



**Universidad de Panamá**

**Vicerrectoría de Investigación y Postgrado**

**Programa de Maestría en Ciencias Físicas**

**Caracterización geofísica e hidrogeológica preliminar del  
acuifero de Antón**

**Por  
Ivis L. González de Jiménez**

**Asesor  
Mgter Moisés Ortega**

**Trabajo de tesis para optar por el título de Magister en Ciencias Físicas**

**Panamá, República de Panamá  
2015**

23 MAR 2016 87



Título de la Tesis: "Caracterización geofísica e hidrogeológica preliminar del acuífero de Antón"

TESIS

Sometida para optar al título de Maestría en CIENCIAS FÍSICAS

Vicerrectoría de Investigación y Postgrado

Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnología

APROBADO POR:

*[Signature]*

**Magister Moisés Ortega**  
Presidente

*[Signature]*

**Magister Néstor Luque**  
Miembro

*[Signature]*

**Doctor David Vega**  
Miembro

REFRENDADO POR:

*[Signature]*

**REPRESENTANTE DE LA VICERRECTORÍA  
DE INVESTIGACIÓN Y POSTGRADO**

FECHA:

27/11/2015

*[Handwritten mark]*

## *Dedicatoria*

*Dedico este trabajo a la memoria de mis padres, Juan Bautista y Luz María. A mi tío José del Rosario, a mi esposo Miguel Ángel y a mi hija Andrea Dana.*

## **Agradecimientos**

**Mi más profundo agradecimiento a los profesores Moisés Ortega y Pedro Salinas, quienes me orientaron y guiaron**

**A mis compañeros de batalla, Magister Guillermo Burke y al Licenciado Ricardo Cañón por ayudarme en las mediciones eléctricas, el ajuste de los sondeos eléctricos verticales (SEV) y en el análisis químico de las aguas estudiadas**

**También, agradezco al Dr Orlando Leone del Centro de Investigación con Técnicas Nucleares (CITEN) de la Universidad de Panamá, por el análisis químico y al Instituto de Acueductos y Alcantarillados Nacionales (IDAAN), por brindarnos la información existente de los pozos, en el área de estudio**

## ÍNDICE GENERAL

	Página
<b>Índice de Tablas</b>	v
<b>Índice de Figuras</b>	vii
<b>RESUMEN</b>	1
<b>INTRODUCCIÓN</b>	3
Motivación para esta investigación	4
Antecedentes	4
Propuesta de investigación	5
Objetivos generales y específicos	6
Estructuración del manuscrito	6
<b>Capítulo 1. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO</b>	8
1 1 Importancia del agua	8
1 2 Generalidades del distrito de Antón	9
1 3 Problemática del agua en el Distrito de Antón	11
1 3 1 Ubicación geográfica del distrito de Antón frente al desarrollo turístico	11
1 3 2 Fuentes de agua para el distrito de Antón	14
1 4 Delimitación del área de estudio	15
1 5 Fuentes de agua en Antón cabecera	17
<b>Capítulo 2. GEOLOGÍA Y CLIMA DE LA CUENCA 136</b>	
2 1 Cuenca hidrográfica 136	19
2 2 Geología de la región	21
2 3 Tipos de climas en Antón	22
2 4 Datos de pluviometría	23
<b>Capítulo 3. MARCO TEÓRICO</b>	
3 1 Generalidades de las aguas subterráneas	25
3 1 1 Ciclo del Agua	25
3 1 2 Infiltración del agua en el suelo	25
3 1 3 Tipos de acuíferos	27
3 1 4 Parámetros hidrogeológicos de los acuíferos	30
3.2 Prospección geofísica	35
3 2 1 Generalidades de la prospección geofísica	35

3 2 2 Métodos eléctricos	37
3 2 3 Formulación matemática para el sondeo eléctrico vertical	39
3 2 3 1 Medio homogéneo e isotrópico	41
3 2 3 2 Medio heterogéneo y anisotrópico de n capas	42
3 2 4 Formas de las curvas SEV e interpretación	45
3 3 Iones en el agua subterránea	48
<b>Capítulo 4. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL</b>	
4 1 Recolección de información geológica e hidrogeológica preliminar	51
4 1 1 Litología o columnas estratigráficas existentes de algunos pozos	51
4 1 2 Pruebas de bombeo existentes de algunos pozos	52
4 2 Sondeos eléctricos verticales (SEV)	52
4 3 Contenido de iones	54
<b>Capítulo 5. RESULTADOS</b>	
5 1 Sondeos eléctricos verticales (SEV)	55
5 1 1 Caracterización de los SEV	55
5 1 2 Modelo tridimensional del acuífero	67
5 1 3 Dinámica del acuífero	74
5 2 Parámetros hidráulicos	82
5 3 Contenido de iones en las aguas subterráneas en Antón cabecera	86
5 3 1 Niveles de aniones	86
5 3 2 Niveles de cationes	93
<b>Capítulo 6. PLAN DE EXPLOTACIÓN SOSTENIBLE</b>	101
<b>Capítulo 7. CONCLUSIONES</b>	107
<b>RECOMENDACIONES</b>	109
<b>REFERENCIAS</b>	110
<b>Anexo A. Curvas típicas de los SEV para tres y cuatro capas</b>	112
<b>Anexo B. Interpretación de los SEV</b>	115
<b>Anexo C. Resultados de las pruebas de bombeo</b>	125
<b>Anexo D. Columnas estratigráficas de algunos pozos</b>	129

---

## Índice de Tablas

<b>Tabla</b>	<b>Título de la Tabla</b>	<b>Pág.</b>
Tabla 1 1	Pozos perforados por el IDAAN en Antón cabecera	18
Tabla 3 1	Capacidad promedio de infiltración según del tipo de suelo	26
Tabla 3 2	Rangos de porosidad total y porosidad eficaz de formaciones sedimentanas comunes en los acuíferos	28
Tabla 3 3	Rango de Conductividad hidráulica o permeabilidad de algunos materiales sedimentanos	30
Tabla 3.4	Resistividades eléctricas de materiales geológicos	36
Tabla 3 5	Concentraciones máximas permitidas (en mg/L) de iones en el agua potable, según la Organización Mundial de la Salud (OMS)	48
Tabla 5 1	Cotas superiores e inferiores (en msnm) de las formaciones geológicas bajo la ciudad de Antón, según el análisis de los SEV	68
Tabla 5 2	Nivel freático (msnm) en los pozos perforados por el IDAAN en Antón cabecera	74
Tabla 5 3	Parámetros hidráulicos de los pozos del acuífero de Antón	82
Tabla 5 4	Niveles de aniones en el campo de pozos del distrito de Antón	86
Tabla 5 5	Niveles de cationes en el campo de pozos del distrito de Antón	93
Tabla 6 1	Producción total diaria de los pozos oficiales de Antón cabecera	103
Tabla 6 2	Coordenadas UTM de los pozos propuestos	106
Tabla C 1	Resultados de la prueba de bombeo en el pozo # 9 (Marzo de 1995)	125
Tabla C 2	Valores de la prueba de recuperación en el pozo # 9 (1995)	121

Tabla C 3	Resultados de la prueba de bombeo en el pozo # 10 (Marzo de 1997)	127
Tabla C 4	Valores de la prueba de recuperación en el pozo # 10 (1997)	122
Tabla C 5	Resultados de la prueba de bombeo en el pozo # 4 (Junio de 2001)	127
Tabla C 6	Valores de la prueba de recuperación en el pozo # 4 (2001)	127
Tabla C 7	Resultados de la prueba de bombeo en el pozo # 12 (Marzo de 2004)	128
Tabla C 8	Valores de la prueba de recuperación en el pozo # 12 (2004)	128

---

## Índice de Figuras

<b>Figura</b>	<b>Título de la Figura</b>	<b>Página</b>
Figura 1.1	Localización regional del Distrito de Antón, Provincia de Coclé, República de Panamá	10
Figura 1.2	División política del Distrito de Antón	10
Figura 1.3	Regiones Turísticas de Panamá	12
Figura 1.4	Delimitación del área de estudio	16
Figura 2.1	Ubicación regional de la cuenca 136	19
Figura 2.2	Localización de la cuenca hidrográfica 136 (sombreada en azul) dentro del distrito de Antón	20
Figura 2.3	Morfología característica de la región de Antón cabecera	21
Figura 3.1	Esquema de los acuíferos	29
Figura 3.2	Representación gráfica de los conceptos de conductividad hidráulica $K$ y transmisividad $T$	31
Figura 3.3	Nivel estático, Nivel dinámico, abatimiento y cono de depresión	33
Figura 3.4	Arreglo de cuatro electrodos en forma lineal	37
Figura 3.5	Arreglos de los electrodos más frecuentes en el campo	38
Figura 3.6	Superficies equipotenciales	40
Figura 3.7	Densidad de corriente en un volumen infinitesimal	43
Figura 3.8	Formas típicas de la curva SEV de dos capas	47
Figura 4.1	Medidor de resistividades SuperSting R1 IP	53

<b>Figura 5 1</b>	<b>Localización de los pozos de la ciudad de Antón y los diecinueve (19) SEV realizados</b>	<b>56</b>
<b>Figura 5 2</b>	<b>Comparación del SEV-01 con la columna estratigráfica en el pozo # 11</b>	<b>61</b>
<b>Figura 5 3</b>	<b>Comparación de los SEV 08 y 11 con la columna estratigráfica en el pozo # 12</b>	<b>62</b>
<b>Figura 5 4</b>	<b>Comparación del SEV-17 con la columna estratigráfica en el pozo del sr Barnet</b>	<b>63</b>
<b>Figura 5 5</b>	<b>Comparación del SEV-03 con la columna estratigráfica en el pozo San Pancracio</b>	<b>64</b>
<b>Figura 5 6</b>	<b>Comparación del SEV-13 con la columna estratigráfica en el pozo # 13</b>	<b>65</b>
<b>Figura 5 7</b>	<b>Comparación del SEV-10 con la columna estratigráfica en el pozo # 9</b>	<b>66</b>
<b>Figura 5 8</b>	<b>Estimación de los límites del acuífero en la curva de sondeo eléctrico vertical, basado en la estratigrafía de la zona más próxima</b>	<b>67</b>
<b>Figura 5 9</b>	<b>Modelo 3D del acuífero de Antón</b>	<b>69</b>
<b>Figura 5 10</b>	<b>Secciones Norte-Sur del acuífero bajo la ciudad de Antón</b>	<b>70</b>
<b>Figura 5 11</b>	<b>Secciones Oeste-Este del acuífero bajo la ciudad de Antón</b>	<b>71</b>
<b>Figura 5 12</b>	<b>Mapa con las áreas con mejor espesor de la zona 2 del acuífero de Antón</b>	<b>73</b>
<b>Figura 5 13</b>	<b>Flujo regional de las aguas de acuífero de Antón</b>	<b>75</b>
<b>Figura 5 14</b>	<b>Mapa piezométrico del acuífero de Antón</b>	<b>76</b>
<b>Figura 5 15</b>	<b>Sección O-E en el pozo 7</b>	<b>77</b>
<b>Figura 5 16</b>	<b>Sección O-E en el pozo 6</b>	<b>77</b>

Figura 5 17	Sección O-E en el pozo 3	78
Figura 5 18	Sección N-S en el pozo 5	78
Figura 5 19	Mapas de iso-resistividades eléctrica a cuatro profundidades desde el nivel superior del suelo	81
Figura 5 20	Recta de recuperación del pozo # 9 (1995)	84
Figura 5 21	Recta de recuperación del pozo # 10 (1997)	84
Figura 5 22	Recta de recuperación del pozo # 4 (2001)	85
Figura 5 23	Recta de recuperación del pozo # 12 (2004)	85
Figura 5 24	Niveles de dureza debido al bicarbonato ( $\text{HCO}_3$ )	89
Figura 5 25	Niveles de cloruro en las aguas subterráneas de Antón	90
Figura 5 26	Niveles de nitratos en las aguas subterráneas de Antón	91
Figura 5 27	Niveles de sulfatos en las aguas subterráneas de Antón	92
Figura 5 28	Niveles de sílice en las aguas subterráneas de Antón	96
Figura 5 29	Niveles de sodio en las aguas subterráneas de Antón.	97
Figura 5 30	Niveles de Potasio en las aguas subterráneas de Antón	98
Figura 5 31	Niveles de Calcio en las aguas subterráneas de Antón	99
Figura 5 32	Niveles de magnesio en las aguas subterráneas de Antón	100
Figura 6 1	Localización sugenda para los nuevos pozos	105

---

## RESUMEN

En este trabajo, se caracterizó, preliminarmente, tanto geofísica como hidrogeológicamente el acuífero que subyace bajo la ciudad de Antón cabecera con el objetivo de realizar un modelo conceptual hidrogeológico-geofísico y una propuesta de explotación sostenible y sustentable de sus aguas subterráneas. Para la caracterización geofísica e hidrogeológica se realizaron diecinueve (19) sondeos eléctricos verticales (SEV), se analizaron las concentraciones de iones en las aguas subterráneas, y cuatro (4) pruebas de bombeo realizadas por el departamento de Fuentes Subterráneas del IDAAN, al momento de la construcción de los pozos. Las medidas de resistividad fueron asociadas con la litología local encontradas en las perforaciones realizadas por el IDAAN. Esta comparación nos permitió realizar una modelización tridimensional de los distintos estratos geológicos que conforman el acuífero. El análisis arrojó, según nuestra interpretación, que la región estudiada corresponde a cuatro (4) capas de materiales geológicos diferentes a saber: suelo orgánico arenoso, arcilla-limosa-arenosa, aluvión arenoso (donde encontramos el nivel freático del acuífero) y una formación arenosa-arcillosa. Del estudio del contenido iónico de las aguas se encontró que tanto los niveles de aniones como de cationes se encuentran por debajo del límite establecido para consumo humano, según la Organización Mundial de la Salud (OMS), por lo que sus aguas pueden ser utilizadas como agua potable. Sin embargo, se observa un incremento de las concentraciones de iones en el área que se encuentra debajo de la ciudad, debido posiblemente a orígenes antropogénicos. De las pruebas de bombeo, se encontró que los pozos tienen arenas con distintos tamaños de grano que permiten una conductividad hidráulica aceptable. En promedio, la transmisividad del acuífero es  $256 \text{ m}^2/\text{día}$  y la permeabilidad es  $10.6 \text{ m}/\text{día}$ . Estos valores corresponden a un medio intergranular arenoso de grano mediano (aproximadamente  $0.40 \text{ mm}$  de diámetro) con una conductividad hidráulica mediana-alta. Los mapas de iso-conductividades y el piezométrico nos muestran que las aguas se mueven hacia el sureste. De las secciones realizadas en el modelo tridimensional, se infiere que la región central y la sur del área de estudio, son las que poseen las mejores características, de los estratos favorables, para la explotación futura del acuífero.

## **SUMMARY**

Aquifer that lies beneath the city of header Anton was characterized geophysical and hydrogeologically in order to perform a physical hydrogeological conceptual model and a proposal for a sustainable exploitation of its waters. Nineteen (19) vertical electrical soundings (SEV) were carried out for the geophysical and hydrogeological characterization, concentrations of ions in the groundwater and four (4) pumping tests conducted by the Department of groundwater resources of IDAAN (at the time of the construction of the wells) were analyzed. Resistivity measurements were associated with the local lithology found in boreholes by IDAAN. This comparison allowed us to carry out a three-dimensional modelling of the different geological strata that make up the aquifer. The analysis showed that the studied region corresponds to four (4) layers of different geological materials: Organic soil, sandy, clay-silty-sandy, Sandy alluvium (where we found the groundwater from the aquifer) and Sandy silty sediment. Study of the ionic content of the waters was found that both levels of anions and cations are below the limit set for human consumption, according to the World Health Organization (OMS), by which the water can be used as drinking water. However, there is an increase in the concentrations of ions in the area that lies beneath the city, due possibly to anthropogenic origins. Pumping tests, found that the wells have sands with different grain sizes that allow an acceptable hydraulic conductivity. On average, the transmissivity of the aquifer is 256 m<sup>2</sup>/day and permeability is 10.6 m/day. These values correspond to a medium Sandy intergranular of medium grain (approximately 0.40 mm diameter) with a medium-high hydraulic conductivity. Iso-conductivity and Piezometric maps show us that waters move towards Southeast. Sections in the three-dimensional model, it can be inferred that the central and southern regions have the best features of the strata that is favourable to the future exploitation of the aquifer.

## **INTRODUCCIÓN**

La mayor parte de la república de Panamá ha gozado de abundante agua, en buen estado, para el consumo humano. Sin embargo, hay regiones donde se presenta escases de agua durante la estación seca. Esta realidad es más notoria en la región del Arco Seco (formada por las regiones de Los Santos, Herrera y Coclé, próximas a la costa Pacífica). En esta zona, la lluvia es tan escasa que no existen ríos de gran caudal como para tomar agua y suplir la demanda. La mayor parte del agua se extrae de los acuíferos, pero el aumento de la población es tal que durante el verano muchos puntos se quedan sin agua.

En este trabajo, presentamos un estudio geofísico e hidrogeológico preliminar sobre el acuífero que subyace bajo la ciudad de Antón cabecera, ubicada aproximadamente a 135 km de la ciudad de Panamá y a 5 km de la costa pacífica de la Provincia de Coclé. La investigación se centra en esta ciudad debido a que es uno de los lugares poblados del Arco Seco que enfrenta problemas de agua, para la población, durante la estación seca. En este sentido, el Instituto de Acueductos y Alcantarillados Nacionales (IDAAN) reporta que tres (3) pozos pierden, totalmente, la capacidad de suministrar agua en el verano.

El área de estudio se ubica en la cuenca hidrográfica 136, según el Mapa Hidrogeológico del Istmo Centroamericano y México (PHCA) (ETESA, 1999). Esta cuenca se ubica entre las latitudes 8° 12' N y 8° 39' N y longitudes entre 80° 00' O y 80° 22' O, con una extensión aproximada de 7 km<sup>2</sup>. Es una zona con un clima tropical árido, donde la precipitación anual promedio es 2 290 mm. La temperatura

media es 26 °C y la evapotranspiración media anual es alta, con valores que oscilan entre 1 301 mm y 1 350 mm

Es un proyecto realizado por la Universidad de Panamá, a través de la Vicerrectoría de Investigación y Postgrado (VIP) y el Centro de Investigaciones con Técnicas Nucleares (CITEN), en colaboración con del Instituto de Acueductos y Alcantarillados Nacionales IDAAN

### **Motivación para esta investigación**

A pesar de que la fuente principal de agua en Antón cabecera es el acuífero que subyace bajo la ciudad, las autoridades (IDAAN) no cuentan con informaciones básicas hidrogeológicas bien establecidas tales como capacidad promedio, recuperación, puntos de recarga, los contenidos de iones de las aguas, potenciales fuentes de contaminación, posible intrusión marina y el verdadero potencial de explotación del acuífero. Como consecuencia, la explotación de este importante recurso natural no ha sido la más adecuada, pues no se ha hecho de forma científica, eficiente, ni controlada, lo que ha venido ocasionando un estrés hídrico en la ciudad. En Antón cabecera, hay pozos perforados por las instituciones gubernamentales que se vacían en la estación seca sin conocerse la razón física.

### **Antecedentes**

En 2009, el IDAAN hizo una licitación pública para un estudio hidrogeológico del área de Antón, con el objetivo de tener referencias científicas para un nuevo sistema de acueducto potable para la comunidad de Antón cabecera. El proyecto fue adjudicado a la empresa HIDROGEOCOL PANAMÁ.

S A (Hidrogeocol, 2009) en el 2009 Esta empresa realizó dos (2) Sondeos Eléctricos Continuos (SEC) o Tomografías y diez (10) Sondeos Eléctricos Verticales (SEV) Si bien se registra mucha consistencia entre los SEV, observamos que hay mucha dispersión en la data experimental También se hicieron ensayos de infiltración del agua superficial y llegaron a la conclusión que el suelo es impermeable (suelo limoso-arcilloso) Sin embargo, en nuestras visitas de campo observamos que hay zonas de gran extensión donde el contenido de arena en el suelo arcilloso es visible, lo que puede permitir la infiltración de agua superficial

No hemos encontrado registro de estudios sobre la calidad del agua o posibles intrusiones marinas, lo cual es muy importante dada la proximidad de Antón cabecera a la costa pacífica

### **Propuesta de investigación**

La ubicación geográfica del Distrito de Antón es un punto focal para el desarrollo de grandes proyectos turísticos, muchos ya desarrollados o en desarrollo, que exigirán más agua con el paso del tiempo Por tanto, en este trabajo de investigación, queremos hacer un estudio preliminar de caracterización geofísica e hidrogeológica sobre el acuífero del cual se abastece la ciudad de Antón y pueblos vecinos. Consideramos que es importante conocer las causas de porqué algunos pozos se secan en la estación seca, si se supone que el acuífero se encuentra en la misma zona geológica, la piezometría, la calidad de las aguas extraídas en los pozos a través de las concentraciones de iones y los principales parámetros hidrogeológicos que caracterizan al acuífero en estudio Con esta

caracterización pretendemos establecer un modelo conceptual del acuífero bajo la ciudad de Antón cabecera, que nos permita tomar decisiones sostenibles para la explotación futura

### **Objetivos generales y específicos.**

1 1 Caracterizar geofísica e hidrológicamente el acuífero en la ciudad de Antón

1 1 1 Determinar la litología o columna estratigráfica y los parámetros hidrogeológicos del acuífero

1 1 2 Realizar medidas verticales de la resistividad eléctrica del subsuelo bajo la ciudad de Antón cabecera

1 1 3 Hacer un modelo hidrogeológico conceptual del acuífero de Antón

1 2 Trazar un plan de explotación sostenible de las aguas subterráneas en la ciudad de Antón

1 2 1 Trazar un mapa de niveles piezométricos del acuífero

1 2 2 Analizar los contenidos de iones en las aguas subterráneas

1 2 3 Localizar futuros puntos de extracción de agua del acuífero

### **Estructuración del trabajo**

El trabajo que se presenta en este informe está distribuido de la siguiente manera en el capítulo uno (1) se revisan los aspectos más importantes del área de estudio y los trabajos previos realizados por el Instituto de Acueductos y Alcantarillados Nacionales (IDAAN) con miras a resolver la problemática del déficit de agua En el capítulo dos (2) se

presenta un análisis general de las características geológicas y climatológicas de la cuenca 136, que es donde se encuentra la zona de estudio. En el capítulo tres (3) se hace un repaso teórico sobre los fundamentos básicos de las técnicas de resistividad eléctrica, las pruebas de bombeo y los contenidos de iones en las aguas subterráneas. En el capítulo cuatro (4) se describen las metodologías utilizadas para la realización de las medidas. En el capítulo cinco (5) se presentan los resultados y el análisis correspondiente de los mismos. En el apartado seis (6) presentamos una propuesta de explotación sostenible del acuífero, que pensamos puede resolver el déficit de agua presente y proyectado hasta el 2030. Las conclusiones más importantes se presentan en el capítulo siete (7) y, finalmente, presentamos algunas recomendaciones que consideramos importantes para ampliar la información presentada en este trabajo.

