0.2 | 36.3 | 40.8 | 117.1 | 92.2 | 17.0 | 0.0 | 0.0 | 50.0 | 1.8 | 256.0 | 858800 | 1509100 |
| 52 - II - C - PP - 07 | 399 | 7.52 | 530 | 30.3 | 0.1 | 50 | 12.2 | 0.6 | 42.3 | 48.0 | 129.3 | 127.6 | 21.0 | 0.0 | 0.0 | 175.0 | 4.1 | 243.0 | 858150 | 1508330 |
| 52 - II - C - PP - 06 | 400 | 7.72 | 550 | 28.9 | 0.1 | 10.6 | 26.0 | 0.7 | 37.3 | 60.0 | 163.5 | 124.1 | 1.0 | 0.0 | 0.0 | 133.5 | 4.6 | 342.0 | 860820 | 1506420 |
| 52 - II - C - PP - 13 | 401 | 7.6 | 800 | 29.8 | 0.2 | 24 | 1.5 | 0.2 | 78.7 | 84.0 | 241.6 | 156.0 | 9.0 | 0.0 | 0.0 | 66.3 | 4.5 | 278.0 | 853850 | 1508700 |
| 52 - II - A - PP - 01 | 402 | 6.96 | 1180 | 30.1 | 0.7 | 70 | 10.1 | 0.4 | 65.1 | 69.6 | 270.8 | 219.8 | 22.0 | 0.0 | 0.0 | 216.5 | 1.3 | 328.3 | 857060 | 1512470 |
| 52 - II - C - PP - 21 | 403 | 8.55 | 680 | 30 | 0.5 | 10 | 0.0 | 0.2 | 57.1 | 108.0 | 73.2 | 95.7 | 1.0 | 0.0 | 0.0 | 25.0 | 2.2 | 336.0 | 855210 | 1504950 |
| 52 - I - B - PP - 02 | 405 | 7.77 | 1380 | 30.7 | 1.2 | 64 | 23.9 | 0.2 | 56.1 | 115.2 | 290.4 | 195.0 | 132.0 | 0.0 | 0.0 | 258.5 | 1.5 | 346.0 | 849370 | 1514200 |
| 52 - I - B - PP - 01 | 406 | 7.7 | 1000 | 32.3 | 0.9 | 80 | 34.4 | 0.2 | 53.1 | 100.8 | 197.6 | 156.0 | 122.0 | 0.0 | 0.0 | 341.5 | 2.5 | 350.0 | 849450 | 1515020 |
| 44 - IV - D - PP - 38 | 410 | 8.51 | 400 | 31.5 | 0.1 | 8 | 11.3 | 0.2 | 63.0 | 40.8 | 73.2 | 81.5 | 16.0 | 0.0 | 0.0 | 66.5 | 1.4 | 372.0 | 866880 | 1523280 |
| 44 - IV - C - PP - 10 | 411 | 8.15 | 1320 | 29.8 | 1.1 | 8 | 21.4 | 0.3 | 102.4 | 21.6 | 97.6 | 290.7 | 100.0 | 0.0 | 0.3 | 108.0 | 4.2 | 365.0 | 857430 | 1525920 |
| Decreto 475 | | 6.5-9 | 0-1000 | | | 60 | 36 | | | | | 250 | 250 | | 0.3 | 160 | | 500 | | |

Valores máximos

Valores mínimos

## Tabla 2. Resumen Análisis Físico - Químicos. INGEOMINAS

| INFORMACION GENERAL | | | | | | | DATOS RECOPILADOS EN CAMPO | | | | | DATOS RECOPILADOS EN LABORATORIO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Localidad | Municipio | Cod. Pozo | Nº Muest. | Fecha | Coordenadas | | Cota | pH | Tº C | C.E a 25ºC µmhos/cm | Alcalinidad total $CaCO_3$ mg/L | Turb. NTU | Color Pt-Co | Alcalinidad total $CaCO_3$ mg/L | Dureza Total $CaCO_3$ mg/L | STD mg/L | Iones en solución | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | Cationes | | | | | | Aniones | | | | | | | |
| | | | | | X | Y | | | | | | | | | | | $Ca^{++}$ | Fe | $Mg^{++}$ | Mn | $K^{+}$ | $Na^{+}$ | $HCO_3^{-}$ | $CO_3^{=}$ | $Cl^{-}$ | $NO_3$ | $SO_4^{=}$ | $PO_4^{-3}$ | | | |
| Finca La Cruz | Corozal | 52-II-B-PP-01 | 869C | 10/04/02 | 865830 | 1519540 | 145 | 7.2 | 30.2 | 369.73 | 254.48 | 2.4 | <1,0 | 254 | 91.1 | 126 | 22.5 | <0.2 | 8.5 | <0.1 | 3 | 83.5 | 310 | 0 | 15 | <0.5 | 5.9 | 0.05 | | | |
| Barrio El Jardín | Morroa | 44-IV-D-PZ-22 | 870C | 10/04/02 | 865440 | 1523180 | 157 | 7.2 | 28.7 | 492.23 | 313.2 | 9.6 | <1,0 | 282 | 126 | 243 | 24 | <0.2 | 16 | 0.3 | 6.6 | 69 | 344 | 0 | 29.1 | 0.7 | 14.9 | 0.03 | | | |
| Finca San Pedro | Morroa | 44-IV-D-PP-39 | 871C | 13/04/02 | 865525 | 1524800 | 175 | 8.2 | 30.2 | 366.2 | 280.57 | 3.8 | <1,0 | 208 | 47.1 | 170 | 12.3 | <0.2 | 4 | <0.1 | 3.3 | 72.6 | 254 | 0 | 21.7 | <0.5 | 18.2 | 0.08 | | | |
| Villa Bere | Corozal | 44-IV-D-PP-31 | 872C | 13/04/02 | 867800 | 1523620 | 160 | 7.85 | 30.7 | 305.75 | 228.37 | 4 | <1,0 | 196 | 70 | 166 | 16.5 | <0.2 | 7 | <0.1 | 3.5 | 48 | 239 | 0 | 12.3 | <0.5 | 2.7 | 0.03 | | | |
| Los Limoncitos | Morroa | 44-IV-D-PP-30 | 873C | 13/04/02 | 866690 | 1525800 | 189 | 8.75 | 31.1 | 541.07 | 206.14 | 0.6 | <1,0 | 188 | 26.6 | 276 | 9 | <0.2 | 1 | <0.1 | 4 | 109 | 191 | 15.7 | 63.6 | <0.5 | 35.5 | 0.06 | | | |
| Barrio Luis Carlos Galán | Corozal | 44-IV-D-PP-38 | 874C | 16/04/02 | 866880 | 1523280 | 159 | 8.68 | 30.6 | 334.58 | 213.15 | 1.4 | <1,0 | 150 | 19.1 | 136 | 6 | <0.2 | 1 | <0.1 | 3 | 63 | 151 | 15.7 | 19.6 | <0.5 | 11.7 | 0.07 | | | |
| Liceo Carmelo Percy | Corozal | 44-IV-D-PP-25 | 875C | 16/04/02 | 866800 | 1524100 | 171 | 8 | 30.9 | 328.41 | 221.85 | 1.3 | <1,0 | 190 | 39.8 | 125 | 11 | <0.2 | 3 | <0.1 | 3 | 61 | 232 | 0 | 13 | <0.5 | 10.4 | 0.05 | | | |
| Barrio Corazón de Jesús | Corozal | 44-IV-D-PP-24 | 876C | 16/04/02 | 867670 | 1522400 | 146 | 8.18 | 30.7 | 421.94 | 228.37 | 1.7 | <1,0 | 228 | 40.7 | 216 | 13 | <0.2 | 2 | <0.1 | 4 | 84 | 247 | 15.7 | 34.5 | <0.5 | 18.1 | 0.07 | | | |
| Finca La Concepción | Corozal | 44-IV-D-PP-35 | 877C | 16/04/02 | 865660 | 1520100 | 160 | 7.58 | 31.6 | 380.62 | 280.58 | 3 | <1,0 | 238 | 102.8 | 190 | 28 | <0.2 | 8 | <0.1 | 5 | 61 | 291 | 0 | 22 | <0.5 | 6.6 | 0.04 | | | |
| Finca Margarita | Corozal | 52-II-A-PP-11 | 878C | 16/04/02 | 864800 | 1518360 | 172 | 7.67 | 31.8 | 343.87 | 306.75 | 2.2 | 0.2 | 234 | 77.1 | 124 | 21 | <0.2 | 6 | <0.1 | 3.5 | 59.5 | 285 | 0 | 13.8 | <0.5 | 4.3 | 0.07 | | | |
| Cartagena de Indias | Corozal | 44-IV-D-PP-34 | 879C | 16/04/02 | 866640 | 1521160 | 148 | 8.02 | 30.6 | 443.12 | 244.67 | 2.9 | <1,0 | 235 | 97.8 | 203 | 26 | <0.2 | 8 | <0.1 | 4 | 68 | 287 | 0 | 21.7 | <0.5 | 5.9 | 0.04 | | | |
| Villa Luz | Sincelejo | 52-II-A-PP-14 | 880C | 17/04/02 | 861400 | 1515320 | 175 | 7.54 | 30.04 | 757.19 | 311.84 | 2.6 | 1 | 293 | 94.6 | 433 | 28 | <0.2 | 6 | <0.1 | 4 | 142 | 357 | 0 | 61.4 | 0.88 | 95.1 | 0.11 | | | |
| Finca El Socorro | Sincelejo | 52-II-A-PP-16 | 881C | 17/04/02 | 862650 | 1515420 | 177 | 7.42 | 30.3 | 389.88 | 309.94 | 3.8 | <1,0 | 257 | 107 | 204 | 39 | <0.2 | 12 | <0.1 | 5 | 45 | 314 | 0 | 13.5 | <0.5 | 5.4 | 0.03 | | | |
| La Frontera | Corozal | 44-IV-C-PP-08 | 310C | 17/04/02 | 864330 | 1520560 | 123 | 7.57 | 32.2 | 405.42 | 270.78 | <0,5 | 2.2 | 234 | 93.7 | 124 | 26 | <0.2 | 7 | <0.1 | 4 | 65 | 285 | 0 | 21.7 | <0.5 | 11.3 | 0.05 | | | |
| Las Tinas | Corozal | 52-II-A-PP-08 | 311C | 17/04/02 | 862660 | 1519400 | 172 | 7.52 | 31.6 | 523.6 | 326.25 | 20.3 | 1.3 | 270 | 163 | 262 | 44 | <0.2 | 13 | <0.1 | 4 | 50 | 329 | 0 | 31.7 | <0.5 | 7.5 | 0.03 | | | |

**Tabla 2. Continuación**

| INFORMACION GENERAL | | | | | | | DATOS. REC. EN CAMPO | | | | | DATOS RECOPILADOS EN LABORATORIO | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Localidad | Municipio | Cod. Pozo | Nº Muest. | Fecha | Coordenadas | | Cota | pH | T° C | C.E a 25°C µmhos/cm | Alcalinidad total $CaCO_3$ mg/L | Turb. NTU | Color Pt-Co | Alcalinidad total $CaCO_3$ mg/L | Dureza Total $CaCO_3$ mg/L | STD mg/L | Iones en solución | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | X | Y | | | | | | | | | | | Cationes | | | | | | Aniones | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | $Ca^{++}$ | Fe | $Mg^{++}$ | Mn | $K^{+}$ | $Na^{+}$ | $HCO_3^{-}$ | $CO_3^{=}$ | $Cl^{-}$ | $NO_3$ | $SO_4^{=}$ | $PO_4^{-3}$ |
| Las Palmas | Sincelejo | 52-II-A-PP-19 | 312C | 17/04/02 | 861740 | 1517210 | 200 | 7.79 | 29.9 | 478.13 | 300.15 | <0,5 | <1,0 | 271 | 144 | 274 | 38 | <0.2 | 12 | <0.1 | 4 | 65 | 331 | 0 | 36 | 3.23 | 2.2 | 0.04 |
| El Bajito | Corozal | 52-II-A-PP-09 | 318C | 19/04/02 | 864700 | 1515720 | 171 | 7.62 | 28.4 | 439.92 | 485.45 | 2 | 4 | 300 | 212.8 | 248 | 49 | <0.2 | 22 | <0.1 | 5 | 39 | 366 | 0 | 17.1 | <0.5 | 5.5 | 0.02 |
| Don Alonso | Corozal | 52-II-A-PP-07 | 319C | 19/04/02 | 862970 | 1511030 | 131 | 7.2 | 29 | 678.95 | 474.5 | 15.1 | 1.8 | 405 | 293.4 | 345 | 78 | <0.2 | 24 | <0.1 | 6 | 64 | 494 | 0 | 47 | 6.3 | 6.2 | 0.02 |
| Segovia | Sampués | 52-II-A-PP-01 | 320C | 19/04/02 | 857060 | 1512470 | 140 | 7.04 | 29 | 1087.8 | 569.4 | <0,5 | 2.3 | 454 | 195.8 | 624 | 62 | <0.2 | 10 | 0.1 | 6 | 180 | 554 | 0 | 147 | 1 | 22.9 | 0.03 |
| Chochó | Sincelejo | 52-II-A-PP-13 | 321C | 19/04/02 | 861270 | 1514390 | 163 | 7.49 | 30 | 517.89 | 445.3 | <0,5 | <1,0 | 352 | 233.8 | 297 | 66.5 | <0.2 | 17 | 0.2 | 5 | 40 | 430 | 0 | 24.5 | <0.5 | 4.5 | 0.05 |
| El Piñal | Los Palmitos | 44-IV-B-PP-01 | 322C | 22/04/02 | 875160 | 1538420 | 250 | 7.03 | 29.2 | 419.05 | 357.7 | 0.5 | 1.1 | 254 | 174.1 | 210 | 50 | 0.4 | 12 | 0.4 | 6 | 22 | 310 | 0 | 10.4 | <0.5 | 10 | 0.06 |
| La Aldea | Los Palmitos | 44-IV-B-PP-02 | 323C | 22/04/02 | 875740 | 1536950 | 213 | 6.8 | 31 | 619.44 | 478.15 | <0,5 | 1.9 | 377 | 187.4 | 390 | 52 | <0.2 | 14 | <0.1 | 2 | 82 | 460 | 0 | 32.7 | 12.9 | 13.4 | 0.04 |
| Barrio El Jardín | Los Palmitos | 44-IV-D-PP-28 | 324C | 22/04/02 | 869090 | 1528810 | 183 | 7.31 | 31 | 929.16 | 394.2 | <0,5 | 2.5 | 319 | 333 | 435 | 94 | <0.2 | 24 | 0.1 | 8 | 38 | 389 | 0 | 63.8 | 64.2 | 26.5 | 0.22 |
| ESRAN | Corozal | 44-IV-D-PP-36 | 325C | 22/04/02 | 868120 | 1524880 | 177 | 7.42 | 31.5 | 528.2 | 332.15 | <0,5 | 1.7 | 258 | 146 | 236 | 37 | 0.2 | 13 | <0.1 | 5 | 34 | 315 | 0 | 10.2 | <0.5 | 2.9 | 0.03 |
| Kembor | Los Palmitos | 44-IV-D-PP-32 | 326C | 23/04/02 | 868710 | 1527840 | 181 | 7.23 | 28.7 | 460.6 | 343.1 | <0,5 | <1,0 | 307 | 253 | 280 | 80 | <0.2 | 13 | <0.1 | 4 | 29 | 374 | 0 | 12.5 | 4.46 | 6.7 | 0.04 |
| Finca La Semilla | Sampués | 52-II-C-PP-17 | 327C | 23/04/02 | 855150 | 1505970 | 154 | 7.09 | 28.6 | 626.3 | 394.2 | <0,5 | <1,0 | 359 | 191 | 325 | 60 | <0.2 | 10 | <0.1 | 5 | 77 | 438 | 0 | 30.7 | 2.7 | 1.7 | 0.03 |
| Finca La Guitarra | Sampués | 52-II-C-PP-18 | 328C | 23/04/02 | 857140 | 1506230 | 153 | 7.53 | 29.2 | 418.3 | 306.6 | <0,5 | <1,0 | 255 | 88.7 | 240 | 24 | <0.2 | 7 | <0.1 | 3 | 73 | 310 | 0 | 21.2 | 0.8 | 3.1 | 0.03 |
| Finca La Esperanza | Sampués | 52-II-C-PP-06 | 329C | 23/04/02 | 860820 | 1506420 | 127 | 7.3 | 30.6 | 481.69 | 339.45 | <0,5 | <1,0 | 270 | 96.2 | 280 | 27 | <0.2 | 7 | <0.1 | 4 | 82 | 329 | 0 | 33.4 | <0.5 | 5.4 | 0.09 |
| San Martín | Sampués | 52-I-B-PP-02 | 330C | 23/04/02 | 849370 | 1514200 | 106 | 6.91 | 31.6 | 1358.72 | 616.85 | <0,5 | <1,0 | 639 | 311 | 803 | 95 | <0.2 | 18 | <0.1 | 11 | 300 | 780 | 0 | 134 | <0.5 | 142 | 0.04 |
| Colmercedes | Sincelejo | 44-IV-C-PP-04 | 331C | 24/04/02 | 857260 | 1520185 | 146 | 7.27 | 28 | 1093.88 | 759.2 | <0,5 | <1,0 | 600 | 349 | 672 | 64 | <0.2 | 46 | <0.1 | 6 | 180 | 732 | 0 | 80.5 | 12.5 | 36.4 | 0.11 |
| Finca Las Mercedes | Sampués | 52-II-A-PP-18 | 332C | 24/04/02 | 859950 | 1510600 | 124 | 8.76 | 31.9 | 311.5 | 248.2 | <0,5 | <1,0 | 274 | 31.6 | 193 | 11 | <0.2 | 1 | <0.1 | 3 | 107 | 255 | 39.1 | 25.3 | <0.5 | 11.4 | 0.1 |
| Finca El Peñón | Sampués | 52-II-C-PP-11 | 333C | 24/04/02 | 859370 | 1509480 | 120 | 8.83 | 32.8 | 306.6 | 306.6 | <0,5 | <1,0 | 215 | 13.3 | 192 | 5 | <0.2 | <0.3 | <0.1 | 2 | 95 | 183 | 39.1 | 26.6 | <0.5 | 16.6 | 0.13 |
| Finca El Peñón | Sampués | 52-II-C-PP-12 | 334C | 24/04/02 | 858800 | 1509100 | 123 | 8.57 | 31.7 | 430.46 | 313.9 | <0,5 | <1,0 | 209 | 30.8 | 272 | 12 | <0.2 | <0.3 | <0.1 | 4 | 102 | 255 | 0 | 35.8 | <0.5 | 25.3 | 0.16 |
| Colombiana de Almidones | Sampués | 52-II-C-PP-19 | 335C | 24/04/02 | 858330 | 1508800 | 126 | 7.82 | 32.3 | 533.26 | 452.6 | <0,5 | <1,0 | 356 | 66.4 | 353 | 20 | <0.2 | 4 | <0.1 | 4 | 130 | 434 | 0 | 30.1 | 0.23 | 4.1 | 0.06 |
| Barrio San Felipe | Los Palmitos | 44-IV-D-PP-33 | 338C | 29/04/02 | 869710 | 1529940 | 195 | 8 | 29.3 | 449.63 | 208.05 | <0,5 | <1,0 | 170 | 80.2 | 259 | 30 | <0.2 | 13 | <0.1 | 6 | 47 | 207 | 0 | 41.4 | <0.5 | 36.8 | <0.01 |
| Finca San Angel | Corozal | 44-IV-C-PP-09 | 339C | 01/05/02 | 864000 | 1522250 | 161 | 8.14 | 32 | 357.93 | 273.75 | <0,5 | <1,0 | 202 | 36.2 | 212 | 14 | <0.2 | 3 | <0.1 | 3 | 74 | 247 | 0 | 24.2 | <0.5 | 12.2 | <0.01 |
| Decreto 475 | | | | | | | | 6.5-9 | | 0-1000 | 100 | <5 | <15 | 100 | 160 | 500 | 60 | 0.3 | 36 | 0.1 | | | | | 250 | 10 | 250 | 0.2 |

