

**ESTIMACION DE LA RECARGA EN LA CUENCA SUPERIOR DEL RIO  
LEBRIJA MEDIANTE EL BALANCE DE MASA DEL ION CLORURO**

**BIBIANA PAOLA BARRERA CASALLAS**



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECANICAS  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
BUCARAMANGA**

**2006**

**ESTIMACION DE LA RECARGA EN LA CUENCA SUPERIOR DEL RIO  
LEBRIJA MEDIANTE EL BALANCE DE MASA DEL ION CLORURO**

**BIBIANA PAOLA BARRERA CASALLAS**

**Trabajo de grado para optar el titulo de  
Ingeniero civil**

**Director:  
SULLY GOMEZ ISIDRO  
Ing. Civil, M.Sc, PhD**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECANICAS  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
BUCARAMANGA  
2006**

*Dedicatoria*

*A Dios,*

*Por todo lo recibido*

*A mis padres y hermanos,*

*Por su apoyo y motivación.*

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi directora de proyecto **I.C. PhD Sully Gómez Isidro** por su acertada dirección, apoyo en todo lo que estuvo a su alcance, su calidad humana y sus valiosas orientaciones.

A las geólogas Nadia Rojas, Alexandra Ulloa y a todo el grupo GPH por su colaboración en las salidas de campo y apoyo técnico.

A la CDMB por su celeridad en el préstamo de transpone para poder acceder a los puntos de la cuenca.

Al CEIAM por su oportuno análisis del ión cloruro de las muestras de aguas lluvias y subterráneas, de una manera especial a la ingeniera Janet Quintero encargada de la sede en Guatiguara Piedecuesta por sus apreciables sugerencias.

## RESUMEN

### TITULO:

DETERMINACION DE LA RECARGA EN LA CUENCA SUPERIOR DEL RIO LEBRIJA POR MEDIO DEL BALANCE DEL ION CLORURO.\*

### AUTOR:

Bibiana Paola Barrera Casallas. \*\*

### PALABRAS CLAVES:

Recarga, balance de masa del ion cloruro, Cuenca Superior del Río Lebrija, parámetros fisicoquímicos.

### DESCRIPCION:

En el presente trabajo se evalúa la recarga de la cuenca superior del Río Lebrija, Santander por medio del balance de masas del ion cloruro, con doce meses de muestreo, seis meses recopilados y seis meses obtenidos en el periodo del trabajo.

El balance de masa del ion cloruro es una técnica hidroquímica para estimar recarga de acuíferos, en la literatura es recomendada para cuencas de clima semiárido y topografía plana, condiciones no cumplidas por la cuenca en estudio, sin embargo los primeros seis meses se obtuvieron valores similares a otros métodos antes aplicados, lo que impulso a seguir con la técnica y completar un ciclo hidrológico de manera que se tuviera una mejor evaluación. Llegando finalmente a un rango de recarga entre el 17% y 30% de la precipitación media en la cuenca.

Por otra parte se tomaron los parámetros fisicoquímicos de nueve puntos de muestreo de aguas lluvias, para reunirlos con los anteriormente tomados en la cuenca, de esta forma el parámetro mas particular es el pH, con trazas de lluvia acida producida en la parte baja de la cuenca.

---

\* Proyecto de grado

\*\* Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas, Escuela de ingeniería Civil, Director:  
GOMEZ ISIDRO, Sully

## ABSTRACT

### TITLE:

DETERMINATION OF THE RECHARGE IN THE LEBRIJA UPPER RIVER BASIN BY MEANS OF CHLORIDE MASS CHLORIDE \*

### AUTHOR:

Bibiana Paola Barrera Casallas \*\*

### KEY WORDS: R

Recharge, chloride mass balance, Lebrija Upper River Basin, physical-chemical parameters.

### DESCRIPTION:

In the present work the recharge of the superior river basin of the Lebrija River (Santander), is evaluated by means of chloride mass balance, with twelve months of sampling, six months compiled and six months obtained in the period of the work.

Chloride mass balance is a geochemistry technique to consider recharge of water-bearing. In literature, it is recommended for river basins of semi-arid climate and flat topography, conditions non-fulfilled by the river basin which was subject to study. Nevertheless the first six months obtained values similar to other methods before applied, which led to continue with this technique and to complete a hydrological cycle so that one better evaluation was had. Finally we obtained a rank of recharge between 17% and 30% of the average precipitation in the river basin.

On the other hand the physicochemical parameters were taken from nine points of sampling of rainwater, in order to reunite them with those previously taken in the river basin. In this way, the particular parameter is pH with traces of acid rain produced in the low part of the basin.

---

\* Project de grade

\*\* Faculty of physical-Mechanical Engineering, School of Civil Engineering, Director:  
GOMEZ ISIDRO, Sully

## CONTENIDO

	Pág.
<b><u>INTRODUCCION-----</u></b>	<b><u>14</u></b>
<b><u>1. DESCRIPCION DE LA CUENCA SUPERIOR DEL RIO LEBRIJA (C.S.R.L)--</u></b>	<b><u>15</u></b>
1.1 LOCALIZACION-----	15
1.2 MORFOLOGÍA DE LA CUENCA SUPERIOR DEL RÍO LEBRIJA-----	16
1.3 CLIMA Y VEGETACIÓN-----	17
1.4 GEOLOGIA-----	18
1.6 PRECIPITACIÓN-----	21
1.7 EVAPOTRANSPIRACIÓN-----	22
1.8 ESCORRENTIA-----	23
<b><u>2. RECARGA DE ACUIFEROS-----</u></b>	<b><u>24</u></b>
2.1 CONCEPTO DE RECARGA-----	24
2.2 METODO DE BALANCE DEL ION CLORURO-----	27
2.2.1 Consideraciones generales-----	27
2.2.2 Método-----	29
2.2.3 La relación Cl/Br como indicador del origen de la salinidad de los Acuíferos.-----	36
<b><u>3. TOMA DE MUESTRAS-----</u></b>	<b><u>39</u></b>
3.1 COLECTORES DE PRECIPITACION-----	39
3.2 PROTOCOLO PARA TOMA DE CLORUROS-----	41
3.2.1 Protocolo de la precipitación-----	41
3.2.2 Protocolo para muestreo en la recarga-----	44
3.3 UBICACIÓN DE LOS COLECTORES DE PRECIPITACION-----	46
3.4 UBICACIÓN DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA-----	50

<b>4. RESULTADOS</b>	<b>52</b>
<b>4.1 CONCENTRACION DEL ION CLORURO</b>	<b>52</b>
4.1.1 Aguas subterráneas	52
4.1.2 Precipitación	53
<b>4.2 PARAMETROS FISICOQUIMICOS DEL AGUA LLUVIA</b>	<b>56</b>
<b>5. ANALISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS</b>	<b>61</b>
<b>5.1 RECARGA POR MEDIO DEL BALANCE DEL ION CLORURO</b>	<b>61</b>
5.1.1 Primera Hipótesis	64
5.1.2 Segunda Hipótesis	65
<b>5.2 PARAMETROS FISICOQUIMICOS DEL AGUA LLUVIA</b>	<b>68</b>
5.2.1 PH	68
5.2.2 Potencial redox	70
5.2.3 Salinidad y Electroconductividad	71
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>74</b>
<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>76</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>77</b>
ANEXO A. Método potenciométrico utilizando en el análisis de ion cloruro	81
ANEXO B. Relación $Cl_p/Cl_r$ en otros países	85
ANEXO B. Resultados del laboratorio CEIAM	86

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1.</b> Ubicación de la C.S.R.L.-----	<b>16</b>
<b>Figura 2</b> Precipitación media anual parte alta de la cuenca 1990-2003-----	<b>21</b>
<b>Figura 3.</b> Precipitación media anual área metropolitana de Bucaramanga 1999-2002.-----	<b>21</b>
<b>Figura 4.</b> Epavotranspiración real anual mm. (CSRL) -----	<b>22</b>
<b>Figura 5.</b> Ciclo de las sales solubles -----	<b>28</b>
<b>Figura 6.</b> Grafica de Valores de concentración de cloruros en estaciones.-----	<b>62</b>
<b>Figura 7.</b> Comportamiento de la concentración del cloruro frente a la precipitación La Estación La Galvicia. -----	<b>62</b>
<b>Figura 8.</b> Concentraciones medias de cloruros en el agua lluvia a través del tiempo con la Hipótesis 2. -----	<b>66</b>
<b>Figura 9.</b> Variación de pH vs. mes (octubre 2004-junio 2006) -----	<b>69</b>
<b>Figura 10.</b> pH vs. Potencial redox de aguas lluvias-----	<b>70</b>
<b>Figura 11.</b> Variación del potencial redox con el tiempo-----	<b>71</b>
<b>Figura 12.</b> Variación de la conductividad eléctrica con el tiempo-----	<b>72</b>
<b>Figura 13.</b> Variación de la salinidad con el tiempo-----	<b>73</b>

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
<b>Tabla 1.</b> Clasificación de las zonas de vida para la Cuenca Superior del Río Lebrija.-----	19
<b>Tabla 2.</b> Estaciones de aguas lluvias para muestreo del ion cloruro y parámetros fisicoquímicos.-----	48
<b>Tabla 3.</b> Estaciones de agua lluvia para parámetros fisicoquímicos.-----	48
<b>Tabla 4.</b> Características de las estaciones de aguas subterráneas.-----	52
<b>Tabla 5.</b> Resultados de primera campaña de muestreo aguas Subterráneas campaña junio 2005.-----	53
<b>Tabla 6.</b> Resultados de segunda campaña de aguas subterráneas agosto 2005.-----	54
<b>Tabla 7.</b> Resultados de tercera campaña de aguas subterráneas julio 2006.-----	54
<b>Tabla 8.</b> Fecha de muestreos para el primer semestre de 2006.-----	55
<b>Tabla 9.</b> Resultados de los meses de octubre 2005 a mediados de enero 2006--	55
<b>Tabla 10.</b> Resultados de los meses de mediados de enero 2006 a mediados de febrero 2006.-----	55
<b>Tabla 11.</b> Resultados del mes de mediados de febrero 2006 y marzo 2006.-----	56
<b>Tabla 12.</b> Resultados del mes de abril 2006.-----	56
<b>Tabla 13.</b> Resultados del mes de mayo 2006.-----	56
<b>Tabla 14.</b> Resultados del mes de junio 2006.-----	56
<b>Tabla 15.</b> Parámetros fisicoquímicos de los meses de octubre 2005 a mediados de enero 2006. -----	59
<b>Tabla 16.</b> Parámetros fisicoquímicos de mediados de enero 2006 a mediados de febrero 2006.-----	60
<b>Tabla 17.</b> Parámetros fisicoquímicos de mediados de febrero 2006 a finales de Marzo de 2006-----	60
<b>Tabla 18.</b> Parámetros fisicoquímicos del mes de abril 2006.-----	60
<b>Tabla 19.</b> Parámetros fisicoquímicos del mes de mayo 2006-----	61

<b>Tabla 20.</b> Parámetros fisicoquímicos del mes de junio 2006.-----	<b>61</b>
<b>Tabla 21.</b> Concentración de ion cloruro del agua lluvia mensual por estaciones.-	<b>62</b>
<b>Tabla 22.</b> Concentraciones de ion cloruro en agua subterránea.-----	<b>64</b>
<b>Tabla 23.</b> Determinación de la escorrentía superficial a partir del caudal base.---	<b>65</b>
<b>Tabla 24.</b> Valores de recarga para la hipótesis 1. -----	<b>66</b>
<b>Tabla 25.</b> Valores de recarga con Hipótesis 2.-----	<b>67</b>
<b>Tabla 26.</b> Valores de recarga estimados por diferentes métodos en C.S.R.L.-----	<b>68</b>

## LISTA DE FOTOS

	Pág
<b>Foto 1.</b> Colector 1 de aguas lluvias parte alta de la Cuenca-----	<b>40</b>
<b>Foto 2.</b> Colector 2 para aguas lluvias en la parte baja de la cuenca-----	<b>41</b>
<b>Foto 3.</b> Sonda múltiparametros-----	<b>42</b>
<b>Foto 4.</b> Muestreador aguas subterráneas-----	<b>46</b>
<b>Foto 5.</b> Estación san Antonio-----	<b>49</b>
<b>Foto 6.</b> Estación La Granja Piedecuesta-----	<b>50</b>

## INTRODUCCIÓN

Este trabajo tiene como objetivo realizar una estimación de la recarga en la Cuenca Superior del Río Lebrija integrada por mas de diez municipios, ubicada en el departamento de Santander del nororiente colombiano. Dentro de dicha cuenca la recarga brinda una idea de los recursos que se pueden aprovechar de una manera sostenible y de acuerdo a las necesidades de la comunidad debido a que las fuentes superficiales están en desventaja frente a las subterráneas en su calidad química, bacteriológica y sus variaciones bruscas dependiendo del régimen de lluvias.

Se llama recarga al fenómeno natural por el cual el exceso de infiltración sobre la evapotranspiración drena desde la zona radicular y continua circulando en dirección descendente a través de la zona no saturada hacia la capa freática, donde se refleja el aumento o descenso del almacenamiento de agua subterránea.

La recarga puede ser estimada utilizando diversos métodos, entre los cuales pueden encontrarse el balance de masa del ión cloruro en estado estacionario, el cual es una técnica sencilla de aplicar y económica. Esta técnica en su mayoría es utilizada a zonas semiáridas y planas se usara aquí tratando de presentar conclusiones de manera objetiva para la Cuenca Superior del Río Lebrija cuyo clima es tropical y su topografía en su mayor parte de área es montañosa, esto se hará comparando sus resultados contra otras técnicas utilizadas anteriormente.

Se realiza una campaña de seis muestreos mensuales a nueve estaciones, ocho en la parte alta de la cuenca y una en la parte baja, con dos fines:

1. Análisis del ion cloruro para caracterizar de una manera mas prolongada su concentración, teniendo en cuenta las concentraciones iniciales de otro trabajo de grado por un periodo de seis meses, así integrando las dos campañas se calculara la recarga histórica por infiltración de aguas lluvias en la C.S.R.L..
2. Toma de parámetros fisicoquímicos con el propósito de observar sus comportamientos a través del tiempo entre estos: pH, conductividad, salinidad, potencial redox.

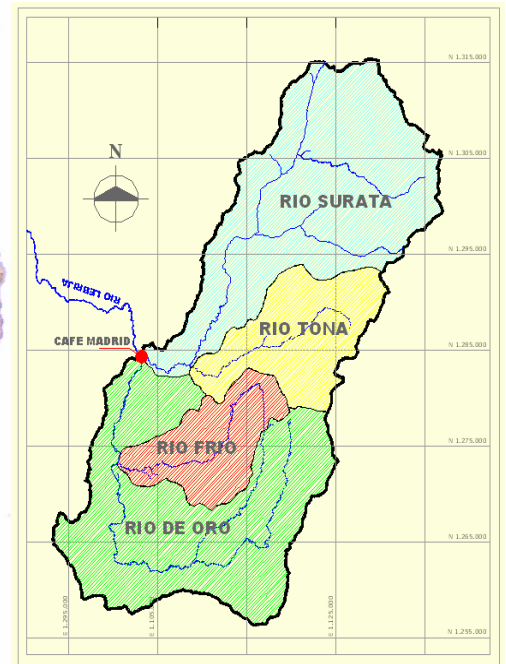
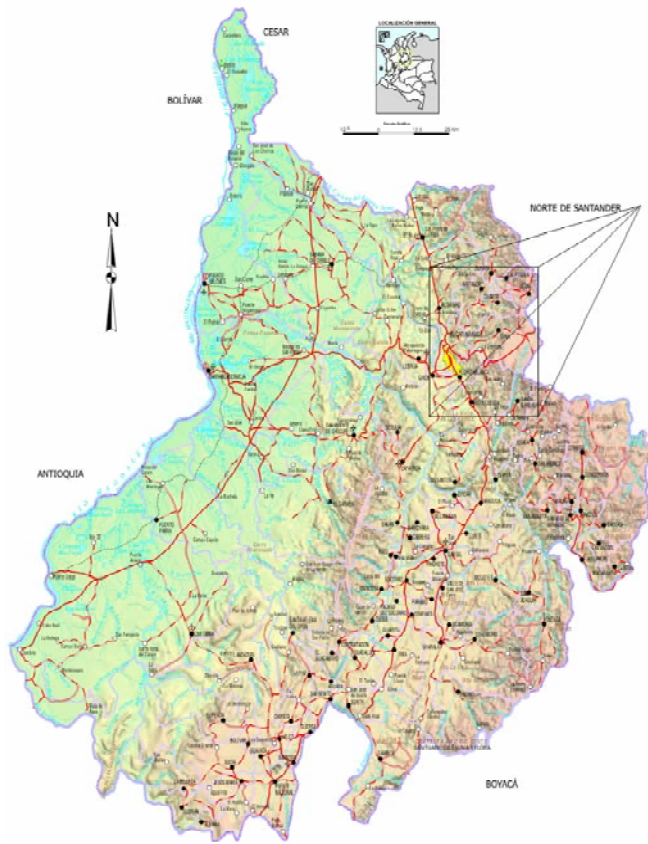
## **1. HIDROGEOLOGIA DE LA CUENCA SUPERIOR DEL RIO LEBRIJA (C.S.R.L)**

El objeto de estudio del presente texto es la Cuenca Superior del Río Lebrija por lo que se hace imprescindible hacer una descripción hidrogeológica.

### **1.1 LOCALIZACION**

La Cuenca Superior del Río Lebrija se encuentra ubicada en el departamento de Santander, en el costado occidental de la Cordillera Oriental. La Cuenca Hace parte de la provincia de Soto, aproximadamente entre los 6° 54' y 7 ° 27' de latitud norte y 73° 15' y 72° 15' de longitud al oeste de Greenwich.

Figura 1. Ubicación de la C.S.R.L.



La Cuenca comprende los siguientes municipios: Bucaramanga y su área metropolitana, Berlín California, Charta, Matanza, Piedecuesta, Suratá, Tona y Vetas. Su área es de aproximadamente de 1279.40 Km<sup>2</sup> (494 millas cuadradas, 1280000 hectáreas), equivalente a una cuenca de tamaño mediano. Dicha cuenca contiene las subcuencas del río Suratá, Río Frío y Río de Oro.

## **1.2 MORFOLOGÍA DE LA CUENCA SUPERIOR DEL RÍO LEBRIJA**

El relieve de la cuenca es muy prominente ya que la altitud de la cuenca va desde los 400 a los 4000 m.s.n.m., existiendo una distribución de zona plana, ondulada y escarpada. Mientras que la zona plana no alcanza a ocupara un 5% del área de la cuenca, la zona oriental representada en el 80% del área de estudio presentan pendientes mayores del 50% y una meteorización profunda de hasta 30 m del material litológico.<sup>3</sup>

## **1.3 CLIMA Y VEGETACIÓN**

La cuenca presenta variedad de climas consecuencia de su accidentada topografía por la presencia de la cordillera oriental y del Valle del Magdalena. Según la clasificación geométrica que supone la división de la tierra en cinco grandes zonas (ecuatorial, intertropical, dos templadas y dos polares) la Cuenca se encuentra el la zona tropical, Por otra parte según su temperatura, esta se encuentra dentro de un clima entre templado y calido (temperaturas entre 5°C y 20 °C y temperaturas > 20°C). En términos generales la cuenca Superior del Río Lebrija posee una temperatura media anual distribuida según la altura en un rango entre 10 y 27°C.

Las zonas de vida son conjuntos naturales de asociaciones, que tienen en cuenta el crecimiento de las plantas bajo condiciones dadas de temperatura, de precipitación y de humedad incluyendo diferentes unidades medio-ambientales. La

---

<sup>3</sup> CDMB, 1981.

Cuenca Superior del Río Lebrija se encuentra subdividida en 10 zonas de vida con sus transiciones (tabla 1)<sup>4</sup> :

Tabla 1. Clasificación de las zonas de vida para la Cuenca superior del Río Lebrija.

<b>ZONAS DE VIDA</b>	<b>TEMPERATURA (°C)</b>	<b>PRECIPITACIÓN (MM)</b>	<b>CARACTERÍSTICAS</b>
Páramo Subalpino y Páramo Pluvial Subalpino	3-6	500 - 1000	Poca evapotranspiración
Bosque Pluvial Montano	6-12	> 2000	ETP < P
Bosque muy Húmedo Montano Templado	6-12	1000-2000	ETP < P
Bosque Húmedo Montano Cálido	6-12	500-1000	Poca evapotranspiración
Bosque muy Húmedo Montano	12-17	> 2000	Poca evapotranspiración
Bosque Húmedo Montano Bajo	12-17	1000-2000	evapotranspiración apreciable
Bosque Húmedo Premontano	17-24	1000-2000	No hay deficiencias de agua
Bosque muy Húmedo Premontano	17 y 24	> 2000	ETP < P
Bosque Seco Premontano	17-24	500-1000	En verano puede presentarse deficiencia de agua para los cultivos
Bosque Seco Tropical	> 24	1000-2000	ETP < P

Según esta clasificación, la cuenca en su parte alta corresponde a un bosque húmedo premontano, mientras que la zona de meseta corresponde a un bosque tropical seco.