La principal dificultad logística que encontramos en el desarrollo de esta investigación fue la oposición de algunos lugareños a que se realizaran las medidas de resistividad eléctrica cerca de sus propiedades. Además, como la mayoría de los sondeos eléctricos verticales (SEV) se hicieron en la zona urbana, las calles presentaron un reto para determinar los espaciados de los electrodos.

## **Capítulo 1. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO**

### **1.1 Importancia del agua**

El agua es el compuesto básico para la vida. La composición de una persona adulta es aproximadamente 65 % agua (Cordobesas, 2015) y para mantener la vida no puede pasar más de 6 días sin tomarla. La mayoría de los animales son cerca de 60 % agua y por lo tanto, también necesitan un consumo regular de este líquido. Las plantas, primer eslabón de la cadena alimenticia, demandan del agua para disolver los compuestos presentes en el suelo que le sirven de alimento.

Casi toda la actividad humana (consumo, aseo, recreo, agricultura, ganadería y otros) requiere un suministro regular de agua. Estudios han revelado que cerca del 70 % del agua dulce se usa en la producción agrícola, un 20 % en la industria y el 10 % restante se usa para las actividades domésticas (Baroni *et al* , 2007). Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), una persona requiere aproximadamente 50 litros de agua diarios (Ambientum com, 2015) para cubrir sus necesidades básicas.

Se estima que 2.5 % del agua existente en el planeta es dulce (PNUMA , 2012). Sin embargo, los desechos de la propia actividad humana contaminan los cuerpos de agua superficiales disponibles (ríos, humedales, lagos y otros) a medida que la población crece. Con esto nos encontramos en un problema: la población crece y así la necesidad de agua, pero las fuentes de agua dulce sanas disminuyen.

## **1.2 Generalidades del distrito de Antón.**

El distrito de Antón es uno de los seis (6) distritos de la provincia de Coclé, República de Panamá (Figura 1.1). Está ubicado en las coordenadas 8° 36' 28" N y 80° 7' 49" W. Al Norte limita con la Provincia de Colón, Al Sur con el Océano Pacífico, al Este con el Distrito de San Carlos (Provincia de Panamá Oeste) y al Oeste con el Distrito de Penonomé.

Este distrito posee diez (10) corregimientos (Figura 1.2): Antón, Cabuya, El Chirú, El Retro, El Valle, Juan Díaz, Río Hato, San Juan de Dios, Santa Rita y Caballero. Tiene una población de 54 632 habitantes, según el censo de población del 2010, y una superficie territorial aproximada de 748 km<sup>2</sup>.

En general, el cultivo del arroz, maíz, la ganadería, la crianza de caballo y el turismo constituyen las principales actividades económicas de los habitantes del Distrito de Antón, en su mayoría hispano-indígenas. Si analizamos las actividades económicas por zonas, el cultivo de hortalizas, la agricultura de subsistencia, la avicultura, floricultura, ecoturismo y generación de energía en hidroeléctrica son las principales actividades productivas en la parte norte (de mayor altitud). En la región media, la agricultura de subsistencia, y en su parte baja (sur) la ganadería, camaróneras, cultivos agrícolas, pesca artesanal y el turismo recreativo (gastronomía, vacaciones, arte, historia, cultura, sol y playa).

Durante la época lluviosa, las aguas de lluvia suplen la necesidad de agua de los productores. Sin embargo, en el verano la mayoría de los productores toman agua de los ríos y algunos extraen agua del subsuelo.

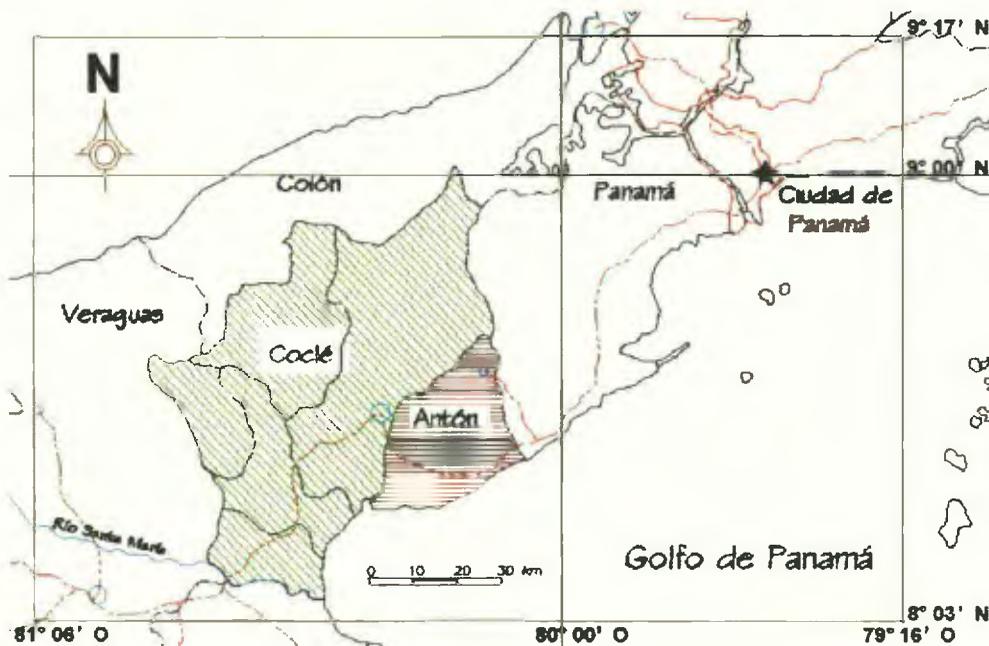


Figura 1.1. Localización regional del Distrito de Antón, Provincia de Coclé, República de Panamá.

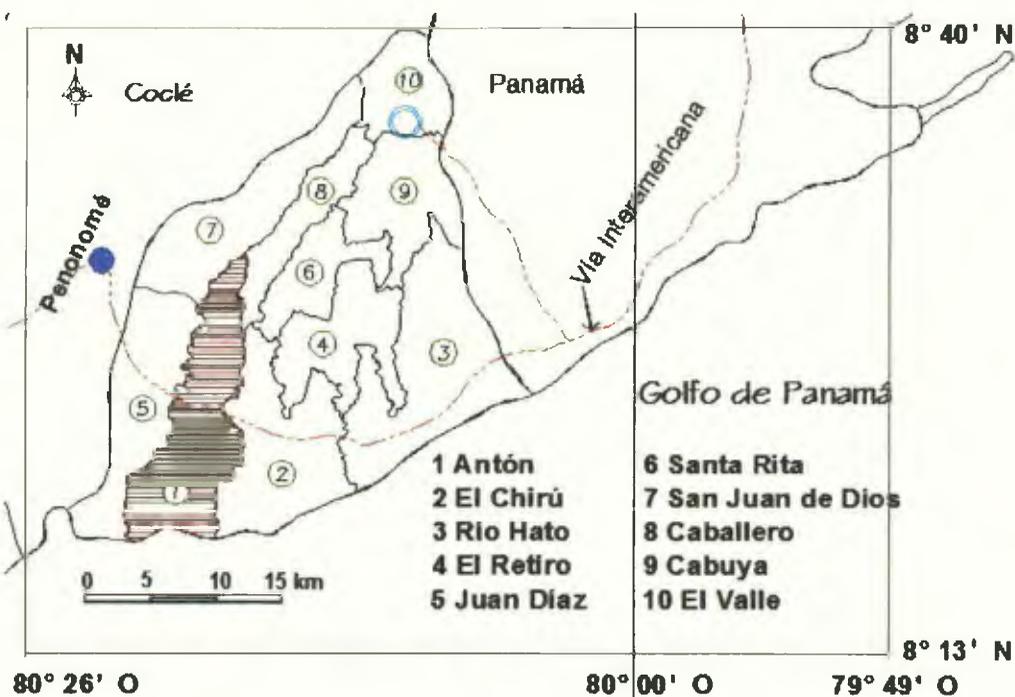


Figura 1.2. División política del Distrito de Antón, Provincia de Coclé, República de Panamá. Antón cabecera se ilustra sombreado.

El área comercial e industrial de la zona se ubica precisamente a orillas de la carretera Interamericana, debida principalmente a que en este sector se encuentran todos los servicios de infraestructura básicos, especialmente el de transporte y agua potable. La actividad industrial se concentra en el procesamiento de algunos rubros como lo son el arroz, el café, productos alimenticios y por último las frutas tropicales para la exportación.

A pesar de las oportunidades que ofrecen las diversas actividades económicas del Distrito de Antón, la región padece problemas claramente identificados (Contraloría General de la República, 2010) tales como el déficit hídrico, la extrema pobreza, la pérdida de cobertura boscosa, la contaminación de fuentes hídricas, la presión por el desarrollo urbano, la falta de cultura ambiental, la extracción de material no metálico y los problemas ambientales.

### **1.3 Problemática del agua en el Distrito de Antón.**

#### **1.3.1 Ubicación geográfica del distrito de Antón frente al desarrollo turístico.**

El distrito de Antón está localizado a una distancia aproximada de 135 km de la ciudad de Panamá, a lo largo de la carretera interamericana (Figura 1.1). Además, posee una gran extensión de entornos "marino costeros" muy próximas a la vía interamericana (Figura 1.2). Estas características costeras, aunadas a la cultura e historia colonial de la región, han convertido al distrito de Antón en uno de los principales destinos turísticos del país, especialmente en el turismo recreativo.

Desde 1990 hasta 2005, la costa pacífica del distrito de Antón captó cerca del 20 % de los turistas, locales y extranjeros, amante del sol y la playa, según la Autoridad del Turismo de Panamá (ATP) (ATP, 2007). Alrededor de un 60 % escogió la ciudad de Panamá para hacer compras y otras actividades turísticas y aproximadamente el 20 % restante se repartió en el resto del país.

Con el objetivo de expandir la industria verde (turismo) a todo el país y explotar los potenciales turísticos de cada provincia, se crea el Plan Maestro de Turismo Sostenible 2007 – 2020. En este macro plan de desarrollo turístico, los potenciales turísticos del país son agrupados en ocho (8) regiones turísticas (R.T), Figura 1.3. La región turística 5 está integrada por Campana, Chicá, El Valle de Antón, Costa Pacífica (Antón), Penonomé, El copé y Nata. Para esta región turista 5, el Plan Maestro de Turismo Sostenible 2007 – 2020 proyecta para el año 2020 aumentar en aproximadamente 8% la preferencia de los turistas por los atractivos de esta región (ATP, 2007).

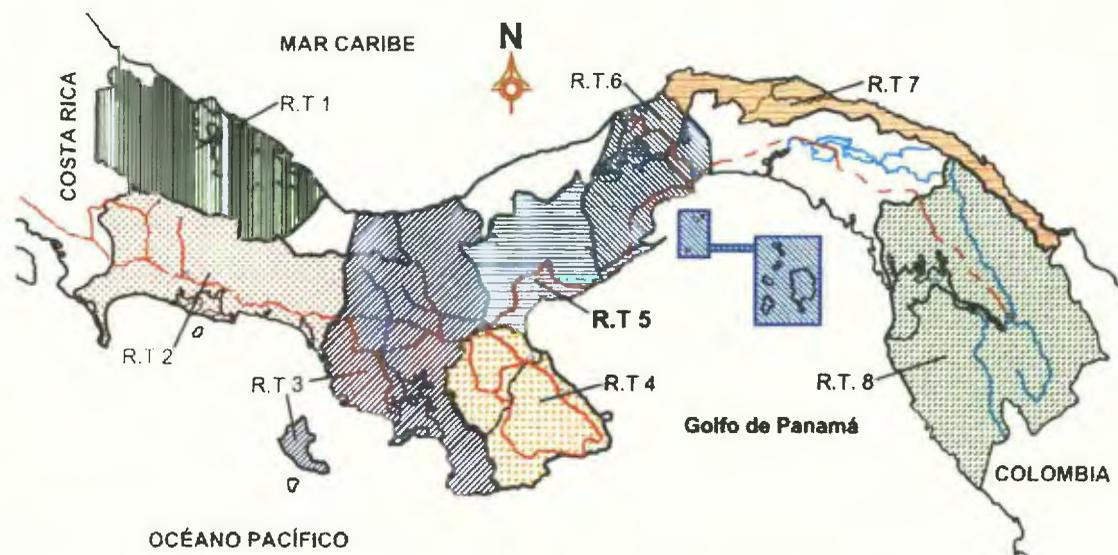


Figura 1.3. Regiones Turísticas de Panamá

Dentro de la región turística 5, existe una pronzación, por parte del Gobierno, por los entornos “manno costeros”, que han sido identificados como zonas para consolidar Clusters Turísticos (ATP, 2007) Actualmente, se observa la construcción de una gran cantidad de infraestructuras, con fines turísticos y residenciales, a lo largo de la costa pacífica lo que implica la permanencia de una mayor población en esta región

El gran crecimiento de la industria turística en la provincia de Coclé plantea oportunidades y amenazas para la calidad de vida de la zona Por un lado, tenemos grandes beneficios como lo es la disminución del desempleo, debido al incremento en la construcción de centros comerciales, urbanísticos y hoteleros y un mayor número de tunstas, que traen consigo una mejora en la economía de la provincia Por otro lado, el tunsmo también acarrea consigo grandes retos que afrontar como lo son mayor demanda de agua potable, aumento en la utilización de energía, el manejo adicional de las aguas servidas y los desechos (basura) producidos por los tunstas, sumados a las generadas por los pobladores de la región

Los sectores que conforman la franja costera pacífica del distrito de Antón no cuentan con los servicios institucionales de agua potable y alcantarillados para satisfacer sus demandas (MINSA, 2014) Por ello, los proyectos hoteleros, urbanísticos y comerciales tienen que construir sus propios sistemas de agua potable (generalmente pozos y almacenamiento) y de alcantarillado, incluyendo el tratamiento del agua residual, pero la descarga final termina en los cursos de aguas naturales y consecuentemente dejan de ser aptos para tomas de agua

En otros sectores urbanos del Distrito de Antón, donde también hay crecimiento de la población, sólo hay un sistema de alcantarillado que sirve a 674 viviendas de un total de 13 165 (MINSA, 2014) En el resto del distrito no se cuenta con sistemas de alcantarillados nacionales y mucho menos en las áreas rurales Las excretas humanas son recogidas en pozos sépticos o letrinas (MINSA, 2014), lo que también puede contaminar las fuentes subterráneas

### **1.3.2 Fuentes de agua para el distrito de Antón.**

Dependiendo de la cantidad de pobladores, la tarea de abastecimiento de agua potable recae en el Instituto de Acueductos y Alcantarillados Nacionales (IDAAN) y el Ministerio de Salud (MINSA) Los centros poblados (zonas urbanas) con más de 500 habitantes son atendidos por el IDAAN (ETESA, 1999) Las fuentes de abastecimiento son principalmente ríos y pozos El agua es purificada y se canaliza a través de tuberías hasta los poblados Las regiones con menor cantidad de habitantes (zonas rurales) son atendidas por el MINSA mediante acueductos rurales y dichos funcionarios son los que perforan y operan los pozos con los que se abastece a estas poblaciones

Uno de los impactos negativos que se presentan en el distrito de Antón (y en casi toda la provincia de Coclé), con el incremento del turismo, es el aumento del déficit de agua, tanto potable como para otros usos, tales como la ganadería y la agricultura, sobre todo en la época seca en nuestro país

En el distrito de Antón, la distribución de las lluvias durante el año es de aproximadamente el 8% durante la estación seca, comparado con el 92% de las

lluvias en los meses de Mayo a Noviembre (ANAM, 2009) Esto limita la existencia de fuentes superficiales de agua (ríos) de alto caudal, por lo que las fuentes subterráneas de agua de la región son las que, en su mayoría, se utilizan para abastecer de agua potable a sus habitantes. El problema es que hay sectores donde los pozos pierden, parcial o totalmente, el rendimiento durante la estación seca, lo que indica que el contenido de agua del acuífero se modifica considerablemente.

Para dar respuestas a la creciente demanda de agua potable, el Gobierno Nacional pretende mejorar, a través de grandes proyectos, las infraestructuras de agua potable, aguas residuales y servidas en el distrito de Antón, así como en otros puntos del país, para que la industria del turismo siga fortaleciéndose a corto y mediano plazo. Sin embargo, a la fecha no se han implementado y los pobladores siguen padeciendo, principalmente, la falta de agua potable.

#### **1.4 Delimitación del área de estudio.**

Si bien todos corregimientos del distrito de Antón presentan los mismos problemas de déficit de agua potable, en este trabajo nos enfocaremos en el poblado de Antón cabecera. Específicamente, el área de estudio de esta investigación es, aproximadamente, de 7 km<sup>2</sup> (Figura 1.4). Se trata de una zona prácticamente plana atravesada por la vía Interamericana, con un incremento en la elevación hacia la parte norte. En esta ciudad se registró una población de 9 790 habitantes, según el censo de 2010 de la Contraloría General de la República de Panamá.

El río Las Guabas se encuentra al Oeste de la ciudad de Antón. Al Este encontramos al río Antón, al Norte, la serranía de la cuenca 136 del río Antón y al Sur, el Océano Pacífico.

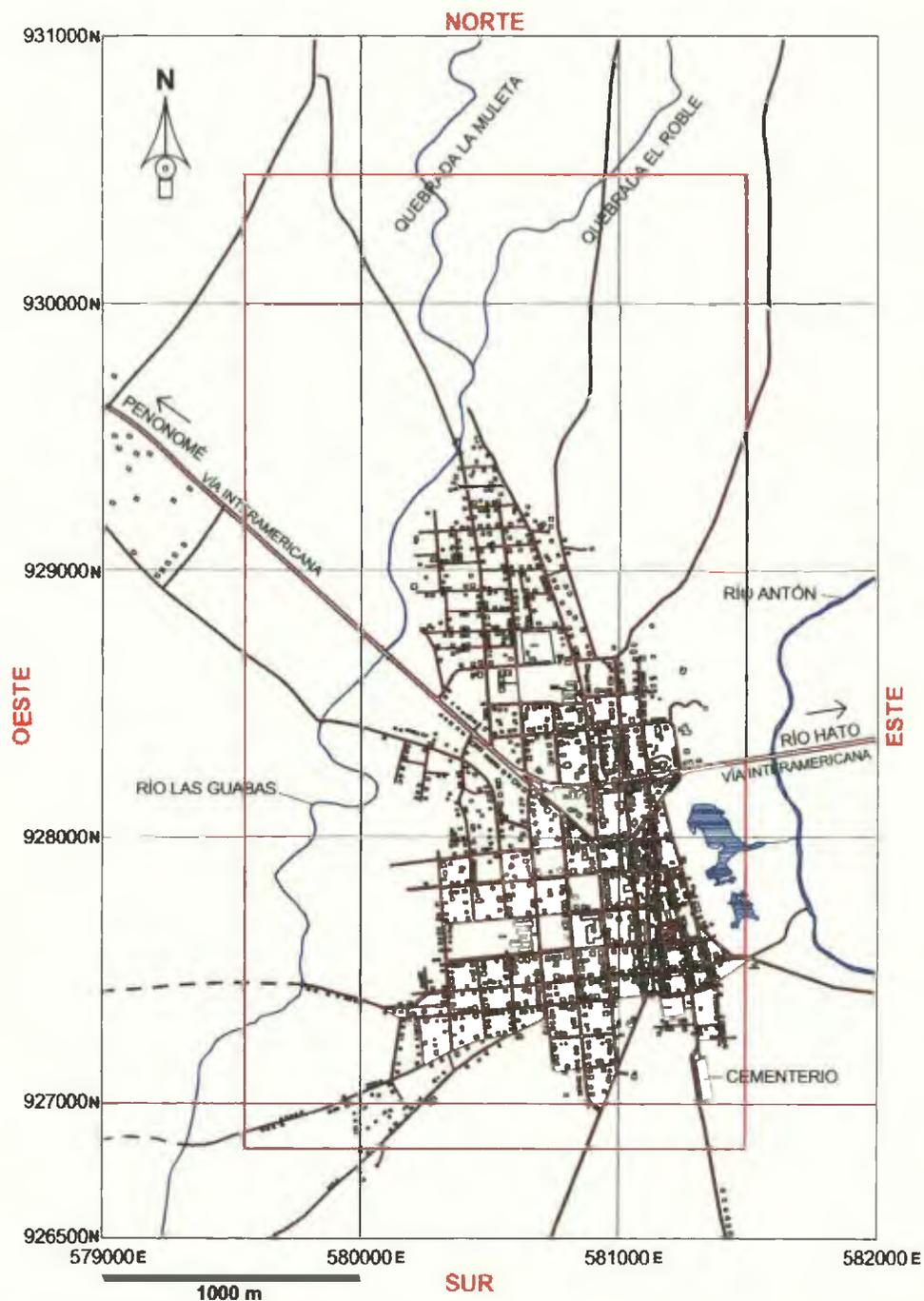


Figura 1.4. Delimitación del área de estudio

### **1.5 Fuentes de agua en Antón cabecera.**

En el caso específico de Antón cabecera, desde el año 2007, el IDAAN tiene proyectado el diseño y construcción de una nueva planta potabilizadora y la adquisición e instalación de un tanque de acero inoxidable de 50 000 galones (ATP, 2007) Sin embargo, según las autoridades, muchos son los factores que limitan la implementación de un sistema general de agua potable, tales como la mala distribución de los habitantes de Antón cabecera, el uso agrícola del recurso hídrico en el área, los cambios climáticos que alargan la época seca, la pérdida de las áreas boscosas y la contaminación de las fuentes hídricas superficiales y por consiguiente las subterráneas. Debido a los aspectos anteriores, el IDAAN ha optado en los últimos años por continuar la explotación de recursos hídricos subterráneos, para dar respuesta a la problemática del agua potable y el estrés hídrico de la región.