**Tabla 3. Resumen análisis bacteriológico DASSSALUD.**

| Localidad | Municipio | Cod. Pozo | N° Muestra | Fecha | Microorganismos Indicadores | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | C.T. (mg/100ml) | C.F (mg/ml) |
| Chochó | Sincelejo | 52-II-A-PP-13 | 484 | 18/09/01 | <3 | 0 |
| Don Alonso | Corozal | 52-II-A-PP-07 | 485 | 18/09/01 | 2300 | pos. |
| El Bajito | Corozal | 52-II-A-PP-09 | 486 | 18/09/01 | 900 | pos. |
| Pileta | Corozal | 52-II-A-PP-10 | 487 | 18/09/01 | 2300 | 0 |
| Las Tinas | Corozal | 52-II-A-PP-08 | 488 | 18/09/01 | <3 | 0 |
| Las palmas | Sincelejo | 52-II-A-PP-19 | 489 | 18/09/01 | <3 | 0 |
| Fca. La Bombonera | Corozal | 44-IV-C-PP-07 | 494 | 19/09/01 | <3 | 0 |
| El Retiro | Corozal | 52-II-A-PP-15 | 495 | 19/09/01 | <3 | 0 |
| Fca. Concepción | Corozal | 44-IV-D-PP-35 | 496 | 19/09/01 | <3 | 0 |
| Fca. La Cruz | Corozal | 52-II-B-PP-01 | 497 | 19/09/01 | <3 | 0 |
| Fca. El Socorro | Sincelejo | 52-II-A-PP-16 | 498 | 19/09/01 | <3 | 0 |
| Villa Luz | Sincelejo | 52-II-A-PP-14 | 499 | 19/09/01 | <3 | 0 |
| Fca. San Angel | Corozal | 44-IV-C-PP-09 | 500 | 24/09/01 | 23 | 0 |
| Baffin | Corozal | 44-IV-C-PP-06 | 501 | 24/09/01 | <3 | 0 |
| Villa Bere | Corozal | 44-IV-D-PP-31 | 502 | 24/09/01 | 23 | 0 |
| Los Limoncitos | Morroa | 44-IV-D-PP-30 | 503 | 24/09/01 | 210 | 0 |
| Fca La Verraquera | Corozal | 44-IV-D-PP-29 | 504 | 24/09/01 | 93 | 0 |
| Liceo Carmelo Percy | Corozal | 44-IV-D-PP-16 | 505 | 24/09/01 | <3 | 0 |
| Liceo Carmelo Percy | Corozal | 44-IV-D-PP-25 | 506 | 24/09/01 | >1.100 * | pos.* |
| Fca. San Pedro | Morroa | 44-IV-D-PP-39 | 508 | 25/09/01 | 93 | 0 |
| Fca. Bélgica | Corozal | 44-IV-D-PP-37 | 509 | 25/09/01 | 93 | 0 |
| Cartagena de Indias | Corozal | 44-IV-D-PP-34 | 510 | 25/09/01 | 4 | 0 |
| Kembor | Los Palmitos | 44-IV-D-PP-32 | 511 | 25/09/01 | 9 | 0 |
| ESRAN | Corozal | 44-IV-D-PP-36 | 512 | 25/09/01 | >1.100 | 0 |
| Aereopuerto | Corozal | 44-IV-D-PP-19 | 513 | 25/09/01 | <3 | 0 |
| Colmercedes | Sincelejo | 44-IV-C-PP-04 | 514 | 25/09/01 | <1100 | 0 |
| Fca. Margarita | Corozal | 52-II-A-PP-11 | 525 | 26/09/01 | <3 | 0 |
| Barrio Corazón de Jesús | Corozal | 44-IV-D-PP-24 | 526 | 26/09/01 | 460 | 0 |
| Barrio San Felipe | Los Palmitos | 44-IV-D-PP-33 | 527 | 26/09/01 | <3 | 0 |
| Barrio el Jardín | Los Palmitos | 44-IV-D-PP-28 | 528 | 26/09/01 | >1.100 * | pos.* |
| EL piñal | Los Palmitos | 44-IV-B-PP-01 | 529 | 26/09/01 | >1.100 * | pos.* |
| Colombiana de Almidones | Sampués | 52-II-C-PP-19 | 534 | 01/10/01 | >1.100 | 0 |
| Fca. La Guitarra | Sampués | 52-II-C-PP-18 | 535 | 01/10/01 | 43 | 0 |
| Fca. La Semilla | Sampués | 52-II-C-PP-17 | 536 | 01/10/01 | <3 | 0 |
| Villa Rocìo | Sampués | 52-II-C-PP-20 | 537 | 01/10/01 | 23 | 0 |
| Fca. El Peñón | Sampués | 52-II-C-PP-11 | 538 | 01/10/01 | 75 | 0 |
| Fca. Villa Rosa | Sampués | 52-II-A-PP-17 | 539 | 01/10/01 | <3 | 0 |
| El Refugio | Sampués | 52-II-C-PP-04 | 540 | 02/10/01 | 75 | 0 |
| Fca. El Peñón | Sampués | 52-II-C-PP-08 | 547 | 02/10/01 | 9 | 0 |

**Tabla 3. Continuación**

| Localidad | Municipio | Cod. Pozo | N° Muestra | Fecha | Microorganismos Indicadores | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | C.T. (mg/100ml) | C.F (mg/ml) |
| Fca. El Peñón | Sampués | 52-II-C-PP-12 | 548 | 02/10/01 | 75 | pos. |
| Acapulco | Sampués | 52-II-C-PP-07 | 549 | 02/10/01 | <3 | 0 |
| Fca. La Esperanza | Sampués | 52-II-C-PP-06 | 550 | 02/10/01 | 43 | 0 |
| Fca. Villa Eva | Sampués | 52-II-C-PP-13 | 551 | 02/10/01 | >1100 * | pos.* |
| Segovia | Sampués | 52-II-A-PP-01 | 552 | 02/10/01 | 23 | 0 |
| Jorge Tuiran | Sampués | 52-II-C-PP-21 | 556 | 03/10/01 | <3 | 0 |
| La Gloria | Sampués | 52-II-C-PP-10 | 557 | 03/10/01 | <3 | 0 |
| San Martín | Sampués | 52-I-B-PP-02 | 558 | 03/10/01 | <3 | 0 |
| Sabanas del Potrero | Sincelejo | 52-I-B-PP-01 | 559 | 03/10/01 | 23 | 0 |
| Barrio Luis Carlos Galán | Corozal | 44-IV-D-PP-38 | 560 | 08/10/01 | >1.100 | 0 |
| Brisas del Mar | Morroa | 44-IV-C-PP-10 | 568 | 08/10/01 | 21 | 0 |
| Decreto 1594/1984 | | | | | 20000 | 2000 |

* No presentan un valor definido para evaluarlos dentro del criterio de calidad admisible establecidos en el decreto 1594 del 26 de junio de 1984, para la destinación del recurso para consumo humano y doméstico.

# 9. ANÁLISIS DE RESULTADOS

## 9.1 EVALUACION DE ANÁLISIS FISICO - QUÍMICOS.

Esta evaluación se realizó con el fin de determinar la calidad analítica de los resultados obtenidos por los diferentes laboratorios; teniendo en cuenta ciertas relaciones de chequeo. Ver tablas 4 y 5.

Teniendo en cuenta los valores obtenidos en las tablas 4 y 5 se decidió no tener en cuenta para efecto de los siguientes análisis los resultados arrojados por el laboratorio de la Universidad de Sucre, dado que éstos en ciertas relaciones se aleja considerablemente de los valores de atención, además de no cumplir con la relación de "proporcionalidad directa entre la conductividad eléctrica y los sólidos disueltos, y la presencia de iones carbonatos con pH menores a 8.3" (Romero, 1996, Pág. 58 – 61), y si los resultados del laboratorio de INGEOMINAS; cuyos valores se encuentran dentro o cercanos a los valores de atención, catalogándose como aceptables.

**Tabla 4. Relaciones de chequeo – Análisis físico – químico UNISUCRE**

| POZO | RELACION DE CHEQUEO | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [(CC-A)/(C+A)]*100 | (STD/CE) | CE/ΣCat | K/(Na+K) | Mg/(Ca+Mg) | Ca/(Ca+$SO_4$) | Na/(Na+Cl) |
| 52-II-A-PP-10 | -14.94 | 0.96 | 37.85 | 0.775 | 42.18 | 94.20 | 35.42 |
| 52-II-A-PP-19 | -11.77 | 1.23 | 52.77 | 0.32 | 45.5 | 97.99 | 45.25 |
| 52-II-A-PP-08 | -6.69 | 1.01 | 49.26 | 0.49 | 37.90 | 90.88 | 41.53 |
| 52-II-A-PP-13 | -5.17 | 0.96 | 52.88 | 0.41 | 47.78 | 98.97 | 66.15 |
| 52-II-A-PP-09 | -17.36 | 0.38 | 67.05 | 0.77 | 42.02 | 92.73 | 32.95 |
| 52-II-A-PP-07 | -13.03 | 0.88 | 52.54 | 1.05 | 46.03 | 90.56 | 30.73 |
| 44-IV-C-PP-07 | -33.02 | 1.1 | 90.78 | 0.19 | 0.00 | 66.66 | 43.61 |
| 52-II-A-PP-15 | -44.07 | 1.09 | 103.96 | 0.56 | 32.33 | 37.39 | 26.92 |
| 44-IV-D-PP-35 | -24.22 | 1.15 | 58.94 | 0.41 | 39.91 | 88.21 | 40.09 |
| 52-II-B-PP-01 | -3.72 | 1.18 | 42.81 | 0.26 | 43.82 | 91.20 | 57.90 |
| 52-II-A-PP-16 | -1.40 | 1.10 | 43.26 | 0.33 | 29.32 | 92.05 | 57.95 |
| 52-II-A-PP-14 | 5.98 | 0.78 | 34.77 | 9.28 | 30.78 | 37.89 | 72.40 |
| 44-IV-D-PP-16 | -44.77 | 1.15 | 80.08 | 0.53 | 40.00 | 93.55 | 23.66 |
| 44-IV-D-PP-25 | -41.65 | 1.35 | 79.85 | 0.56 | 62.40 | 61.57 | 30.52 |
| 44-IV-D-PP-31 | -35.32 | 1.87 | 71.1 | 0.31 | 40.11 | 97.96 | 31.37 |
| 44-IV-D-PP-30 | -18.30 | 0.99 | 70.89 | 0.20 | 57.26 | 36.92 | 51.31 |
| 44-IV-C-PP-09 | -34.60 | 0.96 | 90.47 | 0.23 | 24.81 | 75.01 | 38.38 |
| 44-IV-C-PP-06 | -43.31 | 1.10 | 112.87 | 0.20 | 55.71 | 34.40 | 39.10 |

**Tabla 4. Continuación**

| POZO | RELACION DE CHEQUEO | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [(CC-A)/(C+A)]*100 | (STD/CE) | CE/ΣCat | K/(Na+K) | Mg/(Ca+Mg) | Ca/(Ca+$SO_4$) | Na/(Na+Cl) |
| 44-IV-D-PP-29 | -28.54 | 0.98 | 102.70 | 0.73 | 35.62 | 78.29 | 32.70 |
| 44-IV-D-PP-39 | -33.04 | 0.58 | 119.70 | 0.45 | 20.00 | 78.27 | 41.17 |
| 44-IV-D-PP-37 | -28.51 | 1.01 | 116.1 | 0.32 | 0.00 | 81.36 | 48.66 |
| 44-IV-D-PP-34 | -23.98 | 0.77 | 102.44 | 0.47 | 60.00 | 81.00 | 43.63 |
| 44-IV-D-PP-32 | -21.80 | 0.63 | 88.60 | 0.81 | 42.85 | 96.00 | 32.97 |
| 44-IV-D-PP-36 | -21.80 | 0.63 | 88.60 | 0.81 | 42.85 | 96.00 | 32.97 |
| 44-IV-D-PP-19 | -23.84 | 0.48 | 114.48 | 0.99 | 28.06 | 87.82 | 29.82 |
| 44-IV-C-PP-04 | 2.26 | 0.97 | 79.2 | 0.20 | 58.00 | 68.46 | 42.17 |
| 44-IV-B-PP-01 | -36.67 | 0.40 | 111.10 | 0.49 | 32.00 | 89.10 | 25.37 |
| 44-IV-D-PP-24 | -35.77 | 0.44 | 263.6 | 1.04 | 50.00 | 80.00 | 14.45 |
| 44-IV-D-PP-33 | -31.20 | 0.67 | 114.3 | 0.61 | 20.00 | 69.57 | 29.81 |
| 44-IV-D-PP-28 | -43.10 | 0.55 | 137.55 | 0.40 | 70.00 | 61.50 | 22.65 |
| 52-II-A-PP-11 | -54.77 | 0.84 | 137.01 | 0.55 | 2.25 | 33.85 | 32.60 |
| 52-II-C-PP-19 | -40.75 | 0.707 | 109.94 | 9.20 | 75.90 | 65.79 | 51.25 |
| 52-II-C-PP-18 | -29.77 | 0.64 | 220.10 | 0.40 | 4.14 | 97.46 | 42.18 |
| 52-II-C-PP-17 | -22.96 | 0.31 | 131.1 | 0.82 | 16.45 | 99.35 | 39.06 |

**Tabla 4. Continuación**

| POZO | RELACION DE CHEQUEO | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [(CC-A)/(C+A)]*100 | (STD/CE) | CE/ΣCat | K/(Na+K) | Mg/(Ca+Mg) | Ca/(Ca+$SO_4$) | Na/(Na+Cl) |
| 52-II-C-PP-20 | -17.41 | 0.49 | 95.31 | 0.57 | 37.33 | 90.20 | 42.72 |
| 52-II-C-PP-11 | -14.67 | 1.09 | 56.98 | 0.12 | 81.99 | 33.97 | 56.28 |
| 52-II-A-PP-17 | -33.66 | 0.56 | 134.98 | 0.14 | 0.00 | 68.59 | 51.10 |
| 52-II-C-PP-04 | -17.24 | 0.37 | 116.23 | 4.67 | 77.44 | 18.86 | 56.18 |
| 52-II-C-PP-08 | -41.37 | 0.52 | 159.30 | 0.14 | 75.90 | 24.24 | 39.10 |
| 52-II-C-PP-12 | -41.40 | 1.42 | 69.66 | 0.25 | 70.00 | 45.87 | 37.80 |
| 52-II-C-PP-07 | -18.31 | 0.46 | 98.95 | 0.86 | 28.57 | 85.12 | 33.82 |
| 52-II-C-PP-06 | -31.13 | 0.62 | 127.7 | 1.03 | 80.15 | 96.22 | 31.64 |
| 52-II-C-PP-13 | -40.94 | 0.92 | 63.10 | 0.12 | 9.77 | 86.51 | 43.73 |
| 52-II-A-PP-01 | -30.34 | 0.28 | 164.55 | 0.39 | 19.17 | 88.43 | 31.34 |
| 52-II-C-PP-21 | -43.19 | 0.49 | 227.88 | 0.16 | 0.00 | 96.00 | 47.87 |
| 52-I-B-PP-02 | -37.74 | 0.28 | 164.55 | 0.39 | 19.17 | 88.43 | 31.34 |
| 52-I-B-PP-01 | -19.37 | 0.35 | 109.34 | 0.26 | 41.43 | 61.16 | 34.42 |
| 44-IV-D-PP-38 | -12.0 | 0.93 | 98.14 | 0.22 | 69.92 | 54.80 | 54.36 |
| 44-IV-C-PP-10 | -31.14 | 0.27 | 199.51 | 0.13 | 81.48 | 16.13 | 35.17 |
| Valores de Atención | < 10% | 0.55-0.75 | 90-110 | >20% | >40% | <50% | <50% |