<sup>2</sup> Ramírez (1981), citado por: MENDOZA & SANDOVAL, 2002.

## 1.4 GEOLOGIA

Estructuralmente la cuenca de estudio se encuentra afectada por el sistema de fallas Bucaramanga-Santamarta, producto del estado tectónico compresivo regional, debido al choque entre las placas del caribe y suramericana. Este movimiento genera desplazamientos rumbo-deslizantes en el noroeste de Suramérica.

La dirección aproximada de la falla principal es de aproximadamente N20 -30W buzando hacia el Oeste y enfrentando la zona en dos tipos de litologías diferenciadas, al Este el macizo de Santander y al Oeste una zona de abanicos aluviales. Se sugiere que predominan los buzamientos hacia el oeste, indicando que el Neis es estratigráficamente el tipo de roca más bajo<sup>5</sup>.

Topográficamente en la Cuenca se distinguen 4 zonas que corresponden a formaciones geolitológicas diferentes<sup>6</sup>:

- La zona montañosa al oriente formada por rocas ígneas en diferentes estados de meteorización
- La zona occidental formada por areniscas
- La formación Bucaramanga
- Los aluviones próximos a los ríos que forman la cuenca

La zona montañosa formada por rocas ígneo-metamórficas, son suelos de texturas que van de franco-arenosas hasta arcillosas en su gran mayoría con pendientes muy fuertes (entre 25° y 40°). Se extienden sobre una superficie aproximada de 110000 Ha mas o menos (78% del área total de la cuenca) y están formados por rocas tipo granítico, neis y micacitas. El granito se encuentra principalmente en la zona de Berlín, la Corcova y Santacruz. Esta unidad litológica se diferencia en la zona, por su patrón de drenaje dendrítico a subdendrítico<sup>7</sup> y la erosión que va de leve a excesiva

---

<sup>6</sup> La información geológica se tomó de INGEOMINAS. WARD, D. etal. Geología de los cuadrángulos H12 y H13, Bucaramanga y Pamplona. Volumen XXI, número 1-3. 1973

<sup>7</sup> BELTRÁN, & REY. 2002. Pág. 24.

La zona occidental son suelos formados in situ durante el secundario en los períodos Jura-triásicos y cretáceo. Son suelos de textura arenosa, con pendientes generalmente leves. En su gran mayoría, con muy fuerte erosión difícilmente recuperables. Esta zona comprende el 10%.

La formación Bucaramanga son suelos formados por el cuaternario, debido a aluviones antiguos procedentes del ígneo-metamórfico y del Jura-triásico. Son suelos de textura arenoso-franco en superficie, muy inestable y poco propenso a la erosión en razón de la poca pendiente (0 a 3%). Estos suelos forman cerca del 7% de la superficie.

Hacia el extremo occidental de la falla Bucaramanga-Santamarta, en el sector de la meseta de Bucaramanga, se ha reconocido una formación geológica tipo cono aluvial conformada por una gran variedad litológica consistente en la unión de depósitos llamados abanicos, cuyo material proviene de las quebradas que nacen en el macizo de Santander. Los aluviones forman menos del 5% del territorio y son suelos que permiten un relativo alto nivel de intensificación.

## **1.6 PRECIPITACION**

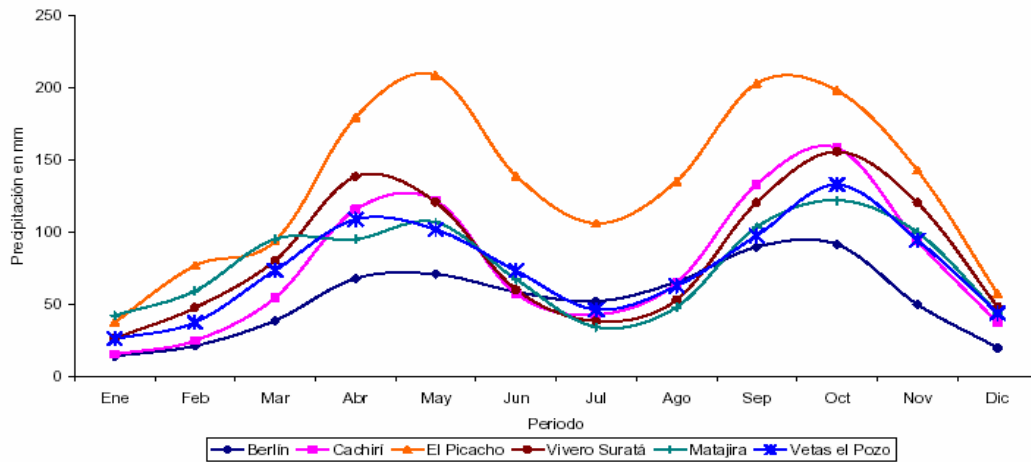
El estudio de Arenas & Ruiz<sup>8</sup> (2005) divide en dos zonas la cuenca para diferenciar el régimen de lluvias:

- En la parte superior de la cuenca, un ciclo anual muy bien definido que se ha mantenido invariable a través del tiempo donde se presentan dos periodos secos y dos periodos húmedos atribuidos a la circulación de la zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), normal en la zona de la Cordillera Andina de Colombia.

---

<sup>8</sup> Arenas, Juan P. y Ruiz, Juan S. En tesis de grado: Estudio de la variación del régimen de lluvias en la Cuenca Superior del río Lebrija (C.S.R.L).Bucaramanga, 2005.

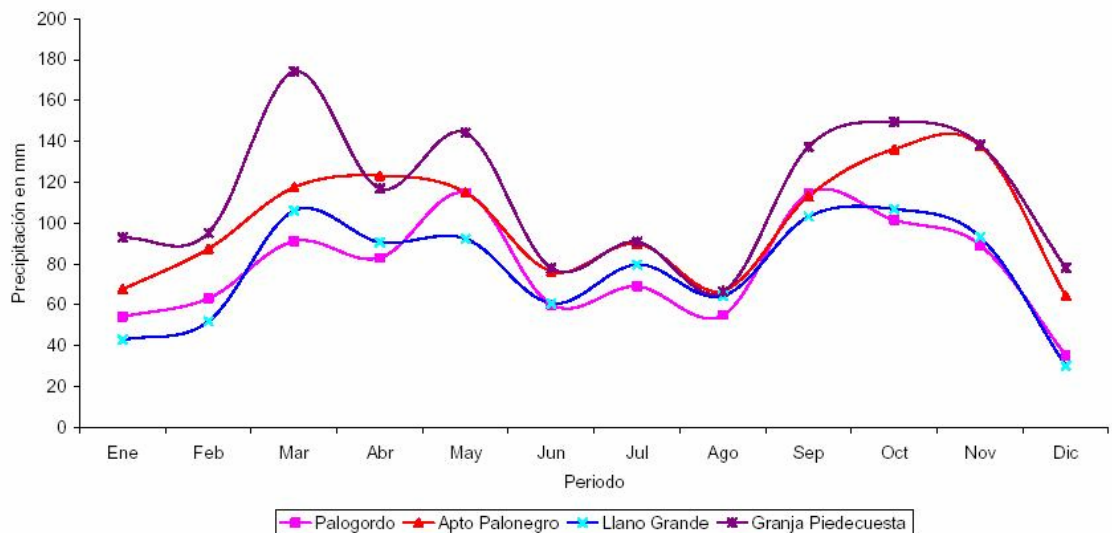
Figura 2. Precipitación media anual parte alta de la cuenca 1990-2003



Tomada de Arenas, Juan P. y Ruiz S. Estudio de la variación del Régimen de llluvias en la Cuenca del río Lebrija.

- Mientras que en la zona metropolitana de Bucaramanga se pudo determinar una variación en la tendencia mensual de las llluvias a través de los últimos años, observándose un comportamiento anual de la precipitación que no sigue un comportamiento bimodal estos cambios se han venido acentuando a través de los años, por otra parte en los años donde se presenta el ENSO o fenómeno del niño muestra una distribución anual semejante a la de la parte alta de la cuenca.

Figura 3. Precipitación media anual área metropolitana de Bucaramanga 1990-2002



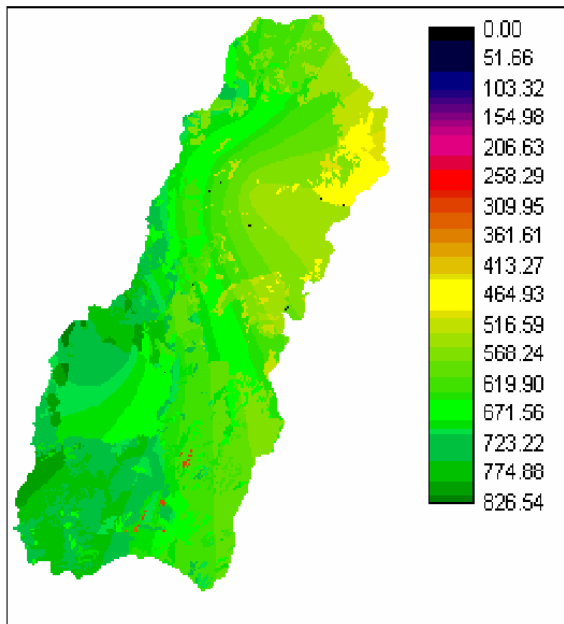
Tomada de Arenas, Juan P. y Ruiz S. Estudio de la variación del Régimen de Lluvias en la Cuenca del río Lebrija.

El valor de la precipitación promedio anual de la cuenca esta entre 1148.8 mm/año y 1206.63 mm. /año, Encontrándose el optimo pluviométrico a una altura de 1800 m.s.n.m. con una precipitación promedio multianual de 1886.42 mm. /año

### 1.7 EVAPOTRANSPIRACION

En el trabajo realizado por Palacios y Otero (2005)<sup>9</sup> se calcula la evapotranspiración real de la cuenca llegando a estimar su valor medio en 723.77 mm./año. Con un valor de medio 859.91 mm./año la subcuenca del río de Oro se ubica con la mayor evapotranspiracion mientras que los valores mas bajos en promedio se obtienen en la subcuenca de Vetas, 557.48 mm. /año. La ecuación FAO Penman Monteith fue aplicada para el cálculo de la evapotranspiración, en la figura 4. se presenta la variación de esta a lo largo de la cuenca.

Figura 4. Evapotranspiración real anual mm. (CSRL)



<sup>9</sup> Palacios S. & Otero J.; 2005. Tesis de grado “Estimación de la evapotranspiración real de la Cuenca Superior del Río Lebrija” Bucaramanga, Colombia.

## 1.8 ESCORRENTIA

El valor de escorrentía media ha sido retomada de trabajos elaborados anteriormente, (Rueda y Sarmiento, 2003) calculada con un periodo de caudales diarios entre los años 1986-2000, primero dedujeron el caudal promedio multianual en el cierre de la Cuenca, (la estación limnimetrica Café Madrid) este tiene dos componentes la superficial y la subterránea o flujo base, esta ultima hallada por medio de métodos de intervalo, de esta manera la diferencia entre el caudal medio total y el caudal de flujo base dará la escorrentía superficial como resultados de escorrentía se obtuvo:

- Método del intervalo fijo 86 mm/año 22 %  $Q_T$
- Método del intervalo desplazado 66 mm/año 17 %  $Q_T$
- Método del mínimo local 90 mm/año 23 %  $Q_T$
- Método de la pendiente constante 125 mm/año 32 %  $Q_T$

En otro estudio más reciente (Balaguera y Serrano, 2006) se estima el flujo base por medio de métodos de algoritmos, con periodo de caudales anuales mas prolongado entre 1970-2000 los resultados se presenta a continuación:

- Lyne y Hollick 195.5 mm/año 50%  $Q_T$
- Boughton 121 mm/año 69%  $Q_T$
- **IHACRES 113.4 mm/año 71%  $Q_T$**
- Smakhtin 109.48 mm/año 72%  $Q_T$

Los anteriores valores se calculan, teniendo en cuenta los porcentajes obtenidos de flujo base del trabajo anteriormente nombrado con un caudal total medio multianual en el cierre de C.S.R.L. de 391 mm/año, el método recomendado por los autores (Balaguera, et al, 2006) es el calculado por IHACRES o algoritmo de tres parámetros para más información se recomienda ir a la fuente<sup>10</sup>.

---

<sup>10</sup>SERRANO, Adriana y BALAGUERA, Giovanni. En tesis de grado: Separación del flujo base en la estación Café Madrid (C.S.R.L.). Bucaramanga, 2006.

## **2. RECARGA DE ACUIFEROS**

### **2.1 CONCEPTO DE RECARGA**

En términos generales se denomina recarga al proceso por el que se incorpora a un acuífero agua procedente del exterior o contorno que lo limita. Son varias las fuentes de recarga, desde la infiltración de la lluvia (la más importante en general) y de las aguas superficiales (importante en climas poco lluviosos), hasta la transferencia de agua desde otro acuífero o acuitardo, si los mismos son externos al acuífero en consideración.

La recarga natural a los acuíferos comprende la que produce la lluvia a través del suelo, la que se produce en cauces de torrentes y ríos y la que procede de transferencias desde otras unidades hidrogeológicas. A estas se suman aquellas que son consecuencia inevitable de las acciones antrópicas, tales como las que proceden de excedentes de riego, fugas de redes de abastecimiento, saneamiento y regadío e infiltraciones de embalses y depósitos.

La recarga puede ser difusa, preferencial o concentrada, en caso de complejas circunstancias a nivel local tales como la existencia de encharcamientos, cambios en las condiciones de suelo, sedimentos, niveles de baja permeabilidad en el medio no saturado, etc. Las zonas húmedas del suelo se pueden dividir en dos partes: la zona saturada y la zona no saturada, ésta última es llamada también, zona vadosa o zona de aireación. La zona saturada está limitada en la parte superior por la superficie freática (sometida a presión atmosférica); en ella el agua llena completamente los vacíos existentes entre los materiales del suelo.

Siempre se trata con valores de recarga con una intrínseca incertidumbre asociada, como son las evaluaciones de otras magnitudes hidrológicas, y

sometidos a la variabilidad que les impone la naturaleza estocástica de la precipitación y de la escorrentía, y el efecto de otras variables climáticas (temperatura, humedad atmosférica,...) y biosféricas (cobertura vegetal, desarrollo radicular,...). Esta imprecisión se puede reducir, acotar y evaluar mediante la observación y medida de la recarga, y así se tiene un proceso progresivo que lleva a un más preciso conocimiento a medida que es necesario conocer mejor el comportamiento de un sistema acuífero.

En el caso de la recarga por la lluvia, que como se ha dicho es la situación más común y regionalmente más importante, tras descontar de la precipitación la parte del agua que queda interceptada por la vegetación (que luego se evaporará) y la parte del agua detenida en superficie (que asimismo se evaporará), lo que queda lluvia útil para algunos autores) se reparte entre escorrentía superficial directa (agua que escurre sobre el terreno) e infiltración. Parte de la escorrentía superficial directa puede infiltrarse aguas abajo en encharcamientos o allí donde las condiciones del terreno sean favorables al proceso. La tasa (intensidad o valor por unidad de tiempo) de estos componentes varía a lo largo del evento precipitación. Así la interceptación y detención son importantes al inicio de la lluvia, la infiltración decrece con el tiempo y la escorrentía superficial aumenta a lo largo de lluvia.

De un modo general se puede decir que los principales objetivos de la evaluación de la recarga de acuíferos en la planificación hidrológica son:

- Estimación del caudal extraíble que entra al acuífero, con esto se contesta a preguntas como: ¿durante cuánto tiempo se puede extraer dicho caudal de ese pozo o de otros que actúan simultáneamente con el para no incurrir en la sobreexplotación de este?, este concepto llamado caudal seguro<sup>11</sup> si se considera que las reservas hidráulicas superficiales (lagos, embalses, etc.) o subterráneas,

---

<sup>11</sup> CUSTODIO E. & LLAMAS M.; 1996. Hidrológica Subterránea

no pueden o no deben modificarse sustancialmente a lo largo de unos cuantos años de explotación.

- Evaluar los recursos hídricos explotables. Conocer sus oscilaciones interanuales (específicamente en periodos secos) y, en su caso estacionales, para de este modo abastecer a la comunidad local de una manera mas optima.

### **Métodos de evaluación de recarga**

En general, las técnicas para estimar la recarga pueden ser divididas en físicas y métodos químicos. Métodos físicos como lisímetros, balances de agua, medidas de flujos de agua en el suelo y fluctuaciones de niveles freáticos son especialmente propensos a errores en regiones semi-áridas porque ellos solamente miden la recarga en momentos específicos y/o puntos, lo anterior sugiere series temporales largas de observaciones de múltiples puntos para reducir errores. Tales detalles son rara vez tomados y son probablemente no justificables económicamente.

Los métodos químicos para estimar la recarga basados en la distribución de un trazador ( $^2\text{H}$ ,  $^3\text{H}$ ,  $^{14}\text{C}$ ,  $^{18}\text{O}$  y  $\text{Cl}^-$  siendo el mas común) Tienen ventajas sobre los físicos. En contraste con la variabilidad espacial de la precipitación, las concentraciones de los trazadores son espacialmente uniformes dentro de la superficie del suelo, o, en el caso del tritio, su radiación es históricamente conocida (Lerner<sup>12</sup> et al., 1990). Mientras que los datos de los métodos físicos son solamente validos durante la duración de el periodo de monitoreo, un acuífero o terreno puede tener reservas suficientes cuantificables por un trazador para representar muchos años de recarga, que no puede ser estimada con los registros históricos.

---

<sup>12</sup> Lerner, D.N., Issar, A.S. and Simmers, I., 1990. Groundwater Recharge. A Guide to Understanding and Estimating Natural Recharge, Vol. 8. Heinz Heise, Hanover, p. 247-256.

La geoquímica de trazadores en la zona saturada provee una atractiva alternativa, así ella reflejan una composición a lo largo del tiempo de aportaciones medias de trazadores, de ese modo guardando resultados complejos de las rutas de recarga. No obstante el uso de trazadores en la zona saturada para evaluar la recarga cuantitativamente ha recibido poca atención. Como las variaciones en la geoquímica son muy distintas en zonas semiáridas que en áreas húmedas (Fontes<sup>13</sup> et al., 1986), especialmente en acuíferos de roca fracturada donde la mezcla lateral esta restringida, estos pueden también ser mas fácilmente relacionados a variaciones en la recarga. Un método para obtener la recarga media anual histórica esta basado en las concentraciones de cloruro en la recarga y en la precipitación.

## **2.3 METODO DE BALANCE DEL ION CLORURO**

### **2.2.1 Consideraciones generales**

Muchas sustancias intervienen en procesos naturales dinámicos llamados ciclos, de forma que sufren en ellos un transporte en diferentes estados y pasos para volver finalmente a su estado inicial estos ciclos son algo abiertos en el sentido de que pueden incorporar nueva materia, mientras que otra porción es separada temporal o definitivamente del ciclo de forma que en general se mantiene constante el transporte. El ciclo de las sales solubles móviles en la hidrosfera y del ión cloruro son de especial integres para las aguas subterránea.