En Antón cabecera, se sabe que hay diecisiete (17) pozos perforados por el IDAAN dentro de la comunidad, que abastecen de agua potable a sus pobladores (Tabla 1.1). De estos pozos, hay tres (3) que se secan en verano (Hutchinson, 2012). Pero, en la región existen ocho (8) pozos particulares perforados por parte de los pobladores (MINSA, 2014), muchas veces sin el conocimiento o permiso de las autoridades correspondientes. Estos pozos pudieran estar afectando el rendimiento de los pozos oficiales, perforados por el IDAAN o el MINSA, provocando que ninguno, ni los oficiales ni los particulares, trabajen de una forma sostenible y eficiente.

**Tabla 1 1 Pozos perforados por el IDAAN en Antón cabecera**

No Pozo	Nombre	Coordenadas		Prof (m)	Motor (HP)	Q (Gal/min)
		Norte	Este			
1	IDAAN	580852	927981	55	7.5	80
2	Esc Rep Dominicana	580848	927710	58	7.5	80
3	Policía Nacional	581088	928112	55	5	60
4	El Ciruelito	580818	928670	43	5	60
5	La Incada	581433	929421	58	3	35
6	Laura Gaitán	580422	928832	36	3	40
7	Estadio El Ciruelito	580606	928711	46	2	30
8	Guabas Abajo	580224	927386	53	3	45
9	Calle Primera	581235	928055	44	3	45
10	Colegio Salomón Ponce	580497	927595	37	3	30
11	Parque Kennedy	580591	928579	46	3	40
12	Cooperativa de pescadores	581096	927341	46	3	35
13	El Mirador	579874	930464	30	5	60
14	Capilla San Pancracio	580165	927092	55	3	50
15	CH	579967	927611	—	—	—
16	IPHE	581223	928471	—	—	—
17	MINSA	580206	928559	—	—	—

## Capítulo 2. GEOLOGÍA Y CLIMA DE LA CUENCA 136

### 2.1 Cuenca hidrográfica 136

El distrito de Antón se encuentra ubicado en la región hídrica del Pacífico Central de Panamá, conformada desde la cuenca 124 a la 142 (Figura 2.1). La clasificación de las cuencas corresponde al Proyecto Hidrometeorológico Centroamericano (PHCA) (ETESA, 1999), para el trazado y numeración de las principales cuencas hidrográficas en Centroamérica. Las cuencas 124 a la 142 se encuentran en territorios que abarcan las provincias de Los Santos, Herrera, las partes central y sur de Coclé y el suroeste de la provincia de Panamá, con la cuenca del río Juan Díaz. Los cursos de agua desembocan en el océano Pacífico.

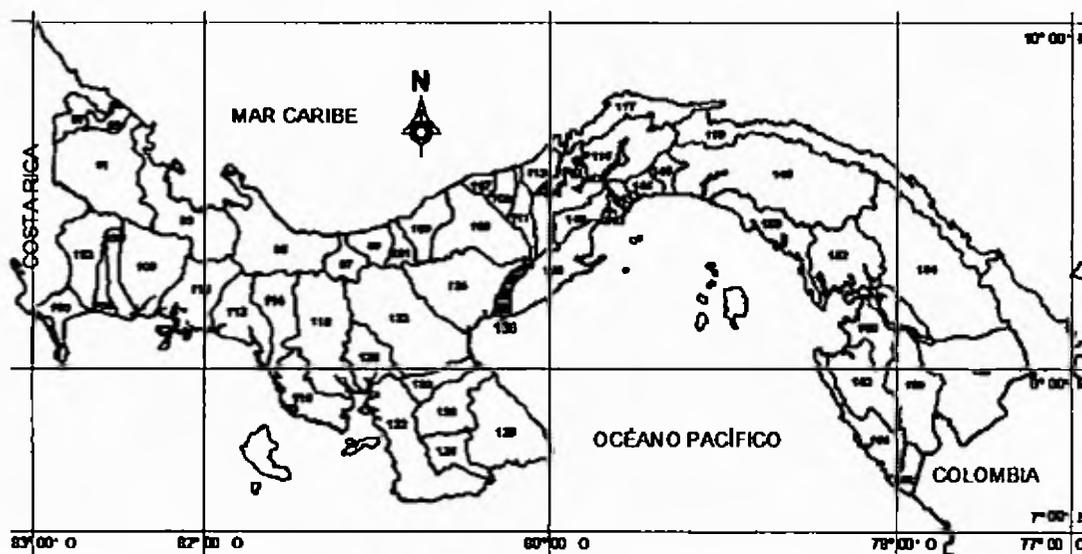


Figura 2.1 Ubicación regional de la cuenca 136

Para este trabajo es de interés la cuenca 136, ya que el corregimiento de Antón cabecera (nuestra zona de estudio), se encuentra dentro de esta cuenca

hidrográfica (Figura 2.2). Esta zona hidrográfica se ubica entre las coordenadas 8° 18' y 8° 38' de latitud norte y entre los 80° 06' y 80° 38' longitud oeste (ANAM, 2009). Limita al norte con la cuenca del Río Indio (cuenca 111), al sur con la Bahía de Parita (océano Pacífico), al este con la cuenca de los ríos comprendidos entre el río Antón y el río Caimito (cuenca 138) y al Oeste con la cuenca del Río Grande (cuenca 134).

La cuenca hidrográfica 136 tiene una superficie cercana a los 291 km<sup>2</sup>; el río principal de esta cuenca es el río Antón, con una extensión aproximada de 53 km y un caudal mensual promedio de 4.35 m<sup>3</sup>/s (ANAM, 2009). Esta cuenca vierte sus aguas en la vertiente del Pacífico, al sureste de la provincia de Coclé.

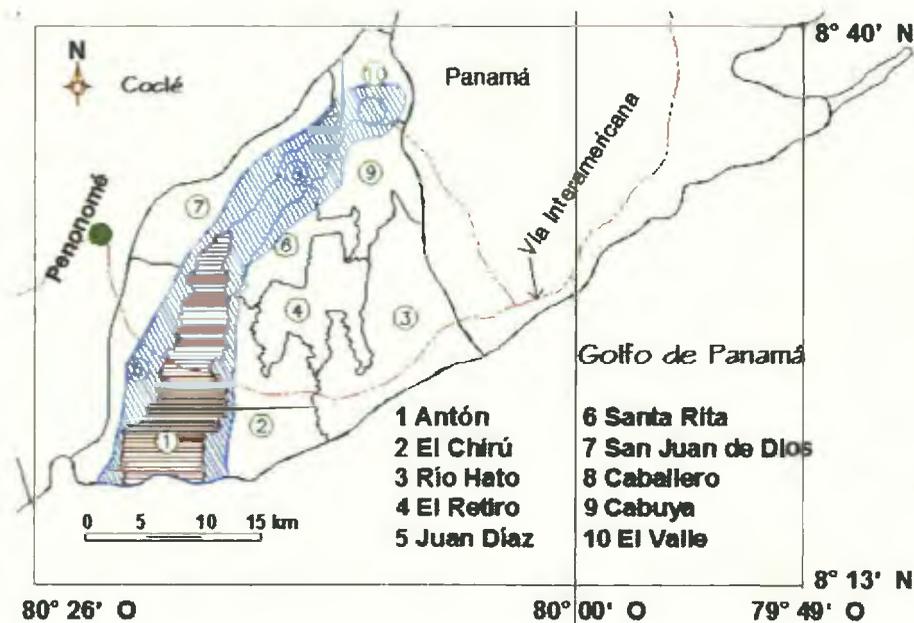


Figura 2.2. La cuenca hidrográfica 136 (sombreada en azul) nace en el cráter del Valle de Antón.

## 2.2 Geología de la región

Dentro de la división morfológica de Panamá, el corregimiento de Antón cabecera se encuentra en las regiones bajas de planicies litorales, (Figura 2.3) (ETESA E. , 1999). Se trata de regiones muy planas (o de pendiente mínimas), de baja altitud (de 0 a 100 msnm), que emergieron de la plataforma oceánica durante el período Plioceno del Neógeno, hace aproximadamente, 5332 millones de años (Rubio, 1949). Durante el período Plioceno hubo una gran actividad volcánica en Panamá, que produjo el levantamiento del Istmo. Por ello, la geología de las regiones bajas de planicies litorales se caracteriza principalmente por franjas alternas de rocas sedimentarias marinas y sedimentos volcánicos-fluviales, consolidados y no consolidados.

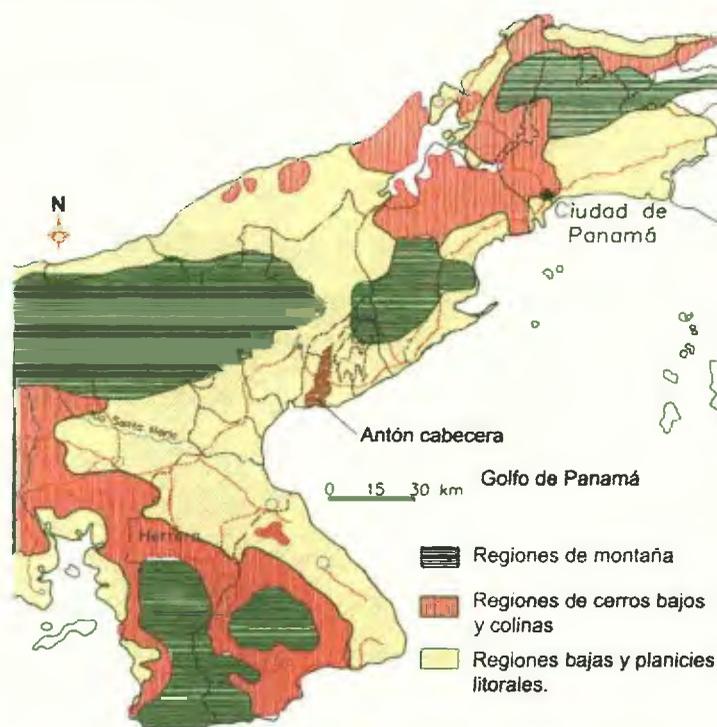


Figura 2.3. Morfología característica de la región de Antón cabecera.

El distrito de Antón, y por ende Antón cabecera, se localiza en las faldas del volcán del Valle. Casi todos las rocas y sedimentos volcánicos-fluviales de esta región provienen de este volcán y por eso recibe el nombre de formación El Valle.

Durante el cuaternario (desde hace 2.588 millones de años hasta el presente), capas de sedimentos volcánicos (tobas, piedra pómez y ceniza, principalmente), depósitos de pantanos, arcillas (las más profundas en forma de lutitas), aluviones y sedimentos marinos (areniscas y areniscas no consolidadas) se sentaron sobre las capas formadas durante el Plioceno para formar la geología actual. La mayor parte de los sedimentos de este período geológico provienen de la región de Río Hato y por ello se llama formación de Río Hato.

Los sedimentos de la formación de Río Hato (tobas, pómez y arenas) no están consolidados (en su mayoría) y forman el acuífero que analizamos en este trabajo.

### **2.3 Tipo de clima de Antón**

El distrito de Antón y específicamente el corregimiento de Antón cabecera, se localiza dentro de la franja de tierras bajas de la costa pacífica (desde Los Santos, pasando por Herrera, Coclé y Panamá, hasta Darién) donde predomina un clima tropical húmedo, también llamado clima tropical con estación seca prolongada (ANAM, 2009).

Dentro de la cuenca 136 se distinguen dos (2) subclimas el tropical humedo hacia la parte alta y el tropical de sabana, dominante en la zona media y baja (ANAM, 2009)

La temperatura media de la cuenca 136 varía según la lattud De la región media hacia la parte norte (El Valle de Antón), las temperaturas van de 26 °C a 20 °C, respectivamente Mientras que de la zona media hacia la costa pacífica, las temperaturas promedios anuales van de 26 °C a 27 °C (ANAM A , 2010)

#### **2.4 Datos de pluviometría**

En esta franja de tierras bajas de la costa pacífica, se presentan volúmenes bajos de agua superficial debido a que las precipitaciones anuales no sobrepasan los 1 000 mm de lluvias y la extensión del período de sequía es de, aproximadamente, cinco (5) meses

La precipitación pluvial media anual de la cuenca 136, donde se ubica Antón cabecera, correspondiente al Río Antón, es de 2 290 mm Se ha determinado que la precipitación es homogénea entre la parte central y norte de la cuenca, con un promedio de 3 000 mm anual. De la parte central hacia el litoral va disminuyendo hasta llegar a, aproximadamente, 1 500 mm. Cerca del 92 % de las precipitaciones se dan entre los meses de mayo y noviembre (ANAM, 2009)

La escorrentía media dentro de la cuenca 136 también varía, debido pnncipalmente a la distribución de las lluvias De la franja litoral hacia la parte central, las escorrentías están entre 400 mm y 1 200 mm En la zona norte la escorrentía media anual es mayor, entre 1 200 mm y 2 800 mm

La evapotranspiración es alta de la zona media a la costa pacífica, con promedios anuales entre 1 301 mm a 1 350 mm. Mientras que hacia la parte alta (norte), la evapotranspiración oscila entre 1 300 mm y 1 100 mm.

Estas cifras promedios anuales señalan que el corregimiento de Antón cabecera es donde llueve menos y donde la evapotranspiración es mayor, quizá por la mayor temperatura.

## **Capítulo 3. MARCO TEÓRICO**

### **3.1 Generalidades de las aguas subterráneas**

#### **3.1.1 Ciclo del Agua**

La cantidad de agua que hay en la Tierra es la misma desde su formación, sólo ha estado cambiando de fase constantemente. Se evapora desde la superficie del suelo, de los océanos, ríos y lagos y además se evapora-transpira desde el follaje de las plantas y la piel de los animales. También ocurre sublimaciones, este último, principalmente, en los casquetes glaciares.

Toda el agua evaporada y evapotranspirada forma grandes masas de agua gaseosa en la atmósfera que luego, bajo condiciones específicas de temperatura y presión, se condensa y forma las lluvias. Estas precipitaciones regresan agua líquida a los cuerpos de agua, al suelo, las plantas y animales para reiniciar el ciclo.

#### **3.1.2 Infiltración del agua en el suelo**

El agua precipitada sobre la superficie puede quedar detenida en cuerpos de agua superficiales, evaporarse, discurrirse mediante escorrentías superficiales o infiltrarse (penetrar hacia el interior). La infiltración de agua en los suelos se debe a la acción conjunta de las fuerzas moleculares y de gravedad (Espinoza, 2004).

Cuando cae la lluvia, el suelo empieza, inmediatamente, a infiltrar agua. La capacidad de infiltrar agua del suelo y del subsuelo depende de la composición

geológica, que determina el nivel de porosidad de las estructuras que subyacen de la superficie del suelo, Tabla 3 1 Sin embargo, este proceso de infiltración no es lineal con la profundidad ni en el tiempo. Las capas superficiales del suelo se saturan limitando gradualmente la entrada adicional de agua. Como consecuencia, el nivel de infiltración va disminuyendo con el tiempo y con la profundidad, desde la superficie hacia abajo, alterando los niveles de humedad de las diferentes capas del subsuelo.

Durante los períodos secos (sin lluvia), el contenido efectivo de humedad en las distintas capas del suelo y subsuelo se invierte. La evaporación es fuerte en las capas superficiales, debido, principalmente, a la temperatura y los vientos, lo que disminuye, paulatinamente, los niveles de humedad. Debido a las fuerzas de atracción molecular, el agua asciende, pero no linealmente, de modo que la humedad que logró infiltrarse en las capas inferiores ahora es mayor. Por lo anterior, la capacidad de infiltración de la superficie vuelve a aumentar.

**Tabla 3 1 Capacidad promedio de infiltración según tipo de suelo**

Tipo de suelo	Capacidad de Infiltración (mm/h)
Arena limpia	Mayor de 30
Arena Limosa	25-30
Limo arenoso	20-25
Limo	10-20
Limo arcilloso	10-12
Arcilla limosa	5-10
Arcilla	1-5

Tomado de (Guaya, 2013)

La infiltración del agua en el suelo es la que da origen a grandes reservorios de aguas subterráneas llamados acuíferos. El agua se acumula y fluye a través

de los poros y espacios intergranulares de las estructuras geológicas por períodos que van desde unos días hasta miles de años

La capacidad de infiltración del suelo y subsuelo, en las zonas donde hay acuíferos es importante, ya que permite estimar la rapidez de recarga, los puntos de recarga y posibles focos de contaminación. Por ejemplo, capas de arcillas o limos presentan niveles de infiltración muy bajos (Tabla 3 1), lo que impide que la infiltración tenga un papel preponderante en la recarga de los acuíferos, pero a la vez es una barrera contra sustancias contaminantes derramadas en la superficie del suelo

### **3.1.3 Tipos de acuíferos**

Un acuífero es una estructura geológica en la cual se almacena, fluye y es cedida agua con facilidad, ya sea naturalmente (manantiales, ojos de agua o humedales) o artificialmente mediante bombeo (Sánchez, 2014). La capacidad de una formación geológica para almacenar agua depende de la porosidad total  $m$ , mientras que la facilidad para que el agua fluya a través de ella depende de la permeabilidad (conductividad hidráulica),  $K$ , que obedece directamente a la porosidad eficaz  $m_e$  (razón del volumen de poros interconectados al volumen total de poros) del estrato geológico, Tabla 3 2

Según la porosidad total y la conductividad hidráulica (características hidrodinámicas), las formaciones geológicas, con potencial de recoger agua, se clasifican en acuíferos (alta porosidad total y permeabilidad aceptable), acuífugos (porosidad total y permeabilidad casi nulos), acuitardos (alta porosidad total, pero

bajísima conductividad hidráulica) y acucludos (alta porosidad total, pero conductividad hidráulica casi nula) (Villanueva & Iglesias, 1984)

Tabla 3.2 Rangos (%) de porosidad total, porosidad eficaz y capacidad de retención de las formaciones sedimentanas

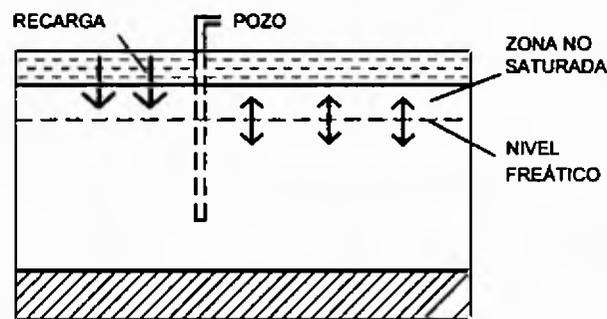
Sedimento	Porosidad total	Porosidad eficaz	Capacidad de retención
Gravas	25 - 40	25 - 35	0 - 5
Grava-arenosa	20 - 50	25 - 35	0 - 25
Arenas	40 - 50	25 - 35	5 - 25
Limos	50 - 55	12-25	25 - 40
Arcillas	55 - 60	3-12	40 - 55

Tomado de (Rebollo, 2007)

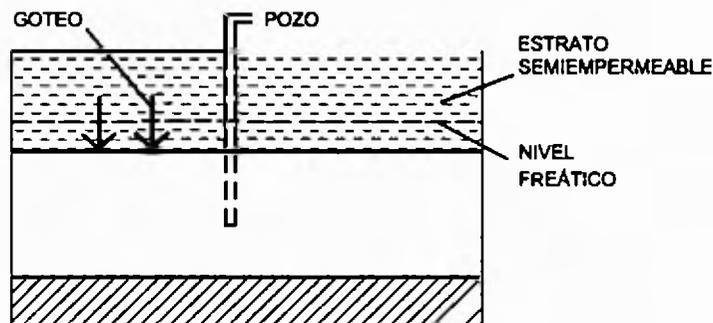
Para fines de explotación de las aguas subterráneas, los acuíferos son las estructuras geológicas de interés. Estos se clasifican en tres grandes categorías, según el confinamiento y la presión a que se encuentra el agua almacenada. Si la superficie superior del acuífero está en contacto directa con la atmósfera, total o parcialmente, el agua contenida también está a presión atmosférica y el acuífero es libre. En estos acuíferos, el agua no ocupa toda la formación geológica y por lo tanto existe una zona no saturada, (Figura 3.1), cuyo espesor varía según las recargas que se infiltran por el manto superior.

Hay otros acuíferos donde el agua está confinada por estratos geológicos impermeables y por lo tanto, no existe intercambio de agua con otros medios (Villanueva & Iglesias, 1984). En estos casos, el acuífero está totalmente lleno y el agua está sujeta a la presión del manto superior (Figura 3.1). Por ende, la presión del agua es superior a la atmosférica y el acuífero se clasifica como confinado o cautivo. Generalmente, la recarga ocurre en zonas bien alejadas de los puntos de extracción de agua.