**No cumplen con los valores de atención**

**Si cumplen con los valores de atención**

## Tabla 5. Relaciones de chequeo análisis físico – químico INGEOMINAS

| SAMPLEID | ((C-A)/(C+A))*100 (Menor 10%) | SDT(Lab) | SDT (cal) | (SDT (Lab)-SDT (Cal))/ SDT(Lab) (Menor 5%) | SDT (Lab)/C.E. (Entre 0.5 y 0.75) | C.E./C Entre 90 y 110 | (K/(Na+K))*100 Menor 20% | (Mg/(Ca+Mg))*100 Hasta 40% | (Ca/(Ca+SO4))*100 Mayor 50% | (Na/(Na+Cl))*100 Mayor 50% |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 44IVB01 | 9.50 | 210.00 | 209.10 | 0.00 | 0.50 | 90.65 | 13.86 | 28.24 | 92.31 | 76.55 |
| 44IVB02 | 9.65 | 90.00 | 313.00 | 2.48 | 0.15 | 83.99 | 1.42 | 30.62 | 90.30 | 79.47 |
| 44IVC04 | 0.89 | 672.00 | 612.00 | 0.09 | 0.61 | 73.11 | 1.93 | 54.09 | 80.84 | 77.53 |
| 44IVC08 | 6.92 | 124.00 | 184.60 | 0.49 | 0.31 | 84.23 | 3.50 | 30.62 | 84.67 | 82.22 |
| 44IVC09 | 8.03 | 212.00 | 151.60 | 0.28 | 0.59 | 84.20 | 2.34 | 26.00 | 73.36 | 82.52 |
| 44IVD22 | 8.71 | 243.00 | 226.40 | 0.07 | 0.49 | 86.43 | 5.34 | 52.22 | 79.45 | 78.54 |
| 44IVD24 | 12.86 | 210.00 | 169.20 | 0.19 | 0.50 | 92.14 | 2.73 | 20.14 | 63.29 | 78.98 |
| 44IVD25 | 10.84 | 125.00 | 119.30 | 0.05 | 0.38 | 92.88 | 2.82 | 30.90 | 71.74 | 87.87 |
| 44IVD28 | 6.74 | 435.00 | 501.90 | 0.15 | 0.47 | 108.86 | 11.04 | 29.51 | 89.49 | 47.90 |
| 44IVD30 | 7.00 | 276.00 | 222.60 | 0.19 | 0.51 | 100.49 | 2.12 | 15.41 | 37.83 | 72.57 |
| 44IVD31 | 9.39 | 166.00 | 130.80 | 0.21 | 0.54 | 85.26 | 4.12 | 41.02 | 93.62 | 85.76 |
| 44IVD32 | 2.04 | 280.00 | 297.30 | 0.06 | 0.61 | 71.52 | 7.52 | 21.04 | 96.63 | 78.17 |
| 44IVD33 | 5.55 | 259.00 | 228.70 | 0.12 | 0.58 | 94.19 | 7.00 | 41.53 | 66.18 | 63.67 |
| 44IVD34 | 4.04 | 213.00 | 189.10 | 0.11 | 0.48 | 88.17 | 3.35 | 33.53 | 91.36 | 82.87 |
| 44IVD35 | 6.65 | 190.00 | 188.60 | 0.01 | 0.50 | 78.53 | 4.61 | 31.90 | 91.06 | 81.06 |
| 44IVD36 | 9.83 | 236.00 | 188.30 | 0.20 | 0.45 | 116.53 | 7.98 | 36.55 | 96.84 | 83.73 |
| 44IVD38 | 8.50 | 136.00 | 108.90 | 0.20 | 0.41 | 104.27 | 2.73 | 21.46 | 55.17 | 83.22 |
| 44IVD39 | 10.37 | 170.00 | 145.50 | 0.14 | 0.46 | 87.30 | 2.61 | 34.77 | 61.86 | 83.78 |
| 52IB02 | 0.04 | 803.00 | 798.20 | 0.01 | 0.59 | 69.49 | 2.04 | 23.70 | 61.62 | 77.53 |
| 52IIA01 | 7.05 | 624.00 | 532.10 | 0.15 | 0.57 | 91.33 | 1.93 | 20.91 | 86.66 | 65.40 |
| 52IIA07 | 4.54 | 345.00 | 403.20 | 0.17 | 0.51 | 77.03 | 5.24 | 33.53 | 96.79 | 67.76 |
| 52IIA08 | 7.49 | 262.00 | 244.00 | 0.07 | 0.50 | 94.29 | 4.51 | 32.63 | 93.37 | 70.88 |
| 52IIA09 | 4.07 | 248.00 | 262.30 | 0.06 | 0.56 | 72.26 | 7.03 | 42.40 | 95.53 | 77.88 |
| 52IIA11 | 9.92 | 124.00 | 152.20 | 0.23 | 0.36 | 81.31 | 3.35 | 31.90 | 92.14 | 86.94 |
| 52IIA13 | 8.91 | 297.00 | 295.00 | 0.01 | 0.57 | 78.96 | 6.87 | 28.91 | 97.26 | 71.59 |
| 52IIA14 | 7.89 | 433.00 | 337.40 | 0.22 | 0.57 | 92.58 | 1.63 | 26.00 | 41.40 | 78.12 |

## Tabla 5. Continuación

| SAMPLEID | ((C-A)/(C+A))*100 (Menor 10%) | SDT(Lab) | SDT (cal) | (SDT (Lab)-SDT (Cal))/ SDT(Lab) (Menor 5%) | SDT (Lab)/C.E. (Entre 0.5 y 0.75) | C.E./C Entre 90 y 110 | (K/(Na+K))*100 Menor 20% | (Mg/(Ca+Mg))*100 Hasta 40% | (Ca/(Ca+SO4))*100 Mayor 50% | (Na/(Na+Cl))*100 Mayor 50% |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 52IIA16 | 5.81 | 204.00 | 205.00 | 0.00 | 0.52 | 77.52 | 6.15 | 33.53 | 94.55 | 83.73 |
| 52IIA18 | 9.08 | 193.00 | 171.00 | 0.11 | 0.62 | 57.99 | 1.63 | 12.97 | 69.84 | 86.72 |
| 52IIA19 | 5.80 | 274.00 | 245.60 | 0.10 | 0.57 | 82.11 | 3.50 | 34.11 | 97.64 | 73.59 |
| 52IIB01 | 0.87 | 126.00 | 189.90 | 0.51 | 0.34 | 66.74 | 2.07 | 38.25 | 90.15 | 89.57 |
| 52IIC06 | 7.09 | 280.00 | 213.60 | 0.24 | 0.58 | 85.98 | 2.80 | 29.83 | 92.31 | 79.12 |
| 52IIC11 | 9.55 | 192.00 | 146.00 | 0.24 | 0.63 | 68.63 | 1.23 | 8.96 | 41.96 | 84.64 |
| 52IIC12 | 6.88 | 272.00 | 189.90 | 0.30 | 0.63 | 83.22 | 2.26 | 3.94 | 44.93 | 81.47 |
| 52IIC17 | 5.30 | 325.00 | 300.50 | 0.08 | 0.52 | 85.72 | 3.69 | 21.46 | 98.83 | 79.47 |
| 52IIC18 | 6.69 | 240.00 | 183.40 | 0.24 | 0.57 | 83.07 | 2.37 | 32.35 | 94.89 | 84.16 |
| 52IIC19 | 6.34 | 353.00 | 229.70 | 0.35 | 0.66 | 75.18 | 1.78 | 24.69 | 92.13 | 86.96 |

**No cumplen con los valores de atención**

**Si cumplen con los valores de atención**

## 9.2 CALIDAD DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO.

**9. 2. 1 Calidad Físico – Química.** Como puede apreciarse en las tablas que registran los resultados, se encontraron concentraciones superiores a los limites permitidos en: Alcalinidad, Dureza, STD, Calcio, Hierro, Magnesio, Manganeso, Nitrato, Fosfato y Conductividad. El comportamiento de dichos parámetros se describe a continuación.

- pH: Las normas sobre la calidad del agua potable, establecen que el pH debe fluctuar entre 6.5 y 9. En el área de estudio los análisis arrojan valores que fluctúan entre 6,8 en el pozo 44 – IV – B – PP – 02 (Los Palmitos) y 8.83 en el pozo 52 – II – C – PP – 11 (Sampués), lo cual las hace adecuadas para el consumo humano con referencia a éste parámetro.

- Conductividad (µmhos/cm): En los datos de campo se obtuvo un valor mínimo de 305.75 en el pozo 44 – IV – D – PP – 31 (Corozal) y un valor máximo de 1358,72 en el pozo 52 – I – B – PP – 02 (Sampués). Los valores permisibles de conductividad para agua potable están entre 50 – 1000 µmhos/cm, encontrándose fuera de éste rango los pozos 52 – I – B – PP – 02 (1358,72 µmhos/cm) y el 44 – IV – C – PP – 04 (1093,88 µmhos/cm) de Sincelejo, pero dentro del rango de agua segura* (1500).

* Agua segura: Es aquella que sin cumplir algunas de las normas de potabilidad definidas en el decreto 475 de 1998, puede ser consumida sin riesgo para la salud humana.

- Alcalinidad (mg/Lt. $CaCO_3$): La alcalinidad presenta un mínimo valor de 206,14 en el pozo 44 – IV – D – PP – 30 (Morroa) y un máximo de 759,2 en el pozo 44 – IV – C – PP – 04 (Sincelejo). La norma establece un valor de alcalinidad para agua potable <100 y para agua segura de 120 quedando todos los pozos por encima de éste valor. Estos valores se midieron en campo.

- Dureza total (mg/Lt $CaCO_3$): Con excepción de los pozos 52 – II – A- PP – 09 de Corozal (212,8), 52 – II – A – PP – 07 de Corozal (293,4), 52 - II – A – PP – 01 de Sampués (195,8), 52 – II – A – PP – 13 de Sincelejo (233,8), 44 – IV – B – PP – 01 de Los Palmitos (174,1), 44 – IV – B – PP- 02 de Los Palmitos (187,4), 44 – IV – D – PP – 28 de Los Palmitos (333), 44 – IV – D- PP – 32 de Los Palmitos (253), 52 – II – C – PP – 17 de Sampués (191), 52 – I – B – PP – 02) de Sampués (311) y el 44 – IV – C – PP – 04 de Sincelejo (349), los restantes cumplen con el valor establecido por la norma 160 mg/Lt. $CaCO_3$. Se obtuvo un mínimo valor de 13,3 en el pozo 52 - II – C – PP – 11 de Sampués y un máximo de 349 mg/Lt en el pozo 44 – IV – C- PP – 04 de Sincelejo.

- Sólidos disueltos totales (mg/Lt.): Los sólidos disueltos oscilan entre 124 y 803. El mínimo valor corresponde al pozo 52 – II – A – PP – 11 de Corozal y el máximo corresponde al pozo 52 – I – B – PP – 02 de Sampués. La norma establece para este parámetro un valor menor de 500, no cumpliendo con éste los pozos 52 – II – A – PP – 01 (624), 52 – I – B – PP – 02 (803) ambos de Sampués y el 44 – C – PP – 04

(672) de Sincelejo, pero quedando dentro del valor permitido por el decreto para aguas segura < 1000 mg/Lt.

- Calcio (mg/Lt): En la zona el rango varía entre 5 para el pozo 52 – II – C – PP – 11 y 95 para el pozo 52 – I – B – PP – 02; ambos de Sampués. En lo que respecta a este elemento todos los pozos cumplen con el valor establecido por la norma para aguas segura (100 mg/Lt), para agua potable (valor permitido 60 mg/Lt.) no cumplen los pozos 52 – II – A – PP – 07 de Corozal (78), 52 – II – A – PP – 01 (62), 52 – I – B – PP – 02 (95) ambos de Sampués, 52 – II – A – PP – 13 (66,5), 44 – IV – C – PP – 04 (64) ambos de Sincelejo, 44 – IV – D – PP – 28 (94) y 44 – IV – D – PP – 32 (80) de Los Palmitos.

- Hierro (mg/Lt): La mayoría de los pozos de la zona con bajos contenidos de hierro <0.2 mg/Lt, excepto el pozo 44 – IV – B – PP – 01 de Los Palmitos que tiene un valor de 0.4 mg/Lt por encima del valor establecido por el decreto para agua potable (0.3 mg/Lt) pero dentro del valor para agua segura (0.5 mg/Lt).

- Magnesio (mg/Lt): Se registran valores bajos en Magnesio, sólo no cumple el pozo 44 – IV – C – PP – 04 de Sincelejo (46 mg/Lt.) con el valor establecido por la norma para agua potable (36), pero se encuentra dentro del valor para agua segura (60mg/Lt).

- Manganeso (mg/Lt): Se presentan en el área de estudio valores bajos de Manganeso <0.1 mg/Lt, exceptuando los pozos 44 – IV – D – PZ – 22 (0.3 mg/Lt) de Morroa, 52 – II – A – PP – 13 (0.2 mg/Lt) de Sincelejo y el 44 – IV – B – PP – 01 (0.4 mg/Lt) de Los Palmitos, que además se encuentran por encima de los valores para agua potable (0.1 mg/Lt) y agua segura (0.15 mg/Lt.) establecidos por el decreto.

- Cloruros (mg/Lt): En la región investigada, la inmensa mayoría de pozos presentan valores bajos, que varían entre 10.2 para el pozo 44 – IV – D – PP – 36 de Corozal y 147 para el pozo 52 – II – A – PP – 01 de Sampués, lo que hace adecuada el agua para consumo según el valor establecido por la norma para agua potable (250 mg/Lt).

- Nitratos (mg/Lt): Se encontraron valores bajos excepto en los pozos 44 – IV – B – PP – 02 (12.9mg/Lt), 44 – IV – D – PP – 28 (64.2 mg/Lt, valor máximo) ambos de Los Palmitos y el 44 – IV – C – PP – 04 (12.5 mg/Lt.) de Sincelejo, que a la vez se encuentran por encima del valor establecido por la norma (10 mg/Lt.).

- Sulfatos (mg/Lt.): El limite máximo permitido de Sulfatos es de 250 mg/Lt, según lo cual las aguas del subsuelo en la zona estudiada se ajustan de manera amplia a tal requerimiento, ya que los valores fluctúan entre 1.7 para el pozo 52 – II – C – PP – 17 y 142 para el pozo 52 – I –B – PP – 02 ambos de Sampués.

- Fosfatos (mg/Lt.): Se encontró un valor mínimo < 0.01 para los pozos 44 – IV – D – PP – 33 en Los Palmitos y 44 – IV – C – PP – 09 en Corozal y un valor máximo de

0.22 en el pozo 44 – IV – D – PP – 28 de Los Palmitos, siendo a la vez el único valor que no cumple con la norma para agua potable (0.2), pero encontrándose dentro del valor permitido para agua segura (0.4 mg/Lt).

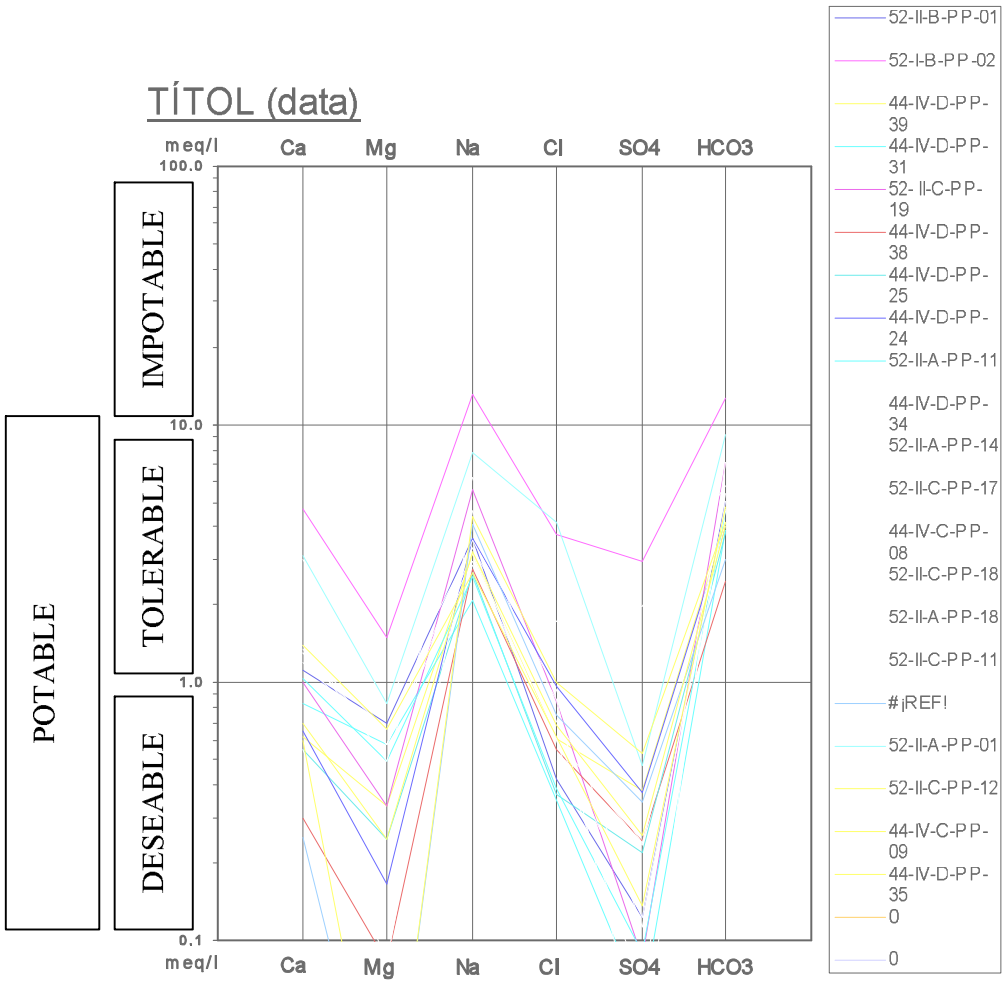
- Color (Pt – Co): El color varía de < 1 unidades en la mayoría de los pozos hasta 4 unidades en el pozo 52 – II – A – PP – 09 de Corozal, con respecto a éste parámetro la norma establece un valor de < 15 por lo que todos los pozos la cumplen ampliamente.

- Turbiedad (NTU): Se encontraron valores bajos, excepto en los pozos 52 – II – A – PP – 08 (20.3) y 52 – II – A – PP – 07 (15.1) ambos de Corozal, que además no cumplen con el valor establecido por la norma (< 5 NTU).

En las figuras 17 y 18 se muestran los diagramas de SCHOELLER – BERKALOFF (diagramas de potabilidad química) de los análisis realizados en los distintos pozos, donde se observa que las aguas químicamente están en el campo de tolerabilidad a excepción de los iones bicarbonatos y sodio del pozo 52 – I – B – PP – 02 de San Martín, que se encuentran en el rango de impotabilidad.