En la figura 8 del ciclo de las sales solubles en la que se ve la existencia de un aporte de sales al océano a través de la escorrentía total, pero que el océano devuelve sales al ciclo ya sea a través del terreno, del transporte aéreo, por arrastre en la evaporación. En este ciclo no todos los iones se comportan de la misma manera, unos son muy solubles y prácticamente inalterables, y no logran

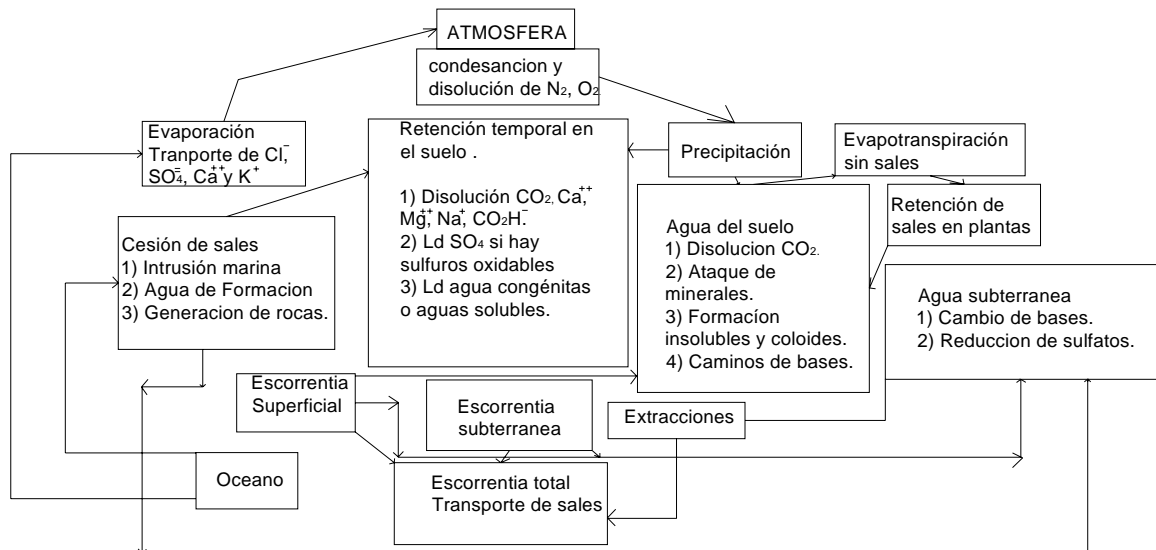
---

<sup>13</sup> Fontes, J.C., Yousfi, M. and Allison, G.B., 1986. Estimation of long-term groundwater discharge in the northern Sahara using stable isotope profiles in soil water. J. Hydrol., 86: 315-327.

saturar como el ión cloruro, mientras que otros saturan con facilidad o son fácilmente separados por procesos químicos y/o biológicos como el calcio y el sílice. El agua del mar ha ido aumentando lentamente su contenido del ión cloruro a lo largo de la vida de la tierra mientras que el contenido del ión Ca y SiO<sub>2</sub> se debe haber mantenido casi constante desde hace mucho tiempo.

En lo que se refiere completamente al ciclo del ión cloruro uno de cuyos principales retornos es a través de la evaporación oceánica según datos contenidos en Hem (1959) Pág. 109, el agua lluvia aporta a los continentes 99\*10<sup>9</sup> Kg. /año de ión cloruro, mientras que la escorrentía superficial devuelve al mar 150\*10<sup>9</sup> Kg./año aunque esta apreciación es cierta y discutible. El aporte por nuevas disoluciones en las capas superiores de la corteza terrestre parece poco importante ya que las rocas contienen en general proporciones muy bajas de ión cloruro.

Figura 5. Ciclo de las sales solubles



El balance no ajusta bien y ello es a causa de los errores en las estimaciones de cada una de las cifras en un estudio realizado por Baldwin en 1971 en varias

cuencas Californianas, solo el 59% del ión cloruro descargado por los ríos al mar es de origen atmosférico, atribuyéndose el resto a aportes profundos en forma de aguas saladas, cita trabajos de otros autores según los cuales en otros lugares sucede algo similar ( 55% en Japón, 49% en Nueva Gales, 55% a 70% en Queensland ) pero en Escandinava y New Hampshire la lluvia responde a prácticamente todo el aporte.

### **2.2.2 Método**

El balance de cloruros es un método basado en el transporte de masa, mas exactamente en el transporte del Ion cloruro, aportado por la precipitación, atmosférica. Este Ion es un Ion conservativo que normalmente no es aportado por el terreno, entre las características de éste tenemos:

- Es muy soluble no forma parte de precipitados hasta que llega a concentraciones muy elevadas (cientos de g/L), lo cual solo sucede en condiciones áridas.
- No interacciona con el medio, salvo un pequeño intercambio iónico con materia orgánica, no sufre reacciones significativas de absorción y adsorción.
- El terreno carece de cantidades significativas del mismo, la meteorización de las rocas no lo suele aportar y apenas forma parte de materia vegetal.

### **Limitaciones y generalidades**

- La utilización del balance de cloruro no puede realizarse en terrenos sometidos a actividades humanas importantes, tales como abonados, riego, vertidos de aguas usadas y fugas de redes de distribución de agua, salvo que se tenga un buen conocimiento de las mismas.

- Los afloramientos de roca formados por sales evaporitas (halita, yesos que incluyen sales haloideas intercaladas o atrapadas en poros) y los terrenos que han estado recientemente sometidos a invasión de aguas saladas marinas o continentales y que aun conservan restos de las mismas, contiene cantidades significativas.
- La caracterización del contenido de cloruro en la precipitación requiere un prolongado periodo de muestreo, pero es un valor característico de un lugar, el calculo de la recarga se reducirá después a caracterizar bien su salinidad mediante la observación del medio no saturado o de la parte de acuífero mas próxima al nivel freático.
- Es recomendada para zonas semiáridas, ya que en estas zonas la influencia de las componentes hidrológicas diferentes a la precipitación y la recarga, son menos sensibles.

### **Deducción:**

Distintos autores, (Schoeller, 1962; Custodio y Llamas, 1976; Iglesias et al., 1997) han aplicado este método químico para estimar la recarga de agua a la capa freática a partir de la concentración que sufre el ión cloruro como resultado de la evapotranspiración y que expresa la relación entre la precipitación y la recarga. El cloruro, dada su elevada solubilidad, es considerado un ión conservativo y un trazador natural del movimiento del agua ya que el terreno lo aporta en ínfima proporción. Este método basado, en el transporte de masa, es alternativo a los hidrodinámicos y en buena medida independiente de ellos, por lo que resulta de interés para contrastar resultados (Custodio, 1997).

La aplicación del método es de carácter regional y de las estimaciones resultan un promedio de la recarga ocurrida en un período de tiempo mas o menos prolongado, dependiendo de cada región.

El balance es explicado en Custodio y Llamas<sup>14</sup> para un caso general de la siguiente manera:

En una cuenca cae P mm./año de precipitación con un contenido medio de cloruros de  $C_p$  (mg/L), de los cuales  $E_s$  mm/año son de escorrentía superficial suponiendo que esta no produce eliminación de sales; en zonas áridas puede ser que el balance sea algo pesimista ya que la concentración de sales en la reducida escorrentía puede ser varias veces el agua lluvia. Y E se evapotranspira, en un balance a largo plazo donde el cambio en el almacenamiento  $\Delta s$  es cero, la infiltración profunda sera:

$$I = P - E_s - E \quad (\text{mm/año}) \quad (1)$$

Suponiendo la infiltración profunda igual a la precarga es decir  $I=R$ :

$$R = P - E_s - E \quad (\text{mm/año})$$

Por otro lado se plantea el balance de masa del ion cloruro, donde el ion es muy próximo al trazador ideal simulando el movimiento del agua bajo el terreno, es decir las entradas de cloruro son iguales a las salidas:

$$C_R = C_p - C_{E_s} - C_E \quad (\text{mg/L}) \quad (2)$$

Y si  $C_R$  (mg/L) es el contenido en cloruros en el agua de infiltración profunda y tomada como la recarga al acuífero, llamaremos  $a_s$  al posible aporte de cloruros tomados o aportados artificialmente dependiendo del tipo de actividades que se desarrollen dentro de la cuenca si es extensivamente agrícola o ganadera este aporte será substancial, dado en  $\text{g/m}^2/\text{año}$ ,  $a_v$  es la retención en la vegetación y  $a'_v$  es la devolución de sales al suelo por la vegetación al morir, también en  $\text{g/m}^2/\text{año}$ , multiplicando la ecuación (1) y (2),adicionando los tres componentes anteriores y tomando la concentración de ion cloruro en la escorrentía igual a la de la precipitación :

$$R * C_R = (P - E_s) * C_p - E * C_E + a_s - a_v + a'_v \quad (3)$$

---

<sup>14</sup>Custodio & Llamas Hidrología Subterránea 1996, p.1034

Pero en el proceso de evapotranspiración el cloruro no es devuelto a la atmósfera sino que se concentra en el agua, concluyendo finalmente en la recarga, de esta manera la ecuación queda:

$$R \cdot C_R = (P - E_s) \cdot C_p + a_s - a_v + a'_v \quad (4)$$

Suponiendo que el aporte de cloruros tomados del suelo o aportados artificialmente  $a_s$  es nulo, como es frecuente, y que  $a_v = a'_v$  si no es un terreno cultivado intensamente y existe un equilibrio entre materia orgánica viva y en descomposición y tomando los valores promedios de cada uno de los términos implicados, así el balance de cloruros entre la concentración en el agua de lluvia y de la capa freática:

$$R = C_p / C_R (P - E_s) \quad (5)$$

Donde  $R$  es la recarga,  $E_s$  es el escurrimiento superficial directo cuya concentración de cloruros se asume igual a la del agua de lluvia;  $C_p$  y  $C_R$  son las concentraciones de cloruros en el agua de lluvia y en la capa freática respectivamente.

Si la escorrentía es muy pequeña (terrenos muy llanos y con buena permeabilidad superficial) se puede llegar a:

$$R = C_p / C_R \cdot P \quad (6)$$

Para la aplicación de lo expuesto a la evaluación de la recarga media es preciso conocer para cada lugar los valores medios de  $P$ ,  $C_p$  y  $C_R$ .

Estas simples relaciones permiten calcular la recarga y la evapotranspiración, si el terreno apenas aporta lon cloruro por medio del agua lluvia. Se supone que el terreno y la vegetación actúan como reguladores para amortiguar las variaciones estacionales.

Para conocer el valor promedio de  $C_P$ , a falta de datos previos es necesario muestrear la lluvia durante un periodo dilatado de tiempo<sup>15</sup>.

El valor de  $C_R$  debe medirse en la parte superior del acuífero freático para evitar considerar el aporte y/o lixiviado freático de cloruros. Esto hace que lo que se considera no sea la recarga sino la recarga en tránsito, pero cerca del nivel freático y por lo tanto asimilable a la recarga real.

Si el nivel freático es poco profundo hay que muestrear esporádicamente a lo largo de por lo menos 2 a 4 años para conocer el valor promedio de  $C_R$ <sup>16</sup>. En zonas donde existe suficiente relieve y si hay manantiales colgados que representen la recarga en tránsito, basta un muestreo o pocos muestreos para conocer el valor promedio de  $C_R$ . Otra forma de muestrear el valor de  $C_R$  es recurrir a pozos que perforan someramente el acuífero freático pues se supone que el agua que proporcionan es fundamentalmente la recarga local, en estos casos basta con una muestra o muy pocas.

El ion cloruro al no ser fácilmente alterado durante los procesos de infiltración permite realizar el balance con cierta garantía, cosa que no ocurre con otros iones.

Los resultados del balance del ion  $Cl^-$  son buenos en zonas áridas y en zonas llanas, pero no tanto en zonas húmedas o con elevada escorrentía superficial<sup>17</sup>

El balance para cuencas planas se explica a continuación:

En cuencas donde el cloruro puede ser muestreado por ser únicamente de origen atmosférico la concentración en la recarga relacionada a que en la lluvia puede ser usada para calcular la recarga media anual. Estimaciones de concentraciones de cloruro para cuencas planas o donde la escorrentía superficial no tenga un valor

---

<sup>15</sup> En principio no menos de 3 años

<sup>16</sup> Custodio E. Las caras del aguas subterránea. 1997

<sup>17</sup> Custodio & Llamas. Hidrología Subterránea. 1996

importante, puede ser obtenida la mayor parte de la precipitación ilustrado de la siguiente manera:

$$J_p = C_p P \quad (7)$$

Donde  $J_p$  es la densidad de flujo vertical ( $\text{mg m}^{-2} \text{año}^{-1}$ ),  $C_p$  es el valor de la concentración media de cloruro en la lluvia ( $\text{mg l}^{-1}$ ) y  $P$  es la precipitación media (mm).

Por debajo del suelo donde la escorrentía de superficie es insignificante, el flujo de cloruros para la superficie es igual al flujo del nivel freático. Una eliminación durante la precolación es improbable, como el ión no forma sales a menos que las concentraciones sean demasíadamente altas, este no es absorbido por los minerales de la superficie, y además cumple pocos roles bioquímicos (Dettinger<sup>18</sup>, 1989). Sin embargo, las concentraciones de cloruros son las últimas a ser precipitadas y las primeras en ser infiltradas en posteriores eventos de lluvia como resultado, factiblemente todo el cloruro será disuelto en el volumen de agua alcanzando la recarga y esta concentración en el agua recargada reflejara la fracción de agua lluvia que llega al nivel freático.

Bajo la creación de estas condiciones donde la dispersión hidrodinámica puede ser ignorada y el flujo es esencialmente vertical, esta relación puede ser expresada como:

$$R = J_p / C_r \quad (8)$$

Donde  $R$  es la recarga anual media (mm.) y  $C_r$  la concentración media de cloruros en el agua percolada ( $\text{mg, L}^{-1}$ ). Esta relación no es estrictamente valida en la recarga si se toma en cuenta las diferencias laterales en  $C_r$  resultantes de variaciones en el transporte horizontal, De aquí que la recarga no puede ser

---

<sup>18</sup> Dettinger, M.D., 1989. Reconnaissance estimates of natural recharge to desert basins in Nevada, U.S.A., by using chloride-balance calculations. J. Hydrol., 106: 55-78.

calculada solamente del agua subterránea local a menos que R y C<sub>r</sub> sean espacialmente uniforme.

De acuerdo con Ericsson y Khunakasem<sup>19</sup> (1969), el flujo de cloruro en la dimensión horizontal en un acuífero que es bien mezclado verticalmente, J<sub>c</sub> (mg m<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>), podría ser relacionado con la acumulación vertical de flujos desde una distancia horizontal x (m) empezando en el límite de la cuenca y a lo largo de las rutas de flujo de esta forma:

$$J_c = \int_0^x J_p dx \quad (9)$$

Y el flujo lateral de cloruro puede ser expresado como:

$$J_c = 1000Q_g C_g \quad (10)$$

Donde C<sub>g</sub> la concentración de cloruro en el agua subterránea a una distancia x, la instauración de flujo subterráneo Q<sub>g</sub> (m<sup>3</sup> m<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>) en un punto x puede ser calculado. Porque bajo la condición de flujo subterráneo estará relacionado con la recarga de la siguiente manera:

$$R = dQ_g / dx \quad (11)$$

Una integración de R a lo largo de la dirección horizontal de las líneas de flujo proporcionara el volumen de recarga.

La mayor desventaja de este método de computación es que en la ecuación (3) asume condiciones uniformes en el acuífero, así como que el cloruro es acumulado a largo de rutas unidimensionales de flujo. Si existieran convergencias de flujo, o si algunas redistribuciones laterales de sales ocurren en la superficie antes de la infiltración. Las relaciones analizadas arriba podrían no ser estrictamente validas. En ambientes semiáridos, sin embargo, las redistribuciones

---

<sup>19</sup> Eriksson, E. and Khunakasem, V., 1969. Chloride concentration in groundwater, recharge rate and rate of deposition of chloride. In the Israel coastal plain. J. Hydrol., 7:178-197.

laterales de la infiltración Hortoniana de escorrentía localizada dentro de las zonas de recarga y de la transmisión de perdidas en canales son mecanismos de recarga comunes. Es mas, en acuíferos de rocas fracturadas el agua subterránea tiende a ser concentrado en grandes fracturas estrechas, usualmente localizadas en el valle inferior. Flujos de cloruro son por lo tanto relacionados a la carga de cloruros del área de donde las fracturas colectan agua. El transporte de sales al valle inferior por la superficie de escorrentía sugiere que las áreas de contribución pueden ser definidas por la topografía del terreno. Bajo la creación de condiciones laterales para la exportación de cloruro podrían ser relacionadas al flujo vertical y a la suma de las contribuciones de las áreas de las subcuencas dado por:

$$J_s = J_p \sum A_j \quad (6)$$

Donde  $J_s$  es la tasa de cloruro a exportar ( $\text{mg año}^{-1}$ ) y  $A$  es el área de la subcuenca ( $\text{m}^2$ ). Así el flujo de cloruro fuera de la subcuenca es principalmente relacionado a la concentración de cloruro de las aguas subterráneas en la zona de fracturas donde la mayoría de salidas ocurren, La descarga anual de agua subterránea de la subcuenca puede ser calculada por:

$$Q_d = J_s / 1000 C_g \quad (12)$$

Donde  $C_g$  es la concentración media de cloruro en el agua subterránea de la zona de fracturas y la recarga en la subcuenca es:

$$R = 1000(Q_{doj} - Q_{dij}) / A_j$$

Donde o y i son salidas subterráneas y j entradas a la subcuenca.

### **2.2.3 La relación Cl/Br como indicador del origen de la salinidad de los acuíferos.**

Tanto los iones cloruro (Cl) como bromuro (Br) que se encuentran disueltos en el agua son trazadores muy próximos al comportamiento del trazador ideal (Custodio y Llamas, 1983, cap. 12.2), dado el carácter hidrófilo y el pequeño radio iónico. Eso quiere decir que los procesos físico-químicos que tienen lugar en el terreno, aunque pueden afectar a sus concentraciones absolutas (dilución, evaporación,

mezclas), no modifican el valor de su relación. Por el contrario las sales disueltas guardan razonable memoria de la composición de la materia soluble que ha dado origen a la salinidad en cuanto al Cl y Br se refiere.

De acuerdo con Davis et al. (1998), Custodio y Herrera (2000) y Whittemore (1988), y las numerosas referencias contenidas en esos trabajos, se tienen los siguientes valores de R, a título de información o guía:

a) Agua marina no contaminada:  $655 \pm 4$

b) Agua de lluvia continental: variable entre 50 y 650, pudiendo ser  $< 50$  en áreas en que el aire atmosférico está muy afectado por quemado de gasolinas de automoción.

c) Agua de lluvia costera: valor similar al marino, o menor, aunque en zonas cálidas con mar agitado es posible que  $R > 650$ , hasta 1000.

d) Los gases de quemado de gasolinas de automoción y los nematocidas tipo bromuro de metilo hacen disminuir el valor de R respecto del valor marino.

e) La disolución de halita (incluido el uso doméstico) eleva el valor de R hasta varios miles, pero la disolución de haluros procedentes de salmueras muy concentradas (carnalita, silvita) puede hacer disminuir el valor de R respecto al marino.

f) Los gases volcánicos aportan haluros generalmente con  $R > 650$ , quizás hasta 900, aunque existe una gran variabilidad.

**Deducion:**

Sea una mezcla de:  $X$  = fracción ponderal de agua no marina, con CN, BN y RN, y  $1-X$  = fracción ponderal de agua marina, con CM, BM y RM, siendo C, B y R

respectivamente las concentraciones de cloruros, bromuros y  $R = Cl/B$  (en las mismas unidades, o ponderales o molares) para el agua no marina (N), marina (M) y también para la mezcla (m). La conservación de la masa exige que:

$$C_m = C_N X + C_M (1 - X) \quad (1)$$

$$B_m = B_N X + B_M (1 - X) \quad (2)$$

$$R_m = \frac{C_m}{B_m} = \frac{C_N X + C_M (1 - X)}{B_N X + B_M (1 - X)} \quad (3)$$

Escribiendo  $\frac{1}{R_m} = \frac{B_N X + B_M (1 - X)}{C_m}$  y despejando X de (1) se obtiene finalmente

$$\frac{1}{R_m} = \frac{1}{C_M - C_N} \left( (B_M - B_N) + (B_N C_M - B_M C_N) \frac{1}{C_m} \right) \quad (4)$$

De modo que en un gráfico  $1/R$  en función de  $1/C$  las mezclas entre las aguas M y N se representan según una recta que une los puntos representativos de las aguas M y N. En un gráfico  $R$  en función de  $C$  esa recta se transforma en una curva que no cambia el signo de su pendiente.