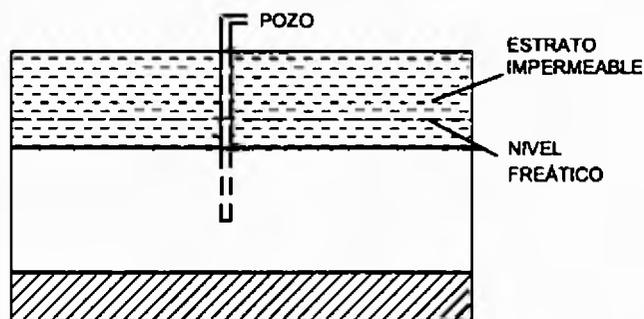
Si el techo o las paredes del acuífero confinado no son totalmente impermeables, el agua puede entrar o salir, según la diferencia entre las presiones interna y externa. Aquí también la formación está totalmente llena de agua y la presión es superior a la atmosférica, pero inferior a la presión que tuviera si fuera completamente confinado. Estos acuíferos se llaman semiconfinados (Figura 3.1)



a



b



c

Figura 3.1 Esquema de los acuíferos a) libres, b) semiconfinados y c) confinados

### 3.1.4 Parámetros hidrogeológicos de los acuíferos

Los acuíferos se caracterizan mediante parámetros hidrogeológicos como la conductividad hidráulica (K), la transmisividad (T) y el coeficiente de almacenamiento (S). Estos parámetros permiten tener una idea admisible del rendimiento del pozo, cuánto se está impactando este recurso, y si es de forma sostenible o se está sobreexplotando (Villanueva & Iglesias, 1984)

La conductividad hidráulica es el volumen de agua que atraviesa una sección unitaria (1 m<sup>2</sup>) en la unidad de tiempo como se muestra en la Figura 3.2. Este parámetro mide la rapidez a la que fluye el agua, a través del medio que constituye el acuífero. Se calcula en m/día y depende de la porosidad efectiva del material geológico. A continuación, se presentan los valores promedio de conductividad hidráulica de los materiales sedimentarios más frecuentes en los acuíferos porosos (Tabla 3.3)

Tabla 3.3 Conductividad hidráulica o permeabilidad de algunos materiales sedimentarios

Material	Conductividad Hidráulica K (m/día)	Apreciación	
Limo arenoso	$3 \times 10^{-5} - 7 \times 10^{-4}$		
Arena arcillosa	$2 \times 10^{-4} - 3 \times 10^{-3}$	$K < 10^{-2}$	muy
Arena limosa	$3 \times 10^{-2} - 2 \times 10^{-1}$	baja	
Arena con grava	$5 \times 10^{-1} - 12$	$10^{-2} < K < 1$	baja
Grava arenosa	$7 \times 10^{-1} - 8 \times 10^2$	$1 < K < 10$	media
Grava fina	$4 \times 10^2 - 2 \times 10^3$	$10 < K < 100$	alta
Grava mediana	$5 \times 10^3 - 8 \times 10^3$	$K > 100$	muy alta

Tomado de (Rebollo, 2007, Villanueva & Iglesias, 1984)

La transmisividad (T) es una medida de la capacidad que tiene una formación geológica para ceder agua. Se define como el volumen que atraviesa

una sección vertical, de ancho unitario y altura igual al espesor saturado, en la unidad de tiempo. Es equivalente al producto de la conductividad hidráulica  $K$  por el espesor saturado  $b$  del acuífero.

$$T = Kb \quad (1)$$

El coeficiente de almacenamiento  $S$  corresponde al volumen de agua cedido por una columna del acuífero saturado de base unitaria ( $1 \text{ m}^2$ ) cuando se deprime una unidad ( $1 \text{ m}$ ).

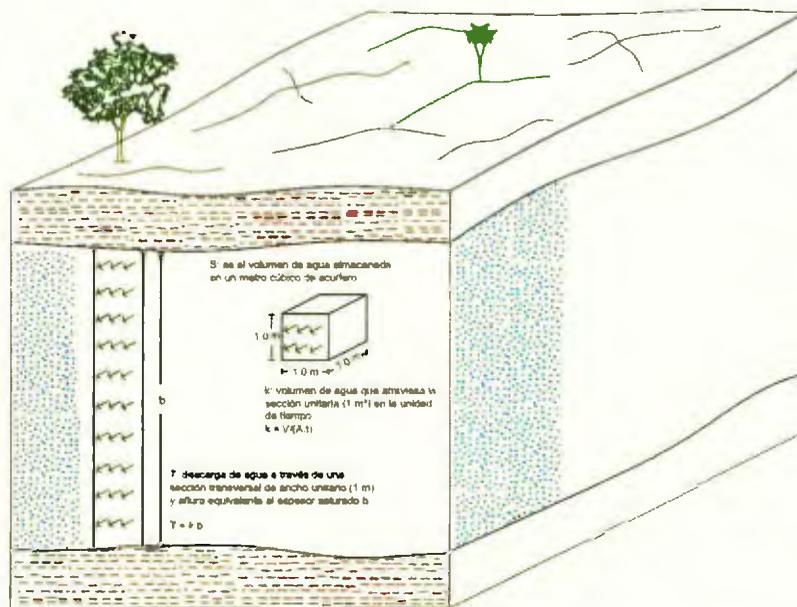


Figura 3.2. Representación gráfica de los conceptos conductividad hidráulica  $K$  y transmisividad  $T$ .

Generalmente, el agua de un acuífero es extraída por bombeo a través de pozos. Por lo tanto, los parámetros que caracterizan un acuífero se miden a través de las mediciones de ciertas variables en dos pruebas: 1) pruebas de bombeo y 2) pruebas de recuperación en los pozos.

En las pruebas de bombeo se extrae agua del pozo, generalmente a una tasa constante, durante un tiempo prudente (alrededor de 48 h) y se mide el descenso en el nivel del agua en el propio pozo (régimen variable) y en su entorno inmediato, en función del tiempo (Villanueva & Iglesias, 1984) Una vez que el nivel del agua se estabiliza, se considera que se ha alcanzado el régimen permanente (Manzano, 2008) En la prueba de recuperación se mide el ascenso en el nivel del agua en función del tiempo, inmediatamente se suspende el bombeo

A pesar de que los parámetros del acuífero se pueden medir con ambas pruebas, la mayoría de los expertos (Manzano, 2008, Villanueva & Iglesias, 1984) consideran que la prueba de recuperación se acerca más a la realidad en lo referente a la conexión pozo-acuífero, la relación con otros pozos, las recargas extenores, la limitación del acuífero y el reciclado del agua bombeada

En la práctica, una forma rápida y con muy buena aproximación para calcular la transmisividad  $T$  a partir de los datos de bombeo es con la ecuación empírica (Garzon, 1999)

$$T = 1.042 C E \quad (2)$$

Donde  $C E$  es la capacidad específica

La capacidad específica ( $C E$ ) se obtiene al dividir el caudal  $Q$  entre el abatimiento total  $s$  en el propio pozo ( $Q/s$ ) El caudal  $Q$  es el volumen extraído en la unidad de tiempo ( $m^3/día$ ), mientras que el abatimiento es el descenso en el nivel del agua Es la diferencia entre el nivel estático  $N E$  y el nivel dinámico  $N D$

El nivel estático se trata del nivel en el cual se encuentra el agua en el acuífero en sus condiciones naturales antes de iniciar una prueba de bombeo o alguna actividad sobre el pozo que cambie dicho nivel. Por su parte el nivel dinámico corresponde al nivel del agua en un tiempo  $t$  durante la extracción, (Figura 3.3). De la imagen puede verse que el nivel dinámico no es igual a diferentes distancias radiales  $r$  desde el pozo y por lo tanto, forma una superficie en forma cónica llamada cono de depresión.

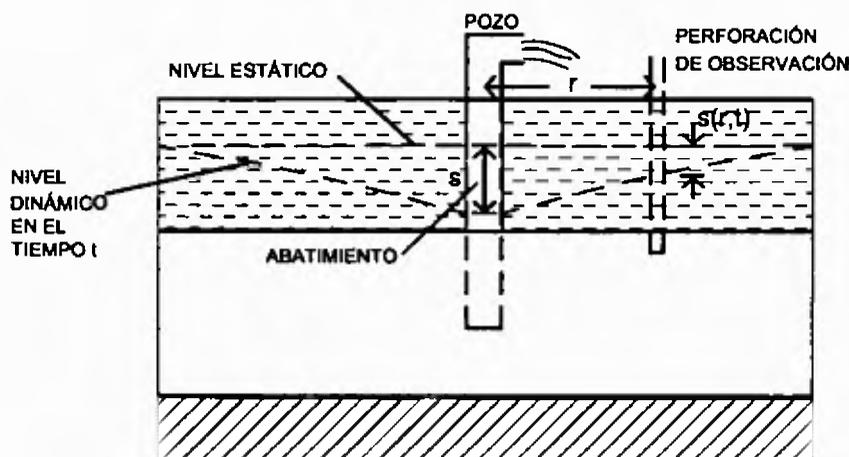


Figura 3.3 Nivel estático, Nivel dinámico, abatimiento y cono de depresión

Para determinar analíticamente la transmisividad  $T$  a partir de las pruebas de bombeo se registra el abatimiento del nivel dinámico  $s(r,t)$  en función del tiempo  $t$ , en una perforación de observación situada a una distancia  $r$  del pozo. Según el modelo de Theis-Jacob (Manzano, 2008, Villanueva & Iglesias, 1984), el descenso  $s(r,t)$  en los niveles dinámicos en función del tiempo  $t$  y la distancia de observación  $r$ , está dado por

$$s(r,t) = 0.183 \frac{Q}{T} \log \left( \frac{2.25 T t}{r^2 S} \right) \quad (3)$$

Si la ecuación 3 se grafica en un papel logarítmico para el tiempo, toma la forma de una línea recta cuya ecuación es

$$s(r, t) = 0.183 \frac{Q}{T} \log t - 0.183 \frac{Q}{T} \log t_0 \quad (4)$$

donde  $t_0 = \frac{r^2 S}{2.25T}$   
 es decir, la pendiente  $m$  de la recta da información sobre la transmisividad del medio

La ecuación 4 da valores aceptables de  $T$  si los registros se toman en perforaciones de observación. Sin embargo, las medidas registradas en el propio pozo muchas veces subestiman la transmisividad real del acuífero (Manzano, 2008)

La forma más empleada para determinar la transmisividad  $T$  es a través de la recta de recuperación  $\Delta h$  del acuífero. Para la recuperación, el modelo de Theis-Jacob predice que el descenso en el propio pozo está dado por

$$\Delta h = 0.183 \frac{Q}{T} \log \left( \frac{t_b + t}{t} \right) \quad (5)$$

Donde  $\Delta h$  es equivalente a la diferencia entre el nivel estático y el nivel dinámico recuperado medido en el tiempo  $t$ , después de suspender el bombeo.  $t_b$  es el tiempo total de bombeo

Si se grafican los valores de  $(t_b + t)/t$  en una escala logarítmica, la pendiente de la recta contiene la información de la transmisividad  $T$

## **3.2 Prospección geofísica.**

### **3.2.1 Generalidades de la Prospección Geofísica**

La geofísica es una ciencia que se apoya en métodos y técnicas físicas aplicadas al estudio de las propiedades físicas de las estructuras de la Tierra. Tiene principal aplicación en la búsqueda de anomalías en el subsuelo, mediante la aplicación de métodos que den detalles, indirectamente, de lo que no logramos percibir, directamente, con nuestros sentidos a no ser que se hagan costosas perforaciones, algunas veces imposibles de realizar.

En el estudio del subsuelo, principalmente, se buscan "anomalías" en alguna propiedad física que se esté estudiando. Por ejemplo, en técnicas de gravimetría, se buscan anomalías gravimétricas producidas por diferencias en las densidades de las estructuras que se sospechan estén en el lugar de estudio.

En sísmica, se provocan ondas sísmicas sobre el área de estudio y se detectan variaciones en la dirección, rapidez e intensidad, a medida que atraviesan las diferentes estructuras geológicas, con variaciones de las ondas sísmicas en las propiedades elásticas de la zona de interés.

Con las técnicas magnéticas y las eléctricas, se analizan variaciones en las medidas de parámetros electromagnéticos, de las estructuras geológicas, como la resistividad eléctrica ( $\rho$ ), la conductividad ( $\sigma$ ), la constante dieléctrica ( $\epsilon$ ) y la permeabilidad magnética ( $\mu$ ).

En este trabajo centraremos la atención en las técnicas eléctricas, específicamente en las medidas de la resistividad eléctrica del subsuelo. Estas

medidas, apoyada en la geología local, nos dan información, bastante confiable, de los tipos de estructuras que subyacen en el subsuelo

La técnica de resistividad eléctrica se basa en el concepto de que cada material geológico presenta un rango específico de resistividad al paso de la corriente eléctrica, Tabla 3 4 La resistividad eléctrica de una roca sólida ideal, sin poros, es alta, casi aislante Sin embargo, generalmente, las rocas que constituyen las diversas estructuras geológicas poseen poros, de diversos tamaños, que pueden estar llenos, total o parcialmente, de electrolitos (sustancia conductora de iones)

**Tabla 3 4 Resistividades eléctricas de materiales geológicos**

<b>Material</b>	<b>Resistividad eléctrica (<math>\Omega</math> m)</b>
Humus	10 - 150
Limos saturados	20-100
Limos no saturados	100 -200
Limos saturados con agua salada	5-15
Arcilla seca	10 -100
Arcilla saturada de agua salada	1 - 10
Margas y arcillas compactas	100 - 200
Arenas arcillosas	50 - 500
Arcilla saturada	5 - 20
Arena no saturada	400 - 700
Arena saturada	100 - 200
Argelitas	5 - 200
Lutitas	0 -10

**Tomado de (Reckmann, 2000, Sanz *et al* ,2010, Anas *et al* , 2012)**

El grado de compactación de la roca, según la presión debido a la profundidad, la variedad de rocas, la composición química, la porosidad y la temperatura son propias de la geología de la zona (Lorenzo, 2010) y sus cambios son leves en largos periodos de tiempo, por lo que garantizan valores de

resistividades casi constantes. Mientras que la humedad y la concentración de sales disueltas son dos de los factores físicos más influyentes en los cambios temporales de la resistividad del subsuelo. En la Tabla 3.4 se presentan algunos rangos de resistividades eléctricas de los materiales geológicos de interés.

### 3.2.2 Métodos Eléctricos

Para medir la resistividad eléctrica  $\rho$  del subsuelo, en un medio homogéneo e isotrópico, por lo general, se utilizan cuatro electrodos dispuestos en forma lineal, llamados electrodos **A**, **M**, **N** y **B**, aunque en la práctica no siempre la disposición es exactamente lineal (Herman, 2000). El electrodo **A** inyecta una corriente eléctrica  $I$  que viaja a través del subsuelo hasta el electrodo **B**, (Figura 3.4). En un medio heterogéneo y anisotrópico estratificado, como el que forma el subsuelo, que yace bajo la superficie, se posee un conjunto de resistividades que presentan resistencia al paso de la corriente. La diferencia de potencial es medida en los puntos **M** y **N** y refleja las variaciones del flujo de corriente entre los diferentes componentes del subsuelo, y esta es la base física del método de las resistividades eléctricas.

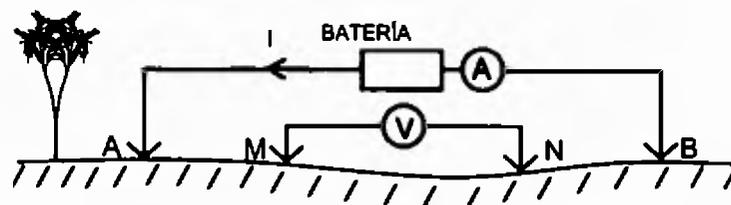


Figura 3.4 Arreglo de cuatro electrodos en forma lineal. La corriente es inyectada con los electrodos **A** y **B** produciendo una diferencia de potencial que es medida en los electrodos **M** y **N**.

La forma en que se arreglan los cuatro electrodos (*A*, *M*, *N* y *B*), específicamente el alineado y el espaciado, depende del lugar y las necesidades del estudio a realizar (Herman, 2000) Hay varias formas de colocar los electrodos Sin embargo, las más comunes son los arreglos Wenner y Schlumberger, Figura

3 5

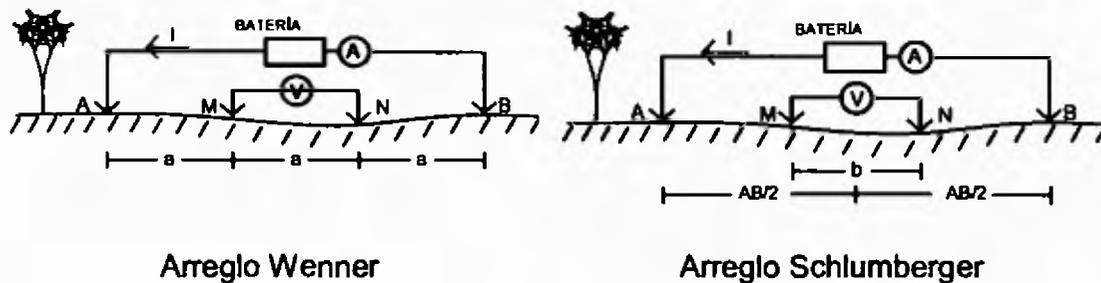


Figura 3 5 Arreglos de los electrodos más frecuentes en el campo

El arreglo Wenner es la configuración más sencilla que se puede realizar de cuatro electrodos y consiste en colocar los electrodos a una distancia, *a*, constante entre ellos, intentando localizar variaciones laterales de resistividad En el estudio horizontal, para una profundidad fija, se mueven todos los electrodos a lo largo del perfil a realizar, mientras se mantiene constante la separación entre los mismos Una desventaja de este arreglo, y que trae mucho trabajo, es que hay que estar movilizandolos cuatro electrodos a la vez y midiendo las distancias entre ellos que deben ser equidistantes Otra forma de realizar lo mismo es enterrando gran cantidad de electrodos equidistantes entre ellos y conectando muchos cables e ir midiendo en grupos de a cuatro

Si se desea estudiar resistividades en línea recta hacia abajo se utilizan los sondeos eléctricos verticales (SEV) En esta disposición electródica se incrementa

la distancia entre los electrodos AB, con respecto al punto medio del arreglo, el cual se mantiene fijo

El arreglo Schlumberger, que emplearemos en este trabajo, usado comúnmente para realizar sondeos eléctricos verticales (SEV) La diferencia radica en que los electrodos no tienen que estar equidistantes, lo que facilita la toma de la data. Inicialmente los cuatro electrodos se van espaciando desde el punto central, pero luego los electrodos M y N se mantienen fijos ( $b$ ) mientras se aumenta la separación entre los electrodos A y B. Para este arreglo se debe cumplir con la condición de que la distancia que separa a A y B debe ser mayor o igual a  $5 MN$ .

### **3.2.3 Formulación Matemática para el sondeo eléctrico vertical**

La corriente que viaja desde A hasta B (fuente y sumidero), genera un conjunto de superficies equipotenciales cuyas formas y densidades espaciales dependen de la naturaleza eléctrica de los diversos medios geológicos que componen el subsuelo. Para el caso de una fuente de corriente aislada, A o B, si el medio es homogéneo e isotrópico, las superficies son semiesferas, sin embargo, si ambos electrodos A y B se colocan a una distancia  $\overline{AB}$ , en el medio, las superficies equipotenciales se distorsionan un poco, pero mantienen la simetría del punto medio ( $AB/2$ ) (Figura 3.6 a). Si el material del subsuelo es heterogéneo y anisotrópico estratificado, las regiones o lugares con baja resistividad permitirán superficies equipotenciales más espaciadas, respecto al

espaciamiento entre las superficies equipotenciales en los medios más resistivos (Herman, 2000) (Figura 3.6.b).

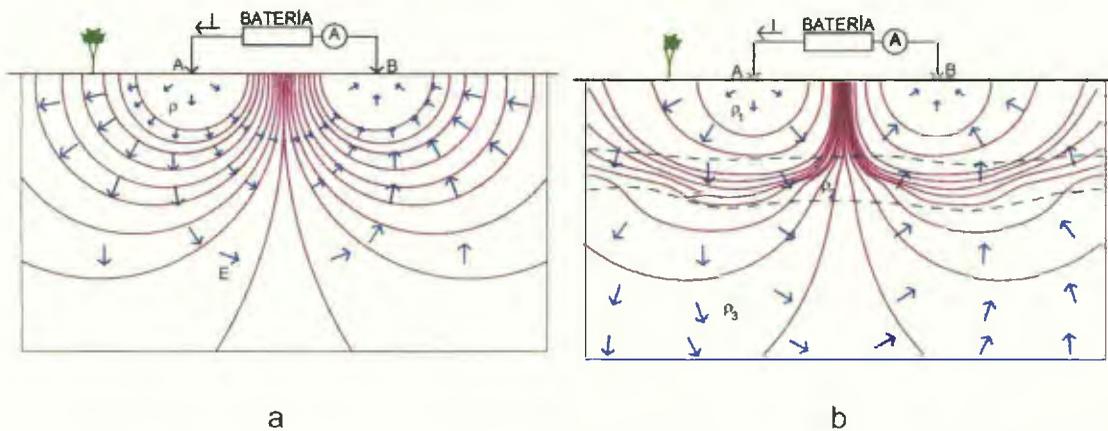


Figura 3.6. Superficies equipotenciales a) en un medio homogéneo e isotrópico, b) en un medio heterogéneo y anisotrópico

La resistencia del aire sobre la tierra se asume, para cuestión de cálculo, como infinita y por lo tanto se desprecia la posible distribución de las superficies equipotenciales en el aire circundante.

En todos los puntos del subsuelo, las superficies equipotenciales son perpendiculares al vector de campo eléctrico  $\mathbf{E}$  y consecuentemente al flujo de corriente  $I$ , lo que crea un gradiente de potencial o voltaje  $\nabla V$ . Por lo tanto, los métodos eléctricos se basan en la ley de Ohm cuya forma vectorial es

$$\vec{j} = \sigma \vec{E} \quad (6)$$

Donde  $\vec{j}$  es la densidad de corriente (corriente total que atraviesa la unidad de superficie transversal a la dirección de flujo),  $\sigma$  es la conductividad del medio y  $\vec{E}$  es el campo eléctrico.