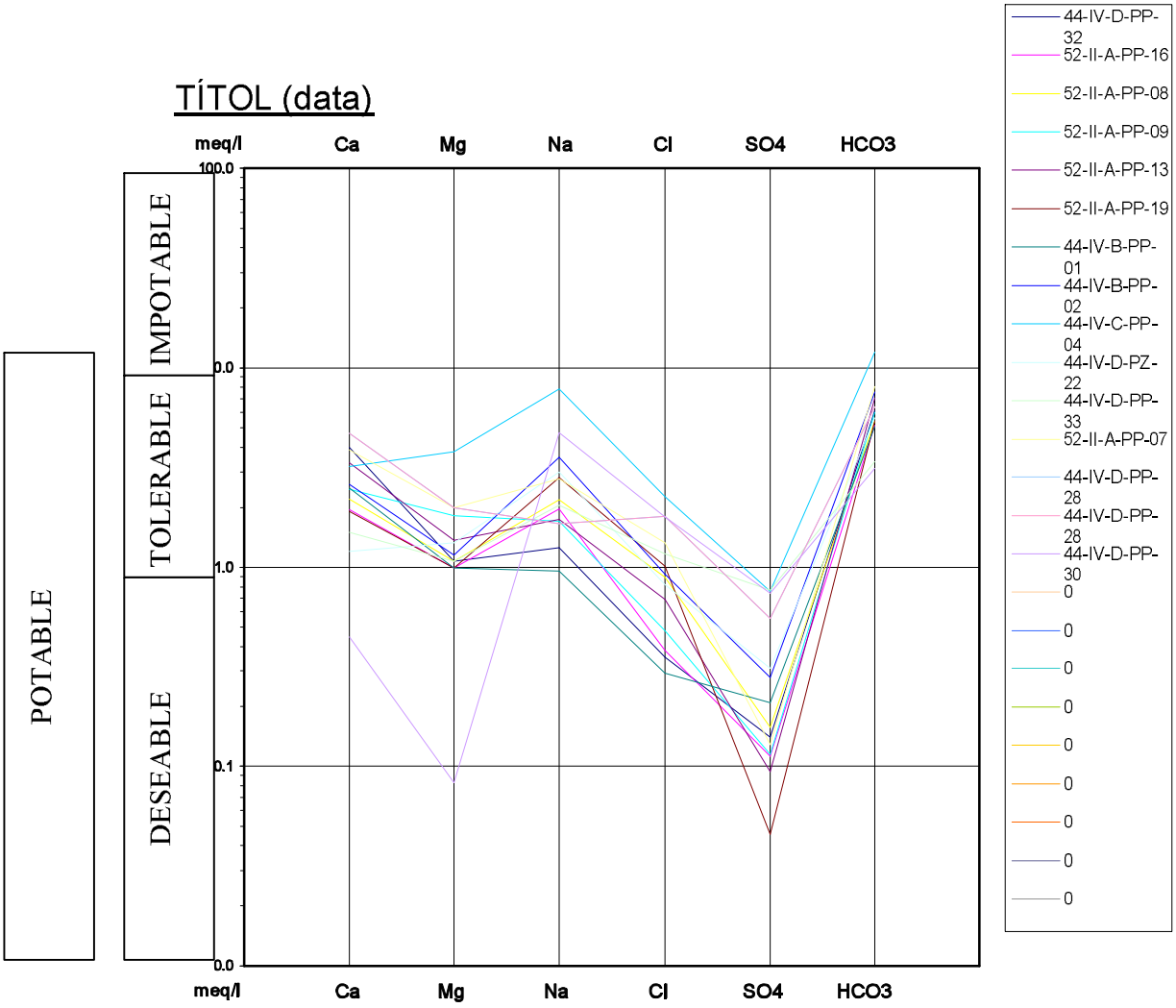
**9. 2. 2 Calidad Bacteriológica.** Teniendo en cuenta los criterios de calidad admisible establecidos en el decreto 1594 del 6 de junio de 1984 para la destinación del recurso para consumo humano y doméstico; que establece un valor de 20.000 microorganismos/100ml para coliformes totales y 2000 microorganismos/100 ml para coliformes fecales (método de análisis

**Figura 17. Diagrama de Schoeller – Berkaloff**




**Nota:** # REF. = 52-II-A-PP-19

**Figura 18. Diagrama de Schoeller – Berkaloff**



NMP – Número Más Probable), los resultados obtenidos en el presente estudio para coliformes totales y fecales (véase tabla 3), la mayoría de los pozos cumple con los valores establecidos, lo cual indica que para su potabilización se requiere solamente tratamientos convencionales de cloración y precipitación.

En cuanto a los pozos 44 – IV – D – PP – 25 de Corozal, 52 – II – C – PP – 13 de Sampués, 44 – IV – D – PP – 28 y 44 – IV – B – PP – 01 ambos de Los Palmitos, los cuales no presentan un valor definido de coliformes totales (> 1100) y un valor numérico de coliformes fecales (positivo), dado que la emisión de éstos resultados, el laboratorio la hizo bajo los criterios de agua potable (tratada), no se puede asegurar si cumplen con los valores admisibles establecidos por el decreto, exceptuando el pozo 44 – IV – D – PP – 28 de Los Palmitos por donde circula un arroyo con indicios de contaminación y un reporte de nitratos altos (64.2 mg/Lt.) en los análisis físico – químicos, se prevé una contaminación de éste y por lo tanto es una contaminación puntual del acuífero.

## 9. 3 CALIDAD DEL AGUA PARA RIEGO.

La clasificación del agua para riego se hace teniendo en cuenta los criterios e índices de clasificación mostrados en la siguiente tabla:

**Tabla 6. Criterio e índices de clasificación de agua para riego**

| CRITERIOS | ÍNDICES | SÍMBOLO | ECUACIÓN* |
|---|---|---|---|
| 1. Contenido de sales solubles | a. Conductividad eléctrica | CE | Medido ** |
| | b. Salinidad efectiva | SE | $=\xi cat - (Ca + Mg)$ |
| | c. Salinidad potencial | SP | $= (Cl + ½ (SO_4^{-2})$ |
| 2. Efecto posible del sodio sobre las propiedades físicoedáficas | a. Relación de absorción de sodio | RAS | $=Na / \sqrt{(Ca + Mg)/2}$ |
| | b. Carbonato de sodio residual | CSR | $= (CO_3 + HCO_3) - (Ca + Mg)$ |
| | c. Porcentaje de sodio posible | PSP | $= (Na/SE) * 100$ |
| 3. Contenido de elemento tóxicos para las plantas | a. Contenido de cloruros | Cl | $Cl^-$ |

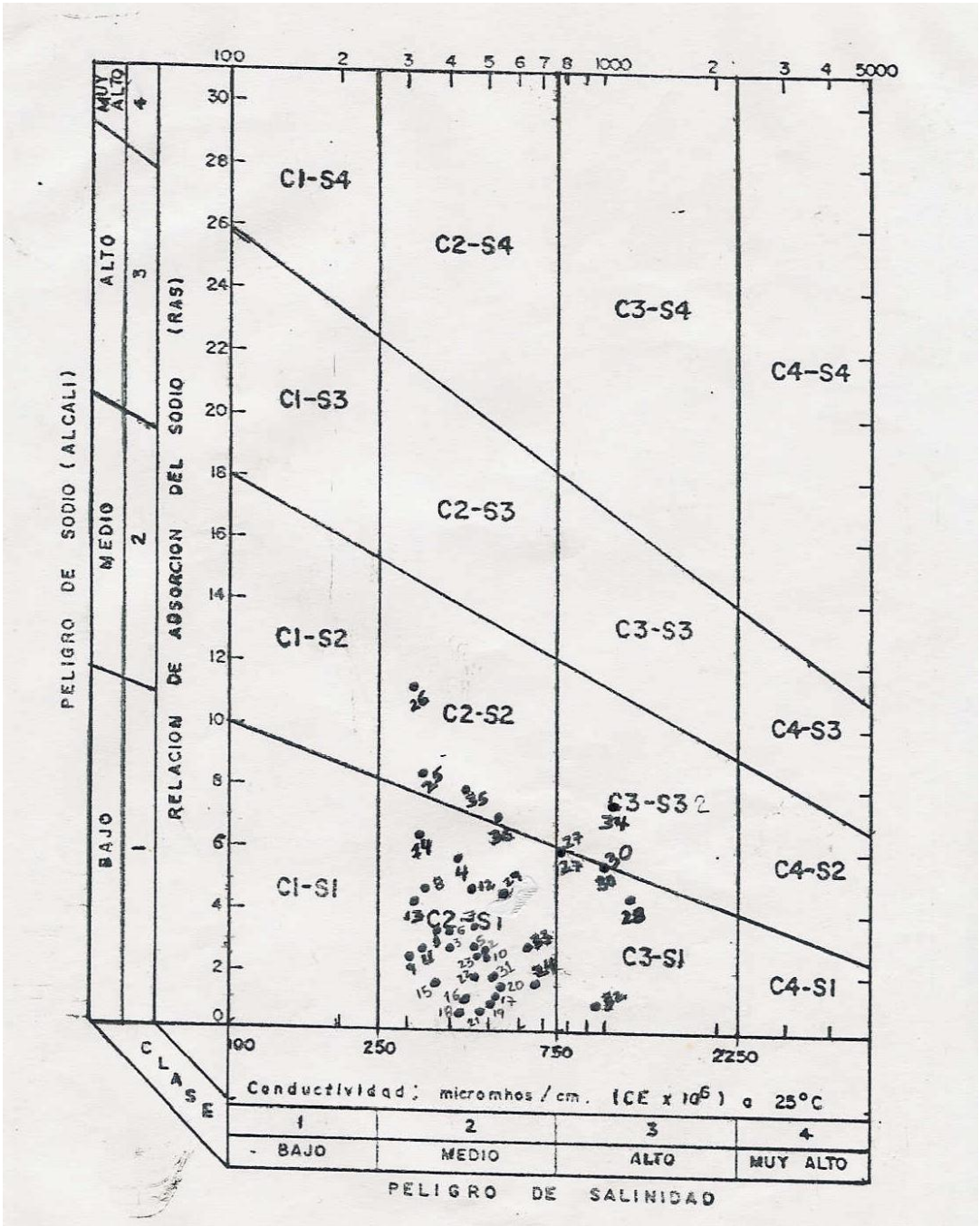
* En las ecuaciones las concentraciones iónicas se expresan en meq/Lt. **(ver anexo E)**
* * Conductividad eléctrica (µmhos/cm) medida "in situ".

Para efectos prácticos el análisis se hizo usando el diagrama de Richards (ver figura 19.) y agrupando los pozos con características de clasificación similares (véase tabla 7.) así:

- G1: Agua con contenido medio de sales no recomendable por la posible acumulación de sodio en el suelo a través del tiempo, ya que estas altas concentraciones causan dispersión el mismo, disminuyendo su infiltración y aireación. Para su uso en el riego conviene preveer laminas de lavado enmiendas y garantizar un buen drenaje del suelo, como también la plantación de cultivos moderadamente tolerables.

- G2: En general, esta agua pueden utilizarse en todos los cultivos, menos los más sensibles siempre y cuando exista una lixiviación adecuada (suelos) bien drenados. En suelos pobremente drenados su uso va a estar condicionado por la posible liberación y acumulación de sodio, por lo que habrá que tener algunas precauciones

**Figura 19. Diagrama para la clasificación de aguas de riego (U.S. Soil Salinity Laboratory, USDA).**



con las laminas de lavado, y se deberá realizar la selección de planta de mediana tolerancia con respecto a éste elemento, además del uso de enmiendas.

- G3: Aguas con contenidos medios de sales, generalmente buenas para su uso en riego, condicionados por sodio posible que puede causar disgregación en el suelo, por lo que se debe tener precauciones en las laminas de lavado, tipo de suelos y selección de cultivos.

- G4: Éstos pozos presentan aguas cuyo uso para riego sólo esta condicionada por la presencia de sales de sodio. En consecuencia de ser usada en riego, debe hacerse en cultivos tolerantes a éstas sales y hacer un seguimiento al PSI del suelo, a fin de prevenir problemas de sodificación y dispersión.

- G5: Aguas de salinidad media, condicionadas por su contenido de sodio y cloruros. En consecuencia debe ser utilizada en cultivos tolerantes al sodio y cloruros, con laminas de lavado, utilización de enmiendas y garantizar un buen drenaje del suelo.

- G6: Aguas condicionadas por su contenido de sales solubles y no recomendables por sus niveles de sodio, que pueden inducir a elevados valores de PSI en el suelo, con sus efectos consiguientes de perdida de estructura por dispersión e hinchamiento. Se pueden utilizar siempre y cuando se usen enmiendas adecuadas, buenos sistemas de drenaje, mezcla con aguas de menos sales (agua lluvia), siembra de cultivos tolerantes y en suelos que posean buena permeabilidad.

- G7: El agua de estos pozos por sus contenidos de sales y de sodio residual no es recomendable para su uso agrícola, además está condicionada por sus niveles de sodio y de cloro.

- G8: Aguas condicionadas por sus contenidos de sodio y cloro, y no recomendables por sus niveles de salinidad.

## Tabla 7. Grupo de agua e índice de clasificación para riego

| GRUPO | L | POZO | CE | RAS | CLASE | SE | SP | CSR | CL | PSP |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| G1 | 1 | 52-II-B-PP-01 | 369.73 | 3.79 | C2-S1 | 3.70 C | 0.48 B | 3.25 NR | 0.42 B | 98.11 C |
| | 2 | 44-IV-DPZ-22 | 492.23 | 2.67 | C2-S1 | 3.17 C | 0.98 B | 3.12 NR | 0.82 B | 94.69 C |
| | 3 | 44-IV-D-PP-39 | 366.20 | 4.59 | C2-S1 | 3.24 C | 0.80 B | 3.21 NR | 0.61 B | 97.53 C |
| | 4 | 44-IV-D-PP-24 | 421.94 | 5.70 | C2-S1 | 2.73 C | 0.48 B | 3.00 NR | 0.37 B | 97.33 C |
| | 5 | 44-IV-D-PP-34 | 443.12 | 2.99 | C2-S1 | 3.06 C | 0.67 B | 2.74 NR | 0.61 B | 96.73 C |
| | 6 | 52-II-C-PP-18 | 418.30 | 3.36 | C2-S1 | 3.25 C | 0.63 B | 3.30 NR | 0.60 B | 97.54 C |
| | 7 | 52-II-C-PP-06 | 481.69 | 3.63 | C2-S1 | 3.67 C | 0.99 B | 3.46 NR | 0.94 B | 97.28 C |
| | 8 | 44-IV-C-PP-09 | 357.93 | 4.67 | C2-S1 | 3.29 C | 0.81 B | 3.10 NR | 0.18 B | 97.87 C |
| | 29 | 44-IV-D-PP-30 | 541.07 | 4.22 | C2-S1 | 4.84 C | 2.16 B | 2.60 NR | 1.79 C | 97.93 C |
| | 31 | 44-IV-B-PP-02 | 619.44 | 1.95 | C2-S1 | 3.62 C | 2.06 B | 0.86 OK | 0.92 B | 98.62 C |
| G2 | 9 | 44-IV-D-PP-31 | 305.75 | 2.49 | C2-S1 | 2.17 B | 0.38 B | 2.51 NR | 0.35 B | 96.31 C |
| | 10 | 44-IV-D-PP-35 | 380.62 | 2.61 | C2-S1 | 2.78 B | 0.69 B | 2.71 NR | 0.62 B | 95.32 C |
| | 11 | 52-II-A-PP-11 | 343.87 | 2.94 | C2-S1 | 2.67 B | 0.44 B | 3.22 NR | 0.39 B | 97.00 C |
| | 12 | 44-IV-C-PP-08 | 405.42 | 2.42 | C2-S1 | 2.93 B | 0.73 B | 2.79 NR | 0.61 A | 96.59 C |
| | 13 | 44-IV-D-PP-25 | 328.41 | 4.14 | C2-S1 | 2.73 B | 0.48 B | 3.00 NR | 0.37 B | 97.07 C |
| G3 | 14 | 44-IV-D-PP-38 | 334.58 | 6.29 | C2-S1 | 2.82 B | 0.67 B | 2.10 C | 0.55 B | 97.16 C |
| | 15 | 52-II-A-PP-16 | 389.88 | 1.61 | C2-S1 | 2.08 B | 0.43 B | 2.20 C | 0.38 B | 93.75 C |
| | 16 | 52-II-A-PP-09 | 439.92 | 1.16 | C2-S1 | 1.82 B | 0.54 B | 1.73 C | 0.48 B | 93.41 C |
| | 17 | 52-II-A-PP-13 | 517.89 | 1.14 | C2-S1 | 1.87 B | 0.74 B | 2.36 C | 0.69 B | 93.05 C |
| | 18 | 44-IV-B-PP-01 | 419.05 | 0.73 | C2-S1 | 1.11 B | 0.40 B | 1.59 C | 0.29 B | 86.49 C |
| | 19 | 44-IV-D-PP-36 | 528.20 | 1.22 | C2-S1 | 1.61 B | 0.32 B | 2.24 C | 0.29 B | 91.93 C |
| | 20 | 52-II-A-PP-08 | 523.60 | 1.70 | C2-S1 | 2.28 B | 0.97 B | 2.12 C | 0.89 B | 95.18 C |
| G4 | 21 | 44-V-D-PP-32 | 460.60 | 0.79 | C2-S1 | 1.37 B | 0.42 B | 1.06 OK | 0.35 B | 91.97 C |
| | 22 | 44-IV-D-PP-33 | 449.63 | 1.80 | C2-S1 | 2.20 B | 1.56 B | 0.82 OK | 1.17 B | 92.73 C |
| G5 | 23 | 52-II-A-PP-19 | 478.13 | 2.35 | C2-S1 | 2.93 B | 1.04 B | 2.50 C | 1.01 C | 96.59 C |
| | 24 | 52-II-A-PP-07 | 678.95 | 1.62 | C2-S1 | 2.94 B | 1.39 B | 2.22 C | 1.32 C | 94.56 C |
| G6 | 25 | 52-II-A-PP-18 | 311.50 | 8.29 | C2-S2 | 4.73 C | 0.83 B | 3.57 NR | 0.71 B | 98.31 C |
| | 26 | 52-II-C-PP-11 | 306.60 | 11.24 | C2-S2 | 4.18 C | 0.93 B | 2.74 NR | 0.75 B | 98.80 C |
| | 33 | 52-II-C-PP-17 | 626.30 | 2.42 | C2-S1 | 3.47 C | 0.88 B | 3.35 NR | 0.86 B | 88.71 C |
| | 35 | 52-II-C-PP-12 | 430.46 | 7.96 | C2-S2 | 4.53 C | 2.28 B | 3.56 NR | 1.91 C | 97.79 C |
| G7 | 27 | 52-II-A-PP-14 | 757.19 | 6.33 | C3-S1 | 6.27 NR | 2.73 B | 3.95 NR | 1.73 C | 98.41 C |
| | 28 | 44-IV-C-PP-04 | 1093.88 | 4.19 | C3-S1 | 7.98 NR | 4.38 C | 5.15 NR | 4.14 NR | 98.12 C |
| | 32 | 44-IV-D-PP-28 | 929.16 | 0.90 | C3-S1 | 2.16 B | 2.08 B | 0.30 OK | 1.80 C | 88.71 C |
| | 36 | 52-II-C-PP-19 | 533.26 | 6.93 | C2-S1 | 5.76 NR | 0.90 B | 5.78 NR | 0.85 B | 98.09 C |
| G8 | 30 | 52-II-A-PP-01 | 1087.8 | 5.59 | C2-S1 | 7.98 NR | 4.38 C | 5.15 NR | 4.14 NR | 98.12 C |
| | 34 | 52-I-B-PP-02 | 1358.72 | 7.38 | C3-S2 | 13.31 NR | 5.26 NR | 6.55 NR | 3.78 C | 97.89 C |

**B = Ok = Buena** **C= Condicionada**

**NR = No recomendable** **L = Localización en la figura 19**

## 9. 4 HIDROQUIMICA

**9. 4. 1 Clasificación Geoquímica.** En el diagrama de Piper (figura 20 y 21) se representaron los principales constituyentes del agua con el objeto de clasificar geoquímicamente las diferentes muestras de agua y poder con ello establecer los diferentes procesos que alteran sus características químicas.