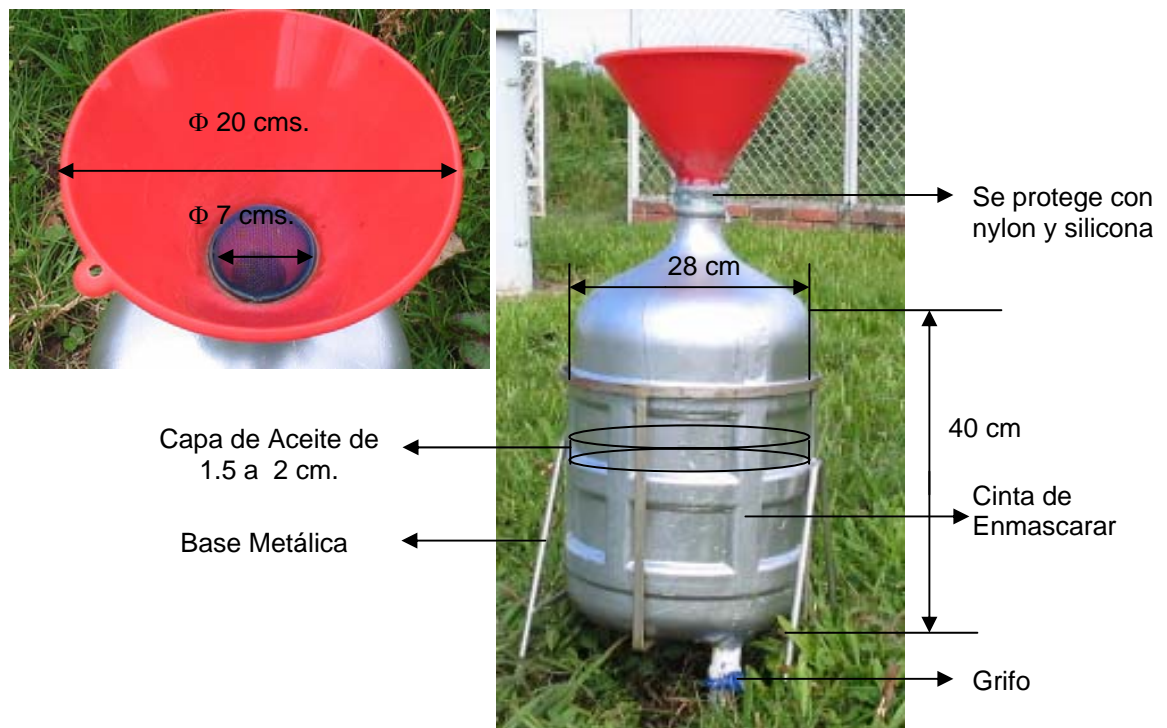
### 3. TOMA DE MUESTRAS

Para el desarrollo de este trabajo se utilizó la red de colectores de precipitación implementados en un trabajo anterior (Guzmán y Camacho<sup>20</sup>, 2005) ideados inicialmente para el análisis isotópico de aguas lluvias, nueve de estos se tomaron para el análisis de parámetros fisicoquímicos y dentro de ellos cinco para hacer un muestreo el ion cloruro.

#### 3.1 COLECTORES DE PRECIPITACION

Existen dos clases de colectores de aguas lluvias uno especialmente para la parte alta de la cuenca donde hay menos evaporación debido a las bajas temperaturas, como se ilustra en la foto 1.

Foto 1. Colector 1 de aguas lluvias parte alta de la Cuenca

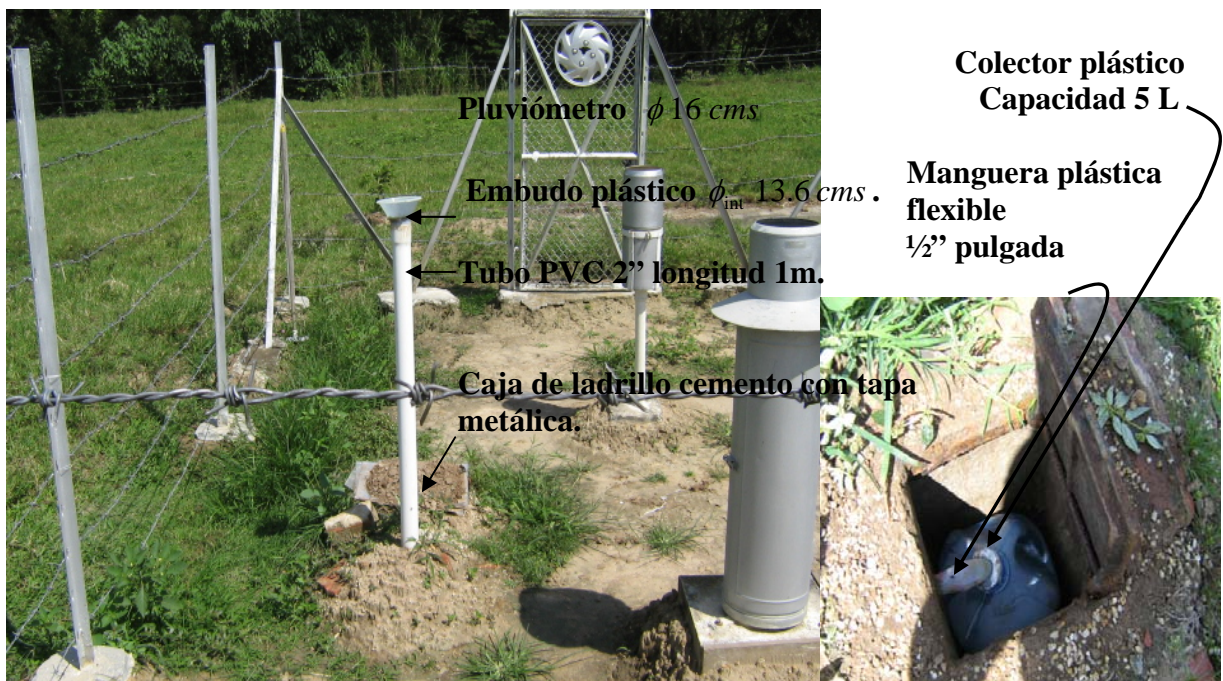


<sup>20</sup> Guzmán D. & Camacho H.; 2005. Tesis de grado "Implementación de una red de muestreadotes de isótopos estables para obtener la recta meteórica local". Bucaramanga, Colombia

El colector 1 consiste en un botellón plástico transparente con capacidad de 20 litros, aforado cada litro recubierto de pintura plateada para reflejar los rayos solares y de esta forma mitigar calor para evitar evaporación del agua lluvia, una fase de aceite mineral estará siempre en la parte superior, de este modo el agua ira quedando protegida por dicha capa y finalmente un grifo en la parte inferior del colector para extraer el agua lluvia al momento de realizar el muestreo.

El segundo tipo de colector es de tipo enterrado para protegerlo de las altas temperaturas y la evaporación de la parte baja de la cuenca, la foto 2 ilustra el colector enterrado instalado en la estación La granja Piedecuesta.

Foto 2. Colector tipo 2 para precipitación en la parte baja de la cuenca.



Este **colector 2** tiene un colector plástico de 13.6 cms con un embudo similar al colector 1 unido a una manguera flexible de 1/2 pulgada, este termina en un recipiente plástico de 5 litros de capacidad, este se aforo durante cada 250 ml, esto para facilitar la medición del volumen en el muestreo. En el recipiente hay aceite mineral con un espesor de medio centímetro este es menor que el espesor

del **colector 1** porque este colector esta dentro de una caja de ladrillo-cemento recubierta con una capa de tierra de dos centímetros de espesor protegiéndolo de una mejor manera del calor evitando más la evaporación.

### 3.2 PROTOCOLO PARA TOMA DE CLORUROS

El protocolo a su vez puede dividirse en dos uno para precipitación y otro para el agua de recarga, este complementa al elaborado en la primera fase de muestreos, (Duarte y Sánchez, 2005) y aun mas concretamente en el protocolo de agua de recarga subterránea.

#### 3.2.1 Protocolo de la precipitación

Para realizar el muestreo de cloruros en la precipitación se debe poseer los siguientes implementos para garantizar la representatividad de la precipitación almacenada en el colector, así para el tipo **colector 1**:

- ❖ Sonda Multiparametro.

Foto 3. Sonda multiparametros



- ❖ Libreta de campo.
- ❖ Plumas, marcadores con tinta indeleble y lápices.
- ❖ Cinta de enmascarar.

- ❖ Guantes de cuero, botas de goma y/o botas altas, impermeables para lluvia o sombrilla.
- ❖ Agua destilada para lavar los electrodos antes y después de usados.
- ❖ Toalla limpia para secar los electrodos.
- ❖ Teléfono celular, Radio AM/FM para el estado del tiempo.
- ❖ Baterías AA de repuesto para la sonda múltiparametro.
- ❖ Hieleras selladas.
- ❖ Bolsas de hielo.
- ❖ Cinta de teflón.
- ❖ Botellas de polietileno con tapa de rosca y tapón de seguridad.
- ❖ Pintura reflectiva SP100, silicona, aceite mineral.
- ❖ Vaso de plástico desechable 100 ml para medir parámetros fisicoquímicos.

#### **Procedimiento a seguir durante el muestreo:**

- Antes de cada salida se debe revisar la sonda múltiparametro, como: estado de la batería, calibración de los electrodos: pH-redox y salinidad-conductividad si es necesario temperatura aunque este ultimo es recomendable no calibrarlo ya que es muy sensible y delicado de calibrar, no olvidar llevar soluciones buffer (pH\_7 y pH\_4) para la calibración en campo si se están dando valores poco confiables o fuera de los rangos históricos tomados anteriormente en la misma clase de condiciones.
- Llevar un radio para escuchar sobre el estado del tiempo, un teléfono celular para avisar posibles imprevistos.
- Llevar botas pantaneras y sombrilla para cubrir la sonda durante la medición.
- Si en la estación existe pluviómetro se deben copiarlos, esto con el fin de saber si el mes ha sido lluvioso o no, en el caso de que el mes ha sido seco se debe tener mucho cuidado de no desperdiciar agua al momento de recolectarla.
- En la situación más crítica es decir mes seco, se debe tratar de levantar el colector de la manera menos brusca posible para no mezclar el aceite con el agua.

- Se retira la cinta de enmascarar para medir el volumen que se encuentra en el colector, esta medida se compara con la sumatoria de las medidas diarias del pluviómetro para saber si hay un posible escape debido principalmente a dos causas: el embudo no este vencido o roto y el grifo no presente grietas en la pasta con la que esta soldado al colector.
- Abrir el grifo de manera que salga poco agua, para no mezclar el agua y el aceite del colector, durante este lapso de tiempo se debe en lo posible mantener inmóvil el colector.
- En el vaso desechable de plástico de 100 ml. se toman los parámetros fisicoquímicos: pH, temperatura, potencial redox, conductividad eléctrica y salinidad, se introducen los electrodos hasta que se estabilice cada parámetro por lo general se dejan cinco minutos más para volverlos a tomar y luego promediar cada parámetro.
- En un segundo frasco de un volumen de 350 ml se recolectara la muestra para el análisis del ion cloruro esta debe ser mayor de 100 ml porque este es el volumen a analizar en el laboratorio.
- Si hay mas agua en el colector tomarla como contramuestra en un recipiente de medio galón para sustituir pérdidas posibles debido al rompimiento del frasco anterior o pérdidas de la muestra en el laboratorio.
- Marcar cada uno de los envases con el nombre de la estación, fecha y hora. Al tapar colocar cinta teflón para asegurar que no haya pérdidas de agua en los envases.
- Medir el volumen de aceite que permanece en cada recolector, para reponerlo cada vez que hay menos de un litro.
- Comentarios de situaciones especiales u anormales como: insectos en el embudo, vencimiento en el embudo, rompimiento de embudo con sus posibles causas, cinta de enmascarar desprendida, animales de ganadería como vacas, caballos y ovejas, cultivos, chimeneas cerca, es posible que haya contaminación

antrópica en la muestra y se deba a estos animales, cultivos y chimeneas que desprenden gases o sólidos afectando la medición de los parámetros fisicoquímicos y la concentración de cloruro ya que por ejemplo es sabido que el ganado consume grandes cantidades de sal pasando por el organismo y devuelta al medio sin ser absorbida considerablemente devolviendo cantidades de cloruro que al llover se puede evaporar y subir pequeñas alturas depositándose en el colector de agua lluvia alterando la muestra, lo mismo pasa con los cultivos al ser regados con abonos los cuales dependiendo de su naturaleza contienen compuestos que afectan los parámetros fisicoquímicos y su concentración de cloruros en el agua lluvia.

- se sugiere llevar en lo posible llevar un colector y un embudo de repuesto.
- Almacenar las muestras de cloruros a una temperatura de 4°C mientras llegan al laboratorio. Las muestras isotópicas y contramuestras en un cuarto oscuro y fresco.
- Al llegar al laboratorio se debe dar el nombre del punto, fecha de muestreo, hora de muestreo, pH, nombre de la persona que lleva las muestras.

Para el tipo **colector 2**:

Se puede decir que los pasos a seguir son los mismos, con el inconveniente de que no posee un grifo por donde se pueda drenar el agua, para solucionar esto se utilizo un embudo de decantación para poder separar el agua del aceite. No será necesaria la cinta de enmascarar ni la pintura reflexiva, en cambio se sellara la unión entre el colector y la manguera flexible con cinta teflón.

### **3.2.2 Protocolo para muestreo en la recarga**

En general las aguas subterráneas tienen a mantener constante su composición, tanto mas profundas y mas alejadas de la zona de recarga. Puede bastar una muestra anual, pero en zonas próximas a la recarga o con intrusión marina pueden precisarse mucho mas frecuentes. Lo dicho anteriormente se refiere a la

caracterización química, la caracterización biológica debe ser mas frecuente, pues esta sometida a acciones muy locales y cambios rápidos.

Los puntos de muestreo en la cuenca cumplen con las anteriores condiciones citadas anteriormente dadas por Custodio y Llamas,1996<sup>21</sup>.

Para el muestreo de agua subterránea el GPH tiene un equipo el cual fue diseñado por Arrieta y Villareal, 2005<sup>22</sup>

Los implementos necesarios para realizar el muestreo en la recarga son:

- ❖ Muestreador de aguas subterráneas.

Foto 3. Muestreador aguas subterráneas



- ❖ Sonda múltiparametros.
- ❖ Dos pares de Guantes
- ❖ Agua destilada
- ❖ Toalla limpia
- ❖ Envases plásticos químicamente inertes

---

<sup>21</sup> CUSTODIO E. & LLAMAS M.R.; 1996. Hidrológica Subterránea. Editorial Omega. Barcelona (2Vols); p.1031.

<sup>22</sup> ARRIETA J. & VILLAREAL J.; 2005. Tesis de grado “Análisis y caracterización Hidroquímica de aguas subterráneas de área metropolitana de Bucaramanga”. Bucaramanga, Colombia; p. 130-134.

### **3.3.2 Procedimiento:**

Cuando se fue efectuar el muestreo del agua de recarga se reparó en la inexistencia de un protocolo guía de esta clase, el propósito de este protocolo es orientar en campo:

- Se calibra la sonda multiparametros.
- Se introduce el medidor de niveles en el piezómetro hasta que el sensor suene y encienda el bombillo, esta medida será el nivel piezométrico.
- Se introduce el muestreador sostenido de la guaya metálica hasta dos metros más que el nivel que se midió anteriormente.
- Se deja el muestreador sumergido hasta que se colme completamente, subiéndolo a la superficie se expulsa el agua esto se hace de cinco a seis veces antes de tomar la muestra, para garantizar que el agua tomada sea una muestra representativa de todo el agua almacenada en el acuífero y no de el agua retenida en la parte superior del piezómetro.
- Tomar los parámetros fisicoquímicos: pH, potencial redox, temperatura, conductividad, salinidad, oxígeno disuelto este último es importante a diferencia en aguas lluvias porque indica la cantidad de materia orgánica y microorganismos en el acuífero.
- Almacenar las muestras a una temperatura de 4°C para llevarlas lo más pronto al laboratorio para su análisis.

### **3.3 UBICACIÓN DE LOS COLECTORES DE PRECIPITACION**

En la tabla 2. se describen los puntos de muestreo de precipitación, en los primeros muestreos tomados anteriormente (Duarte y Sánchez, 2005) allí se tomaron 6 estaciones para la toma de cloruros pero en la estación del aeropuerto existía un colector de aguas lluvias tipo 1 para zonas de poca evaporación condición no cumplida en este punto, allí el agua lluvia se estaba recogiendo directamente del pluviómetro pero se estaba dejando en un recipiente a la intemperie de esta manera la muestra podía ser alterada, en sus parámetros

fisicoquímicos y sobre todo en su composición isotópica por esta razón no se continuó con el muestreo.

Tabla 2. Estaciones de precipitación para muestreo del ion cloruro y parámetros fisicoquímicos.

#	CÓDIGO IDEAM	TIPO	NOMBRE	SUB.-CUENCA	DPTO	MUNICIPIO	COORD. GPS	ELEV.GPS	INST.
1	2319070	PG	PIEDECUUESTA GJA	LATO	SANT	PIEDECUUESTA	0700N-7305W	1000	IDEAM
2	3701502	CO	BERLIN	JORDAN	SANT	TONA	071122N-725218W	3306,7	IDEAM
3	2319040	PM	LA GALVICIA	TONA	SANT	FLORIDABLANCA	070732N-730336W	1848	IDEAM
4	Est.AMB	PM	LA MARIANA	FRIO	SANT	FLORIDABLANA	070732N-730037W	2481,2	AMB
5	NO EST.		C.EXP.UIS CASA	TONA	SANT	TONA	071230N-725617W	2659,7	UIS

Tabla 3. Estaciones de agua lluvia para muestreo de parámetros fisicoquímicos.

#	CODIGO IDEAM	TIPO	NOMBRE	SUB.-CUENCA	DPTO	MUNICIPIO	COORD. GPS	ELEV.GPS	INST
6	CENICAFE	CP	SAN ANTONIO	FRIO	SANT	F/DABLANCA	070608N - 730410 W	1531,58	CENICAFE
7	2319013	PM	TONA	TONA	SANT	TONA	071155N - 725826 W	1795,92	IDEAM
7	NO EST.		C. EXP.UIS ESCUELA TEMBLADAL	TONA	SANT	TONA	071215N - 725553 W	2869,27	UIS
8	3701502	CO	BERLIN	JORDAN	SANT	TONA	071122N - 725218 W	3306,66	IDEAM
9	2319030	PM	EL PICACHO	TONA	SANT	TONA	070646N - 725811 W	3435,35	IDEAM

La ruta con apoyo de transporte de parte de la Corporación autónoma para la defensa de Bucaramanga CDMB es Bucaramanga-Berlín y de vuelta Berlín-Tona-Bucaramanga, a continuación se describen brevemente cada estación de agua lluvia, en el orden como se muestrean en cada salida.

### **Estación San Antonio**

Empezando con el recorrido por la ruta Bucaramanga-Cúcuta se llega al Km.18 donde hay un desvío para una finca de la asociación de cafeteros vía Floridablanca, donde se encuentra la estación meteorológica de San Antonio a una altura 1531.58 m.s.n.m., ella está bien dotada y protegida contra el ganado y personas que puedan afectar la muestra del colector:

Foto 4. Estación san Antonio



### **Estación La Galvicia**

Siguiendo con la ruta Bucaramanga-Cúcuta en el Km. 21 se encuentra la estación pluviométrica “La Galvicia” administrada por el IDEAM, tiene el inconveniente de no poseer ninguna clase de cerca.

### **Estación La Mariana**

Se encuentra a una altura de 2481 m.s.n.m. en el municipio de Floridablanca sobre la carretera Bucaramanga- Berlín.

### **Estación El Picacho**

Se encuentra a una altura de 3435 msnm en el municipio de Tona sobre la carretera Bucaramanga- Berlín.

### **Estación Berlín**

Se encuentra a las afueras de Berlín sobre la carretera Berlín-Cúcuta a una altura 3306.7 msnm, administrada por el IDEAM es una estación metereologica, esta muy bien protegida

### **Estación Exp. Escuela Tembladal**

Estando en Berlín se desvía por una carretera sin pavimentar cuyo destino es el municipio de Tona en el trayecto se encuentran dos estaciones. La primera de estas es la escuela el tembladal instaurada por el GPH esta no cuentan con datos pluviométricos a diferencia de las anteriores estaciones, teniendo en cuenta que esta también tiene el inconveniente de estar bastante alejada de la carretera.

Esta se encuentra sobre una altura de 2869 msnm en el municipio de Tona, presenta el inconveniente de que esta poco protegida contra el ganado porque la cerca necesita ser reforzada y alrededor de él crece hierba como se puede ver en la figura afectando posiblemente afectando los parámetros fisicoquímicos.

### **Estación Exp. La Casa**

Es la segunda estación ubicada sobre la misma vía Berlín-Tona también implantada por el GPH a una altura de 2659.72 msnm en el municipio de Tona.

Aquí la ganadería y la agricultura es bastante intensiva lo cual puede que haya alteración de los parámetros fisicoquímicos y la concentración de cloruros de

aguas lluvias que se toman aquí como se varan mas adelante en los resultados obtenidos.

### **Estación Tona**

Ubicada a la salida del municipio de Tona, por la carretera de Tona-Bucaramanga a una altura de 1795.92 m.s.n.m., administrada por el IDEAM tipo pluviométrica se encuentra cercada y en buenas condiciones.

### **Estación La Granja Piedecuesta**

Foto 5. Estación La Granja Piedecuesta



Es un muestreador enterrado apto para clima tropical que evita la evaporación, esta ubicado en el municipio de Piedecuesta a mas o menos 150 metros de la sede de investigación Guatiguara propiedad de la UIS adentro de una estación metereologica del IDEAM sobre una altura de 1000 msnm.