Como la resistividad  $\rho$  es el inverso de la conductividad  $\sigma$  y el campo eléctrico  $E$  mide el gradiente del potencial eléctrico ( $E = -\frac{dV}{dr}$ ) (Eisberg & Lerner, 1986), la ecuación 6 puede ser escrita como

$$\vec{j} = -\frac{1}{\rho} \frac{dV}{dr} \quad (7)$$

### 3.2.3.1 Medio Homogéneo e Isotrópico

Si el medio es homogéneo e isotrópico, como el ilustrado en la Figura 3 6 a, las superficies equipotenciales que describen la trayectoria de la corriente, desde el cátodo fuente hasta el cátodo sumidero, son semiesferas, por lo tanto, la densidad de corriente en un punto P situado a una distancia  $r$  de cualquiera de los cátodos se puede escribir como

$$\vec{j} = \frac{I}{2\pi r^2} = -\frac{1}{\rho} \frac{dV}{dr} \quad (8)$$

Además, se puede asumir la resistividad  $\rho$  como una constante para luego integrar con respecto a  $r$  y a  $V$ . Esto nos lleva a que el potencial eléctrico generado por cualquiera de los cátodos A o B en el punto P está dado por

$$V(r) = \frac{\rho I}{2\pi r} \quad (9)$$

Con la ecuación 9 se puede determinar el potencial eléctrico en los puntos M y N generado por los cátodos A y B. Para el caso específico que el cátodo M sea el punto P, el potencial medido es la diferencia entre el potencial generado por A y por B en ese punto. Además, como los cátodos están sobre la superficie, las distancias  $r$  corresponden a las separaciones entre ellos. Esto es

$$V_M = \frac{\rho I}{2\pi} \left[ \left( \frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} \right) \right] \quad (10)$$

Un análisis similar se aplica para el potencial eléctrico registrado en el electrodo N. La diferencia de potencial entre M y N queda como

$$V_{MN} = V_M - V_N = \frac{\rho I}{2\pi} \left[ \left( \frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} \right) - \left( \frac{1}{AN} - \frac{1}{BN} \right) \right] \quad (11)$$

$$\rho = K \frac{V_{MN}}{I} \quad (11.1)$$

Donde  $K = 2\pi \left[ \left( \frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} \right) - \left( \frac{1}{AN} - \frac{1}{BN} \right) \right]$  es conocido como factor geométrico ya que depende, exclusivamente, de la distribución o arreglo espacial de los electrodos

### 3.2.3.2- Medio Heterogéneo y Anisotrópico de n capas

Si el medio es heterogéneo, la ecuación 11.1 nos dice que la diferencia de potencial entre M y N es directamente proporcional a la resistividad eléctrica  $\rho$  del medio por donde pasa la mayor parte de la corriente I, pero no nos dice nada acerca de la profundidad a la cual se encuentran las subcapas cuyas resistividades son las más contribuyentes a la resistividad aparente, medida en la superficie a partir de la diferencia de potencial  $V_{MN}$

En los sondeos eléctricos verticales (SEV), con una disposición de electrodos simétricos respecto al punto central ( $x = 0$ ), la profundidad de penetración de una línea de corriente aumenta verticalmente hacia abajo, desde el centro del arreglo, a medida que crece la separación entre los electrodos A y B (Herman, 2000). Esto implica que los estratos geológicos profundos tendrán

una contribución significativa en la resistividad promedio o aparente con el incremento en la distancia AB

Para poder establecer a que profundidades encontramos las distribuciones de resistividades que más aportan a las medidas de potencial en los puntos M y N, analicemos la densidad de corriente,  $\vec{j}$  en un volumen infinitesimal,  $dV$ , que se encuentra a una profundidad  $z$ , justo debajo del punto central ( $x = AB/2$ ) del arreglo de electrodos (Figura 3 7)

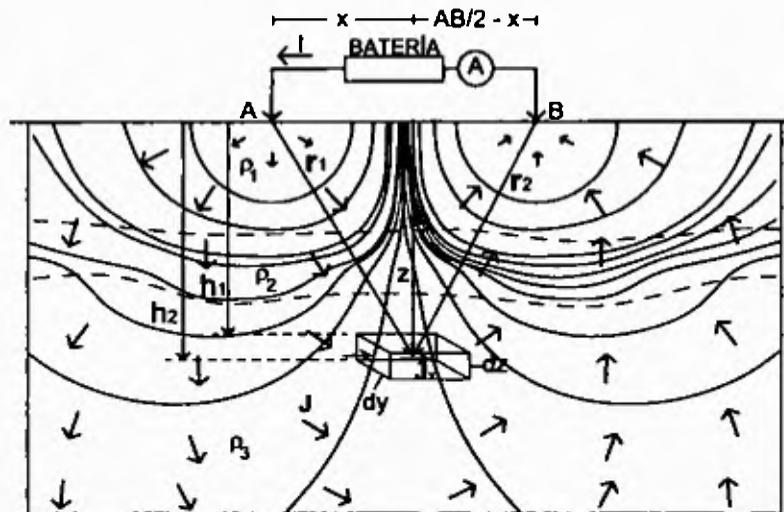


Figura 3 7 Densidad de corriente  $\vec{j}$  en un volumen infinitesimal  $dV$

La densidad de corriente total tiene tres componentes  $J_x$ ,  $J_y$  y  $J_z$ . Sin embargo, la componente que realmente contribuye a la diferencia de potencia registrada en los electrodos M y N es  $J_x$ . Por la simetría del sistema de superficies equipotenciales, las contribuciones de  $J_y$  y  $J_z$  se neutralizan en pares.

De las ecuaciones 8 y 9 y sustituyendo los valores de  $r_1$  y  $r_2$ , provenientes de la Figura 3 7, obtenemos

$$J_x = -\frac{I}{2\pi} \frac{d}{dx} \left\{ [x^2 + y^2 + z^2]^{-1/2} - [(AB - x)^2 + y^2 + z^2]^{-1/2} \right\} \quad (12)$$

Al resolver la derivada con respecto a  $x$  obtenemos

$$J_x = -\frac{l}{2\pi} \left[ \frac{x}{r_1^3} - \frac{(AB-x)}{r_2^3} \right] = -\frac{l}{2\pi} \left[ \frac{AB}{r^3} \right] \quad (13)$$

Donde se ha tomado en consideración la simetría del arreglo de los electrodos

( $x = AB/2$  y  $r_1 = r_2 = r$ ), respecto al punto central ( $x = 0$ )

Para calcular la cantidad infinitesimal de corriente  $\delta I$  que fluye a través del área infinitesimal transversal  $dy-dz$  del volumen, podemos usar la ecuación 13 y escribir

$$\delta I_x = J_x dy dz = \frac{l}{2\pi} \frac{AB}{\left[ \left( \frac{AB}{2} \right)^2 + y^2 + z^2 \right]^{3/2}} dy dz \quad (14)$$

Al resolver las integrales se llega a

$$I_x = \frac{l}{2\pi} \int_{h_1}^{h_2} dz \int_{-\infty}^{\infty} \frac{AB dy}{\left[ \left( \frac{AB}{2} \right)^2 + y^2 + z^2 \right]^{3/2}} \quad (15)$$

$$I_x = \frac{2l}{\pi} \left[ \tan^{-1} \left( \frac{2h_2}{AB} \right) - \tan^{-1} \left( \frac{2h_1}{AB} \right) \right]$$

La ecuación 15 indica, explícitamente, que la intensidad de la corriente depende de la profundidad  $z$  y también de la separación de los electrodos A y B. Estos resultados permiten buscar las condiciones para las cuales se obtendrá la máxima corriente  $I_{x \text{ máx}}$ . Al derivar la ecuación 15 respecto a AB e igualar a cero, para maximizar  $I_x$ , encontramos

$$\frac{dI_x}{dAB} = \frac{2l}{\pi} \left\{ \left[ \frac{1}{1 + \left( \frac{2h_2}{AB} \right)^2} \right] \left[ \frac{2h_2}{(AB)^2} \right] - \left[ \frac{1}{1 + \left( \frac{2h_1}{AB} \right)^2} \right] \left[ \frac{2h_1}{(AB)^2} \right] \right\} \quad (16)$$

$$AB = 2 \sqrt{h_1 h_2} \quad (17)$$

Dado que el volumen atravesado por la densidad de corriente es infinitesimal, podemos calcular el límite de la ecuación 17 cuando  $\Delta h \rightarrow 0$  ( $h_1 = h_2 = h$ ), con lo cual se reduce a

$$h = \frac{AB}{2} \quad (18)$$

Es decir, la máxima corriente  $I_x$ , y por ende la corriente total  $I$ , se localiza a una profundidad  $h$  equivalente a la mitad de la distancia AB

Las ecuaciones 18 y 15 juntas revelan el potencial de este método eléctrico (sondeo eléctrico vertical, SEV) para estudiar, verticalmente, la resistividad eléctrica de las formaciones geológicas del subsuelo. Si la separación entre A y B es pequeña, la corriente máxima,  $I_{max}$ , circula por la capa superior y el voltaje  $V_{MN}$  arroja información sobre la resistividad eléctrica de este manto. Sin embargo, debido a que algunas líneas atraviesan capas más profundas, la resistividad eléctrica medida no corresponde, totalmente, a la capa superior, sino a un valor promedio. Se habla de resistividad aparente  $\rho_a$ . A medida que aumenta la distancia AB, la corriente máxima se desplaza hacia las capas más profundas y la resistividad eléctrica medida corresponde, en su mayoría, a estos estratos geológicos.

### **3.2.4 Formas de las curvas SEV e interpretación**

Las resistividades aparentes  $\rho_a$  medidas utilizando la ecuación 11.1 se grafican en función de la separación y la profundidad de penetración  $AB/2$ , en un gráfico conocido como curva SEV. La esencia de la curva SEV es obtener un corte

geoelectrico vertical del subsuelo formado por capas de diversos materiales cada uno con un resistividad distinta (Kalenov, 1987), y por lo tanto, admite muchas interpretaciones posibles. Para acercarse a la realidad, se requiere de la experiencia del investigador y de otras medidas auxiliares, como sondeos geológicos de la zona (perforaciones) y afloramientos. Aunque, hay que resaltar que no hay una correspondencia directa entre un corte vertical geológico y uno geoelectrico. Esto se debe a que en el corte geológico se separan las capas por la composición de las rocas (tipos de rocas), mientras que en el corte geoelectrico se resuelve por la diferencia entre las resistividades eléctricas de los materiales y no siempre dos o más capas con diferente composición físico-química, presentan una diferencia suficiente en la resistividad eléctrica para ser diferenciada en la curva SEV (Kalenov, 1987)

Las formas de las curvas SEV depende del número de capas  $n$  y de la relación entre las resistividades de las diversos estratos respecto a la capa superficial ( $\rho_n/\rho_1$ ). Para ilustrar, analizamos las formas de la curva SEV para el caso en que el subsuelo está formado por dos capas de resistividades  $\rho_1$  y  $\rho_2$ . En este caso, sólo existen dos curvas posibles según el valor de la razón  $\rho_2/\rho_1$ , como se ilustra en las Figuras 3.8 a y b. Para profundidades de penetración ( $AB/2$ ) pequeñas, las líneas de campo eléctrico sólo atraviesan la primera capa y por lo tanto, los valores de  $\rho_a$  se acercan, asintóticamente, a la resistividad eléctrica verdadera  $\rho_1$  de este medio. A medida que se aumenta la distancia  $AB/2$ , las líneas de campo eléctrico atraviesan ambos estratos (1 y 2) y la resistividad medida es

un promedio, ya que refleja una combinación entre las resistividades de ambos medios. De esta forma, se inicia una rama de transición de resistividad aparente que se acerca al valor de  $\rho_2$  cuando la distancia  $AB/2$  es lo suficiente grande como para que la mayoría de las líneas de campo eléctrico estén concentradas en la segunda capa

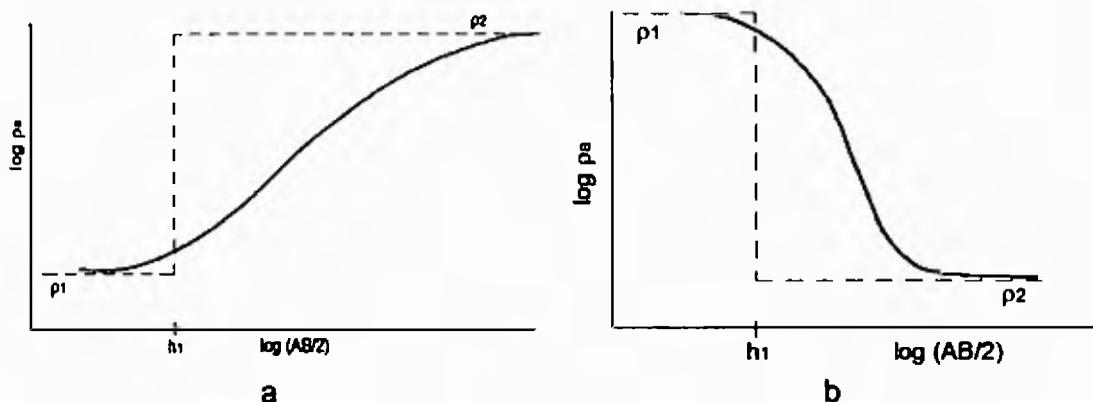


Figura 3.8 Formas típicas de la curva SEV de dos capas. En la Figura a,  $\rho_1 < \rho_2$ , y en b,  $\rho_1 > \rho_2$

El espesor  $h_1$  de la capa superior corresponde al punto de intersección entre la asíntota horizontal de  $\rho_1$  y la línea tangente en el punto de inflexión de la rama de transición

Anterior a los programas de computadora, se tenía una serie de ábacos de las diferentes curvas de resistividades, que permitían clasificar las curvas obtenidas en el campo, según el número de capas y del comportamiento del valor de la resistividad en dichas capas. En el anexo A, se describen las características y los nombres dados a las curvas (Kalenov, 1987, Auge, 2008), para el caso de tres y cuatro capas de medios estratificados, que nos servirán de referencias para las discusiones de nuestros resultados

En las Figuras 3 8 a y 3 8 b, se observa que las curvas de  $\rho_a$  vs  $\frac{AB}{2}$  se presentan en ejes doblemente logarítmicos. Esto se hace para eliminar la dependencia de las formas de estos gráficos con los valores de resistividad  $\rho_1$  y espesor  $h_1$  de la primera capa (Kalenov, 1987). Con los ejes doblemente logarítmicos, los valores de la primera capa sólo trasladan en el plano las curvas, obtenidas en el campo, hacia arriba o abajo o de izquierda a derecha.

### 3.3 Iones en el agua subterránea

El agua es considerada el solvente universal por su alta capacidad para disolver muchas de las sustancias comúnmente encontradas en la naturaleza. Por esta razón, las aguas de los cuerpos de agua superficiales (mares, ríos y lagos) y los acuíferos no son puras. Es frecuente encontrar aniones y cationes disueltos que, según los niveles de concentración, determinan la potabilidad del agua para consumo humano y otras actividades importantes, Tabla 3 5.

Tabla 3 5. Concentraciones máximas permitidas (en mg/L) de iones en el agua potable, según la Organización Mundial de la Salud (OMS)

Aniones				Cationes		
$Cl^-$	$SO_4^{-2}$	$NO_3^-$	$HCO_3^-$	$Ca^{+2}$	$Na^+$	$Mg^{+2}$
250	400	50	500	60	200	36

Los aniones mayoritarios encontrados en las aguas subterráneas son los cloruros ( $Cl^-$ ), los sulfatos ( $SO_4^{-2}$ ), los nitratos ( $NO_3^-$ ) y los bicarbonatos ( $HCO_3^-$ ). Dentro de los aniones se encuentra el calcio ( $Ca^{+2}$ ), el magnesio ( $Mg^{+2}$ ) y el sodio ( $Na^+$ ).

El agua en la superficie es ácida por la alta concentración de oxígeno  $O_2$  y  $CO_2$  en el aire circundante (es un agua oxidante) El  $CO_2$  reacciona con el agua para formar bicarbonato ( $HCO_3^-$ ) antes de que el agua empiece a infiltrarse (Sánchez, F , 2012)

El azufre  $S$  superficial, generalmente, residuo de las actividades industriales y de los fertilizantes agrícolas, reacciona con el oxígeno  $O_2$  y produce  $SO_2$ , que a su vez reacciona con el agua y el oxígeno para formar  $SO_4^{2-}$  (Sánchez, F 2012, Graniel *et al* , 2009) Además del sulfato superficial, en las aguas subterráneas hay sulfatos  $SO_4^{2-}$  que provienen del contacto natural con rocas ricas en yeso ( $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ ) como la lutita y las evaporitas, roca sedimentana que resulta de la evaporación del agua salina, (Gomez-Alday *et al* , 2004)

Las aguas subterráneas que atraviesan formaciones geológicas calcáreas sedimentanas también contienen  $Ca^{+2}$  y  $Mg^{+2}$  Sin embargo, gran parte de estos cationes proviene de la infiltración de aguas residuales (Jodral *et al.*, 2007)

El nitrato  $NO_3^-$  que se encuentra en el suelo y específicamente en las aguas subterráneas proviene de la actividad industrial, los lixiviados de los residuos sólidos en los crematorios, los excedentes de abono (no asimilados por las plantas) empleados en la agricultura intensiva y los desechos de las actividades agropecuarias masivas De estas fuentes de  $NO_3^-$ , las que más aportan son los abonos agrícolas y los residuos del ganado Generalmente, el nitrato es absorbido en la zona no saturada por las plantas Sin embargo, si la vegetación es escasa y el grado de infiltración es considerable, muchas veces llega a la zona saturada

Las altas concentraciones de iones de  $\text{Na}^+$  y  $\text{Cl}^-$  son típicas de los entornos marinos, aunque el  $\text{Cl}^-$  no necesariamente, ya que este anión está presente en todo el ciclo del agua (Manzano, 2008) La comparación de los porcentajes relativos de  $\text{Na}^+$  y  $\text{Ca}^{+2}$  en las aguas subterráneas da información valiosa sobre posibles mezclas de agua dulce con agua salada. Generalmente, a mayor contenido de agua salada mayor es el porcentaje de  $\text{Na}^+$ , respecto al nivel de  $\text{Ca}^{+2}$  En el caso del  $\text{Cl}^-$ , este reacciona muy poco con las formaciones geológicas y se considera un anión conservativo, a diferencia de los demás iones que son altamente reactivos y se les considera no conservativos (Manzano, 2008)

De los párrafos anteriores queda claro que la concentración de aniones y cationes en las aguas subterráneas, excepto el  $\text{Cl}^-$ , depende de la geología del acuífero y del tiempo de contacto con las diferentes formaciones geológicas (Sánchez, 2012) Generalmente, las aguas con tiempos de contacto cortos son bicarbonatadas, las de tiempo intermedios son sulfatadas y aquellas con mayor tiempo de exposición a los minerales del subsuelo son cloruradas (mayor grado de salinidad) Para los cationes se ha observado un comportamiento similar en cuanto a los niveles de concentración Comúnmente, las aguas jóvenes son cálcicas, las de edad intermedia son magnésicas y las de mayor contacto con las formaciones geológicas son sódicas Sin embargo, estas secuencias en las concentraciones de aniones y cationes no se cumplen siempre, ya que los niveles pueden variar, independientemente de la edad del agua, por factores geológicos dominantes o por contaminación antropogénica (Sánchez, 2012).

## **Capítulo 4. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL**

### **4.1 Recolección de información preliminar**

En nuestra investigación no pudimos realizar perforaciones ni pruebas de bombeo, debido al alto costo y a que realizar estas medidas (bombeo) significa dejar de abastecer a los pobladores de Antón del vital líquido por lo menos durante 31 horas. Por ello, para realizar esta investigación lo primero que hicimos fue recabar la información existente sobre la litología de la zona y las pruebas de bombeo realizadas por el Instituto de Acueductos y Alcantarillados Nacionales (IDAAN) en el área de Antón. Para esto nos apersonamos al Departamento de Fuentes Subterráneas del IDAAN en la ciudad de Chitré, provincia de Herrera.

#### **4.1.1 Litología**

La información litológica nos servirá como referencia para la interpretación de los SEV que realizaremos.

En la zona de estudio de esta investigación (Ciudad de Antón), el IDAAN tiene información de seis (6) perforaciones. Algunas perforaciones fueron realizadas a través de la percusión con cables y otras con roto percusión. En el anexo D se muestran los resultados de la columna estratigráfica encontrados en cada uno.

#### **4.1.2 Pruebas de bombeo**

El análisis de las pruebas de bombeo nos permitirá determinar los parámetros hidrogeológicos que caracterizan al acuífero bajo la ciudad de Antón. En este renglón, el IDAAN nos suministró la información de cuatro (4) pruebas de bombeos realizadas al momento de construir los pozos en los años 1995, 1997, 2001 y 2004.

La metodología realizada en las cuatro (4) pruebas fue la siguiente: se inició en una hora determinada ( $t = 0$ ) y en este instante se midió el nivel estático (NE) y se pone en marcha el bombeo a caudal constante. Luego se tomó el nivel dinámico (N D) cada minuto, durante los primeros 5 minutos. A partir del quinto minuto se tomaba la medida del N D cada 10 minutos hasta el minuto 30. De allí en adelante se hacen las medidas del N D cada 30 minutos hasta completar las horas preestablecidas para la prueba de bombeo.

Inmediatamente terminado el proceso de bombeo se inició el registro de la información sobre la recuperación de cada pozo. El proceso de recuperación se hizo durante 30 minutos. La información de las cuatro pruebas de bombeo y de recuperación se resume en el anexo C.

#### **4.2 Sondeos eléctricos verticales (SEV)**

Para el registro de las medidas de resistividad eléctrica se escogió el método Schumberger. Todas las medidas se realizaron con un equipo SuperSting R1 IP de la AGI (Advanced Geosciences, Inc.), (Figura 4.1). El ajuste de la data se hizo con un software de modelización de la AGI EarthImager 1D.

inversion and modeling, que es un programa de computadora basado en una plataforma para Windows de 32 bites, que interpreta sondeos de resistividad eléctrica de una dimensión y produce un modelo de capas de resistividad real. La modelización se basa en el método de elementos finitos en 2D.



Figura 4.1. Medidor de resistividades SuperSting R1 IP de la AGI (Advanced Geosciences, Inc.)

Antes de realizar los SEV se midieron las coordenadas UTM de cada uno de los lugares que se escogieron para realizar los SEV. Para esto se usó un GPS modelo eTrex Garmin.

Para los SEV se escogieron zonas que se encontraran cerca de los pozos inventariados y que no atravesaran propiedades privadas, para evitar conflictos con los pobladores del lugar. Por lo general, se escogieron las zonas de estudio a la orilla de las carreteras para lograr hacer una apertura más grande de los electrodos y que las intersecciones de las calles secundarias no fueran un impedimento para colocar los electrodos.

Se colocaron los electrodos MN a distancias constantes y se iban separando los electrodos AB, manteniéndose la relación  $AB \geq 5 MN$ , como lo

establece el Método Schlumberger. Los electrodos MN se separaban sólo para mantener la proporción con la distancia entre AB (ésta debe ser mínimo cinco veces la distancia MN). La profundidad de penetración se aumentó al ir variando la distancia de separación de los electrodos AB, hacia los electrodos M y N, en relación al punto central del arreglo Schlumberger.

#### **4.3 Contenido de iones.**

En cada pozo, se tomó agua para medir los contenidos de cationes (Ca, Na, Mg y K) y aniones ( $\text{NO}_3$ ,  $\text{HCO}_3$ ,  $\text{SO}_4$  y Cl). Esto se hizo bajo la supervisión de una cuadrilla del Departamento de Fuentes Subterráneas del IDAAN.