En general el agua de la zona de estudio es dulce (SDT <1000 mg/Lt.) de tipo bicarbonatada sódica o cálcico – sódica (ver tabla 8.), con contenido de calcio y magnesio, que las caracterizan de blandas a muy duras, con bajo contenido en iones cloruros, sulfatos, potasio y magnesio.

En el campo de los cationes del diagrama de Piper (figura 22.) se observa una evolución de calcio y magnesio en dirección del ápice del sodio. En el campo de los aniones las muestras están distribuidas en el campo de los bicarbonatos, lo cual indica un intercambio iónico del sodio de la solución del suelo, por el calcio y magnesio del agua*, dado también que no hay un incremento significativo en los sólidos disueltos. Este intercambio iónico se puede evidenciar también en la forma típica de la poligonal de los diagramas de Stiff (figura 23).

---

* Na – arcilla + Ca ------- Ca – arcilla + Na (primeramente)
Na – arcilla + Mg ------- Mg – arcilla + Na (secundariamente)

**Figura 20. Clasificación iónica según Piper - Primer grupo.**

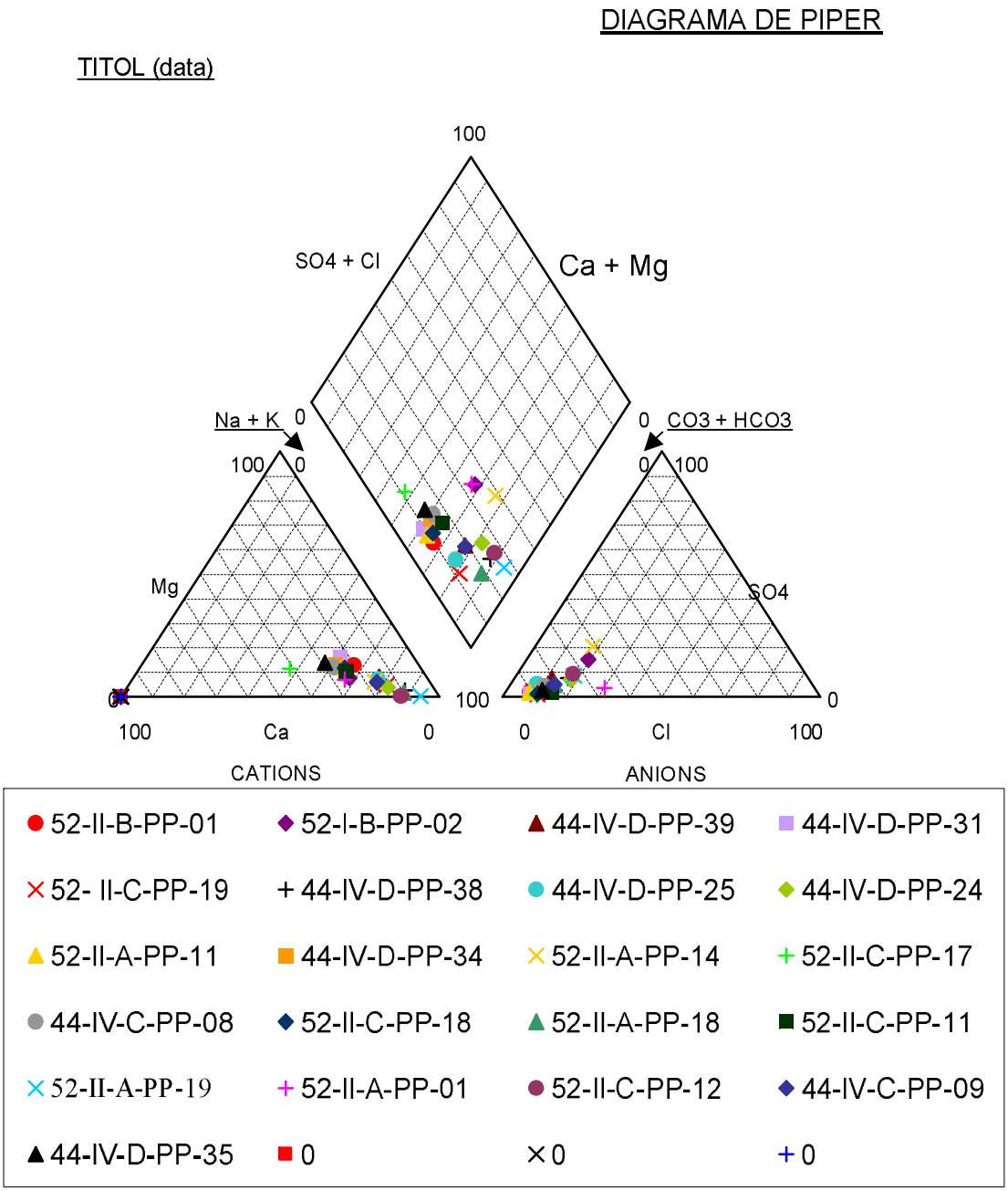


**Figura 21. Clasificación iónica según Piper – segundo grupo.**

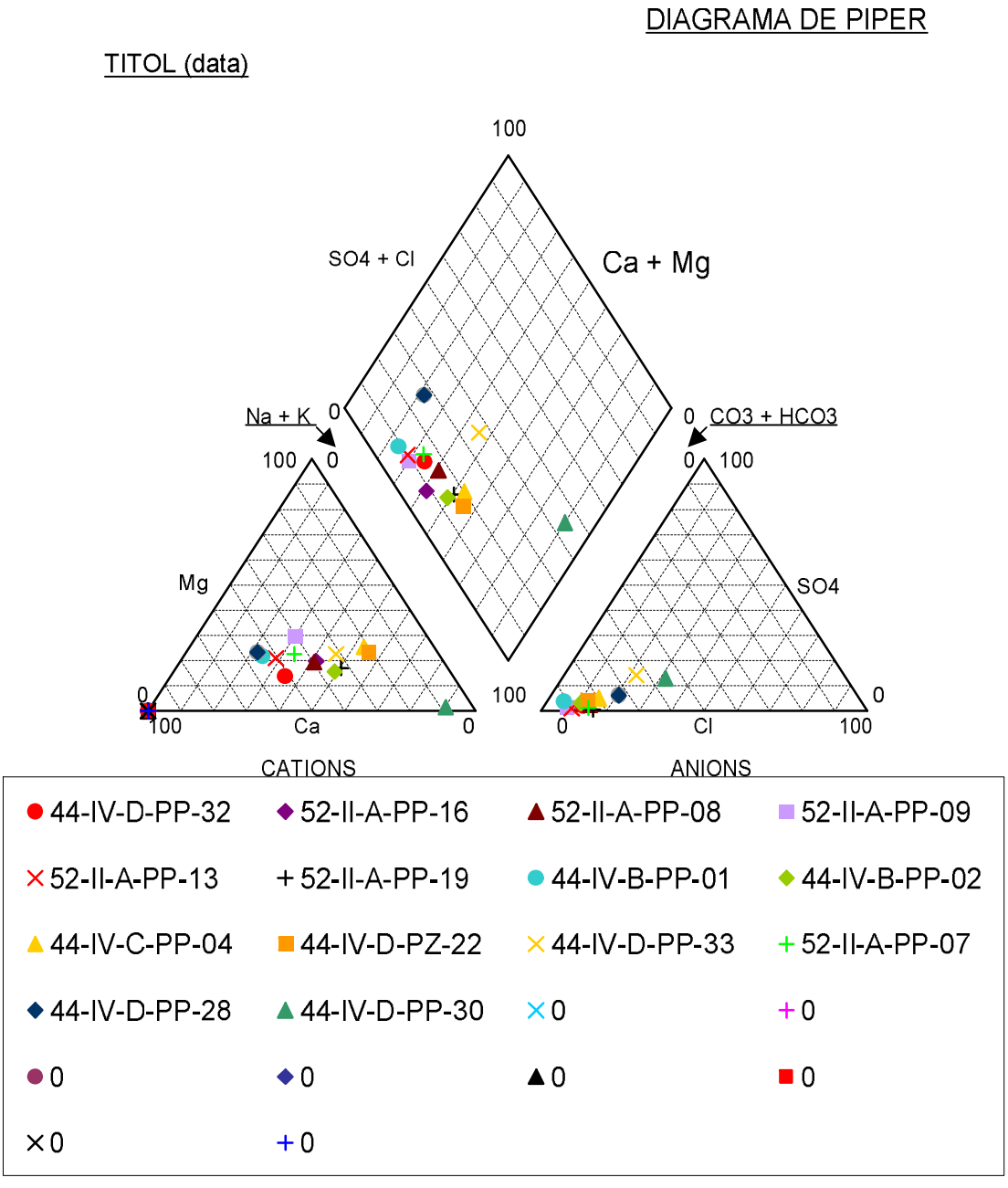


**Tabla 8. Clasificación iónica de las aguas según Piper**

| CODIGO DEL POZO | TIPO DE AGUA | C.E. | MUNICIPIO |
|---|---|---|---|
| 52 – II – B – PP – 01 | Bicarbonatadas sódicas | 369.73 | Corozal |
| 44 – IV – D – PP – 38 | Bicarbonatadas sódicas | 334.58 | Corozal |
| 52 – II – A - PP – 11 | Bicarbonatadas sódicas | 343.87 | Corozal |
| 44 – IV – C – PP – 08 | Bicarbonatadas sódicas | 405.42 | Corozal |
| 44 – IV D – PP – 39 | Bicarbonatadas sódicas | 366.2 | Morroa |
| 44 – IV – D – PP – 25 | Bicarbonatadas sódicas | 328.41 | Corozal |
| 44 – IV – D – PP – 34 | Bicarbonatadas sódicas | 443.12 | Corozal |
| 52 – II – A – PP – 01 | Bicarbonatadas sódicas | 1087.8 | Sampués |
| 44 – IV – D – PP – 31 | Bicarbonatadas sódicas | 305.75 | Corozal |
| 44 – IV – D – PP – 24 | Bicarbonatadas sódicas | 421.94 | Corozal |
| 52 – II – A - PP – 14 | Bicarbonatadas sódicas | 757.19 | Sincelejo |
| 52 – I – B – PP – 02 | Bicarbonatadas sódicas | 1358.72 | Sampués |
| 52 – II – C – PP – 19 | Bicarbonatadas sódicas | 533.26 | Sampués |
| 52 – II – C – PP – 17 | Bicarbonatadas sódicas | 623.3 | Sampués |
| 52 – II – C – PP – 18 | Bicarbonatadas sódicas | 418.3 | Sampués |
| 52 – II – A- PP – 18 | Bicarbonatadas sódicas | 311.5 | Sampués |
| 52 – II – C – PP – 06 | Bicarbonatadas sódicas | 481.69 | Sampués |
| 52 – II – C – PP – 11 | Bicarbonatadas sódicas | 306.6 | Sampués |
| 52 – II – C – PP – 12 | Bicarbonatadas sódicas | 430.46 | Sampués |
| 44 – IV – C – PP – 09 | Bicarbonatadas sódicas | 357.93 | Corozal |
| 44 – IV – D – PP – 35 | Bicarbonatadas sódicas | 380.62 | Corozal |
| 52 – II – A – PP – 16 | Bicarbonatadas sódico – cálcicas | 389.88 | Sincelejo |
| 52 – II – A – PP – 08 | Bicarbonatadas sódico – cálcicas | 523.6 | Corozal |
| 52 – II – A – PP – 09 | Bicarbonatadas sódico – cálcicas | 439.92 | Corozal |
| 52 – II – A – PP – 13 | Bicarbonatadas sódico – cálcicas | 517.89 | Sincelejo |
| 44 – IV – B – P – 01 | Bicarbonatadas sódico – cálcicas | 419.05 | Los Palmitos |
| 44 – IV – B – P – 02 | Bicarbonatadas sódico – cálcicas | 619.44 | Los Palmitos |
| 44 – IV – D – PP – 32 | Bicarbonatadas sódico – cálcicas | 460.6 | Los Palmitos |
| 44 – IV – D – PP – 22 | Bicarbonatadas - sódicas – cálcicas – magnésicas. | 492.23 | Morroa |
| 52 – II – A – PP – 19 | Bicarbonatadas sódicas – cálcicas – magnésicas. | 478.13 | Sincelejo |
| 52 – II – A – PP – 07 | Bicarbonatadas sódicas – cálcicas – magnésicas. | 678.95 | Corozal |
| 44 – IV – D – PP – 28 | Bicarbonatadas sódicas – cálcicas – magnésicas. | 929.16 | Los Palmitos |
| 44 – IV – D – PP – 36 | Bicarbonatadas sódicas – cálcicas – magnésicas. | 582.2 | Corozal |
| 44 – IV – C – P – 04 | Bicarbonatadas sódicas – cálcicas – magnésicas. | 1093.88 | Sincelejo |
| 44 – IV – D – PP – 33 | Bicarbonatadas sódicas – cálcicas – magnésicas. | 449.63 | Los Palmitos |
| 44 – IV – D – PP –30 | Bicarbonatadas - cloruradas -sódicas | 541.07 | Morroa |

**Figura 22. Diagrama de Piper para el cambio iónico.**

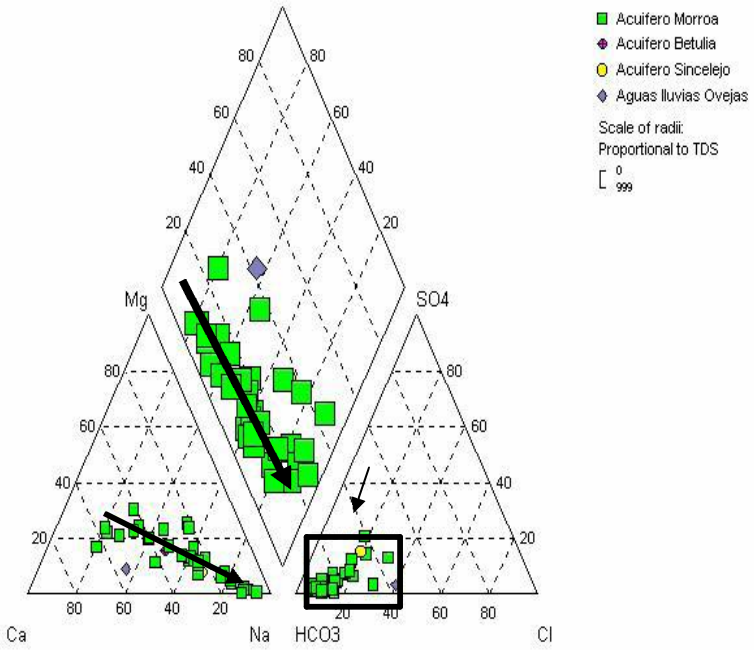
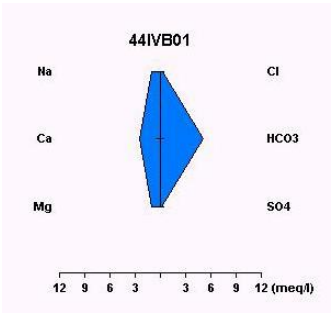
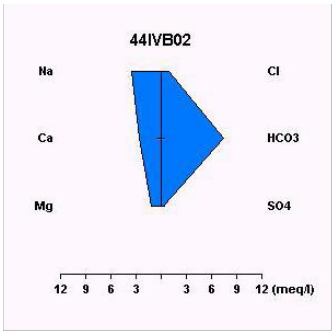
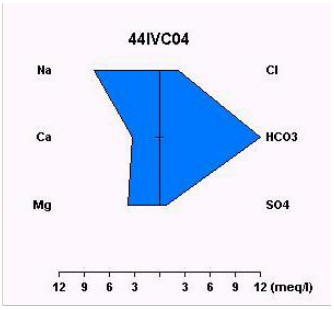