### **3.4 UBICACIÓN DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA**

Para este proyecto se realizo una salida para muestreo de aguas subterráneas: en los piezómetros de Pan de Azúcar en base a lo realizado por Duarte y Sánchez,

2005<sup>23</sup>, ellos efectuaron dos campañas de muestreo a cinco puntos en los meses de junio y a dos puntos en agosto del año 2005. Todos estos puntos quedan sobre el área metropolitana de Bucaramanga en la tabla 4. están sus características.

Mientras para el periodo enero del 2006 a junio del 2006, se recolecto muestras solamente en los piezómetros de Pan de Azúcar ubicados en los barrios bajos de Pan de Azúcar, esto se debió a las altas concentraciones del ion cloruro encontradas en los demás puntos lo que se adjudica a contaminación de aguas subterráneas por infiltración de aguas residuales y no se volvieron a tomar; estos valores se exponen en el siguiente capitulo.

Tabla 4. Características de las estaciones de aguas subterráneas.

#	CODIGO LOCAL	TIPO	UBICACIÓN	DPTO	MUNICIPIO	COORDENADAS		ELEV msnm	INST	TIPO DE ACUIFERO
						NORTE	ESTE			
1	D. Rosita # 23	Drén	Vivero La Rosita	SANT	B/MANGA	1278261	1105251	893.9	CDMB	S
2	Piezómetro Pan de Azúcar S	Piezómetro	Barrio Bajos de Pan de Azúcar	SANT	B/MANGA	1279071	1107875	1042	CDMB	S
3	Piezómetro Pan de Azúcar I	Piezómetro	Barrio Bajos de Pan de Azúcar	SANT	B/MANGA	1279071	1107875	1042	CDMB	I
4	Piezómetro la Flora S	Piezómetro	Parque La Flora	SANT	B/MANGA	1278242	1107270	957,9	CDMB	S
5	Piezómetro La Flora I	Piezómetro	Parque La Flora	SANT	B/MANGA	1278178	1107270	957,9	CDMB	I

<sup>23</sup> DUARTE P. y SANCHEZ C.; 2005. Tesis de grado “Uso de trazadores ambientales y estudio de la recarga” Bucaramanga, Colombia.

## 4. RESULTADOS OBTENIDOS

### 4.1 CONCENTRACION DEL ION CLORURO

#### 4.1.1 Aguas subterráneas

Iniciando con los resultados obtenidos en las campañas anteriores (Duarte y Sánchez, 2005) con el fin de hacer un repaso de lo obtenido por ellos y sus recomendaciones.

En la primera campaña de aguas subterráneas realizada en junio 27 del 2005 se muestrearon cinco puntos mostrados en la tabla 5, el punto de pan de azúcar inferior presenta una concentración de cloruros mucho menor que las demás.

Tabla 5. Resultados de primera campaña de muestreo aguas subterráneas campaña junio 2005.

ESTACION	PARAMETRO	UNIDADES	CONCENTRACION	# IDENTIFICACION
Pan de Azúcar inferior	cloruros	mg/L	1.36	1
Pan de Azúcar Superior	cloruros	mg/L	10.72	2
La Flora inferior	cloruros	mg/L	20.47	3
La Flora superior	cloruros	mg/L	23.75	4
Dren la rosita	cloruros	mg/L	23.89	5

Tomado de tesis de grado de Pilar Duarte y Camilo Sánchez

De esta manera los resultados se clasificaron en dos grupos; acuífero superior, acuífero inferior, presentándose concentraciones altas de cloruros en el acuífero superior y el acuífero inferior del punto de la flora por razones que no están muy claras y requieren un estudio a fondo, apenas se tienen teorías de esto. Comparando las concentraciones subterráneas con el dren La Rosita (punto donde el agua ha recorrido toda la meseta por lo tanto esta contaminada de aguas residuales e industriales), con la de los piezómetros se aprecia la contaminación en los superiores, mientras el acuífero profundo en el punto pan de azúcar

presenta una concentración mucho menor, asumida como natural es decir sin efectos antrópicos así en la segunda campaña del 15 de agosto se muestreo los piezómetros de pan de azúcar mostrándose los valores en la tabla 6.

Tabla 6. Resultados de segunda campaña de aguas subterráneas agosto 2005.

ESTACION	PARAMETRO	UNIDADES	CONCENTRACION	# IDENTIFICACION
Pan de Azúcar inferior	cloruros	mg/L	5.75	1
Pan de Azúcar Superior	cloruros	mg/L	25.46	2

Tomado de tesis de grado (Duarte y Sánchez, 2005)

Así para la campaña del periodo comprendido en el presente proyecto: el 19 de julio de 2006, se centra la atención en el punto de Pan de Azúcar inferior con valores obtenidos como muestra la tabla 7.

Tabla 7. Resultados de tercera campaña de aguas subterráneas julio 2006.

ESTACION	PARAMETRO	UNIDADES	CONCENTRACION	# IDENTIFICACION
Pan de Azúcar Inferior	Cloruros	mg/L	3.9	1
Pan de Azúcar Superior	Cloruros	mg/L	12.7	2

De estas tres campañas se logra un valor promedio de la concentración de cloruros de agua subterránea como indicador de procesos que lleva años establecerse.

Para la Cuenca el valor promedio de la cuenca fue de 3.67 mg/L valor tenido en cuenta mas adelante en el análisis de resultados.

#### 4.1.2 Precipitación

Para esta fase se realizo una campaña de seis meses de muestreo de la precipitación, comenzando en enero 16; en esta fecha se recogió el agua lluvia de tres meses y medio, pues no se había realizado muestreo desde la primera semana de octubre del año 2005, las fechas de muestreos se muestran la tabla 8.

Tabla 8. Fecha de muestreos para el primer semestre de 2006.

<b>ESTACION \ MES</b>	<b>ENERO</b>	<b>FEBRERO</b>	<b>MARZO</b>	<b>ABRIL</b>	<b>MAYO</b>	<b>JUNIO</b>
La Granja Piedecuesta	18-Jan-06	14-Feb-06	27-Mar-06	29-Apr-06	28-May-06	4-Jul-06
La Galvicia	16-Jan-06	10-Feb-06	24-Mar-06	27-Apr-06	26-May-06	29-Jun-06
La Mariana	16-Jan-06	10-Feb-06	24-Mar-06	27-Apr-06	26-May-06	29-Jun-06
C.EXP. UIS Casa	16-Jan-06	10-Feb-06	24-Mar-06	27-Apr-06	26-May-06	29-Jun-06
Berlin	16-Jan-06	10-Feb-06	24-Mar-06	27-Apr-06	26-May-06	29-Jun-06

El CEIAM (Centro de investigaciones ambientales) analizo la concentración de cloruro, el método analítico fue potenciometria con un límite de detección de 0.02 mg/L, en cada una de las muestras entregadas los resultados quedan consignados en las siguientes tablas:

Tabla 9. Resultados de los meses de octubre 2005 a mediados de enero 2006

<b>ESTACION</b>	<b>PARAMETRO</b>	<b>UNIDADES</b>	<b>CONCENTRACION</b>	<b># IDENTIFICACION</b>
La Mariana	Cloruros	mg/L	0.42	1
La Galvicia	Cloruros	mg/L	0.02	2
Berlín	Cloruros	mg/L	0.02	3
C. Exp. Casa	Cloruros	mg/L	1.14	4
Granja Piedecuesta	Cloruros	mg/L	2.63	5

Tabla 10. Resultados de los meses de mediados de enero 2006 a mediados de febrero 2006.

<b>ESTACION</b>	<b>PARAMETRO</b>	<b>UNIDADES</b>	<b>CONCENTRACION</b>	<b># IDENTIFICACION</b>
La Mariana	Cloruros	mg/L	0.02	1
La Galvicia	Cloruros	mg/L	0.02	2
Berlín	Cloruros	mg/L	1.45	3
C. Exp. Casa	Cloruros	mg/L	4.45	4
Granja Piedecuesta	Cloruros	mg/L	0.02	5

Tabla 11. Resultados del mes de mediados de febrero 2006 y marzo 2006.

ESTACION	PARAMETRO	UNIDADES	CONCENTRACION	# IDENTIFICACION
La Mariana	Cloruros	mg/L	0.02	1
La Galvicia	Cloruros	mg/L	0.048	2
Berlín	Cloruros	mg/L	0.02	3
C. Exp. Casa	Cloruros	mg/L	1.87	4
Granja Piedecuesta	Cloruros	mg/L	0.02	5

Tabla 12. Resultados del mes de abril 2006.

ESTACION	PARAMETRO	UNIDADES	CONCENTRACION	# IDENTIFICACION
La Mariana	Cloruros	mg/L	1.17	1
La Galvicia	Cloruros	mg/L	0.79	2
Berlín	Cloruros	mg/L	0.98	3
C. Exp. Casa	Cloruros	mg/L	1.26	4
Granja Piedecuesta	Cloruros	mg/L	0.7	5

Tabla 13. Resultados del mes de mayo 2006.

ESTACION	PARAMETRO	UNIDADES	CONCENTRACION	# IDENTIFICACION
La Mariana	Cloruros	mg/L	0.7	1
La Galvicia	Cloruros	mg/L	0.37	2
Berlín	Cloruros	mg/L	0.93	3
C. Exp. Casa	Cloruros	mg/L	1.17	4
Granja Piedecuesta	Cloruros	mg/L	0.47	5

Tabla 14. Resultados del mes de junio 2006.

ESTACION	PARAMETRO	UNIDADES	CONCENTRACION	# IDENTIFICACION
La Mariana	Cloruros	mg/L	0.02	1
La Galvicia	Cloruros	mg/L	0.02	2
Berlin	Cloruros	mg/L	0.02	3
C. Exp. Casa	Cloruros	mg/L	1.95	4
Granja Piedecuesta	Cloruros	mg/L	0.02	5
Nacimiento río Tona	cloruros	mg/L	0.02	6

En la tabla 14 se presenta un punto diferente a los comúnmente muestreados, este punto pertenece a una cascada vía tona-Bucaramanga concluyendo su curso en el río Tona, se muestreo con el fin de saber la concentración de cloruros en la

escorrentía, fue necesario tomarla en este punto porque allí no había ninguna fuente de cloruros sino solamente el agua lluvia.

#### **4.2 PARAMETROS FISICOQUIMICOS DEL AGUA LLUVIA**

El grupo en predicción y modelamiento Hidroclimático (GPH) de la escuela de ingeniería civil ha venido tomando los parámetros fisicoquímicos del agua lluvia desde octubre del 2004 en las diferentes estaciones de agua lluvia, con el fin de analizar su comportamiento a través del tiempo y tratar de explicar los fenómenos que se presentan en la atmósfera de la cuenca Superior del Río Lebrija.

A continuación se describen los parámetros tomados con sus respectivas definiciones:

- **Temperatura:** Potencial calorífico referido a un cierto origen, por ejemplo la temperatura de fusión del hielo; se mide en grados centígrados o Celsius (°C) y en los países anglosajones grados Fahrenheit (°F).
- **pH:** La palabra pH es la abreviatura de "pondus Hydrogenium". Esto significa literalmente el peso del hidrógeno. El pH es un indicador del número de iones de hidrógeno. Tomó forma cuando se descubrió que el agua estaba formada por protones (H<sup>+</sup>) e iones hidroxilo (OH<sup>-</sup>); su expresión matemática:

$$pH = -\log[H^+]$$

El pH no tiene unidades; se expresa simplemente por un número. Cuando una solución es neutra, el número de protones iguala al número de iones hidroxilo. Cuando el número de iones hidroxilo es mayor, la solución es básica, Cuando el número de protones es mayor, la solución es ácida. El pH se reporta en "unidades logarítmicas," como la escala de Richter, usada para medir la intensidad de los terremotos. Cada número representa un cambio de 10 veces su valor en el

rango normal. El agua con un pH de cinco, es diez veces más ácida comparada con una de pH seis.

- **Potencial redox:** El potencial redox es una medida de la actividad de los electrones. Está relacionado con el pH y con el contenido de oxígeno. Es análogo al pH ya que el pH mide la actividad de protones y el potencial redox mide la de los electrones. El potencial redox se calcula como:

$$Eh = 1.234 - 0.058 * pH + 0.0145 * \log(10) * Po$$

Siendo  $Po$  la presión parcial de oxígeno expresada en atmósferas.

En los potenciales oxidantes la materia tiende a oxidarse y descomponerse y en reductores tiende a reducirse. La sustancia con potencial de reducción más negativo es la que se oxida. Por ello es importante conocer los valores normales de los potenciales redox. Hay distintos medios acuáticos debido a esto: el agua ácida de minas es muy oxidante, el agua atmosférica, el agua de río y la de mar también, en un punto intermedio están las aguas pantanosas y el agua subterránea, y como las más reductoras están el agua de suelos inundados y el agua en contacto con sedimentos marinos reductores.

- **Electroconductividad y Salinidad:** La electroconductividad es la medida de la habilidad del agua para transportar corriente eléctrica. Depende en gran medida en la cantidad de materia sólida disuelta en el agua (como sales). El agua destilada, puede tener muy poca conductividad y en contraste, agua de mar tendrá una conductividad mayor. El agua de lluvia frecuentemente disuelve los gases y el polvo que se encuentran en el aire por lo tanto, tiene una conductividad mayor que el agua destilada. La conductividad eléctrica es una medida importante de la calidad del agua, ya que indica la cantidad de materia disuelta en la misma. Se mide como la conductividad que existe entre dos electrodos paralelos de 1 cm<sup>2</sup> de superficie cada uno y separados 1 cm situados en el seno del agua a medir de

forma que el medio se pueda considerar infinito. La resistividad eléctrica se define análogamente y es el inverso de la conductividad.

Las unidades para conductividad: el microsiemens/cm ( $\mu\text{S/cm}$ ) o micromhos/cm ( $\mu\text{mhos/cm}$  o  $\mu\Omega^{-1}/\text{cm.}$ );  $1 \mu\text{S/cm} = 10^{-6} \text{ S/cm}$ .

Las unidades de resistividad: 1 ohmio-cm ( $\Omega\text{-cm}$ ). En geofísica se emplea el  $\Omega\text{-m} = 100 \Omega\text{-cm}$

$$C(\mu\text{S/cm}) = \frac{10^6}{\rho(\Omega\text{-cm})}$$

### Datos Tomados

En el periodo enero 2006-junio 2006 se tomaron los datos correspondientes a los de la tabla 15 a la tabla 20, para acoplarlos con los anteriormente tomados<sup>24</sup> en la cuenca.

Tabla 15. Parámetros fisicoquímicos de los meses de octubre 2005 a mediados de enero 2006.

HORA	ESTACION	ELEVA	TEMP °C	PH	P.REX mV	SAL mg/L	E.CONDUC	Vol.L	Fecha	mm	L.Pmm	%Error	Días	M.ANTE
08:10 a.m	La Granja Piedecuesta	1000	25.3	5.06	116	8.2	15.3	1	14-Feb-06	68.84	70.50	2.36	27	18-Jan-06
						0.0%								
09:30a.m	San Antonio	1480	19.3	5.81	97	11.1	20.4	5.6	10-Feb-06	154.25	157.50	2.06	25	16-Jan-06
						0.0%								
10:00 a.m	La Gálcia	1779	19.4	5.31	99	8.1	15.3	5.7	10-Feb-06	157.00	161.70	2.90	25	16-Jan-06
						0.0%								
05:30 p.m	Tona	1910	13.2	6.1	74	4.9	9.1	Embudo	10-Feb-06		144.00		25	16-Jan-06
						0.0%								
11:10 a.m	La Mariana	2390	18.2	5.62	78	5.6	10.8	0.8	10-Feb-06	22.04	24.20	8.94	25	16-Jan-06
						0.0%								
04:45 p.m	C.EXP. UIS Casa	2640	16.9	6.11	52	157	295	2.3	10-Feb-06	63.35		no pluviometro	25	16-Jan-06
						0.1%								
04:15 p.m	C.Exp.UIS Tembladal	2800	23	5.77	75	4.1	7.4	Embudo	10-Feb-06			no pluviometro	25	16-Jan-06
						0.0%								
02:20 p.m	Berlin	3214	15	6.06	56	12.1	22.3	0.4	10-Feb-06	11.02	10.90	-1.08	25	16-Jan-06
						0.0%								
01:05 p.m	El Picacho	3310	19.1	5.96	60	8.4	15.8	1.3	10-Feb-06	35.81	36.00	0.53	25	16-Jan-06
						0.0%								

Observaciones: En la estacion de Tona se encontro el embudo roto por eso no se midio volumen

Tabla 16. Parámetros fisicoquímicos de mediados de enero 2006 a mediados de febrero 2006.

HORA	ESTACION	ELEVA	TEMP °C	PH	P.REX mV	SAL mg/L	E.CONDUC	Vol.L	Fecha	mm	L.Pmm	%Error	Dias	M.ANTE
08:10 a.m	La Granja Piedecuesta	1000	25.3	5.06	116	8.2	15.3	1	14-Feb-06	68.84	70.50	2.36	27	18-Jan-06
						0.0%								
09:30a.m	San Antonio	1480	19.3	5.81	97	11.1	20.4	5.6	10-Feb-06	154.25	157.50	2.06	25	16-Jan-06
						0.0%								
10:00 a.m	La Galvicia	1779	19.4	5.31	99	8.1	15.3	5.7	10-Feb-06	157.00	161.70	2.90	25	16-Jan-06
						0.0%								
05:30 p.m	Tona	1910	13.2	6.1	74	4.9	9.1	Embudo	10-Feb-06		144.00		25	16-Jan-06
						0.0%								
11:10 a.m	La Mariana	2390	18.2	5.62	78	5.6	10.8	0.8	10-Feb-06	22.04	24.20	8.94	25	16-Jan-06
						0.0%								
04:45 p.m	C.EXP. UIS Casa	2640	16.9	6.11	52	157	295	2.3	10-Feb-06	63.35		no pluviometro	25	16-Jan-06
						0.1%								
04:15 p.m	C.Exp.UIS Tembladal	2800	23	5.77	75	4.1	7.4	Embudo	10-Feb-06			no pluviometro	25	16-Jan-06
						0.0%								
02:20 p.m	Berlin	3214	15	6.06	56	12.1	22.3	0.4	10-Feb-06	11.02	10.90	-1.08	25	16-Jan-06
						0.0%								
01:05 p.m	El Picacho	3310	19.1	5.96	60	8.4	15.8	1.3	10-Feb-06	35.81	36.00	0.53	25	16-Jan-06
						0.0%								

Observaciones: En la estación de Tona se encontro el embudo roto por eso no se midio volumen

Tabla 17. Parámetros fisicoquímicos de mediados de febrero 2006 y marzo 2006.

HORA	ESTACION	ELEVA	TEMP °C	PH	P.REX mV	SAL mg/L	E.CONDUC	Vol.L	Fecha	mm	L.Pmm	%Error	Dias	M.ANTE
02:35 pm	La Granja Piedecuesta	1000	21.6	5.97	62	10.1	19.1	2	27-Mar-06	137.68	136.50	-0.86	41	14-Feb-06
10:30 am	San Antonio	1480	17.3	5.5	76	4.7	8.9	4	24-Mar-06	110.18	112.50	2.06	42	10-Feb-06
11:20 am	La Galvicia	1779	15.7	5.19	93	6.4	12	6.4	24-Mar-06	176.28	176.00	-0.16	42	10-Feb-06
02:45 pm	Tona	1910	15.1	5.26	97	5.8	11	5.1	24-Mar-06	140.48	145.00	3.12	42	10-Feb-06
12:53 pm	La Mariana	2390	13.4	5.69	65	7.8	14.5	2.5	24-Mar-06	68.86	68.00	-1.27	42	10-Feb-06
11:00 am	C.EXP. UIS Casa	2640	10.3	5.83	62	3.6	6.8	4.1	24-Mar-06	112.93		no pluviometro	42	10-Feb-06
09:15 am	C.Exp.UIS Tembladal	2800	9.7	5.69	71	4	7.6	4.4	24-Mar-06	121.20		no pluviometro	42	10-Feb-06
03:10 pm	Berlin	3214	12.3	5.21	91	7.7	14.5	1.1	24-Mar-06	30.30	29.90	-1.33	42	10-Feb-06
04:22 pm	El Picacho	3310	7.5	5.41	80	6.8	12.8	3.8	24-Mar-06	104.67	104.00	-0.64	42	10-Feb-06

Tabla 18. Parámetros fisicoquímicos del mes de abril 2006.