Para las medidas, se tomaban dos muestras de las aguas de cada pozo y de los ríos Las Güabas y Antón, en dos recipientes esterilizados. Los recipientes fueron trasladados en hieleras hasta la Universidad de Panamá.

El análisis de las concentraciones de los iones se realizó con un espectrofotómetro visible Hach, Dr 2700, en el Centro de Investigaciones con Técnicas Nucleares (CITEN) de la Universidad de Panamá.

## **Capítulo 5. RESULTADOS**

### **5.1 Sondeos eléctricos verticales (SEV)**

#### **5.1.1 Caracterización de los SEV.**

Las medidas de resistividad aparente  $\rho_a$  en función de la distancia  $AB/2$  (profundidad de exploración) obtenidas en los sondeos eléctricos verticales (SEV), realizados en los diecinueve (19) puntos de la ciudad de Antón y el correspondiente ajuste de las curvas se muestran en el anexo B

A continuación se presenta la ubicación regional de los pozos y de los sondeos realizados (Fig 5.1). En la misma imagen se marcan, por medio de una elipse, los sondeos y las perforaciones (suministradas por el IDAAN) escogidas para hacer una comparación que nos llevará a la interpretación geofísica de las medidas de resistividad eléctrica

Un análisis cualitativo de las curvas de  $\rho_a$  vs  $AB/2$  muestra mucha consistencia entre los sondeos en lo referente a la cantidad de estratos o capas, lo que indica un alto grado de uniformidad geológica en la área de estudio. Todas las curvas reflejan la presencia de cuatro (4) zonas con resistividades eléctricas bien diferenciadas. Sin embargo, el ajuste se hizo con seis (6) capas, y en algunos casos con siete (7), para mejorar la transición entre una zona y otra. Con esto se logra un mejor ajuste, pero no significa que hay seis o siete zonas en la interpretación. Todo el análisis que sigue se apoya en el modelo de cuatro (4) zonas eléctricamente distintas (anexo B)

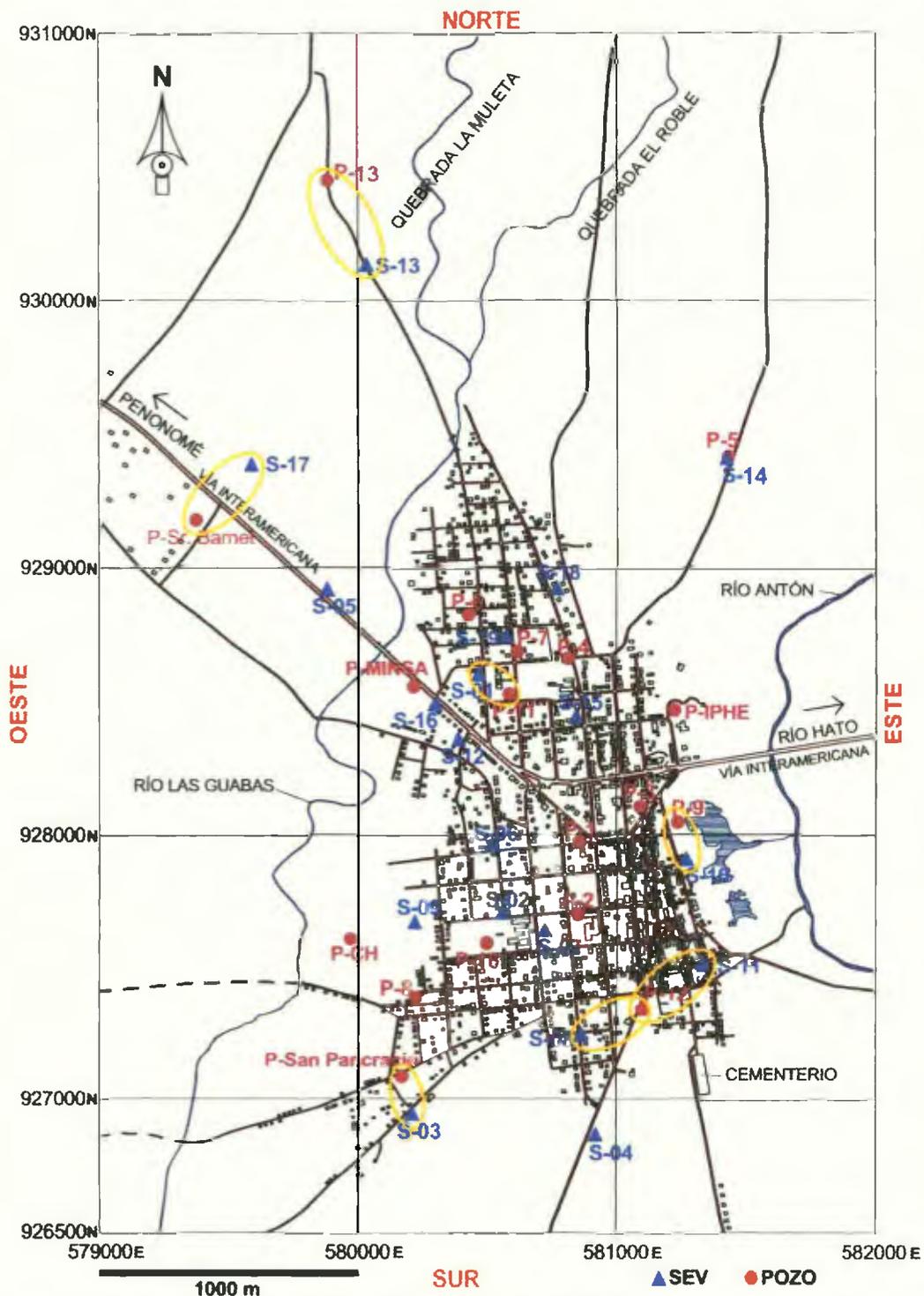


Figura 5.1. Localización de los pozos de la ciudad de Antón y los diecinueve (19) SEV realizados.

Si bien las curvas de los SEV señalan la existencia de cuatro (4) zonas con resistividades eléctricas bien diferenciadas, esta información no es suficiente para identificar la naturaleza geológica de los medios, debido a que es conocido que muchos materiales geológicos distintos pueden presentar todo un rango de resistividades eléctricas parecidas y que un mismo estrato geológico puede variar su resistividad eléctrica según el grado de meteorización, humedad, porosidad, temperatura, tamaño de grano o presión (Kalenov, 1987)

Para caracterizar las curvas de los SEV (asignar un material geológico a cada capa identificada en la curva) nos apoyamos en la siguiente información

1) la litología encontrada en las perforaciones realizadas por el Instituto de Acueductos y Alcantarillados Nacionales (IDAAN), al momento de construir algunos pozos, 2) las medidas del nivel freático en estos pozos de litología conocida y 3) los resultados de los sondeos eléctricos verticales más próximos a las perforaciones, (Figura 5 1)

Se efectuó una comparación entre las medidas de resistividad eléctrica y la litología más cercana al sondeo (Figuras 5 2, 5 3, 5 4, 5 5, 5 6 y 5 7) La distancia entre el centro del sondeo y el pozo correspondiente son aceptables, entre 127 m y 350 m, por lo tanto, los resultados extraídos de este análisis son confiables y nos permiten extrapolar la interpretación al resto de los sondeos. Del análisis de estas figuras fueron determinados algunos patrones comunes que se presentan en los párrafos siguientes

1) La cuarta capa del ajuste (modelo geoelectrico) marca el límite entre la zona no saturada y la saturada. Esta capa es muy importante, ya que tanto la

litología a esta profundidad (generalmente arena de grano grueso, arena de grano mediano o piedra pómez) como el nivel freático medido en el pozo respectivo sugieren que la resistividad real de esta capa marca la presencia de agua subterránea en una formación arenosa o aluvión. En las Figuras 5 2, 5 3, 5 6 y 5 7 puede verse que el nivel freático queda aproximadamente a la mitad del espesor calculado para esta capa. La mitad superior de esta cuarta capa la podemos asociar con arena seca, con cierto porcentaje de humedad debido al ascenso del agua por capilaridad entre los granos. Las Figuras 5 4 y 5 5 confirman este análisis y nos ofrecen un criterio fundamental para la interpretación del resto de los SEV en lo referente a la localización del nivel freático del acuífero.

2) Al comparar los espesores de las tres primeras capas del ajuste (en las Figuras 5 2, 5 3, 5 4 y 5 5) con la litología de los pozos correspondientes, encontramos una alta correspondencia con el espesor del estrato geológico superior formado por arcilla. Esto nos dice que las tres primeras capas encontradas en los SEV (ver Anexo B) corresponden a un mismo material geológico (arcilla con diferentes grados de humedad). La delgada capa superior (0 35 m a 0 85 m aproximadamente) con resistividades entre 35  $\Omega$  m y 257  $\Omega$  m es arcilla-limosa seca o arcilla-arenosa seca, respectivamente, mientras que las capas dos (2) y tres (3) del ajuste, con resistividades entre 10  $\Omega$  m y 66  $\Omega$  m corresponden a la misma capa de arcilla-limosa-arenosa, pero con un porcentaje mayor de humedad, dado que la resistividad de la arcilla decae con el aumento de humedad.

Las Figuras 5.6 y 5.7 ofrecen una información adicional para una segunda interpretación de la tercera capa del ajuste. En ambas figuras queda claro que el nivel freático en estos puntos está muy bajo y la gravedad limita considerablemente el ascenso del agua por capilaridad, y por lo tanto, el espesor de la capa de arena con baja humedad es mayor. Además, el ajuste de los SEV pertinentes (SEV 13 y SEV 10) revela que la resistividad de la tercera capa toma valores altos (entre  $155 \Omega \text{ m}$  y  $185 \Omega \text{ m}$ ), respecto a los medidos en las Figuras 5.2, 5.3, 5.4 y 5.5. Por lo tanto, según la litología respectiva, podemos asociar la tercera capa de alta resistividad con arena o aluvión arenoso prácticamente seco. Se ha reportado que estos valores de resistividad corresponden a una arena con aproximadamente 10 % de humedad (Lorenzo, 2010).

De los párrafos anteriores, queda claro que las tres primeras capas del modelo (ajuste), a partir de la superficie del suelo, corresponden a dos (2) medios eléctricamente distintos en nuestra interpretación: la capa superior corresponde a la capa orgánica del suelo, mientras que la segunda y tercera capas indican arcilla-limosa-arenosa húmeda (si los valores de  $\rho_r$  son inferiores a  $66 \Omega \text{ m}$ ). En algunos sondeos, la tercera capa del ajuste representa un estrato arenoso con un nivel muy bajo de humedad, si los valores de resistividad son altos (superiores a  $100 \Omega \text{ m}$ ). La capacidad del equipo para resolver la diferencia en las resistividades eléctricas de estas capas superiores (arcilla seca, arcilla húmeda o arena seca), así como el espesor de las mismas se debe a que inicialmente la separación entre los electrodos A y B es pequeña y además, la diferencia en el nivel de humedad es significativa.

3) Un resultado muy importante que se extrae de la comparación entre la litología encontrada en las perforaciones y las curvas de los SEV es la estimación del espesor efectivo del aluvión arenoso. De las profundidades a las que se encuentran los materiales de este estrato (arenas de diferentes tamaños, piedra pómez y gravas) reportadas en las perforaciones y la respectiva asociación con la curva SEV se deduce que el aluvión arenoso corresponde a la cuarta capa del ajuste y, en la mayoría de los SEV, también se incluye la quinta capa, cuando la resistividad de esta última es superior a  $30 \Omega \text{ m}$  (anexo B). En general, en este trabajo se ha encontrado que la resistividad del aluvión está entre  $30 \Omega \text{ m}$  y  $260 \Omega \text{ m}$ .

4) La última capa, de gran profundidad, que identificamos en la curva de los SEV con resistividades entre  $5 \Omega \text{ m}$  y  $30 \Omega \text{ m}$  (ver Anexo B), la asociamos, en correspondencia con la litología, a formaciones alternas de arenas, gravas y arcillas de la formación Río Hato. Esta formación crea una especie de acuífero semi-confinado, sin embargo, el método de SEV no resuelve espacialmente los límites de estas capas debido a los grandes espacios entre los electrodos y a la similitud en las resistividades eléctricas de los medios. Los valores más bajos de resistividad ( $5 \Omega \text{ m} - 12 \Omega \text{ m}$ ) parecen estar asociados a un mayor volumen de capas arcillosas o arcilla-arenosa, respecto a las capas arenosas.

5) A pesar de haber realizado medidas con un  $AB/2$  de hasta 300 m, no se detectó la presencia de un sustrato rocoso a esta profundidad.

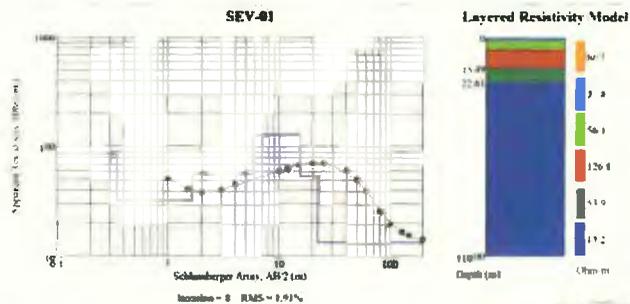
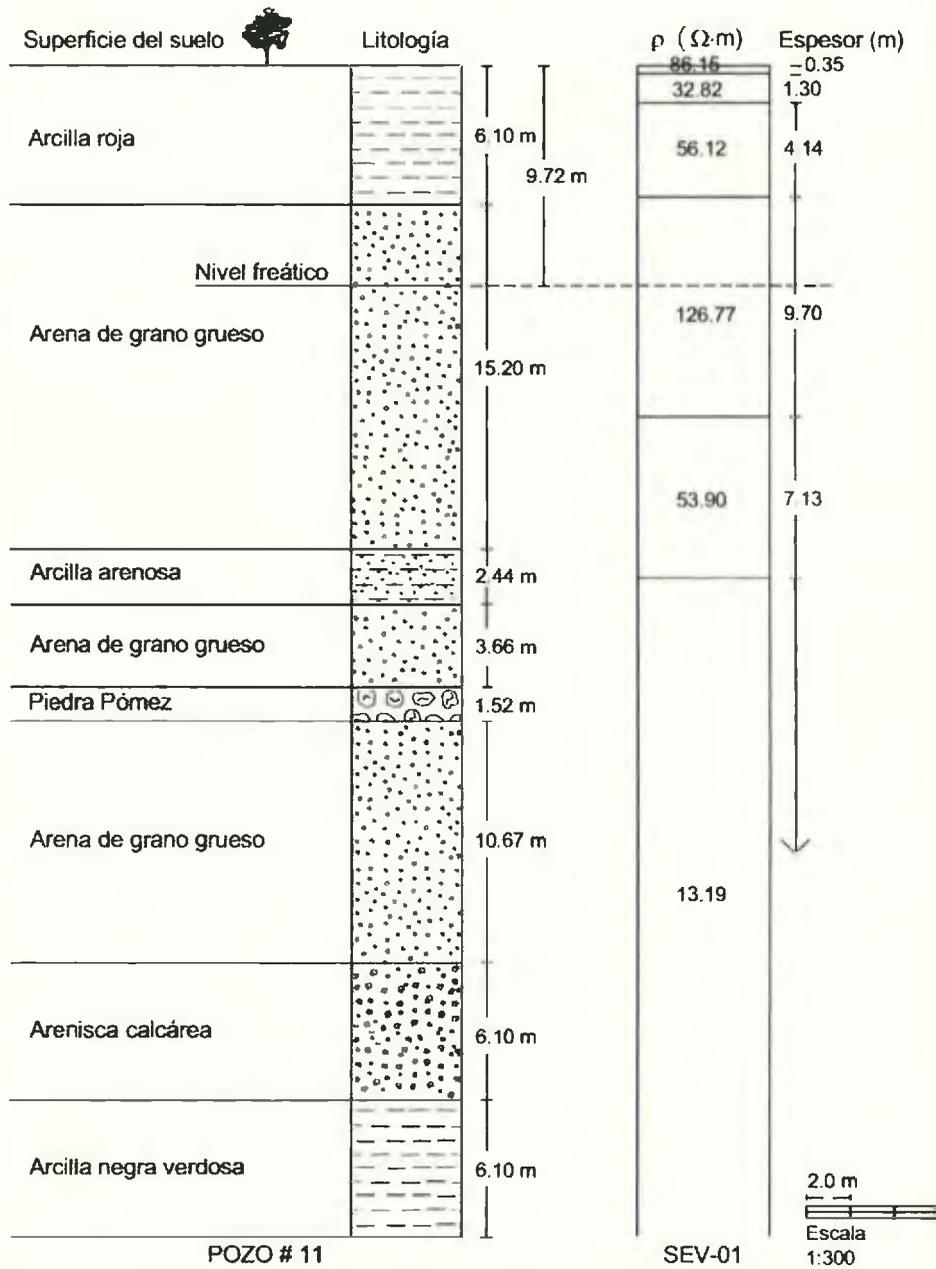


Figura 5.2. Comparación del SEV-01 con la columna estratigráfica en el pozo # 11.

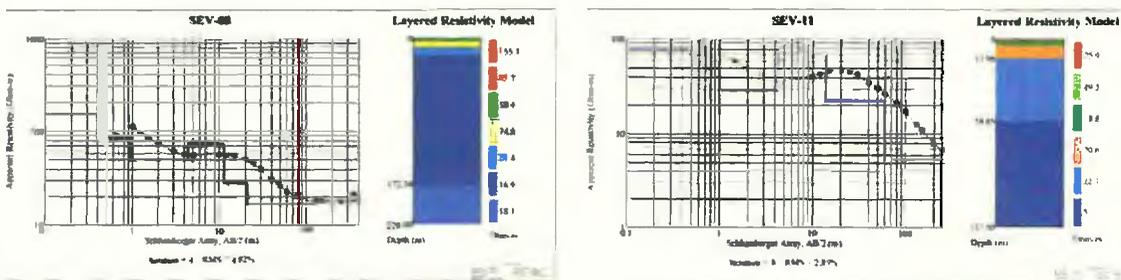
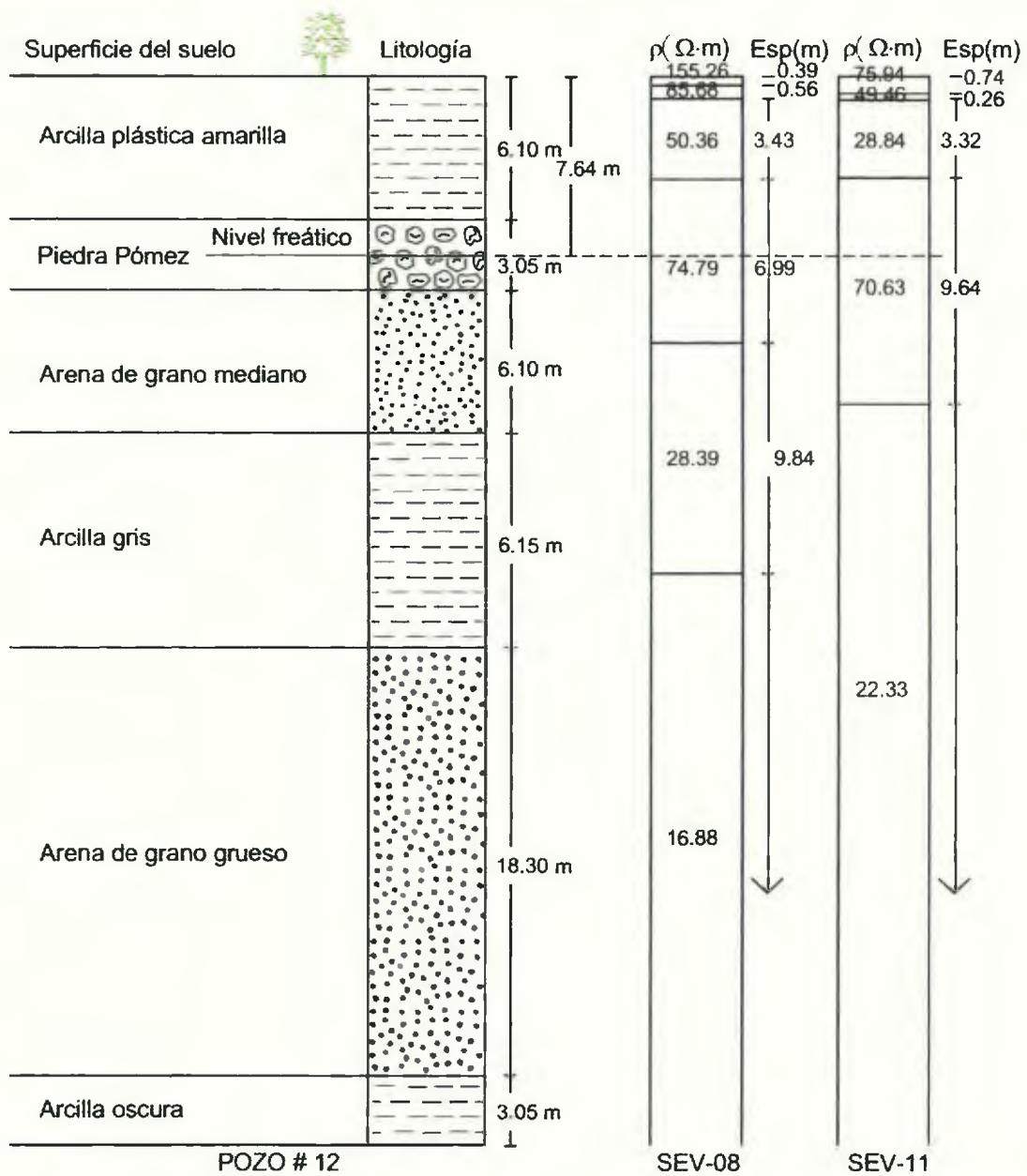


Figura 5.3. Comparación de los SEV 08 y 11 con la columna estratigráfica en el pozo # 12