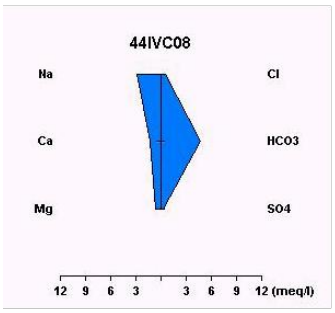
**Figura 23. Diagramas de Stiff.**

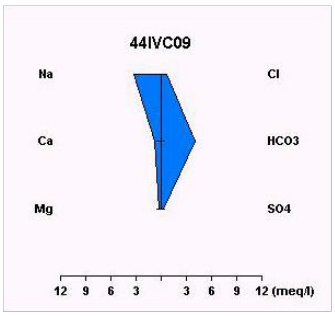
DIAGRAMAS DE STIFF

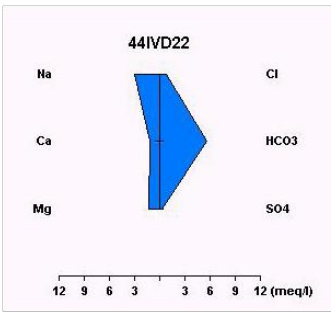


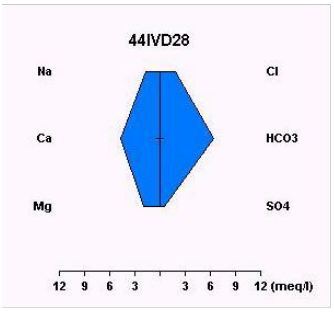



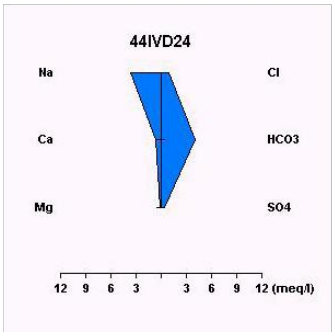



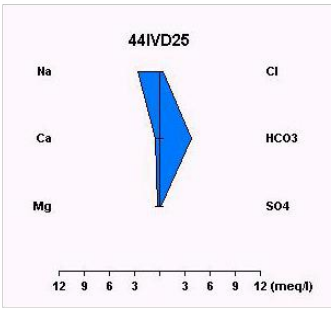
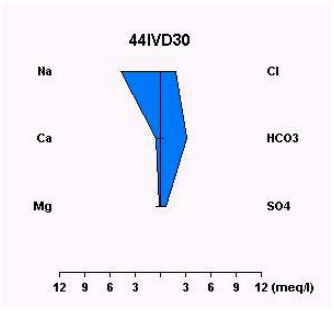
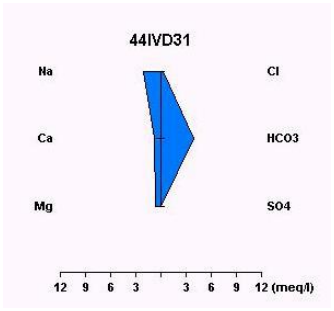
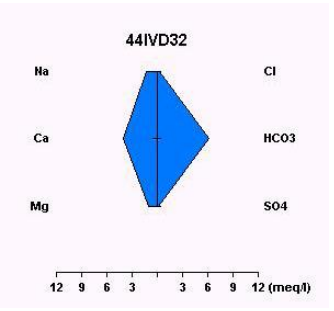
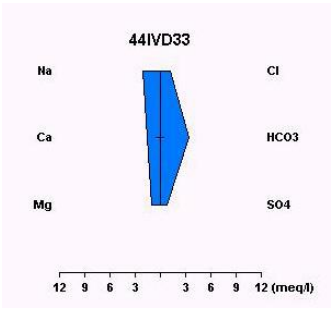



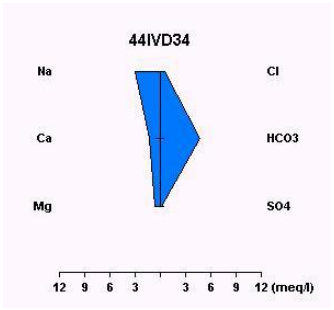
**Figura 23 – Continuación.**

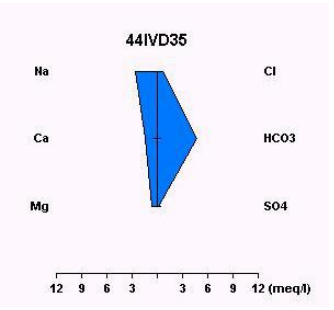


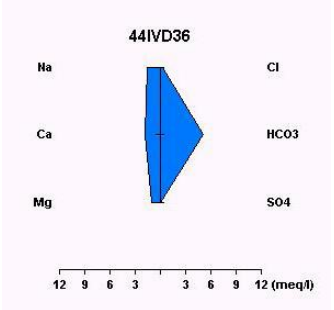



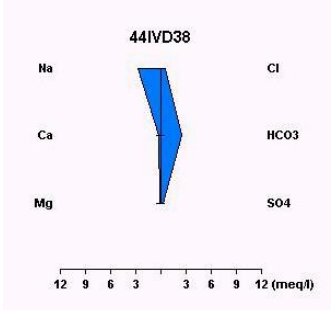



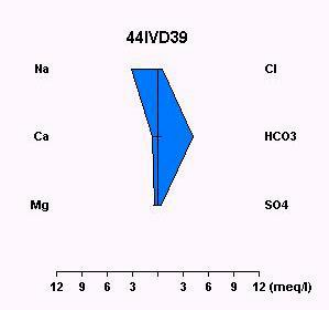
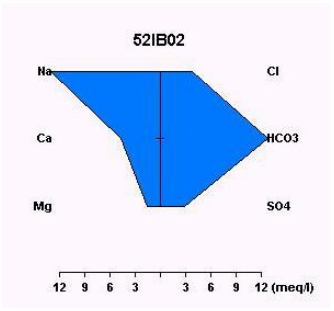
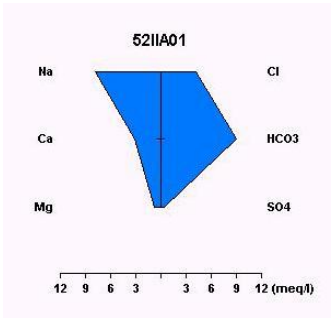
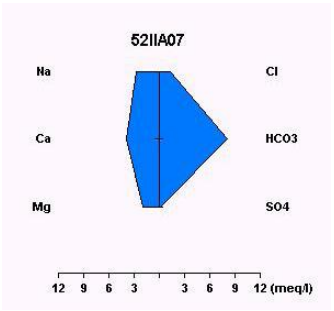
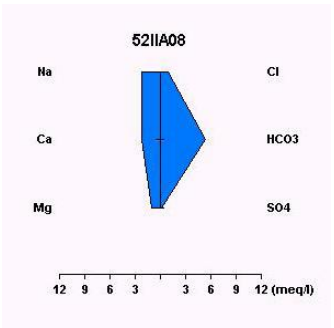



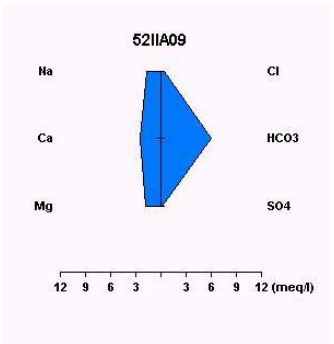
**Figura 23 – Continuación.**

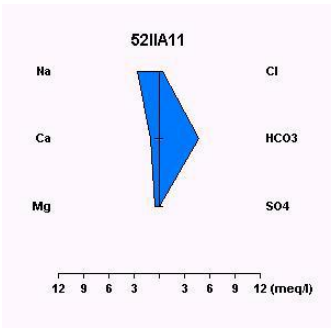


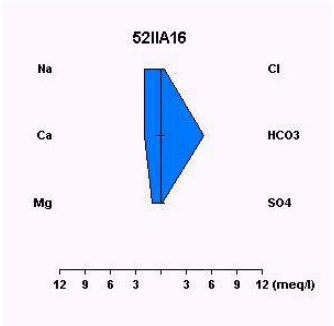



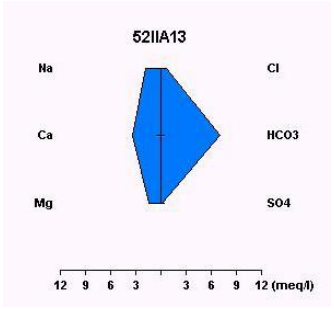



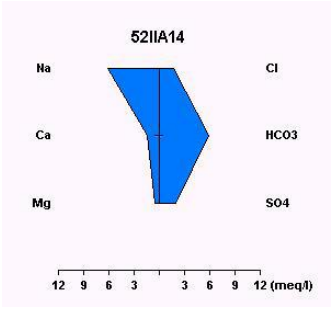
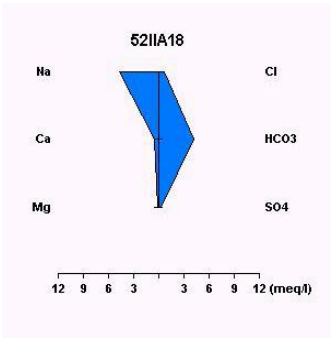
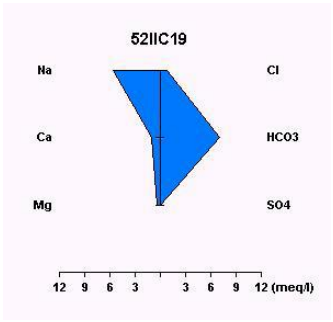
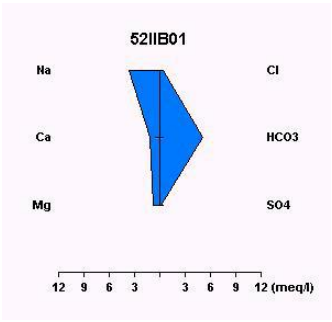
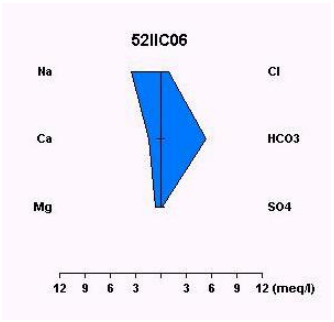



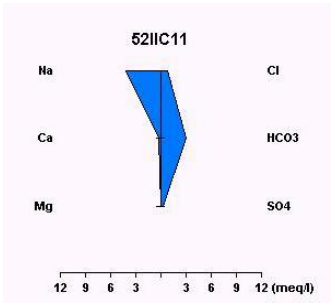
**Figura 23 – Continuación.**

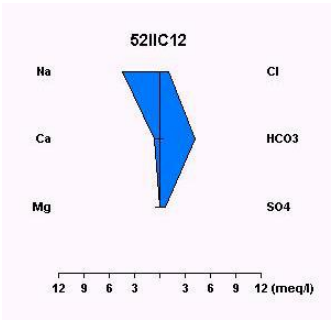


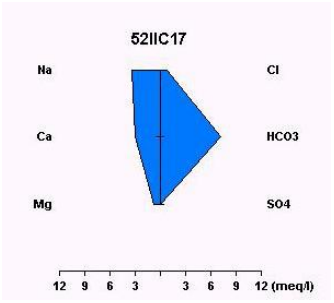



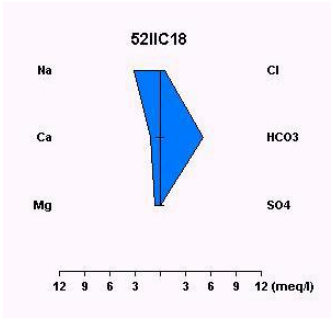



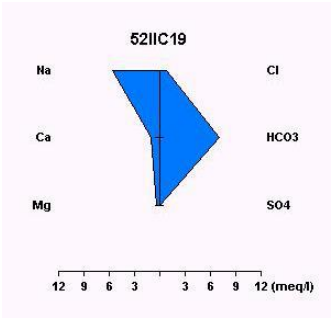



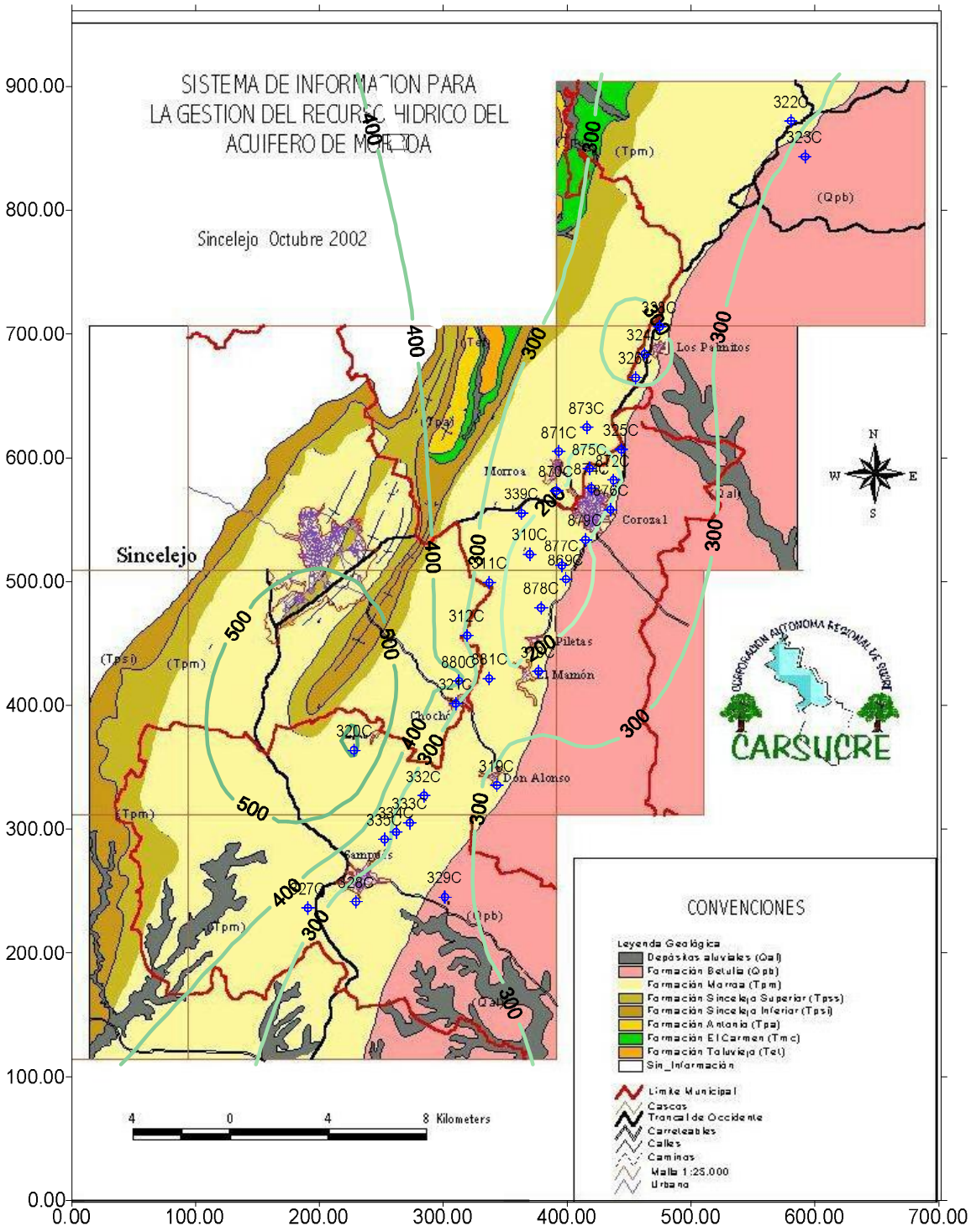



**9. 4. 2 Variación Espacial.** Con los resultados de los análisis fisico – químicos mostrados en la tabla 2, se elaboraron los mapas de isósolidos – disueltos, isoconductividades, isocloruros e isocalcio.

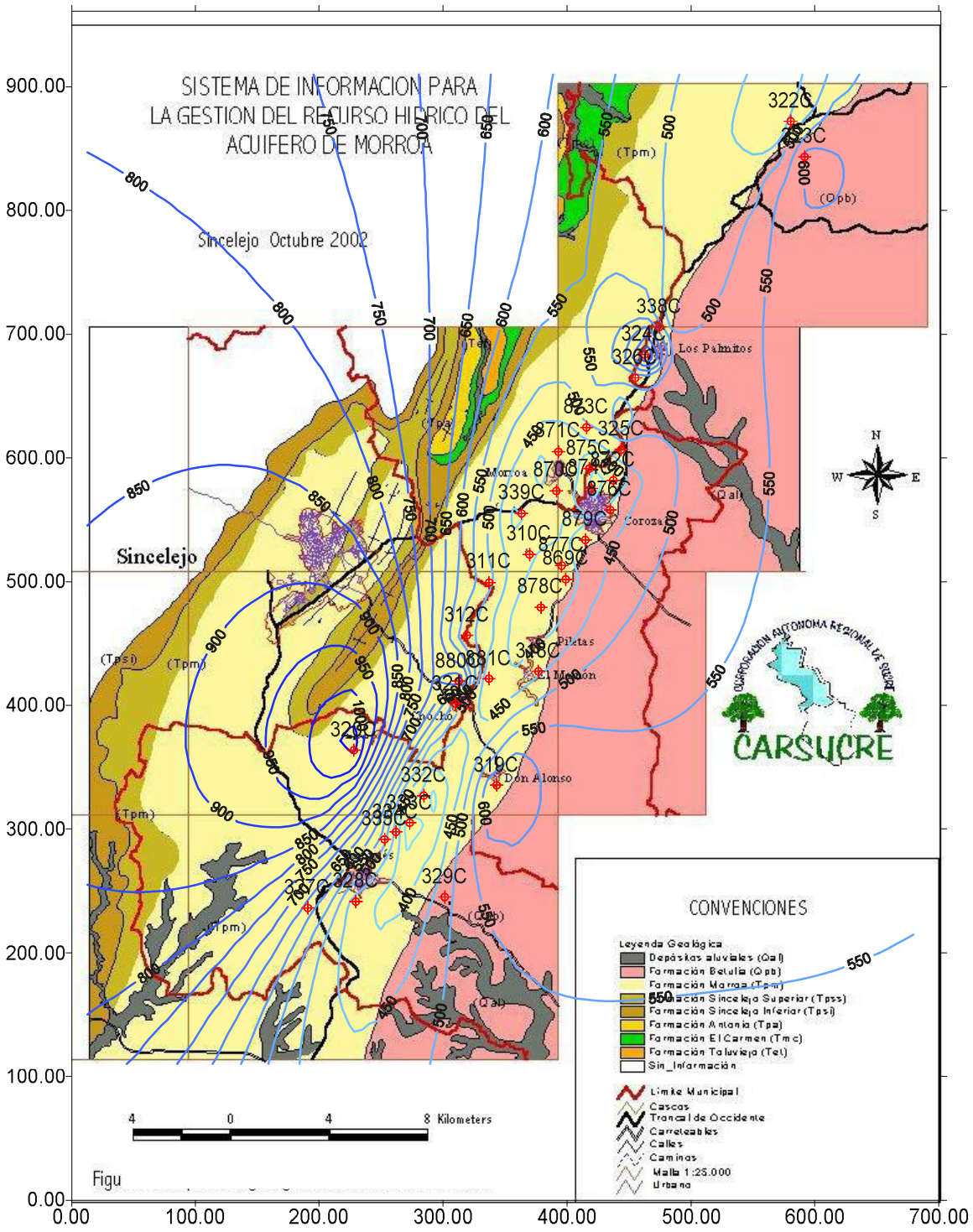
El mapa de isosólidos - disueltos (mapa 4.) al igual que el de isoconductividad (mapa 5.) muestra un comportamiento espacial muy similar. En éstos mapas la tendencia general evidencia una disminución de las concentraciones hacia el Este, las mayores concentraciones se encuentran en los pozos 52 – I – B – PP –02, 44 – IV – C – PP – 04 ubicados en la formación Sincelejo (formación de ambiente transicional) y el pozo 52 – II – A – PP – 01 de Segovia, que se encuentra en la formación Morroa, pero dado la cercanía con la formación Sincelejo puede estar influenciado por ésta. Los valores menores se encuentran en los pozos ubicados en la formación Morroa, nivel acuífero A.