HORA	ESTACION	ELEVA	TEMP °C	PH	P.REX mV	SAL mg/L	E.CONDUC	Vol.L	Fecha	mm	L.Pmm	%Error	Dias	M.ANTE
02:35 pm	La Granja Piedecuesta	1000	26.1	5.52		7.3	16.4	2	29-Apr-06	137.68	130.40	-5.58	33	27-Mar-06
08:30 am	San Antonio	1480	18.5	5.44		6.9	12.8	6.4	27-Apr-06	176.28	167.50	-5.24	34	24-Mar-06
09:00 am	La Galvicia	1779	19.3	5.86		8.4	17.1	7.5	27-Apr-06	206.58	235.00	12.09	34	24-Mar-06
03:45 pm	Tona	1910	21.9	5.37		3.9	7.6	3	27-Apr-06	82.63	217.00	61.92	34	24-Mar-06
09:45 pm	La Mariana	2390	13.3	5.36		5.5	10	10.2	27-Apr-06	280.95	258.50	-8.69	34	24-Mar-06
02:30 pm	C.EXP. UIS Casa	2640	15.2	5.1		5.6	10.5	11.5	27-Apr-06	316.76		no pluviometro	34	24-Mar-06
01:30 pm	C.Exp.UIS Temblada	2800	15.7	5.27		4.5	8.7	18.5	27-Apr-06	509.57		no pluviometro	34	24-Mar-06
11:20 am	Berlin	3214	13.5	5.2		5.2	10.9	4.9	27-Apr-06	134.97	136.40	1.05	34	24-Mar-06
10:35 am	El Picacho	3310	10.7	5.37		5.8	10.8	6.5	27-Apr-06	179.04	165.00	-8.51	34	24-Mar-06

Observaciones: No fue posible la medida de potencial Redox por daño del electrodo.

Tabla 19. Parámetros fisicoquímicos del mes de mayo 2006

HORA	ESTACION	ELEVA	TEMP °C	PH	P.REX mV	SAL mg/L	E.CONDUC	Vol.L	Fecha	mm	L.Pmm	%Error	Dias	M.ANTE
02:35 pm	La Granja Piedecuesta	1000	24	4.58	108	7.4	13.8	2.2	28-May-06	60.60	58.30	-3.94	28	29-Apr-06
08:30 am	San Antonio	1480	24	5.1	94	1.8	3.3	6.8	26-May-06	187.30	189.00	0.90	30	27-Apr-06
09:00 am	La Gavicia	1779	24	5.34	80	4.5	8.6	6.8	26-May-06	187.30	197.50	5.16	30	27-Apr-06
03:45 pm	Tona	1910	24	4.98	101	2	3.5	9.5	26-May-06	261.67	262.00	0.13	30	27-Apr-06
09:45 pm	La Mariana	2390	24	5.3	82	4.3	8.1	8.5	26-May-06	234.13	245.70	4.71	30	27-Apr-06
02:30 pm	C.EXP. UIS Casa	2640	24	4.84	108	3.3	6.2	9.2	26-May-06	253.41		no pluviometro	30	27-Apr-06
01:30 pm	C.Exp.UIS Tembladal	2800	24	4.86	107	2.6	4.9	18.2	26-May-06	501.31		no pluviometro	30	27-Apr-06
11:20 am	Berlin	3214	24	5.22	87	1.9	3.3	7.2	26-May-06	198.32	195.80	-1.29	30	27-Apr-06
10:35 am	El Picacho	3310	24	5.1	74	2.1	3.9	11.2	26-May-06	308.50	298.50	-3.35	30	27-Apr-06

Tabla 20. Parámetros fisicoquímicos del mes de junio 2006.

HORA	ESTACION	ELEVA	TEMP °C	PH	P.REX mV	SAL mg/L	E.CONDUC	Vol.L	Fecha	mm	L.Pmm	%Error	Dias	M.ANTE
02:35 pm	La Granja Piedecuesta	1000	24.9	5.45	85	12.3	23.1	2.8	4-Jul-06	192.75	185.50	-3.91	37	28-May-06
08:30 am	San Antonio	1480	15.6	5.69	72	5.2	9.9	4.3	29-Jun-06	118.44	112.5	-5.28	34	26-May-06
09:00 am	La Gavicia	1779	16.1	5.43	86	6.5	12.8	5	29-Jun-06	137.72	142.60	3.42	34	26-May-06
03:45 pm	Tona	1910	26	5.51	82	8.4	15.7	1.4	29-Jun-06	38.56	38.70	0.36	34	26-May-06
09:45 pm	La Mariana	2390	15.8	5.77	67	11.3	21	5.6	29-Jun-06	154.25	155.90	1.06	34	26-May-06
02:30 pm	C.EXP. UIS Casa	2640	22.3	5.45	85	13.5	25.2	2	29-Jun-06	55.09			34	26-May-06
01:30 pm	C.Exp.UIS Tembladal	2800	21	5.61	79	5.4	10.4	embudo	29-Jun-06				34	26-May-06
11:20 am	Berlin	3214	12.1	5.35	91	5.1	9.5	1.5	29-Jun-06	41.32	41.00	-0.77	34	26-May-06
10:35 am	El Picacho	3310	8.9	5.66	74	5.9	6.7	3.5	29-Jun-06	96.41	98.10	1.73	34	26-May-06

Observaciones: El embudo de la estacion C.Exp.UIS Tembladal estaba roto; habia gran cantidad de restos de plantas dentro de la muestra de la estacion C.Exp.UIS casa.

## 5. ANALISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

En este capítulo se hace un análisis de los resultados de concentración de ion cloruro; los obtenidos (oct.2005-jun.2005), y los resultados recopilados, (abr.2005-sep.2005) con el propósito de estimar el valor de la recarga por infiltración de la precipitación. Por otra parte se analiza el comportamiento de los parámetros fisicoquímicos recopilados desde octubre del 2004 hasta septiembre del 2006 y los obtenidos desde enero del 2006 hasta junio del 2006.

### 5.1 RECARGA POR MEDIO DEL BALANCE DEL ION CLORURO

#### Concentraciones de ion cloruro en precipitación:

Se retoman los resultados de concentración de cloruros en el periodo comprendido entre abril del 2005 hasta septiembre 2005 (Duarte y Sánchez, 2005)<sup>25</sup> y los obtenidos para este proyecto, entre enero del 2006 hasta junio 2006, en la tabla 21 muestra estas concentraciones.

Tabla 21. Medidas de ion cloruro en la precipitación.

Mes	Concentración de cloruros (mg/L) de estaciones aguas lluvias					
	La Mariana	La Galvicia	Berlín	La casita	Granja Piedecuesta	Aeropuerto
Abr-05	0.02	0.02	0.23	0.38	0.72	1.16
May-05	0.97	0.02	0.26	0.02	1.23	0.02
Jun-05	0.28	1.75	8.82	5.03	0.31	2.95
Jul-05	0.25	0.52	0.57	9.93	6.12	0.02
Ago-05	1.13	0.05	1.06	5.25	0.02	0.02
Sep-05	0.02	0.02	0.02	2.91	0.02	0.02
oct-nov-dic 05	0.42	0.02	0.02	1.14	2.63	
Enero-febrero 06	0.02	0.02	1.45	4.45	0.02	
Febrero-marzo 06	0.02	0.048	0.02	1.87	0.02	
Abr-06	1.17	0.79	0.98	1.26	0.7	
May-06	0.7	0.37	0.93	1.17	0.47	
Jun-06	0.02	0.02	0.02	1.95	0.02	
<b>Promedio</b>	<b>0.418</b>	<b>0.304</b>	<b>1.198</b>	<b>2.947</b>	<b>1.023</b>	<b>0.698</b>
<b>Desviación</b>	<b>0.457</b>	<b>0.522</b>	<b>2.451</b>	<b>2.816</b>	<b>1.775</b>	<b>1.194</b>

En la figura 7. se aprecian las concentraciones mensuales en cada una de las cinco estaciones pluviométricas donde se muestreo el ion cloruro, se aprecia la estación La Casa con los valores picos a lo largo de casi todos los meses, enseguida La Granja

<sup>25</sup> DUARTE, Op.cit., p.88-91

Piedecuesta y Berlín, con dos y uno valores altos respectivamente, todos ellos presentados en épocas de escasas precipitaciones.

En la figura 8. En la estación La Galvicia, se compara las concentraciones de cloruro contra precipitaciones medias diarias de cada periodo de muestreo, observando el mes de junio en que llovió 0.35 mm por día, las concentración del ion subió a 1.75 mg/l valores no vueltos a presentar, pero que deja evidencia de relaciones inversas de estos dos parámetros.

Figura 7. Grafica de Valores de concentración de cloruros en estaciones de precipitación.

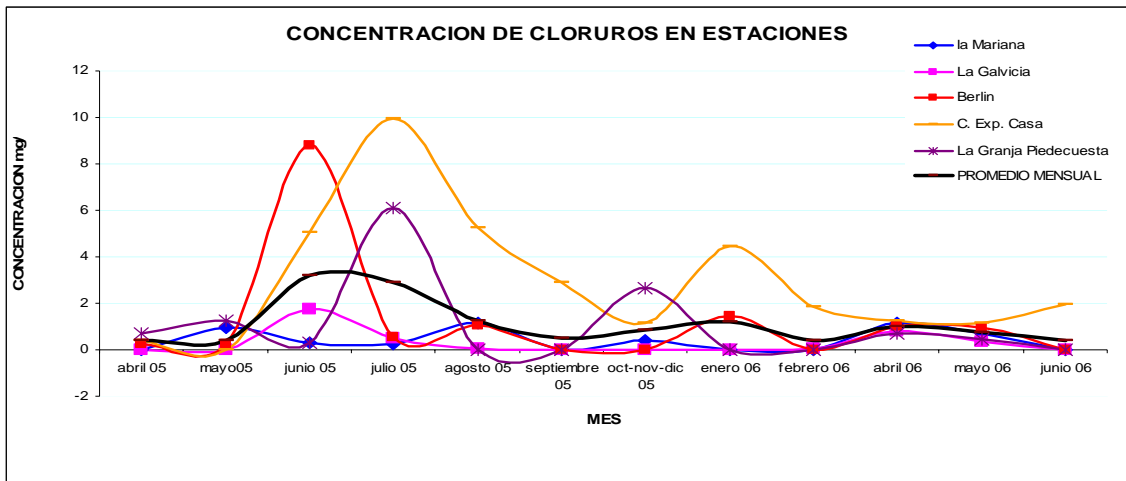
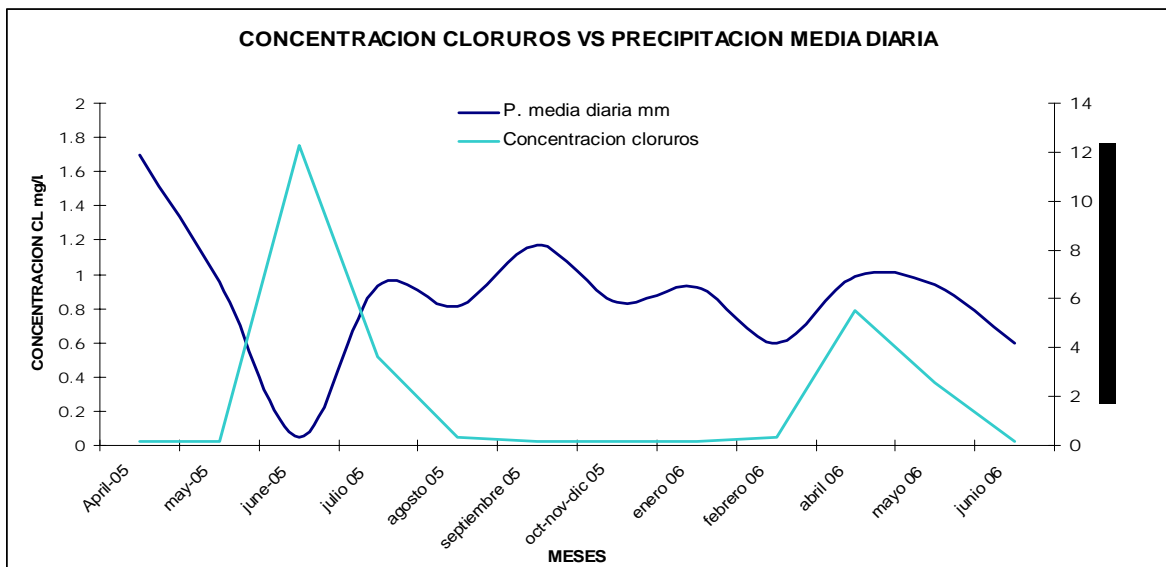


Figura 8. Comportamiento de la concentración del cloruro frente a la precipitación en La Galvicia.



**Concentraciones de ion cloruro en la recarga:**

Las concentraciones de ion cloruro correspondientes a la recarga, se tomaron en la estación ubicada en los Barrios bajos de Pande Azúcar del acuífero profundo, la tabla 22. muestra los resultados y sus correspondientes fechas de muestreo.

Tabla 22. Medida de ion cloruro en la recarga

ESTACION	UNIDADES	CONCENTRACION	FECHA
<i>Pan de Azúcar Inferior</i>	mg/L	1.36	Junio 05
<i>Pan de Azúcar Inferior</i>	mg/L	5.75	Agosto 05
<i>Pan de Azúcar Inferior</i>	mg/L	3.9	Julio 06

Teniendo las concentraciones en el agua lluvia y en el agua subterránea se procede a calcular la recarga media utilizando la expresión deducida en la sección 2.2.2:

$$R = \frac{(P_m - E_m) * C_{pm}}{C_{Rm}}$$

Donde:

R: Recarga media anual por infiltración de aguas lluvias en la C.S.R.L.

$C_{pm}$ : Valor promedio de la concentración de cloruros de todas las estaciones muestreadas.

$P_m$ : precipitación media multianual de la C.S.R.L este valor se tomo de un trabajo desarrollado anteriormente (Arenas y Ruiz, 2005)<sup>26</sup> con un valor 1206.63 mm/año.

$C_{Rm}$ : Concentración media de cloruros en el nivel freático, muestreado en el piezómetro del acuífero de Pan de Azúcar inferior.

---

<sup>26</sup>Arenas, J. y Ruiz J. Op.cit., p.100

$E_s$ : Escorrentía media anual superficial. La tabla 23. muestra los valores de escorrentía hallados por métodos diferentes documentados y sustentados en trabajos anteriores (Rueda y Sarmiento, 2003)<sup>27</sup> y (Balaguera y Serrano,2006)<sup>28</sup> .

A diferencia de la primera fase de muestreo aquí se considera la concentración de cloruros en el agua lluvia y en la escorrentía es la misma, ya que la fuente común para las dos es la atmósfera.

Tabla 23. Valores de escorrentía superficial

METODO	ESCORRENTIA SUPERFICIAL	PERIODO ANALIZADO	%Q <sub>T</sub>
PROMEDIO MÉTODOS DE INTERVALO	91.75 mm/año	1986-2000	23.47
Algoritmo IHACRES	113.4 mm/año	1970-2000	29

Para estimar el valor de la recarga se volverán a retomar las dos hipótesis propuestas en el trabajo anterior (Duarte y Sánchez, 2005)<sup>29</sup> .

### 5.1.1 Primera Hipótesis

En esta hipótesis se considera todos los valores de concentración del ion cloruro, de esta forma estas concentraciones se atribuyen a un origen exclusivamente natural. Aplicando las dos expresiones señaladas anteriormente se obtienen valores de recarga consignados en la tabla 24.

Por otra parte en la Figura 7. muestra los valores promedios mensuales de concentración de cloruro de agua lluvia, observándose los valores mas elevados

<sup>27</sup> RUEDA, Irene y SARMIENTO, Mauricio. En tesis de grado: Revisión de metodologías para la estimación de la recarga en acuíferos mediante balances de aguas. Bucaramanga, 2003. p 94-136.

<sup>28</sup> SERRANO, Adriana y BALAGUERA, Giovanni. En tesis de grado: Separación del flujo base en la estación Café Madrid (C.S.R.L.). Bucaramanga, 2006.

<sup>29</sup> DUARTE, Op.cit., p.88-91

en los meses de junio y julio del año 2005, para tratar de explicar este fenómeno se observó que en esos meses llovió muy poco por lo que la atmósfera se cargó con el ion, al volver a llover la concentración del ion cloruro aumenta; se esperaba que para el mes de junio del 2006 sucediera algo similar, pero el año 2006 ha sido lluvioso con apenas un corto verano entre mediados de enero y mediados de febrero.

Según esta primera hipótesis, el valor de la recarga se hallaría entre 327.12 mm/año a 361.06 mm/año o en porcentaje del 27.11% a 29.92% de la precipitación media multianual.

Tabla 24. Valores de recarga para la hipótesis 1

<b>HIPOTESIS 1</b>		
<b>Concentración media de Cl<sup>-</sup> en precipitación (mg/L)</b>	1.098	1.098
<b>Precipitación Anual (mm)</b>	1206.63	1206.63
<b>Concentración Cl<sup>-</sup> en aguas subterráneas (mg/L)</b>	3.67	3.67
<b>Escorrentía media anual (mm)</b>	91.75	113.4
<b>Recarga anual (mm)</b>	333.6	327.12
<b>% de Precipitación</b>	27.65	27.11

### 5.1.2 Segunda Hipótesis

Una segunda hipótesis descarta los valores anormalmente altos generalmente en época de verano, los valores en resaltados en rojo de la tabla 21. fueron descartados para realizar el promedio de la concentración del ion cloruro en la precipitación, esto se fundamentó en la gran variabilidad que se presenta de una estación a otra para el mismo periodo de muestreo (junio del 2005 y julio 2005), de esta forma las concentraciones altas son consideradas atípicas, pero presenta el inconveniente que se descartan valores sin ningún criterio patrón sino arbitrariamente se descartan. Las concentraciones del ion cloruro observadas para el periodo de octubre 2005 a junio 2006 se toman en cuenta todas las concentraciones porque no se presentan concentraciones tan altas como en la primera campaña de muestreo.

Del mismo modo se aplican las dos expresiones, obteniéndose un nuevo rango de recarga presentado en la tabla 25.

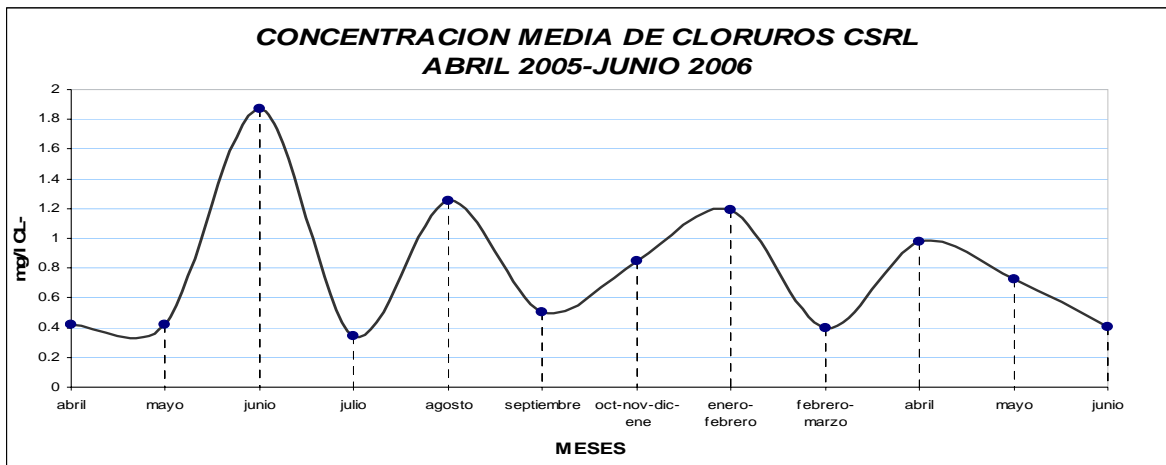
Según esta segunda hipótesis el valor de la recarga residiría entre 209.32 mm/año a 231.03 mm/año o en porcentaje del 17.35% a 19.15% de la precipitación media multianual.

Tabla 25. Valores de recarga con la Hipótesis 2

HIPOTESIS 2		
Concentración media de Cl <sup>-</sup> en precipitación (mg/L)	0.703	0.703
Precipitación Anual (mm)	1206.63	1206.63
Concentración Cl <sup>-</sup> en aguas subterráneas (mg/L)	3.67	3.67
Escorrentía media anual (mm)	91.75	113.4
Recarga anual(mm)	213.47	209.32
% de Precipitación	17.69	17.35

La nueva grafica para la concentración media de cloruros en el agua lluvia a través del tiempo se puede apreciar en la figura 8. proporciona una impresión de un menor cambio brusco de valores en las concentraciones del ion cloruro a través del tiempo, pero no guarda ninguna relación con el régimen de lluvias

Figura 9. Concentraciones medias de cloruros en el agua lluvia a través del tiempo con la Hipótesis 2.



Integrando las dos hipótesis se tiene un rango de recarga de 209.32 mm/año a 361.06 mm/año es decir del 17.35 % al 29.92% de la precipitación multianual.