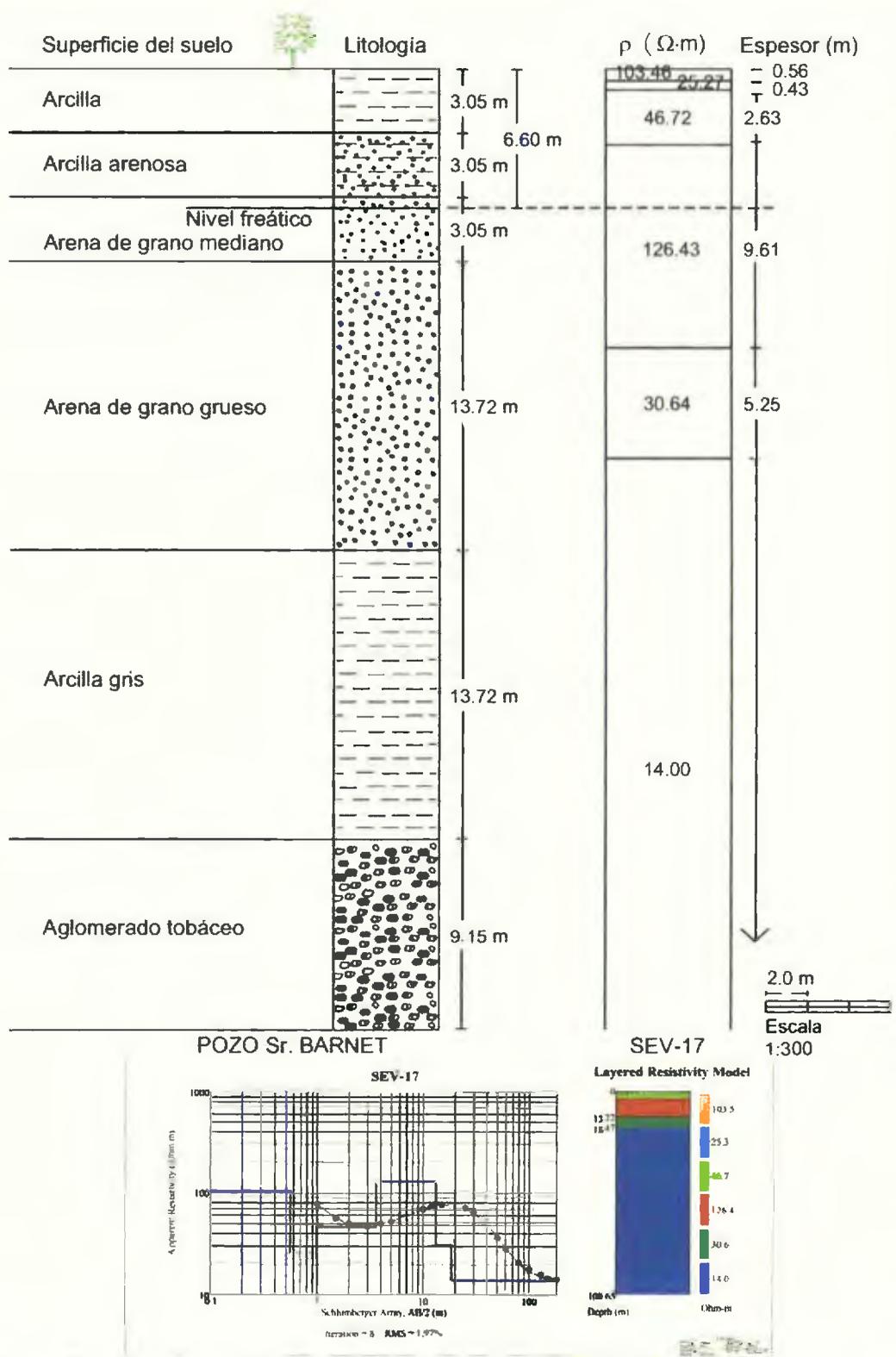


Figura 5.4. Comparación del SEV-17 con la columna estratigráfica en el pozo del sr. Barnet.

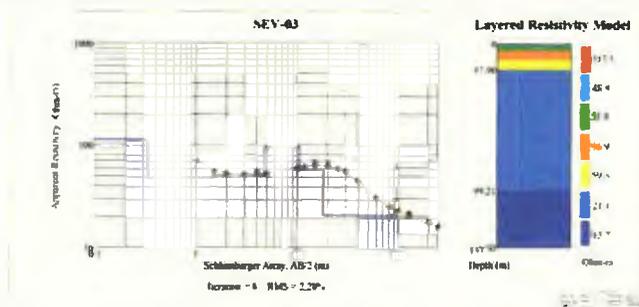
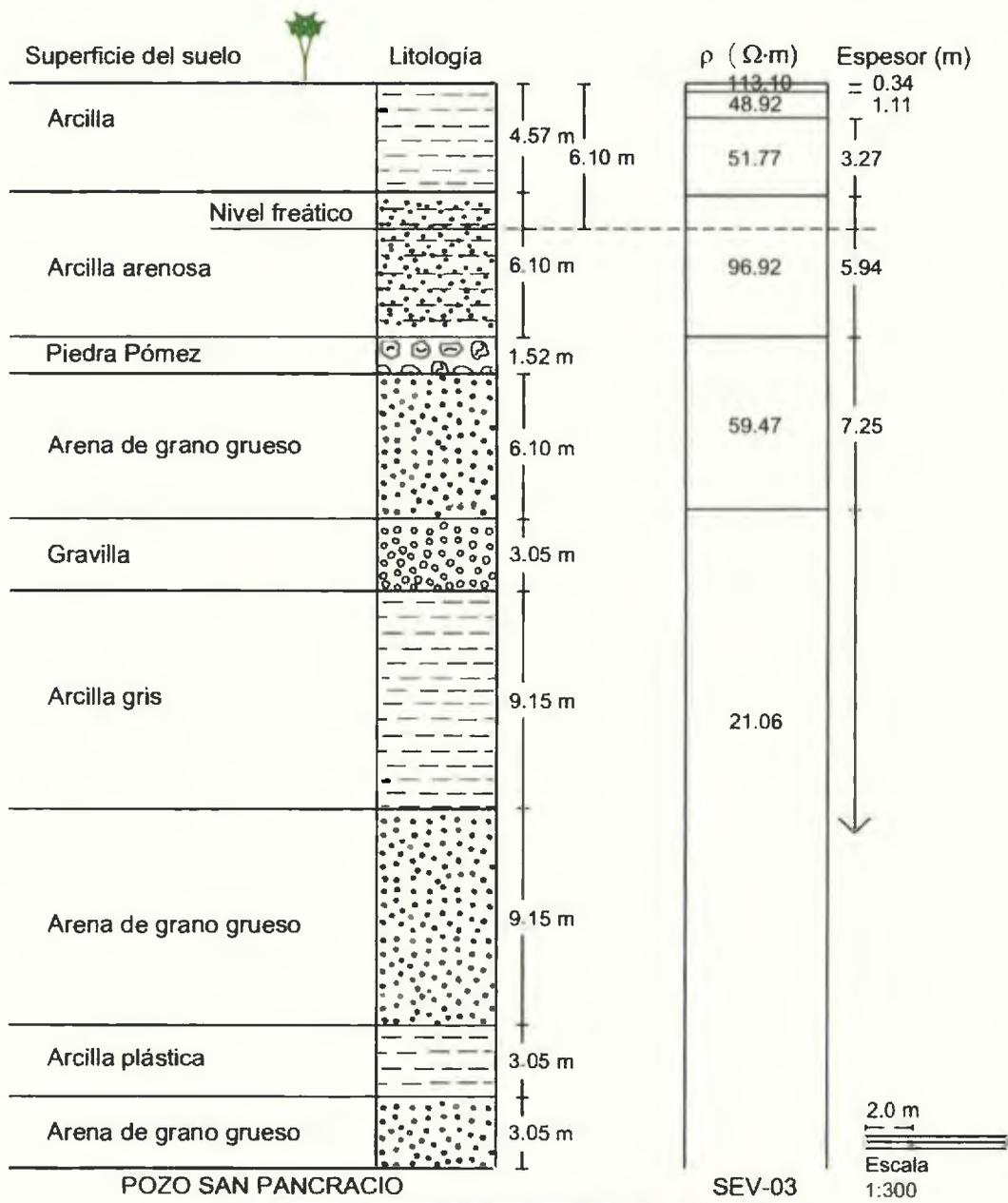


Figura 5.5. Comparación del SEV-03 con la columna estratigráfica en el pozo San Pancracio.

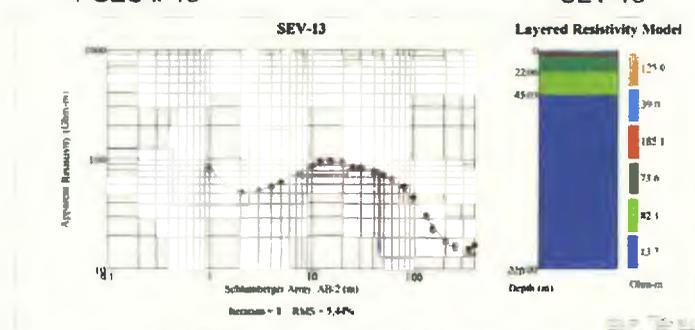
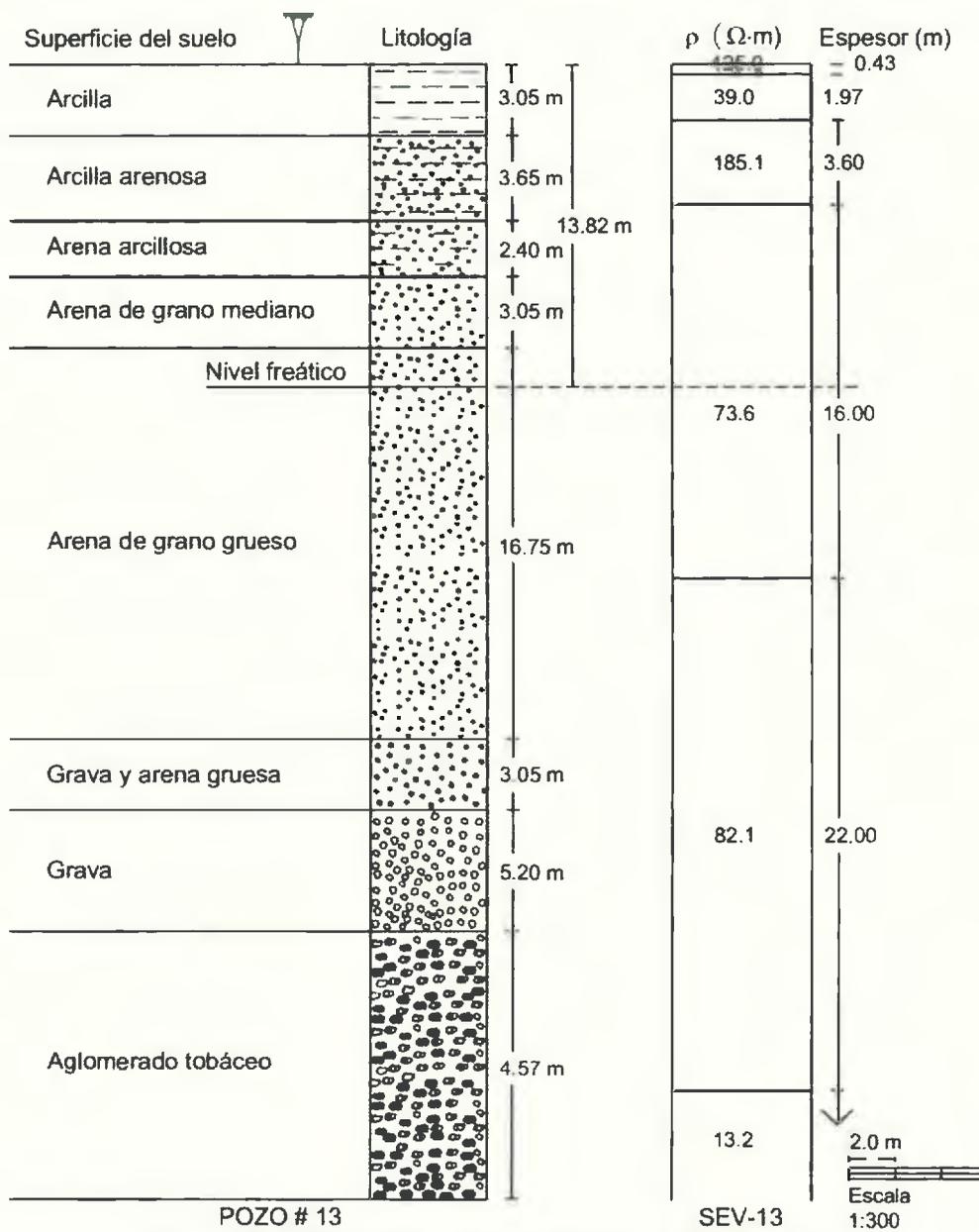


Figura 5.6. Comparación del SEV-13 con la columna estratigráfica en el pozo # 13.

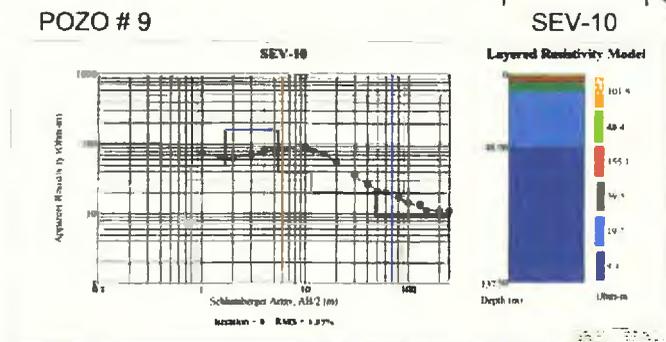
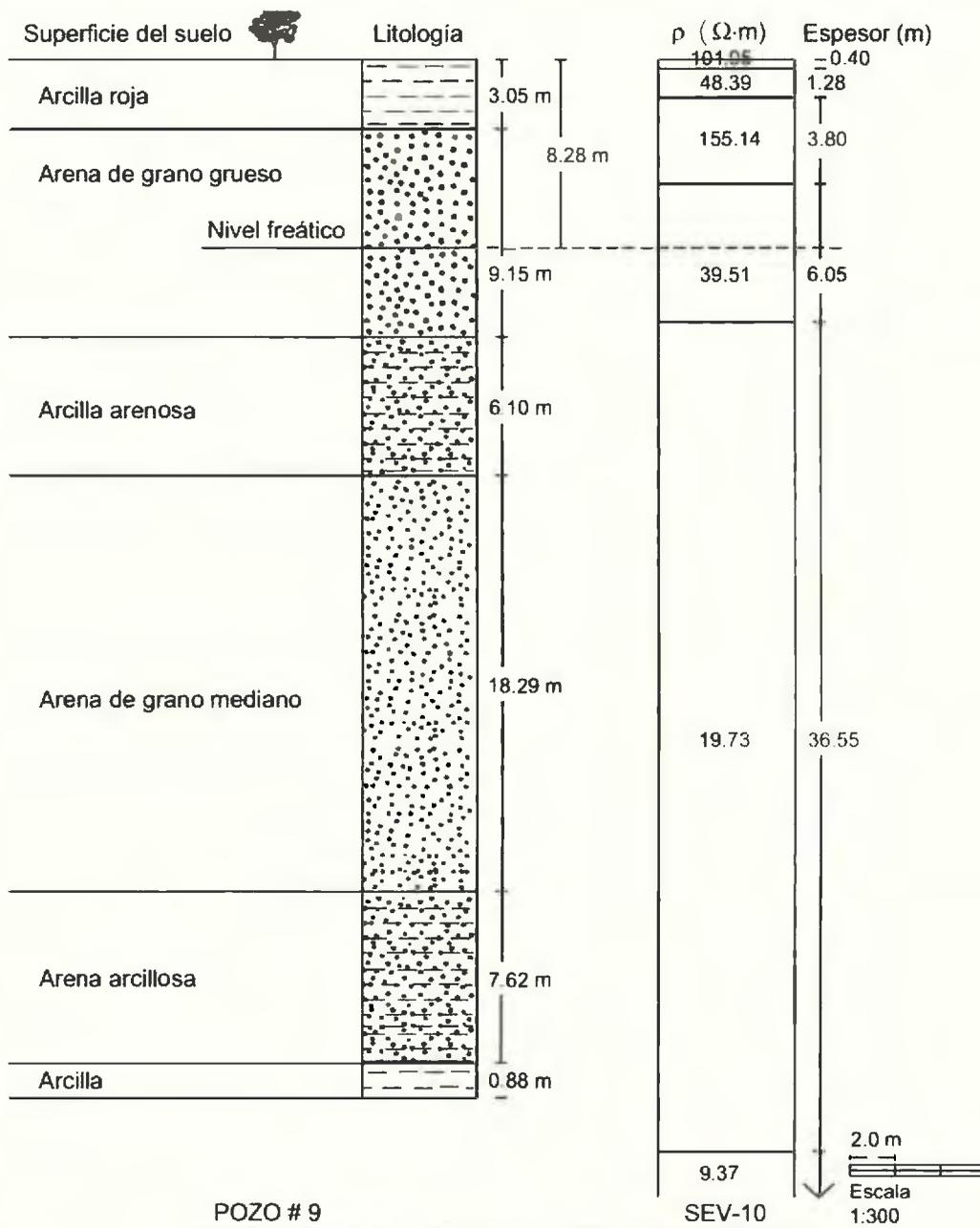


Figura 5.7. Comparación del SEV-10 con la columna estratigráfica en el pozo # 9.

### 5.1.2 Modelo tridimensional del acuífero

La caracterización de las curvas de los SEV realizada en la sección anterior señala la existencia de tres grandes zonas: a) la capa superficial de arcilla-limosa-arenosa (con diferentes niveles de humedad), b) una capa de aluvión arenoso, donde se encuentra el nivel freático; y c) la zona formación arenosa-arcillosa integrada por capas alternas de arena, piedra pómez, aglomerado tobáceo y franjas intermedias de arcilla o arcilla arenosa, donde existen acuíferos que sospechamos son semi-confinados.

En la Tabla 5.1 se resumen las estimaciones de las cotas de cada zona, respecto al nivel del mar, extraídas de los sondeos eléctricos verticales. El nivel freático coincide con la cota inferior de la capa de arena con bajo contenido de humedad del aluvión arenoso, en la zona no saturada (Figura 5.8).

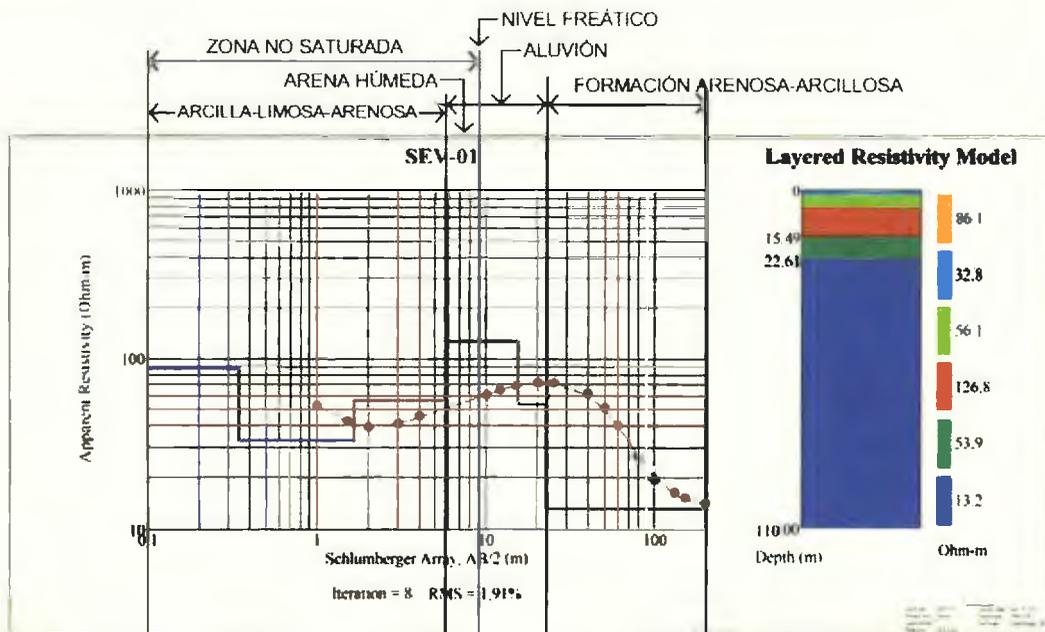


Figura 5.8. Estimación de los límites del acuífero en la curva de sondeo eléctrico vertical, basada en la estratigrafía de la zona más próxima.

En la Figura 5 9 se muestra la representación tridimensional de las respectivas capas del suelo y subsuelo de la zona estudiada, y en las Figuras 5 10 y 5 11 se ilustran las secciones Norte-Sur y Oeste-Este del acuífero

Tabla 5 1 Cotas superiores e inferiores (en msnm) de las formaciones geológicas bajo la ciudad de Antón, según el análisis de los SEV

SEV	Coordenadas UTM		Suelo arcilloso-limoso-arenoso		Acuífero		
	ESTE	NORTE	C S	C I	Aluvión arenoso		Formación arenosa-arcillosa
					C I	N F	C I
01	580468	928609	36	30 21	22 61	25 36	---
02	580538	927700	36	30 80	13 65	26 57	---
03	580204	926940	31	26 29	17 90	23 32	---
04	580914	926865	28	23 79	17 47	17 16	---
05	580261	928519	33	29 54	27 91	26 60	---
06	580504	927961	34	30 81	14 66	25 08	---
07	580705	927631	34	31 64	9 91	25 81	---
08	580198	926945	31	26 61	21 22	23 11	---
09	580203	927665	29	21 31	20 60	24 56	---
10	581265	927896	30	28 32	11 53	21 49	- 18 08
11	581357	927483	32	27 68	13 96	22 86	- 13 89
12	580387	928356	35	32 60	21 38	29 01	---
13	580026	930141	40	37 60	44 00	26 00	---
14	581426	929409	35	32 38	16 17	22 15	- 54 62
15	580839	928441	37	31 23	20 73	23 75	5 14
16	580304	928510	35	32 31	11 61	30 88	---
17	579577	929389	38	34 39	18 47	29 59	---
18	580752	928913	39	36 53	11 77	31 88	---
19	850588	928723	35	29 07	9 61	7 20	---

C I cota inferior, C S cota superior, N F nivel freático

En las secciones Norte-Sur y Oeste-Este puede verse que el espesor del aluvión arenoso (30-260 Ω m), parte superior del acuífero, es variable. El espesor efectivo de esta zona arenosa comprende entre 9 m y 25 m, con un espesor promedio de 15 m. Las zonas de mayor dimensión del aluvión están localizadas hacia el norte y hacia el oeste de la ciudad de Antón

Las Figuras 5.10 dejan ver que la zona 2 de la formación arenosa-arcillosa (12  $\Omega$ -m a 30  $\Omega$ -m) de la formación Río Hato (con mayor contenido de arena respecto al de arcilla y por lo tanto, mayor conductividad hidráulica) subyace directamente bajo el aluvión arenoso en la zona central y sur de la ciudad. Mientras que la zona 3 (5  $\Omega$ -m a 12  $\Omega$ -m), con mayor contenido de arcilla respecto al nivel de arena, está en contacto directo con el aluvión en la parte norte. También se observa la proximidad del aluvión con la zona de alto contenido de arcilla (zona 3) en la parte central (Figuras 5.10 b y 5.11 b). Esto explica por qué hay pozos con un caudal aceptable en la época seca y otros que bajan considerablemente, incluso se quedan sin agua.