En los mapas de isocloruros (mapa 6.) e isocalcio (mapa 7.), se puede ver un comportamiento espacial similar en las concentraciones de éstos iones encontrándose los valores más bajos al norte de Corozal y noreste de Sampués, convirtiéndose los niveles acuíferos A y B con dirección SW – NE en un parte aguas, donde las concentraciones aumentan hasta alcanzar los valores más altos hacia el occidente indicando la influencia de la formación Sincelejo y un aumento menos pronunciado hacia el Este; dado posiblemente por la influencia de los niveles arcillosos de la formación Betulia en los pozos de la Aldea (44 – IV – B – PP – 02) y Don Alonso (52 – II – A – PP – 07).

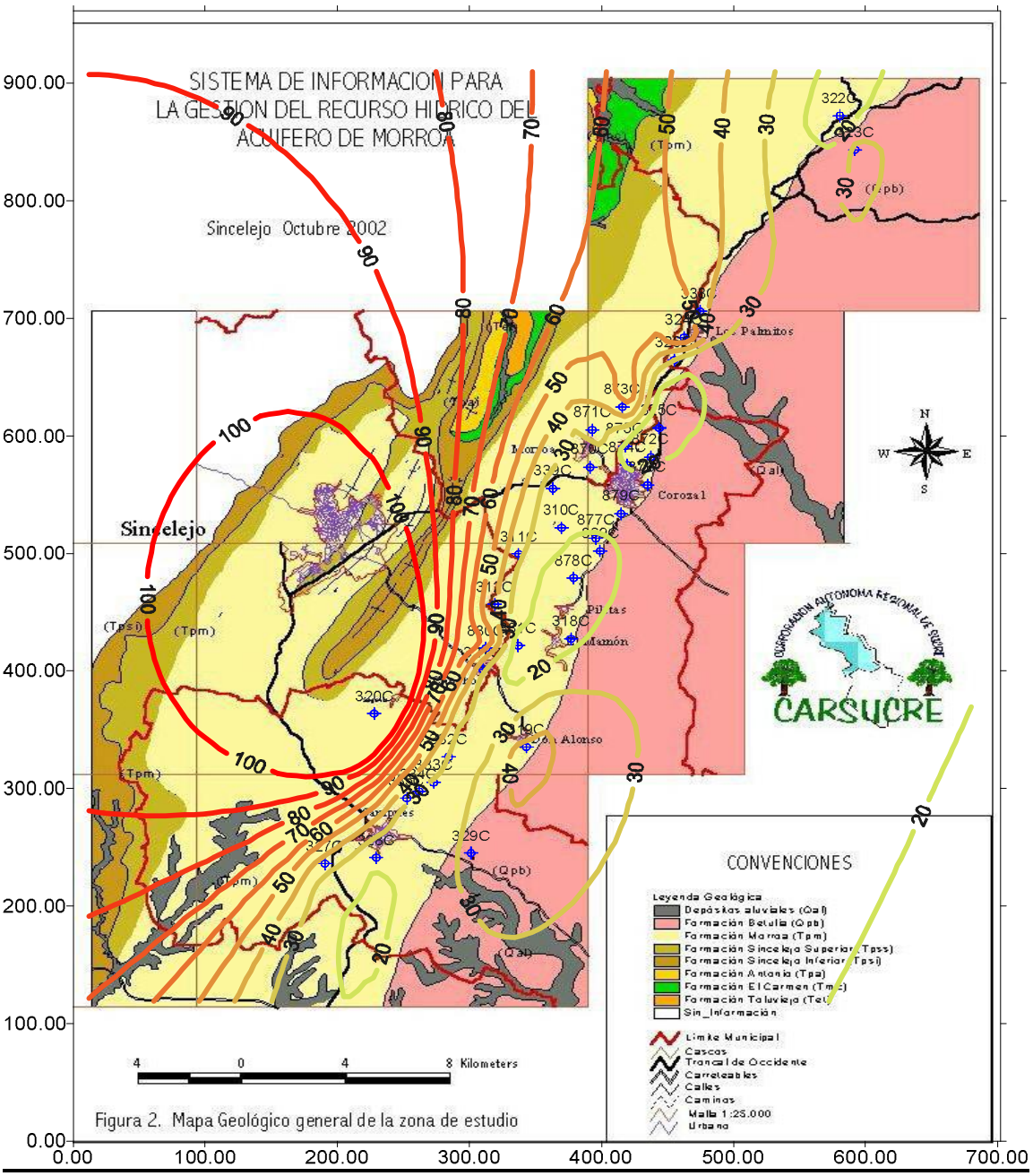
## MAPA 4. ISOSÓLIDOS DISUELTOS



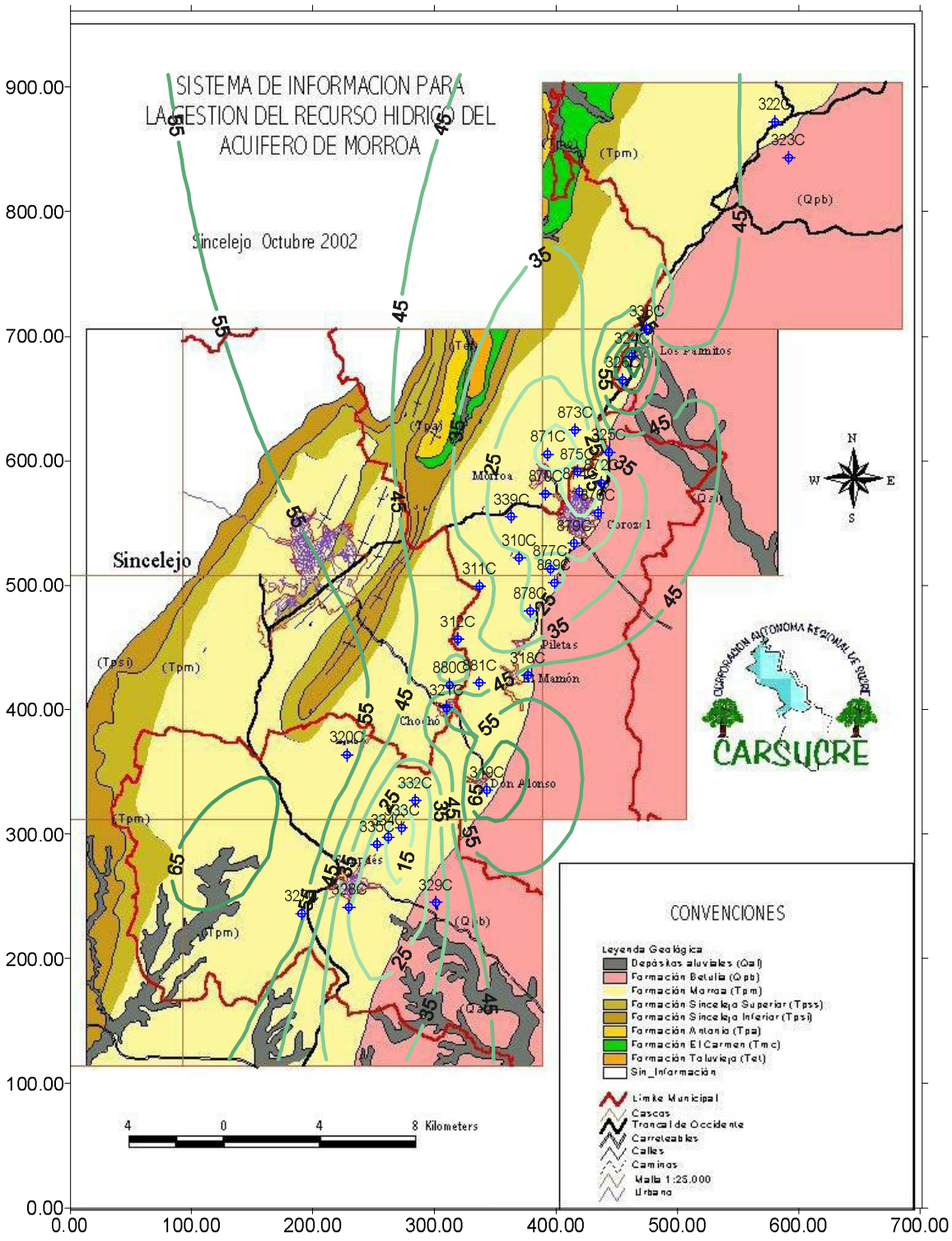
## MAPA 5. ISOCONDUCTIVIDAD



## MAPA 6. ISOCLORUROS



## MAPA 7. DE ISOCALCIO



**9. 4. 3 Determinación de la Roca Fuente.** Esta se hizo con el fin de tener una idea a cerca de la interacción roca / agua subterránea poca conocida en el acuífero Morroa. Este análisis se hizo teniendo en cuenta las memorias del curso de Hidroquímica* realizado en Chile en agosto de 2002 (Anexo F), con lo cual se elaboró la Tabla 9. donde se muestran los valores de las relaciones paramétricas evaluadas que llevan a la conclusión que el sistema acuífero evoluciona continuamente a través de las líneas de flujo al presentarse intercambio iónico entre el agua y las rocas sedimentarias compuestas de cuarzo, minerales félsicos, arcilla (montmorillonita), cemento calcáreo; que conforman la posible mineralogía.

* Curso de Hidroquímica realizado por funcionario de CARSUCRE; Santiago de Chile. 19 al 30 de Agosto de 2002.

## Tabla 9. Planilla de deducción de la roca.

| ACUÍFROS | PARÁMETROS | | (Na+K-Cl)/(Na+K-Cl+Ca) | Na/(Na+Cl) | Mg/(Ca+Mg) | Ca/(Ca+$SO_4$) | (Ca+Mg)/$SO_4$ | TDS Calculado (mg/l) | Cl/Total aniones | $HCO_3$/ Total cationes | Reacciones notables | Mineralogía posible |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Morroa | 52-II-B-PP-01 | VALOR | 0.744 | 0.896 | 0.382 | 0.904 | 15.25 | 126 | 0.075 | 0.917 | Intercambio iónico | Rocas sedimentarias compuestas de cuarzo, minerales felsico, arcillas (montmorillonita), Con cemento calcáreo |
| | | CONCLUSION | Posible intemper. Plagioclasa | Na por Albita o cambio iónico | Intermper. Dolomita Caliza | Ca por $CO_3$ o silicatos | Domilitización | Intemper. de Silicato | Intemper de roca | Intemper. de Silicato o Caliza | | |
| | 44-IV-D-PZ-22 | VALOR | 0.662 | 0.785 | 0.524 | 0.795 | 8.129 | 243 | 0.121 | 0.991 | | |
| | | CONCLUSION | Posible intemper. Plagioclasa | Na por Albita o cambio iónico | Intermper. Dolomita Caliza | Ca por $CO_3$ o silicatos | Domilitización | Intemper. de Silicato | Intemper de roca | Intemper. de Silicato o Caliza | | |
| | 44-IV-D-PP-39 | VALOR | 0.809 | 0838 | 0.347 | 0.62 | 2.50 | 170 | 0.118 | 0.993 | | |
| | | CONCLUSION | Posible intemper. Plagioclasa | Na por Albita o cambio iónico | Intermper. Dolomita Caliza | Ca por $CO_3$ o silicatos | Domilitización | Intemper. de Silicato | Intemper de roca | Intemper. de Silicato o Caliza | | |
| | 44-IV-D-PP-31 | VALOR | 0.688 | 0.856 | 0.411 | 0.932 | 23.50 | 166 | 0.081 | 1.095 | | |
| | | CONCLUSION | Posible intemper. Plagioclasa | Na por Albita o cambio iónico | Intermper. Dolomita Caliza | Ca por $CO_3$ o silicatos | Domilitización | Intemper. de Silicato | Intemper de roca | Intemper. de Silicato o Caliza | | |
| | 44-IV-D-PP-30 | VALOR | 0.871 | 0.726 | 0.151 | 0.378 | 0.716 | 276 | 0.289 | 0.582 | | |
| | | CONCLUSION | Posible intemper. Plagioclasa | Na por Albita o cambio iónico | Intermper. Dolomita Caliza | Remoción de calcio Cambio iónico | Domilitización | Intemper. de Silicato | Intemper de roca | Solución Yeso | | |
| | 44-IV-D-PP-38 | VALOR | 0.883 | 0.833 | 0.21 | 0.555 | 1.583 | 136 | 0.145 | 0.775 | | |
| | | CONCLUSION | Posible intemper. Plagioclasa | Na por Albita o cambio iónico | Intermper. Dolomita Caliza | Ca por $CO_3$ o silicatos | Domilitización | Intemper. de Silicato | Intemper de roca | Intemper. de Silicato o Caliza | | |
| | 44-IV-D-PP-25 | VALOR | 0.811 | 0.877 | 0.312 | 0.714 | 3.636 | 125 | 0.084 | 0.929 | | |
| | | CONCLUSION | Posible intemper. Plagioclasa | Na por Albita o cambio iónico | Intermper. Dolomita Caliza | Ca por $CO_3$ o silicatos | Domilitización | Intemper. de Silicato | Intemper de roca | Intemper. de Silicato o Caliza | | |
| | 44-IV-D-PP-24 | VALOR | 0.81 | 0.79 | 0.207 | 0.631 | 2.158 | 210 | 0.18 | 0.886 | | |
| | | CONCLUSION | Posible intemper. Plagioclasa | Na por Albita o cambio iónico | Intermper. Dolomita Caliza | Ca por $CO_3$ o silicatos | Domilitización | Intemper. de Silicato | Intemper de roca | Intemper. de Silicato o Caliza | | |
| | 44-IV-D-PP-35 | VALOR | 0.606 | 0.81 | 0.32 | 0.909 | 14.714 | 190 | 0.112 | 0.985 | | |
| | | CONCLUSION | Posible intemper. Plagioclasa | Na por Albita o cambio iónico | Intermper. Dolomita Caliza | Ca por $CO_3$ o silicatos | Domilitización | Intemper. de Silicato | Intemper de roca | Intemper. de Silicato o Caliza | | |
| | 52-II-A-PP-11 | VALOR | 0.686 | 0.869 | 0.322 | 0.921 | 17.222 | 124 | 0.076 | 1.106 | | |
| | | CONCLUSION | Posible intemper. Plagioclasa | Na por Albita o cambio iónico | Intermper. Dolomita Caliza | Ca por $CO_3$ o silicatos | Domilitización | Intemper. de Silicato | Intemper de roca | Intemper. de Silicato o Caliza | | |
| | 44-IV-D-PP-34 | VALOR | 0.653 | 0.829 | 0.336 | 0.915 | 16.33 | 203 | 0.112 | 0.936 | | |
| | | CONCLUSION | Posible intemper. Plagioclasa | Na por Albita o cambio iónico | Intermper. Dolomita Caliza | Ca por $CO_3$ o silicatos | Domilitización | Intemper. de Silicato | Intemper de roca | Intemper. de Silicato o Caliza | | |
| | 52-II-A-PP-14 | VALOR | 0.765 | 0.781 | 0.263 | 0.414 | 0.96 | 433 | 0.181 | 0.176 | | |
| | | CONCLUSION | Posible intemper. Plagioclasa | Na por Albita o cambio iónico | Intermper. Dolomita Caliza | Ca por $CO_3$ o silicatos | Domilitización | Intemper. de Silicato | Intemper de roca | Solución Yeso | | |