Con el fin brindar una idea de estos resultados se hace un cálculo aproximado, averiguando cuantos habitantes se abastecerían con esta recarga, suponiendo un consumo diario de 200 litros por habitante por día, obtendríamos con el valor de 207.10 mm/año un abastecimiento para 3'600.000 y con el valor de 361.06 mm/año un abastecimiento para 6'328.000 habitantes.

Los estudios realizados por Rueda y Sarmiento (2003)<sup>30</sup> y por el GPH en el 2003, "Interacción entre sistemas Hidrogeológicos para el estudio del Fenómeno de Recarga en el Macizo de Santander e identificación de Acuíferos", proponen valores de recarga en la C.S.R.L, se presentan en la tabla 26. estos valores junto con el balance de cloruros.

Tabla 26. Valores de recarga estimados por diferentes métodos

<b>METODO</b>	<b>RECARGA (mm/año)</b>
<b>1. BALANCE DE MASA DE CLORUROS</b>	<b>207- 361.06</b>
2. BALANDE HIDRICO DE LARGO PLAZO. CAUDAL BASE	266 - 325
3. CURVA DE AGOTAMIENTO	426.18
4. FLUCTUACIONES DE NIVELES	218 - 436
5. BALANCE DE CORTO PLAZO	287
6. BALANCE HIDRICO DE LARGO PLAZO. NFILTRACION	369.46

Si se compara el método de balance de masa de cloruros con los otros cinco métodos, se observa que el método proporciona valores dentro de sus rangos de una manera conservativa con una mayor afinidad con los balances hídricos a largo plazo que debería ser así ya que el método también es un método de estimación de recarga a largo plazo.

<sup>30</sup> Rueda Sánchez, Irene y Sarmiento A, Mauricio. Op.cit p 94-136.

### **5.3 PARAMETROS FISICOQUIMICOS DEL AGUA LLUVIA**

En el desarrollo del proyecto se tomaron los parámetros fisicoquímicos en campo de la precipitación muestreada, en total 9 estaciones 8 de ellas ubicadas en la parte alta de la cuenca y 1 en la zona de la meseta de Bucaramanga correspondiente a la estación La Granja Piedecuesta.

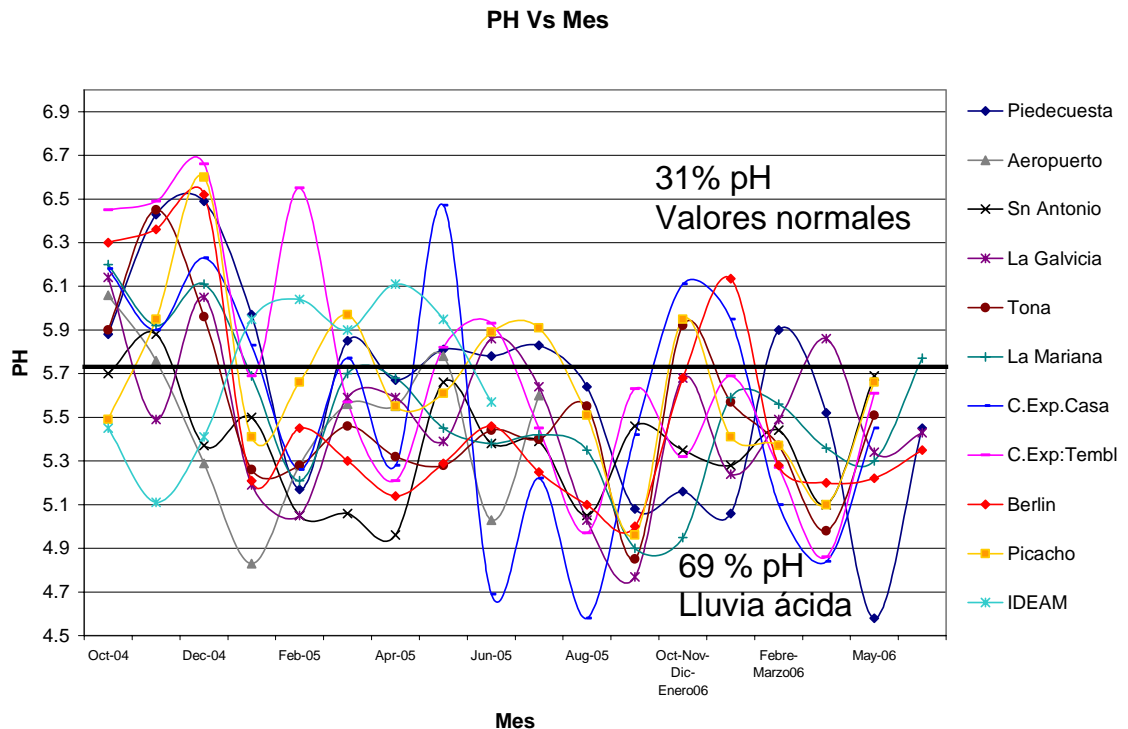
Se grafica el comportamiento de cada parámetro a través del tiempo, para realizar un análisis de sus tendencias y valores anormales encontrados algunas veces.

#### **5.3.1 pH**

Para la C.S.R.L, el pH se ha tomado desde el mes de octubre 2004 hasta junio 2006, el rango de valores mostrados cambian desde 4.58 a 6.6, mientras para el primer semestre 2006 tomados en el curso del presente proyecto comprenden desde 4.58 a 6.47, todos ellos integrados en la figura 9.

El agua lluvia normalmente es ligeramente ácida debido a la presencia del dióxido de carbono en el aire, cuando este se mezcla con el agua forman ácido carbónico por esta razón el agua precipitada presenta normalmente un pH entre 5.7 y 7. En lugares contaminados por presencia de ácido sulfúrico, ácido nítrico y otros, el pH del agua lluvia varía entre 5 y 3.

Figura 10. Variación de pH vs. mes (octubre 2004-junio 2006)



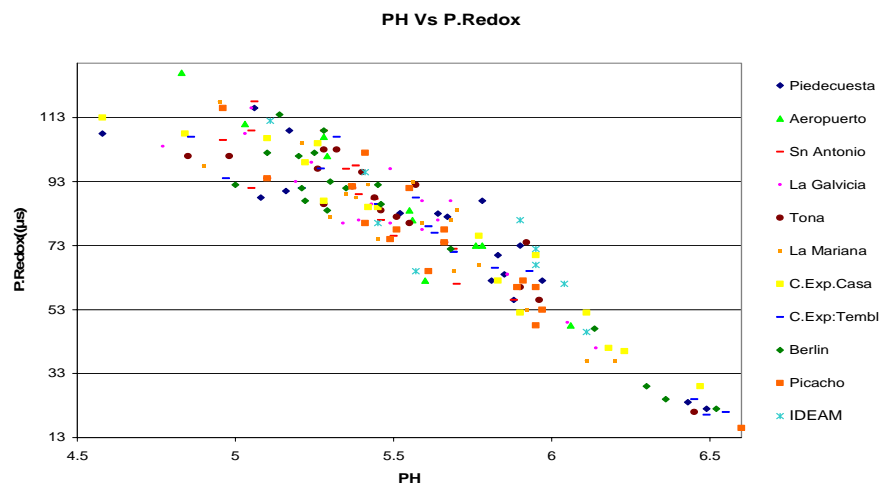
La figura 10 muestra la mayoría de valores de pH están por debajo de 5.7 paralelamente se observa un decrecimiento del pH a través del tiempo, lo anterior deja evidencias de la lluvia acida presentada en la cuenca debido a la contaminación antrópica producto de gases provenientes de automotores y fábricas si estos gases contienen dióxido de azufre, al mezclarse con el vapor de agua, la lluvia contendrá ácido sulfúrico, mientras si los gases contienen óxido de nitrógeno, en el agua de lluvia habrá ácido nítrico. El comportamiento en general de los valores de pH, presentó un cambio brusco a finales del año 2004 y principios del año 2005, no se sabe la razón de este comportamiento. Frente a las variaciones del régimen de lluvias, el pH no tiene un comportamiento definido, de lo que se puede certificar es de los meses con producción de aguas más acidas en los meses de septiembre del 2005 mes de transición de régimen de lluvia y mayo del 2006 mes lluvioso.

La estación Exp. UIS Casa presenta los valores mas variables de la serie, además los valores más ácidos comparados con las demás estaciones en los meses de julio del 2005 y septiembre del 2005, otras estaciones como la Galvicia y la Granja piedecuesta presentan valores de pH ácidos, a diferencia de Exp. Casa estas si siguen las tendencias de las demás estaciones.

Las nubes con estos ácidos pueden ser arrastradas por los vientos hasta 500 kilómetros de distancia por día y trasladarse de esta forma de una región a otra, de un país a otro, esto explicaría la contaminación presentada en la parte alta de la cuenca que con menos actividad antrópica presenta los mismos valores de pH que en la parte baja de la cuenca. Finalmente el estudio de este parámetro es importante, porque crea condiciones favorables o desfavorables para la salud humana y ecosistemas que nos rodean, por ejemplo con un pH de 4.2 o menor, metales en la cadena alimenticia se harán presentes, provocando acumulación de Pb en los huesos, riñones y hígado terminando algunas de las veces en cáncer. Los efectos en los ecosistemas también son devastadores como desaparición de bosques y vida acuática.

### 5.3.2 Potencial redox

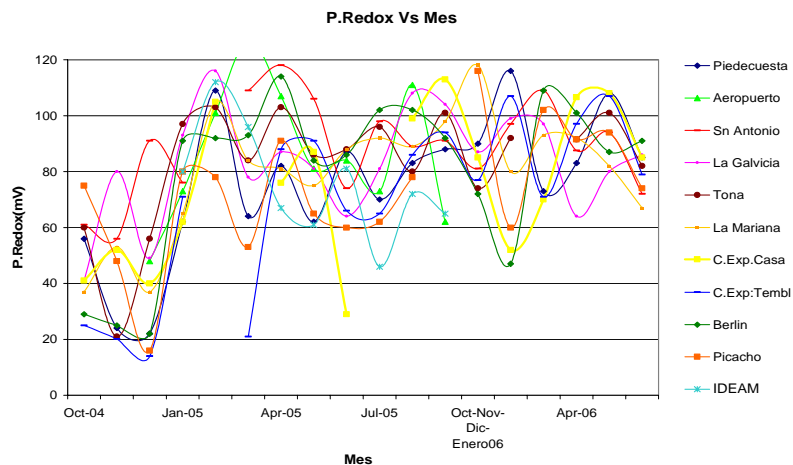
Figura 11. pH vs. Potencial redox de aguas lluvias



Según la definición de potencial redox, el comportamiento que se muestra en la figura 11. es normal es decir inversamente proporcionales al pH con una tendencia lineal.

En la figura 12 se observa el comportamiento del agua lluvia frente al potencial redox con variaciones entre 14 en la estación C.Exp. Tembladal en el mes de marzo del 2005 y 127 en el aeropuerto en el mes de diciembre del 2004. Se observo en los primeros meses de muestreo valores de potencial redox bajos, es decir La precipitación se encontraba poco inclinada por oxidarse o descomponerse para formar compuestos con las demás sustancias presentes en el medio, pero a medida del progreso en el tiempo el potencial redox aumenta, esto convierte a la precipitación en un medio mas propenso para descomponer lo que encuentre en su travesía, ajustándose al comportamiento del agua lluvia acida.

Figura 12. Variación del potencial redox con el tiempo



### 5.3.3 Salinidad y Electroconductividad

Observando comportamiento de las graficas integradas de salinidad y conductividad eléctrica mostradas en las figuras 13 y 14, estos parámetros presentan la misma tendencia, comportándose en las épocas donde llueve poco en la cuenca como junio, julio y diciembre con valores altos, esto es debido a una

carga de iones en la atmósfera y al precipitarse registran concentraciones mas altas, contrariamente a las épocas lluviosas cuyas salinidades y electroconductividades son bajas en la precipitación.

Para el presente periodo de muestreo en el mes de mediados de enero a mediados de febrero se obtuvo una salinidad en la estación **C.Exp. Casa** de 149 mg/L y una conductividad eléctrica de 295  $\mu\text{S}/\text{cm}$  estos valores se saltan de los rangos normales, pudiendo haber una fuente de contaminación antropica debido al ganado que existe a los alrededores, normalmente los valores de salinidad en la cuenca van desde 2 mg/L hasta 40 mg/L.

Figura 13. Variación de la conductividad eléctrica con el tiempo (octubre 2004 a junio 2006)

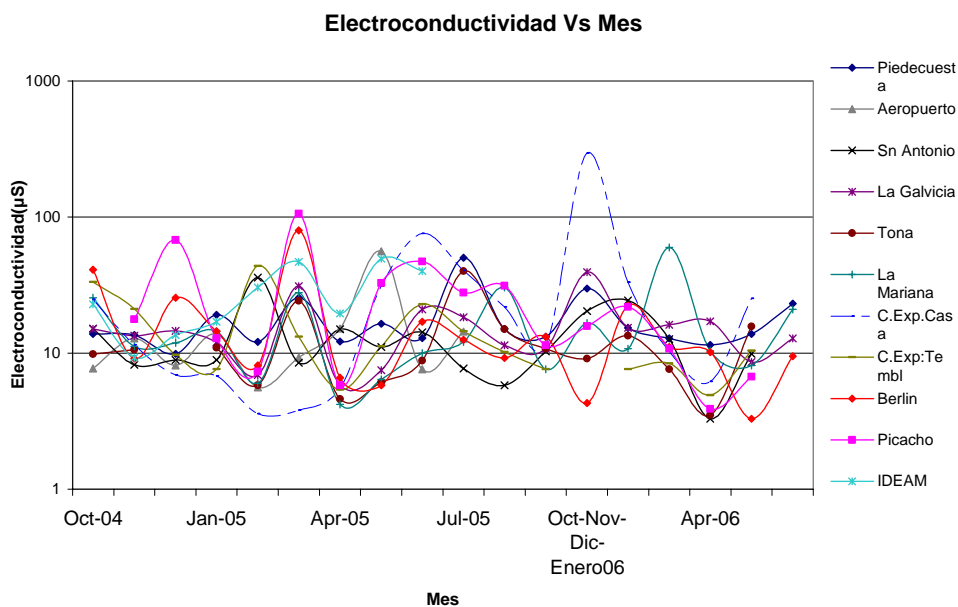
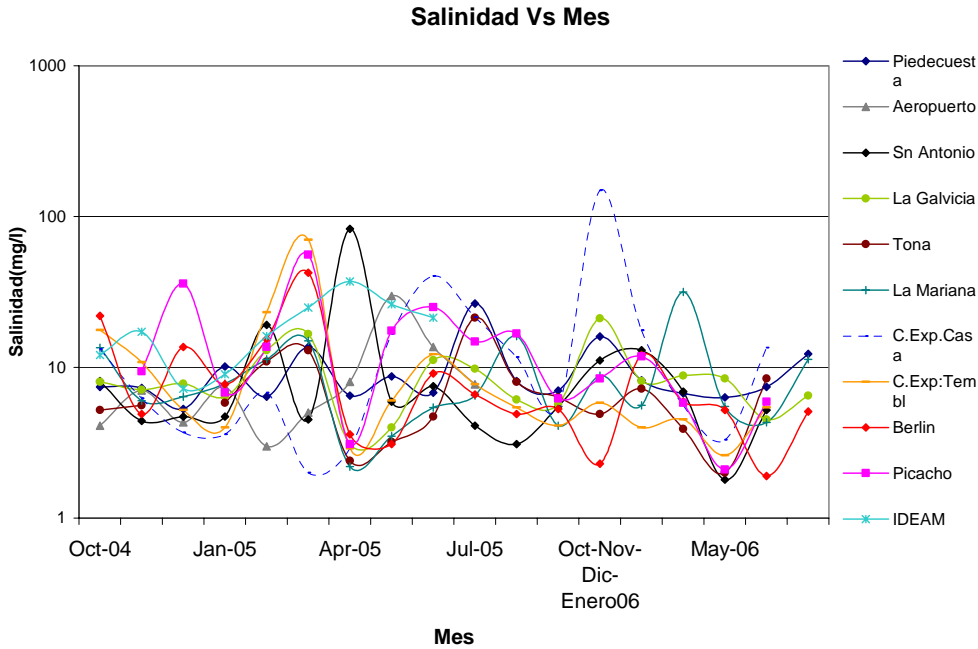


Figura 14. Variación de la salinidad con el tiempo (octubre 2004 a junio 2006)



## 6. CONCLUSIONES

En la C.S.R.L. se realizó un muestreo mensual de ion cloruro en aguas lluvias, localizadas a distintas alturas (1000 – 3306 m.s.n.m.), durante 1 año. Se encontró que los valores de sus concentraciones fluctuaban entre 0.02 mg/L y 9.9 mg/L, presentándose los valores más en los meses de junio y julio del año 2005, esto puede deberse a dos hipótesis expuestas en el presente trabajo. En la primera hipótesis se correlacionaron los valores de concentración con la precipitación del sitio de colección, se observa una relación inversa, lo cual explica que en los meses secos generalmente la atmósfera se carga con el ion cloruro, y en meses lluviosos, la atmósfera se observa mas limpia. Para la segunda hipótesis estos valores altos en la concentración de cloruros, se explican por fenómenos de contaminación producida por fuentes no estudiadas.

A pesar de que en la literatura, el método del ion cloruro se recomienda para estimar recarga a partir de aguas lluvias en regiones áridas y semiáridas, en este caso proporciono valores muy similares a otros cinco métodos utilizados en la C.S.R.L. La estimación obtenida varía entre el 18%, de la precipitación media anual de la cuenca, eliminando los valores altos de concentración de cloruros en la precipitación y un 28%, con todos los valores de concentración de cloruros en la precipitación.

En cuanto a los valores obtenidos en los parámetros fisicoquímicos, se observa en el pH y potencial redox lluvias acidas en la zona de estudio con tendencia a seguir aumentando, el 70% de las lluvias muestreadas son lluvias acidas y solamente el 30% presenta valores normales, probablemente debido a la alta contaminación de la atmósfera. Por otra parte la salinidad y electroconductividad se comporta de manera similar a las concentraciones de cloruro alto en verano y bajo en invierno, lo cual es un comportamiento normal.

La relación de las concentraciones de ion cloruro entre las aguas lluvias y aguas subterráneas para la C.S.R.L. es de 1:4 aproximadamente, mientras para otras cuencas encontradas en Estados Unidos, Argentina y España esta relación fluctúa de 1:100 a 1:10. La anterior relación para la C.S.R.L., muestra un enriquecimiento menor en la concentración de cloruro del agua subterránea, frente a las aguas subterráneas de otras cuencas. Lo anterior es valido solamente para el acuífero profundo de la meseta, mientras que para el acuífero superficial las concentraciones de cloruro son mayores como consecuencia de contaminación presente en la meseta.

El protocolo para la toma de muestras de cloruro presentado en este trabajo, es producto de las prácticas en campo, estas muestras integran el agua lluvia de un

mes para ser analizadas. Este protocolo complementa al elaborado en la primera fase de muestreo de cloruros en el procedimiento de toma de muestras en el agua subterránea y en el agua lluvia.

## 7. RECOMENDACIONES

Se hace un llamado de atención a las autoridades ambientales por un mejor control sobre el control de gases en los automotores de combustión interna y una formación de conciencia en la comunidad por el cuidado del medio ambiente.

Se recomienda prolongar el muestreo de aguas lluvias por lo menos un año más para tener mayor confiabilidad en los datos y poder descartar con sentido crítico valores atípicos, en el método analítico para el análisis de cloruros, se sugiere contrastar con el método de volhard el cual brinda una mayor límite de detección que el potenciométrico.

Realizar un muestreo a un número mayor de puntos de agua subterránea en la C.S.R.L. de manera que se pueda caracterizar la concentración del ion cloruro en cada acuífero, junto con una documentación de una manera más profunda en la relación cloruro/Bromuro con el fin de implementar esa técnica en la C.S.R.L. para conocer el origen de la salinidad de los acuíferos presentes, dada la gran diferencia entre las concentraciones de cloruro en el acuífero superficial y el acuífero profundo.

Reubicar la estación Exp.Uls.Casa, ya que brinda valores atípicos con respecto a las demás estaciones de agua lluvia en los parámetros de salinidad y electroconductividad posiblemente a la presencia de cultivos y ganado en sus alrededores, sin embargo esto es una primera suposición, por lo que se deja para ser estudiado claramente en nuevos proyectos.

## BIBLIOGRAFIA

Allison, G.B., Gee, G.W. y Tyler, S.W., 1994. Vadose-zone techniques for estimating groundwater recharge in arid and semiarid regions. *Soil Science Society of American Journal*, 58: 6-14.

Arenas, Juan y Ruiz, Juan; 2005. Tesis de grado "Estudio de la variación del régimen de lluvias en la Cuenca Superior del Río Lebrija" Santander, Colombia.