## Tabla 9. Continuación

| ACUÍFEROS | PARÁMETROS | | (Na+K-Cl)/(Na+K-Cl+Ca) | Na/(Na+Cl) | Mg/(Ca+Mg) | Ca/(Ca+$SO_4$) | (Ca+Mg)/$SO_4$ | TDS Calculado (mg/l) | Cl/Total aniones | $HCO_3$/ Total cationes | Reacciones notables | Mineralogía posible |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Morroa | 44-IV-C-PP-08 | VALOR | 0.64 | 0.823 | 0.308 | 0.844 | 7.83 | 124 | 0.11 | 0.97 | Intercambio iónico | Rocas sedimentarias compuestas de cuarzo, minerales felsico, arcillas (montmorillonita), Con cemento calcáreo |
| | | CONCLUSION | Posible intemper. Plagioclasa | Na por Albita o cambio iónico | Intermper. Dolomita Caliza | Ca por $CO_3$ o silicatos | Domilitización | Intemper. de Silicato | Intemper de roca | Intemper. de Silicato o Caliza | | |
| | 52-II-A-PP-19 | VALOR | 0.502 | 0.74 | 0.342 | 0.974 | 57.8 | 274 | 0.155 | 0.933 | | |
| | | CONCLUSION | Posible intemper. Plagioclasa | Na por Albita o cambio iónico | Intermper. Dolomita Caliza | Ca por $CO_3$ o silicatos | Domilitización | Intemper. de Silicato | Intemper de roca | Intemper. de Silicato o Caliza | | |
| | 52-II-A-PP-09 | VALOR | 0.353 | -0.78 | 0.426 | 0.957 | 38.81 | 248 | 0.072 | 0.985 | | |
| | | CONCLUSION | Posible intemper. Plagioclasa | Na por Albita o cambio iónico | Intermper. Dolomita Caliza | Ca por $CO_3$ o silicatos | Domilitización | Intemper. de Silicato | Intemper de roca | Intemper. de Silicato o Caliza | | |
| | 52-II-A-PP-07 | VALOR | 0.293 | 0.678 | 0.336 | 0.967 | 45,23 | 345 | 0.138 | 0.918 | | |
| | | CONCLUSION | Posible intemper. Plagioclasa | Na por Albita o cambio iónico | Intermper. Dolomita Caliza | Ca por $CO_3$ o silicatos | Domilitización | Intemper. de Silicato | Intemper de roca | Intemper. de Silicato o Caliza | | |
| | 52-II-A-PP-01 | VALOR | 0.553 | 0.654 | 0.211 | 0.866 | 8.187 | 624 | 0.302 | 0.762 | | |
| | | CONCLUSION | Posible intemper. Plagioclasa | Na por Albita o cambio iónico | Intermper. Dolomita Caliza | Ca por $CO_3$ o silicatos | Domilitización | Intemper. de Caliza o Salmuera o Aguamarina | Intemper de roca | Solución Yeso | | |
| | 52-II-A-PP-13 | VALOR | 0.261 | 0.716 | 0.289 | 0.973 | 52,11 | 297 | 0.088 | 1.075 | | |
| | | CONCLUSION | Posible intemper. Plagioclasa | Na por Albita o cambio iónico | Intermper. Dolomita Caliza | Ca por $CO_3$ o silicatos | Domilitización | Intemper. de Silicato | Intemper de roca | Intemper. de Silicato o Caliza | | |
| | 44-IV-B-PP-01 | VALOR | 0.247 | 0.768 | 0.284 | 0.922 | 16,62 | 210 | 0.052 | 1.104 | | |
| | | CONCLUSION | Posible intemper. Plagioclasa | Na por Albita o cambio iónico | Intermper. Dolomita Caliza | Ca por $CO_3$ o silicatos | Domilitización | Intemper. de Silicato | Intemper de roca | Intemper. de Silicato o Caliza | | |
| | 52-II-A-PP-16 | VALOR | 0.467 | 0.838 | 0.336 | 0.946 | 26,72 | 204 | 0.067 | 1.024 | | |
| | | CONCLUSION | Posible intemper. Plagioclasa | Na por Albita o cambio iónico | Intermper. Dolomita Caliza | Ca por $CO_3$ o silicatos | Domilitización | Intemper. de Silicato | Intemper de roca | Intemper. de Silicato o Caliza | | |
| Betulia | 44-IV-B-PP-02 | VALOR | 0.365 | 0.795 | 0.296 | 0.944 | 23,85 | 390 | 0.105 | 0.732 | IDEM ANTERIOR | IDEM ANTERIOR |
| | | CONCLUSION | Posible intemper. Plagioclasa | Na por Albita o cambio iónico | Intermper. Dolomita Caliza | Ca por $CO_3$ o silicatos | Domilitización | Intemper. de Silicato | Intemper de roca | Solución Yeso | | |
| Morroa | 44-IV-D-PP-36 | VALOR | 0.416 | 0.836 | 0.366 | 0.968 | 48,66 | 236 | 0.052 | 1.139 | IDEM ANTERIOR | IDEM ANTERIOR |
| | | CONCLUSION | Posible intemper. Plagioclasa | Na por Albita o cambio iónico | Intermper. Dolomita Caliza | Ca por $CO_3$ o silicatos | Domilitización | Intemper. de Silicato | Intemper de roca | Intemper. de Silicato o Caliza | | |
| | 44-IV-D-PP-32 | VALOR | 0.201 | 0.782 | 0.211 | 0.966 | 36,21 | 280 | 0.053 | 0.952 | | |
| | | CONCLUSION | Posible intemper. Plagioclasa | Na por Albita o cambio iónico | Intermper. Dolomita Caliza | Ca por $CO_3$ o silicatos | Domilitización | Intemper. de Silicato | Intemper de roca | Intemper. de Silicato o Caliza | | |
| | 52-II-C-PP-17 | VALOR | 0.466 | 0.796 | 0.217 | 0.987 | 95,75 | 325 | 0.106 | 0.983 | | |
| | | CONCLUSION | Posible intemper. Plagioclasa | Na por Albita o cambio iónico | Intermper. Dolomita Caliza | Ca por $CO_3$ o silicatos | Domilitización | Intemper. de Silicato | Intemper de roca | Intemper. de Silicato o Caliza | | |

## Tabla 9. Continuación.

| ACUÍFEROS | PARÁMETROS | | (Na+K-Cl)/(Na+K-Cl+Ca) | Na/(Na+Cl) | Mg/(Ca+Mg) | Ca/(Ca+$SO_4$) | (Ca+Mg)/$SO_4$ | TDS Calculado (mg/l) | Cl/Total aniones | $HCO_3$/ Total cationes | Reacciones notables | Mineralogía posible |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Morroa | 52-II-C-PP-18 | VALOR | 0.688 | 0.84 | 0.326 | 0.952 | 29.66 | 240 | 0.104 | 1.099 | Intercambio iónico | Rocas sedimentarias compuestas de cuarzo, minerales felsico, arcillas (montmorillonita), Con cemento calcáreo |
| | | CONCLUSION | Posible intemper. Plagioclasa | Na por Albita o cambio iónico | Intermper. Dolomita Caliza | Ca por $CO_3$ o silicatos | Domilitización | Intemper. de Silicato | Intemper de roca | Intemper. de Silicato o Caliza | | |
| | 52-II-C-PP-06 | VALOR | 0.669 | 0.791 | 0.3 | 0.924 | 17.54 | 280 | 0.146 | 0.962 | | |
| | | CONCLUSION | Posible intemper. Plagioclasa | Na por Albita o cambio iónico | Intermper. Dolomita Caliza | Ca por $CO_3$ o silicatos | Domilitización | Intemper. de Silicato | Intemper de roca | Intemper. de Silicato o Caliza | | |
| | 52-II-C-PP-18 | VALOR | 0.879 | 0.867 | 0.127 | 0.696 | 2.625 | 193 | 0.110 | 0.779 | | |
| | | CONCLUSION | Posible intemper. Plagioclasa | Na por Albita o cambio iónico | Intermper. Dolomita Caliza | Ca por $CO_3$ o silicatos | Domilitización | Intemper. de Silicato | Intemper de roca | Solución Yeso | | |
| | 52-II-C-PP-11 | VALOR | 0.932 | 0.846 | 0.074 | 0.416 | 0.771 | 192 | 0.139 | 0.674 | | |
| | | CONCLUSION | Improbable intemper. Plagioclasa | Na por Albita o cambio iónico | Intermper. Dolomita Caliza | Ca por $CO_3$ o silicatos | Domilitización | Intemper. de Silicato | Intemper de roca | Solución Yeso | | |
| | 52-II-C-PP-12 | VALOR | 0.855 | 0.814 | 0.032 | 0.53 | 1.17 | 272 | 0.162 | 0.811 | | |
| | | CONCLUSION | Posible intemper. Plagioclasa | Na por Albita o cambio iónico | Intermper. Dolomita Caliza | Ca por $CO_3$ o silicatos | Domilitización | Intemper. de Silicato | Intemper de roca | Intemper. de Silicato o Caliza | | |
| | 52-II-C-PP-19 | VALOR | 0.83 | 0.869 | 0.248 | 0.917 | 14.77 | 353 | 0.105 | 1.002 | | |
| | | CONCLUSION | Posible intemper. Plagioclasa | Na por Albita o cambio iónico | Intermper. Dolomita Caliza | Ca por $CO_3$ o silicatos | Domilitización | Intemper. de Silicato | Intemper de roca | Intemper. de Silicato o Caliza | | |
| | 44-IV-C-PP-09 | VALOR | 0.788 | 0.825 | 0.263 | 0.737 | 3.8 | 212 | 0.136 | 0.955 | | |
| | | CONCLUSION | Posible intemper. Plagioclasa | Na por Albita o cambio iónico | Intermper. Dolomita Caliza | Ca por $CO_3$ o silicatos | Domilitización | Intemper. de Silicato | Intemper de roca | Intemper. de Silicato o Caliza | | |
| | 44-IV-D-PP-33 | VALOR | 0.407 | 0.635 | 0.416 | 0.66 | 3.33 | 259 | 0.219 | 0.71 | | |
| | | CONCLUSION | Posible intemper. Plagioclasa | Na por Albita o cambio iónico | Intermper. Dolomita Caliza | Ca por $CO_3$ o silicatos | Domilitización | Intemper. de Silicato | Intemper de roca | Solución Yeso | | |

# 10. CONCLUSIONES

- Geoquímicamente las aguas son esencialmente bicarbonatadas sódicas (58.3 %), bicarbonatadas sódico – cálcicas (19.4 %), bicarbonatadas sódico – cálcicas – magnésicas (19.4 %) y bicarbonatadas sódico – cloruradas (2.9 %).

- Los elementos que predominan en las aguas estudiadas son el sodio, seguido del calcio, los bicarbonatos; y las propiedades más elevadas son la alcalinidad y la dureza, generado por los iones presentes.

- El agua del acuífero estudiado en función de los sólidos disueltos es dulce y en términos de la dureza se clasifica de blanda a muy dura.

- Usando el diagrama de Piper se pudo identificar un intercambio iónico como reacción más notable en la interacción agua / roca, lo que se puede evidenciar también con los diagramas de Stiff.

- Según los diagramas de Scholler, las aguas químicamente están en el campo de potabilidad a excepción de los iones sodio y bicarbonato del pozo 52 – I – B – PP – 02 de Sampués que se encuentran en el rango de impotabilidad.

- En general, los isomapas de conductividad y sólidos disueltos presentan una variación espacial con disminución hacia el oriente, registrándose las concentraciones más altas en los pozos 52 – I – B – PP – 02 de Sampués y 44 – IV – C – PP – 04 de Sincelejo, indicando la influencia de la formación Sincelejo (formación transicional) en el contenido de los iones. Comportamiento similar presentan los isomapas de calcio y cloruros.

- Según el decreto 475 de 1998 del Ministerio de Salud, el agua subterránea de la zona de estudio es física y químicamente apta para el consumo humano, con excepción del pozo 44 – IV – B – PP – 01 del Piñal que capta agua con concentraciones de Manganeso mayores a las permitidas para agua potable y segura (0.4 mg/Lt.) y los pozos 44 – IV - D – PP - 28 del barrio El Jardín de Los Palmitos, 44 – IV – B – PP – 02 de la Aldea y el 44 – IV – C – PP – 04 de Colmercedes Sincelejo, que presentan concentraciones en nitratos mayores a las permitidas por la norma para agua potable (64.2 mg/Lt, 12.9 mg/Lt y 12.5 mg/Lt. Respectivamente).

- Atendiendo al decreto 1594 de 1984 del Ministerio de Salud, el agua subterránea de la región estudiada requiere para su potabilización tratamientos convencionales como cloración y desinfección.

- El tipo de agua predominante, corresponden a la clase $C_2 – S_1$ (75%), aguas de salinidad media y baja probabilidad de alcanzar niveles altos de sodio intercambiable. En poca cantidad (11.1%) se hallan aguas $C_3 – S_1$, que permiten la implantación de cultivos muy tolerantes a sales. En algunas zonas se hallan aguas

$C_2 - S_2$ (11.1 %), de salinidad y concentración media en sodio, que pueden usarse para riego de plantas, excepto las mas sensibles en suelos de permeabilidad alta, y aguas $C_3 - S_2$ (2.7 %) con contenidos elevados de sales y contenidos medios de sodio que de ser usadas en riego serían necesarios lavados regulares, cultivos de tolerancia moderada a buena y suelos bien drenados.

- De acuerdo a la combinación de los parámetros climáticos, edafológicas, de los cultivos habituales y al agua subterránea, puede considerarse ésta última como una fuente segura y confiable para el riego complementario en la mayoría de los casos.

- El acuífero Morroa mineralógicamente puede estar constituido por rocas sedimentarias compuesta de cuarzo, minerales de félsico, arcillas (montmorillonita), cemento calcáreo.

# 11. RECOMENDACIONES

- Para conocer con mayor exactitud la constitución y evolución del agua subterránea en la región estudiada por lo que se considera necesario tomar muestras diferenciales de las diferentes unidades acuíferas, se recomienda que durante la perforación de nuevos pozos, se normatize y se haga cumplir por parte de CARSUCRE o la entidad de control de los recursos, a una toma de muestras de agua con un control estricto y que sean sujetos a análisis físicos, químicos y bacteriológicos.

- Incluir la determinación de sílice en posteriores análisis, dado la importancia de éste parámetro en la deducción de la mineralogía posible, y de Boro, por los riesgos de toxicidad que representa este elemento en los cultivos.

- Establecer un programa de muestreo de nitratos (anión indicador) especialmente en los pozos con indicio de contaminación, procurando en lo posible que la muestra sea tomada a boca de pozo.

- La instalación de grifos por parte de los propietarios de los pozos, en la boca de los mismos; para facilitar y agilizar la toma de la muestra.

- Instalar cercos de protección en los pozos que carecen de él, para evitar el acceso a particulares.

- Implantar sistemas de cloración en la red de distribución de los diferentes acueductos que se surten con aguas del Acuífero Morroa como método de mantenimiento.

- Al laboratorio de aguas y suelos de la Universidad de Sucre establecer controles de calidad internas y externas, la adquisición de equipos nuevos y la reparación y calibración de los ya existentes.

- A la Universidad de Sucre y CARSUCRE seguir adelante con los convenios interinstitucionales para la realización de estudios que permitan conocer aún mas el recurso hídrico subterráneo que tanto necesitamos.

# 12. BIBLIOGRAFÍA

BARRERA, Rodolfo. Exploración y Evolución de Aguas Subterráneas: Mapa Hidrogeológico de Sucre Informe Geológico, Cartagena, 1998.

CARDENAS, E y GARRIDO, Ana. Determinación del Riesgo por Contaminación del Acuífero Morroa en el Área de Sincelejo, Corozal y Morroa. Sincelejo, 1996. , 130p. Trabajo de grado (Ingenieros Agrícolas). Universidad de Sucre. Facultad de Ingeniería.

CUSTODIO, Emilio. Hidrología Subterránea. Barcelona, España: Ediciones Omega, 1975. p. 254 – 279.

GIBSO, Uprie y SINGER, Rexford. Manual de los Pozos Pequeños. México: Limusa, 1976. 500 p.

HIRATA, Ricardo. Determinación de la Roca Fuente. Memorias del Curso Hidroquímica. Santiago de Chile. 19 al 30 de Agosto de 2002.

INSTITUTO NACIONAL DE FOMENTO MUNICIPAL. Estudio Hidrogeológico del Flanco Nor – Oriental de la Serranía de San Jacinto y de la Zona Litoral del Golfo del Morrosquillo. Tomo I: Generalidades – Geología. Convenio Colombo – Holandés. Bogotá: INSFOPAL, 1981. p. 10 – 13.

INSTITUTO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Tesis y otros trabajos de grado. Bogotá: ICONTEC. , 1996. 132p.

LINSLEY, Ray; KOHLER, Max y PAULUS, Joseph. Hidrología Para Ingenieros. México: McGraw – Hill Latinoamericana, 1981. p. 5 – 15.

MINISTERIO DE SALUD PÚBLICA. Decreto 1594 de junio 26 de 1984. por el cual se reglamenta parcialmente el titulo II de la Ley 09 de 1979 en cuanto a la destinación del recurso para consumo humano y doméstico. Bogotá: Minsalud. , 1993. p.101 – 105.

MINISTERIO DE SALUD PUBLICA. Decreto 475 de marzo 10 de 1998. por el cual se expide normas técnicas de calidad del agua potable. Bogotá: Minsalud, 1998.

PEREZ, Diosando. La explotación del agua subterránea. Un Nuevo Enfoque. La Habana: Científico – Técnica, 1995. p. 21 – 25 – 287.

RIGOLA LAPEÑA, Miguel. Tratamiento de Aguas Industriales. Bogotá: Alfomega, 1999. p. 27 – 39.

RODRÍGUEZ, Graciela. Estudio Hidrogeológico del Acuífero de Morroa – Sucre. Bogotá: INGEOMINAS, 1993. 180p.

ROMERO ROJAS, Jairo. ACUIQUIMICA. Bogotá: Ediciones Presencia, 1996. 225p.

SHEPPARD, Powell. Handbook of Applied Hydrology. New York: McGraw – Hill, 1964. Section 19.

Sistema de Información para la Gestión del Recurso Hídrico en el Acuífero Morroa – SIGAS (FINAGUAS, CARSUCRE) Sincelejo, Febrero de 2001. 120 p.

STANLEY, Davis y ROGER, De Wiest. HIDROGEOLOGIA. Barcelona, España: Ariel Ediciones. 1971.

# ANEXOS

# ANEXO A

# INVENTARIO DE POZOS SIGAS, 2001

# ANEXO B

# NORMAS DE INSTITUTO NACIONAL DE SALUD (INS)

# ANEXO C

# ANÁLISIS BACTERIOLÓGICO

# DASSSALUD

# ANEXO D

# ANÁLISIS FISICOQUÍMICOS

# INGEOMINAS

# ANEXO E

# TABLA DE CONVERSIÓN

# PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS

# (meq/Lt)

# ANEXO F

# DEDUCCIÓN DE LA ROCA FUENTE (MEMORIA CURSO HIDROQUÍMICA DE CHILE, AGOSTO 2002)