Bonorino, A.G., 1989. Caracterización química de la lluvia en la región del suroeste bonaerense (Rain chemical characterization of Buenos Aires province southwest region). Seminario Internacional Hidrología de Grandes Llanuras. Actas.

*Carrica, Jorge y Lexow, Claudio.* Estimación de la recarga natural al acuífero de la cuenca superior del Arroyo Napostá Grande, Argentina. *Groundwater and Human development*. 2002; p. 980-988. ISBN 987-544-063-9.

Custodio, E. y Llamas, M.R., 1996. *Hidrología Subterránea* (Hydrogeology). Tercera Edición. Ed. Omega Barcelona. 2259 p.

Custodio, E., 1997. Recarga de acuíferos: Aspectos generales sobre el proceso, la evaluación y la incertidumbre (Aquifer recharge: general aspects about process, evaluación and uncertainty). **En:** *La evaluación de la recarga a los acuíferos en la Planificación Hidrológica*. Las Palmas de Gran Canaria. 1997. AIH-GE. 19-39.

Custodio, E., 1997. Evaluación de la recarga por la lluvia mediante métodos ambientales químicos, isotópicos y térmicos. **En:** *La evaluación de la recarga a los*

*Acuíferos en la Planificación Hidrológica*. Las Palmas de Gran Canaria. 1997. AIH-GE. 83-109.

Custodio, Emilio y Alcalá, Francisco; El potencial de la relación Cl/Br como indicador del origen de la recarga de la salinidad de los acuíferos costeros españoles. Tecnología de la intrusión del agua de mar en acuíferos costeros: países mediterráneos. IGME. Madrid 2003. ISBN 84-7840-470-8

García, Sergio y Otero, José; 2005. Tesis de grado "Estimación de la evapotranspiración real en la Cuenca Superior del Río Lebrija". Santander, Colombia.

Greenberg, A. Clesceri L. y Eaton A.; 1992. Standard Methods for the examination of water and wastewater. American Public Health Association, Washington D.C.

Gómez, Sully y Anaya, Ángel. Acercamiento a un modelo conceptual de recarga de los acuíferos de la región de Bucaramanga. Revista en Avances Hidráulicos y Hídricos. Numero 11 (septiembre, 2004); p.37-50. ISSN 0121-5701.

Guzmán A. Diego y Camacho M. Hernán, 2005. Tesis de grado "Implementación de una red de muestreadores de isótopos estables para obtener la recta meteórica local". Santander, Colombia.

Herrera Christian; 2001. Tesis doctoral "Caracterización Hidrogeoquímica del Macizo de Betancuria, Fuerteventura, Archipiélago de las Canarias". Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona, España.

Iglesias, M., Lambán, J., Cardoso, G. y Custodio, E. 1997. El balance de cloruros como indicador de la recarga: ejemplos recientes (Chloride balance as recharge

indicator: recent examples). **En:** *La evaluación de la recarga a los acuíferos en la Planificación Hidrológica*. Las Palmas de Gran Canaria. 1997. AIH-GE. 357-366.

Linsley, R., Kohler, M. y Paulhus, J.; 1982. Hidrología para ingenieros. McGraw Hill. 389 p.

López Rodríguez, J.J. y Giráldez Cervera, J.V., 1997. Evaluación de la modificación de la recarga por cambios en la cobertura vegetal. **En:** *La evaluación de la recarga a los acuíferos en la Planificación Hidrológica*. Las Palmas de Gran Canaria. 1997. AIH-GE. 209-227.

Pérez, Diosdado; 1995. La explotación del agua subterránea un nuevo enfoque. Editorial Científico-técnica. 500 p.

Rueda, Irene y Sarmiento Mauricio; 2003. Tesis de grado “Revisión de metodologías para la estimación de la recarga en acuíferos mediante balances de agua”. Santander, Colombia

Serrano, Adriana y Balaguera, Giovanni; 2006. Tesis de grado “Separación de flujo base en la estación Café Madrid C.S.R.L.”. Santander, Colombia.

Samper, Javier; 1997. Métodos de la evaluación de la recarga por la lluvia por balance de agua: Utilización, calibración y errores. *La evaluación de la recarga a los acuíferos en la Planificación Hidrológica*. Las Palmas de Gran Canaria. 1997. AIH-GE.p. 41-81.

Samper, Javier, Huguet, Ll., Ares J. y García-Vera, M.A.; 1999. Programa Visual Balan V.1.0. Código interactivo para la realización de balances hidrológicos Universidad de la Coruña. España. p.1-124.

## ***ANEXO A. METODO POTENCIOMETRICO UTILIZADO EN EL ANALISIS DE ION CLORURO***

### **SELECCIÓN DEL MÉTODO**

Existen diversos métodos para la determinación del cloruro, aquí se nombran cinco de los cuales el CEIAM (Centro de estudios ambientales de la UIS) analiza las muestras por dos de estos:

- Método Argentometrico
- **Titulación con nitrato de plata**
- **Método potenciométrico**
- Método Ferrocianuro
- Cromatografía de intercambio iónico.

El CEIAM (Centro de Investigaciones ambientales de la UIS) utiliza el método por titulación con nitrato de plata o el potenciométrico. Para las muestras analizadas en este proyecto se utilizo el método **potenciométrico**.

### **METODO POTENCIOMETRICO**

Figura 21. Potenciómetro



**PRINCIPIO:** Los Químicos han diseñado electrodos que responden selectivamente a determinados iones (específicos) que se encuentran en disolución o en fase gaseosa. Un electrodo selectivo típico tiene un tamaño aproximado de un bolígrafo. En realidad se han descubierto transistores de efecto de campo, sensibles a determinados iones, que tienen un tamaño de sólo unos centenares de micras, el uso de estos electrodos para medir voltajes y suministrar así información química se llama **potenciometría**. El cloruro es analizado por titulación poteciométrica con una solución de nitrato de plata, un sistema de electrodos plata-plata cloruro. El punto final de la titulación es cuando el instrumento esta leyendo grandes cambios en el voltaje para un pequeño y constante incremento de nitrato de plata.

INTERFERENCIA. Yoduro  $I^-$  y Bromuro  $Br^-$  también son titulados con esta misma técnica analítica.

#### APARATOS

- a) Electrodo cristal y electrodo plata-plata cloruro: elaborados en el laboratorio o adquiridos. El electrodo de plata recubierto con cloruro de plata para ser usado con los instrumentos especificados.
- b) Voltímetro electrónico: Para medir la diferencia de potencial entre electrodos. Un pHmetro puede ser convertido para este uso sustituyendo el electrodo apropiado.
- c) Pinzas mecánicas: con recubrimiento plástico o aislante de vidrio.

## REACTIVOS:

- a) Solución estándar de cloruro de sodio, 0.0141 M (0.0141 N): Disolver 824.0 mg de NaCl (Seco a 140°C) en 1000 mL de agua destilada; 1.00 mL = 500 µg Cl<sup>-</sup>.
- b) Acido nítrico concentrado HNO<sub>3</sub>.
- c) Valoración estándar de nitrato de plata, 0.0141 M (0.0141N). Disolver 2.395 gramos de AgNO<sub>3</sub> en 1000 mL. de agua destilada. 1.00mL = 500 µg Cl<sup>-</sup> almacenar en una botella de vidrio color marrón.
- d) Reactivos preparados:
  - Acido sulfúrico H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> , 1+1
  - Peroxido de Hidrogeno , H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, 30%
  - Hidróxido de sodio, NaOH, 1N

## PROCEDIMIENTO.

- a) Estandarización: Los diversos instrumentos que se utilizan en la determinación difieren en detalles de operación: siga las instrucciones del fabricante y haga los ajustes necesarios, dejar suficiente tiempo (10 minutos) antes de calibrar los componentes internos eléctricos: fijar el instrumento a 0 mV o si el pHmetro esta usado, Calibrarlo para una lectura de 7.0.
- 1) Colocar 10.0 mL de solución estándar de NaCl en un vaso de precipitados, diluirla en 100 mL, y adicionar 2.0 mL de acido concentrado HNO<sub>3</sub>, inmerso en un agitador y electrodos.
- 2) Configurar el instrumento en el rango de milivoltios o de pH. Empezar a agitar.

- 3) Adicionar solución estándar de  $\text{AgNO}_3$ , tomando nota de la escala de medición después de cada adición. En el comienzo. Grandes incrementos de nitrato de plata pueden ser adicionados; después como el punto final esta próximo, adiciones pequeños y iguales incrementos (0.1 o 0.02 mL) para largos intervalos, de esta forma el punto final puede ser determinado. Determine el volumen de  $\text{AgNO}_3$  usado para el punto en que hay un gran cambio en la lectura del instrumento por unidad de adición de  $\text{AgNO}_3$ .
- 4) Grafique una curva de titulación diferencial si el punto final exacto no puede ser determinado por inspección de los datos. Grafique los cambios de lecturas en los instrumentos para iguales incrementos de  $\text{AgNO}_3$  contra el volumen de  $\text{AgNO}_3$  adicionado, usando el promedio de las lecturas de la bureta antes y después de cada medición.

5) Cálculo:

$$\text{mg Cl}^- / \text{L} = \frac{(A - B) \times N \times 35450}{\text{mL de muestra}}$$

Donde:

A = mL de  $\text{AgNO}_3$

B = mL sin reaccionar de titulante

C = normalidad del titulante

- 6) Precisión y errores: En ausencia de sustancias interferentes la precisión y el error esta estimada en cerca de 0.12 mg por cada 5 mg de  $\text{Cl}^-$  o 2.5% de la cantidad presente. Cuando es requerido un pretratamiento para remover las sustancias interferentes, la precisión y el error están en cerca de 0.25 mg por cada mg de  $\text{Cl}^-$ , o 5% de la cantidad presente.

**ANEXO B. RELACION  $C_p/C_r$  EN OTROS PAISES.**

<b>NOMBRE DE LA CUENCA</b>	<b>C<sub>p</sub> (mg/L)</b>	<b>Cr (mg/L)</b>	<b>C<sub>p</sub>/Cr%</b>	<b>CP/CR</b>
<b>(EUA)</b>				
5. Fish Lake (Esmeralda)	0.4	3.8	10.52%	1: 10
6. Gabbs (Mineral, Nye)		33	1.21%	1: 83
Las Vegas Valley		4.8	8.33%	1: 12
<b>(Argentina)</b>				
Cuenca Río Azul	3.4	52.4	6.5%	1: 15
Cuenca superior del Arroyo Napostá Grande	3.73	40.45	9.22%	1: 10
<b>(España)</b>				
Isla de Fuerteventura	50.35	744.22	6.76%	1: 15
<b>C.S.R.L.</b>	<b>1.098</b>	<b>3.67</b>		

***ANEXO C. RESULTADOS DEL LABORATORIO DEL CEIAM PARA LA  
CONCENTRACION DE CLORUROS.***





OFICINA: CENTRO DE ESTUDIOS E INVESTIGACIONES AMBIENTALES (CEIAM) - UIS	INFORME DE RESULTADOS	FEBRERO 13 DE 2006
REALIZADO POR:  Qca. Esp. Qca ambiental YANETH QUINTERO LÓPEZ	TITULO: ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO	

SOLICITANTE: DRA. ZULY GOMEZ  
 DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA: AGUA LLUVIA  
 FECHA DE RECEPCIÓN AL LABORATORIO: ENERO 24 DE 2006  
 MUESTRA TOMADA POR: TRAIDA AL LABORATORIO  
 PARÁMETROS A EVALUAR: CLORUROS

REPORTE LABORATORIO AGUA LLUVIA

PARAMETRO	UNIDADES	METODO	LA CASITA	LA GALVICIA	PIEDECUESTA	LA MARIANA	BERLIN
CLORUROS	mg/l Cl <sup>-</sup>	Potenciométrico	1,14	<0,02	2,63	0,42	<0,02

Nota: L.D = 0.02mg/L Cl<sup>-</sup>

Realizo:

  
 YANETH QUINTERO LÓPEZ  
 Directora Laboratorio CEIAM P.Q. 1744

Revisó y aprobó:

EDGAR FERNANDO CASTILLO M.  
 Director CEIAM



OFICINA: CENTRO DE ESTUDIOS E INVESTIGACIONES AMBIENTALES (CEIAM) - UIS	INFORME DE RESULTADOS	MARZO 13 DE 2006
REALIZADO POR:  Qca. Esp. Qca ambiental YANETH QUINTERO LÓPEZ	TITULO: ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO	

SOLICITANTE: Dra. ZULY GOMEZ  
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA: AGUA LLUVIA  
FECHA DE RECEPCIÓN AL LABORATORIO: FEBRERO 20 DE 2006  
MUESTRA TOMADA POR: TRAIDA AL LABORATORIO  
PARÁMETROS A EVALUAR: CLORUROS

REPORTE LABORATORIO AGUA LLUVIA

PARAMETRO	UNIDADES	METODO	LA CASITA	LA GALVICIA	PIEDRECUESTA	LA MARIANA	BERLIN
CLORUROS	mg/l Cl	Potenciométrico	4.45	<0.02	<0.02	<0.02	1.45

Nota: L.D = 0.02mg/l Cl

Realizó:

  
YANETH QUINTERO LÓPEZ  
Directora Laboratorio CEIAM P.Q. 1744

Revisó y aprobó:

  
EDGAR FERNANDO CASTILLO M.  
Director CEIAM



OFICINA: CENTRO DE ESTUDIOS E INVESTIGACIONES AMBIENTALES (CEIAM) - UIS	INFORME DE RESULTADOS	ABRIL 11 DE 2008
REALIZADO POR:  Qca. Esp. Qca ambiental YANETH QUINTERO LÓPEZ	TITULO: ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO	

SOLICITANTE: DRA. ZULY GOMEZ  
 DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA: AGUA LLUVIA  
 FECHA DE RECEPCIÓN AL LABORATORIO: MARZO 27 DE 2008  
 MUESTRA TOMADA POR: TRAJIDA AL LABORATORIO  
 PARÁMETROS A EVALUAR: CLORUROS

REPORTE LABORATORIO AGUA LLUVIA

PARAMETRO	UNIDADES	METODO	LA CASITA	LA GALVICIA	PIEDRECUESTA	LA MARIANA	BERLIN
CLORUROS	mg/l Cl <sup>-</sup>	Potenciométrico	1.87	0.048	<0.02	<0.02	<0.02

Nota: L.D = 0.02mg/L Cl<sup>-</sup>

Realizo:

  
 YANETH QUINTERO LÓPEZ  
 Directora Laboratorio CEIAM P.Q. 1744

Revisó y aprobó:

EDGAR FERNANDO CASTILLO M.  
 Director CEIAM



OFICINA: CENTRO DE ESTUDIOS E INVESTIGACIONES AMBIENTALES (CEIAM) - UIS	INFORME DE RESULTADOS	Mayo14 DE 2006
REALIZADO POR:  Qca. Esp. Qca ambiental YANETH QUINTERO LÓPEZ	TITULO: ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO	

SOLICITANTE: Dra. ZULY GOMEZ  
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA: AGUA LLUVIA  
FECHA DE RECEPCIÓN AL LABORATORIO: ABRIL 30 DE 2006  
MUESTRA TOMADA POR: TRAIDA AL LABORATORIO  
PARÁMETROS A EVALUAR: CLORUROS

REPORTE LABORATORIO AGUA LLUVIA

PARAMETRO	UNIDADES	METODO	LA CASITA	LA GALVIA	PIEDRECUESTA	LA MARIANA	BERLIN
CLORUROS	mg/l Cl <sup>-</sup>	Potenciométrico	1.26	0.79	0.7	1.17	0.98

Nota: L.D = 0.02mg/L Cl<sup>-</sup>

Realizo:

  
YANETH QUINTERO LÓPEZ  
Directora Laboratorio CEIAM P.Q. 1744



OFICINA: CENTRO DE ESTUDIOS E INVESTIGACIONES AMBIENTALES (CEIAM) - UIS	INFORME DE RESULTADOS	JUNIO 15 DE 2006
REALIZADO POR:  Qca. Esp. Qca ambiental YANETH QUINTERO LÓPEZ	TITULO: ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO	

**SOLICITANTE:** Dra. ZULY GOMEZ  
**DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA:** AGUA LLUVIA  
**FECHA DE RECEPCIÓN AL LABORATORIO:** MAYO 29 DE 2006  
**MUESTRA TOMADA POR:** TRAIDA AL LABORATORIO  
**PARÁMETROS A EVALUAR:** CLORUROS

REPORTE LABORATORIO AGUA LLUVIA							
PARAMETRO	UNIDADES	METODO	LA CASITA	LA GALVICIA	PIEDRECUESTA	LA MARIANA	BERLIN
CLORUROS	mg/l Cl <sup>-</sup>	Potenciométrico	1.17	0.37	0.47	0.7	0.93

Nota: L.D = 0.02mg/L Cl<sup>-</sup>

Realizo:

  
**YANETH QUINTERO LOPEZ**  
 Directora Laboratorio CEIAM P.Q. 1744



OFICINA: CENTRO DE ESTUDIOS E INVESTIGACIONES AMBIENTALES (CEIAM) - UIS	INFORME DE RESULTADOS	JULIO 20 DE 2006
REALIZADO POR:  Qca. Esp. Qca ambiental YANETH QUINTERO LÓPEZ	TITULO: ANÁLISIS FISICOQUIMICO	

**SOLICITANTE:** Dra. ZULY GOMEZ  
**DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA:** AGUA LLUVIA  
**FECHA DE RECEPCIÓN AL LABORATORIO:** JULIO 8 DE 2006  
**MUESTRA TOMADA POR:** TRAIDA AL LABORATORIO  
**PARÁMETROS A EVALUAR:** CLORUROS  
**MÉTODO DE ANALISIS.** POTENCIOMETRICO

**REPORTE LABORATORIO AGUA LLUVIA**

PARAMETRO	UNIDADES	LA CASITA	LA GALVICIA	PIEDRECUESTA	LA MARIANA	BERLIN	NAC. TONA
CLORUROS	mg/l Cl <sup>-</sup>	1.95	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02

Nota: L.D = 0.02mg/L Cl<sup>-</sup>

Realizo:

  
**YANETH QUINTERO LOPEZ**  
Directora Laboratorio CEIAM P.Q. 1744



OFICINA: CENTRO DE ESTUDIOS E INVESTIGACIONES AMBIENTALES (CEIAM) - UIS	INFORME DE RESULTADOS	JULIO 20 DE 2006
REALIZADO POR:  Qca. Esp. Qca ambiental YANETH QUINTERO LÓPEZ	TITULO: ANÁLISIS FISICOQUIMICO	

**SOLICITANTE:** Dra. ZULY GOMEZ  
**DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA:** AGUA LLUVIA  
**FECHA DE RECEPCIÓN AL LABORATORIO:** JULIO 8 DE 2006  
**MUESTRA TOMADA POR:** TRAIDA AL LABORATORIO  
**PARÁMETROS A EVALUAR:** CLORUROS  
**MÉTODO DE ANALISIS.** POTENCIOMETRICO

REPORTE LABORATORIO AGUA LLUVIA							
PARAMETRO	UNIDADES	LA CASITA	LA GALVICIA	PIEDRECUESTA	LA MARIANA	BERLIN	NAC. TONA
CLORUROS	mg/l Cl <sup>-</sup>	1.95	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02

Nota: L.D = 0.02mg/L Cl<sup>-</sup>

Realizo:

  
**YANETH QUINTERO LOPEZ**  
 Directora Laboratorio CEIAM P.Q. 1744



**CENTRO DE ESTUDIOS E INVESTIGACIONES AMBIENTALES  
CEIAM**



OFICINA: CENTRO DE ESTUDIOS E INVESTIGACIONES AMBIENTALES (CEIAM) - UIS	INFORME DE RESULTADOS	AGOSTO 3 DE 2006
REALIZADO POR:  Qca. Esp. Qca ambiental YANETH QUINTERO LÓPEZ	TITULO: ANÁLISIS FISICOQUIMICO	

**SOLICITANTE:** Dra. ZULY GOMEZ  
**DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA:** AGUA SUBTERRANEA  
**FECHA DE RECEPCIÓN AL LABORATORIO:** JULIO 28 DE 2006  
**MUESTRA TOMADA POR:** TRAIDA AL LABORATORIO  
**PARÁMETROS A EVALUAR:** CLORUROS  
**MÉTODO DE ANALISIS.** POTENCIOMETRICO

**REPORTE LABORATORIO AGUA LLUVIA**

PARAMETRO	UNIDADES	PAN DE AZUCAR INFERIOR	PAN DE AZUCAR SUPERIOR
CLORUROS	mg/l Cl <sup>-</sup>	3.9	12.7

Nota: L.D = 0.02mg/L Cl<sup>-</sup>

Realizo:

  
**YANETH QUINTERO LOPEZ**  
 Directora Laboratorio CEIAM P.Q. 1744