En las Figuras 5.10 b y c, se aprecian bajas en el nivel freático (conos de depresión) producto de la extracción de agua. En el siguiente apartado veremos que en el cono de depresión de la sección N-S 2 están localizados dos pozos (6 y 7) que presentan problemas en la época seca.

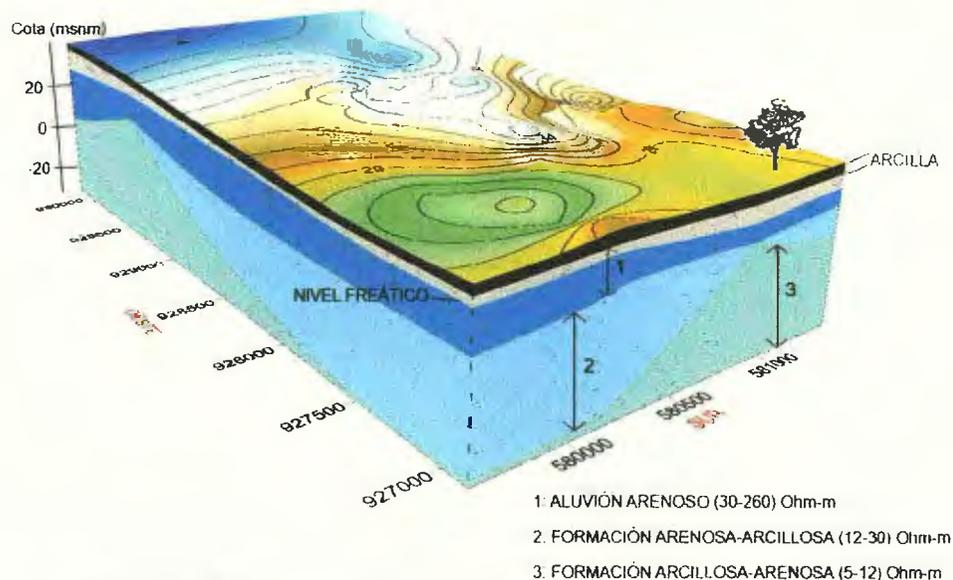
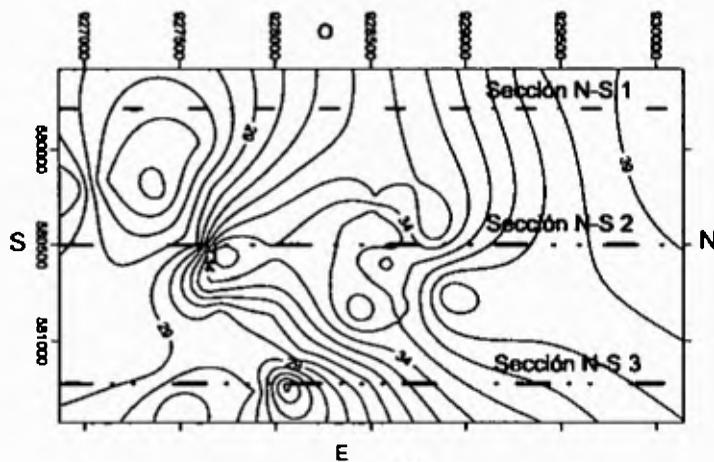
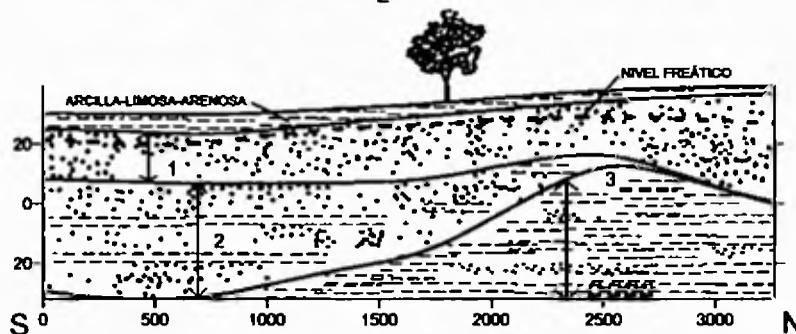


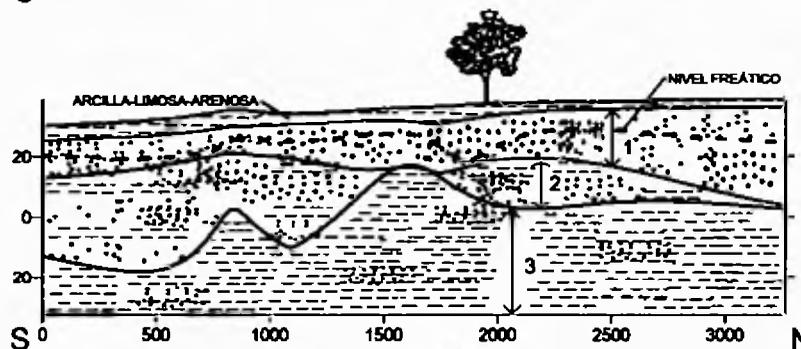
Figura 5.9. Modelo 3D del acuífero de Antón cabecera.



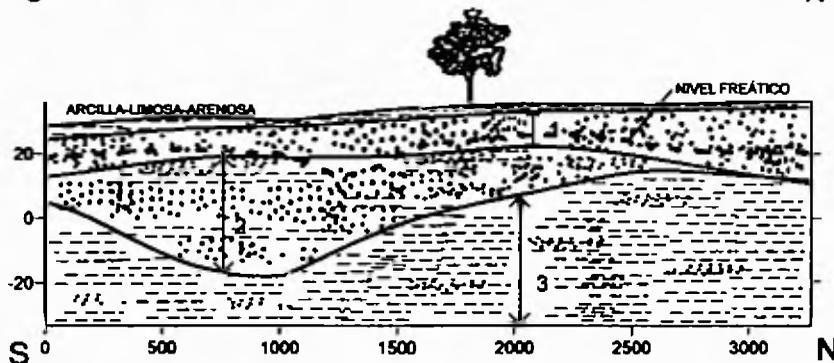
Curvas de nivel y localización de las secciones N-S



(a)  
Sección N-S 1

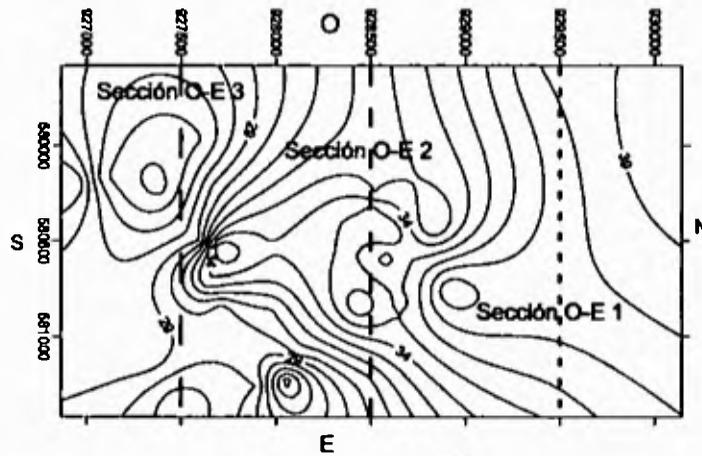


(b)  
Sección N-S 2

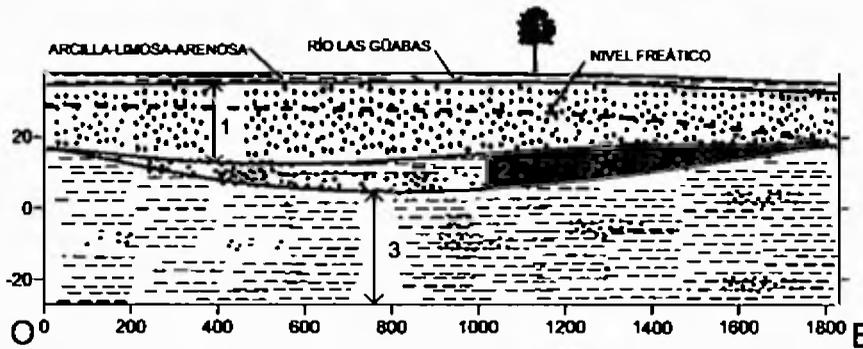


(c)  
Sección N-S 3

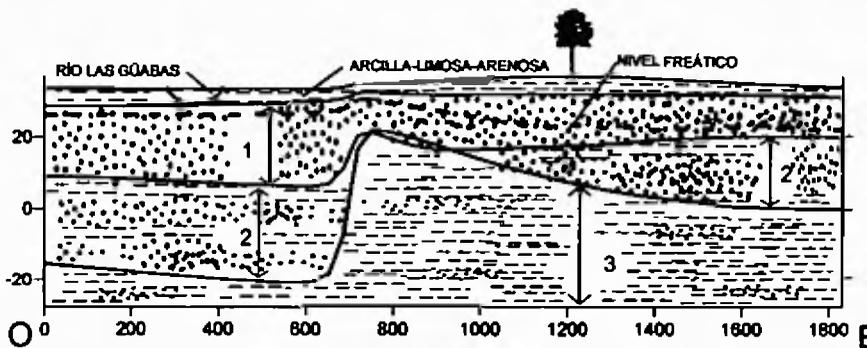
Figura 5 10 Secciones Norte-Sur del acuífero bajo la ciudad de Antón 1- aluvión arenoso (30-260)  $\Omega$  m, 2- formación arenosa-arcillosa (12-30)  $\Omega$  m y 3- formación arcillosa-arenosa (5-12)  $\Omega$  m (Ver Anexo B)



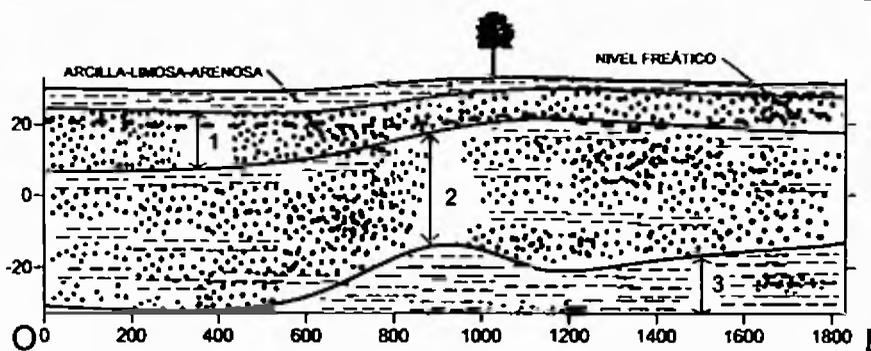
Curvas de nivel y localización de las secciones O-E



(a) Sección O-E 1



(b) Sección O-E 2



(c) Sección O-E 3

Figura 5.11 Secciones Oeste-Este del acuífero bajo la ciudad de Antón 1- aluvión arenoso (30-260)  $\Omega$  m, 2- formación arenosa-arcillosa (12-30)  $\Omega$  m y 3- formación arcillosa-arenosa (5-12)  $\Omega$  m

En resumen, después de analizar las secciones realizadas en nuestro modelo 3D podemos realizar una delimitación de las mejores áreas del acuífero, en las cuales los espesores tanto de la zona 1 (aluvión arenoso) como de la zona 2 (formación arenosa-arcillosa) son mayores y por lo cual son propicias para futuros pozos. Figura 5 12

### **5.1.2 Dinámica del acuífero**

En la Tabla 5 2 se presentan las cotas absolutas del nivel freático y la conductividad eléctrica  $\sigma$  registrada en los pozos. La imagen de la Figura 5 13 muestra el mapa de iso-conductividades eléctricas. Se observa que el flujo regional de las aguas del acuífero bajo la ciudad de Antón, proviene principalmente de la zona oeste y noreste y se desplaza en dirección sureste. La dirección de este flujo hídrico regional sugiere que toma agua del río las Guabas y luego se dirige hacia el río Antón.

El nivel freático del acuífero se ilustra en la Figura 5 14. En esta imagen se pueden apreciar conos de depresión debido a la explotación. El pozo 7 queda justo en el centro de un gran cono, en la región norte de la ciudad de Antón.

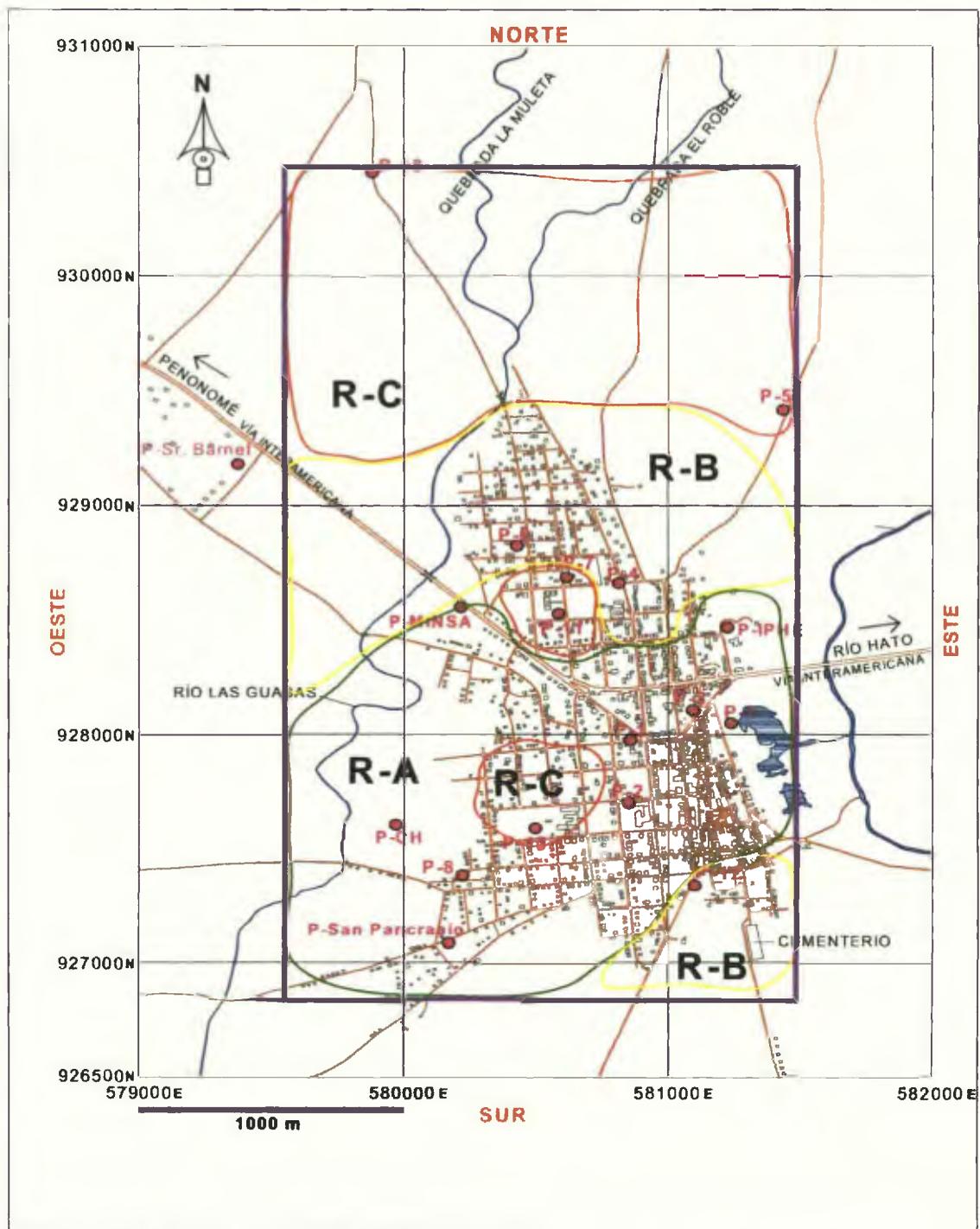


Figura 5.12 Mapa con las áreas con mejor espesor de la zona arenosa-arcillosa del acuífero de Antón (zona 2).

**R-A** Espesor de la zona 2 = 40 m

**R-B** Espesor de la zona 2 = 20 m

**R-C** Espesor de la zona 2 = (0-10) m

**Tabla 5.2 Nivel freático y conductividad eléctrica ( $\sigma$ ) en los pozos perforados por el IDAAN en Antón cabecera**

No Pozo	Nombre	Coordenadas		Cota terreno (m)	Nivel freático msnm	$\sigma$ ( $\mu\text{S/cm}$ )
		Norte	Este			
1	IDAAN	580852	927981	31	19 24	255
2	Esc Rep Dominicana	580848	927710	30	14 71	245
3	Policía Nacional	581088	928112	30	4 72	296
4	El Ciruelito	580818	928670	35	21 50	233
5	La Incada	581433	929421	35	16 08	197
6	Laura Gartán	580422	928832	32	26 35	264
7	Estadio El Ciruelito	580606	928711	35	7 09	187
8	Guabas Abajo	580224	927386	25	17 82	228
9	Calle Pnmera	581235	928055	24	15 72	327
10	Colegio Salomón Ponce	580497	927595	29	20 52	268
11	Parque Kennedy	580591	928579	33	23 28	240
12	Cooperativa de pescadores	581096	927341	28	20 36	286
13	El Mirador	579874	930464	40	26 18	153
14	Capilla San Pancracio	580165	927092	26	19 63	257
15	CH	579967	927611	31	22 92	172
16	IPHE	581223	928471	33	25 42	302
17	MINSA	580206	928559	26	19 96	165

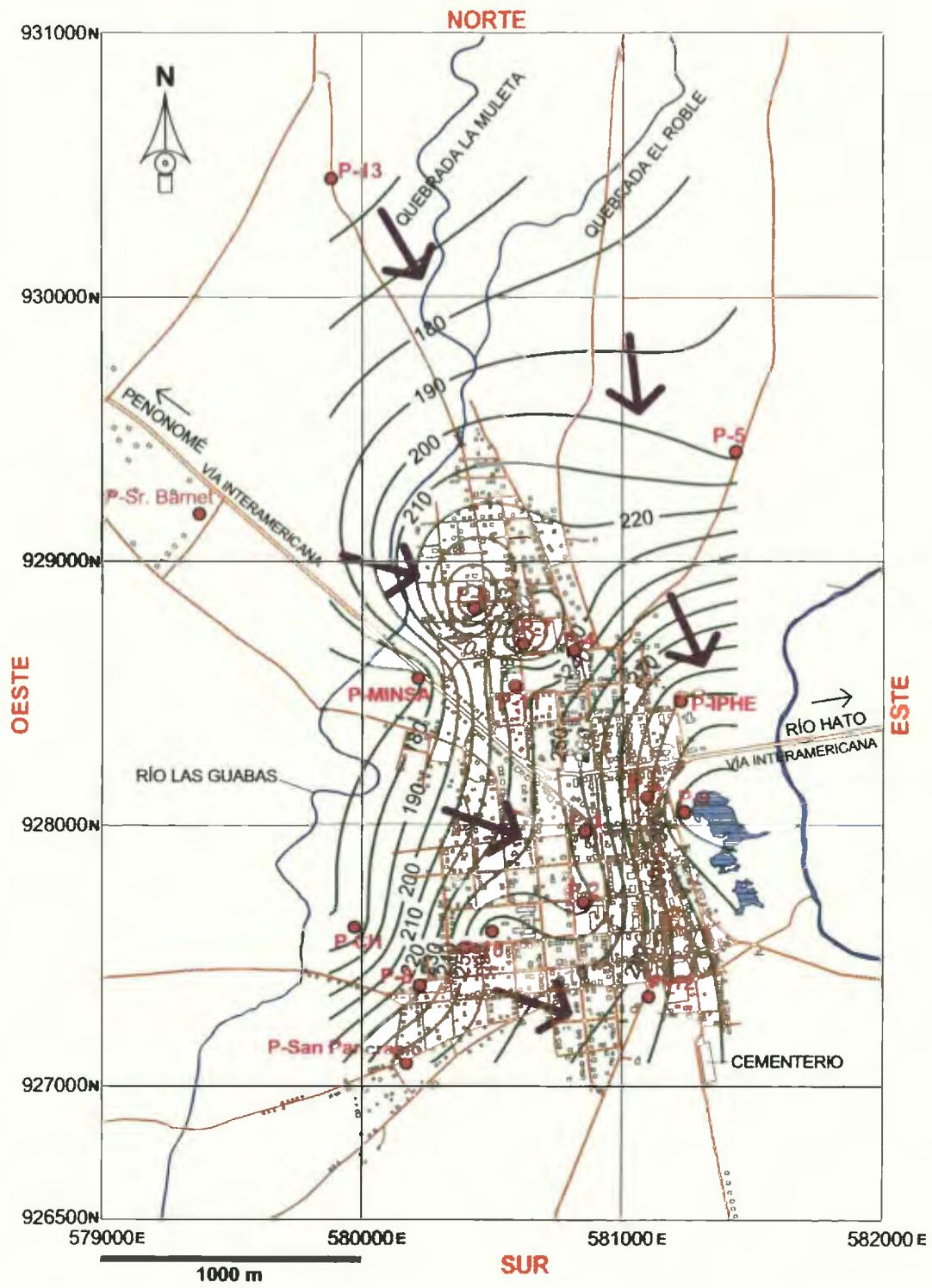


Figura 5.13. Flujo regional de las aguas del Acuífero de Antón cabecera.

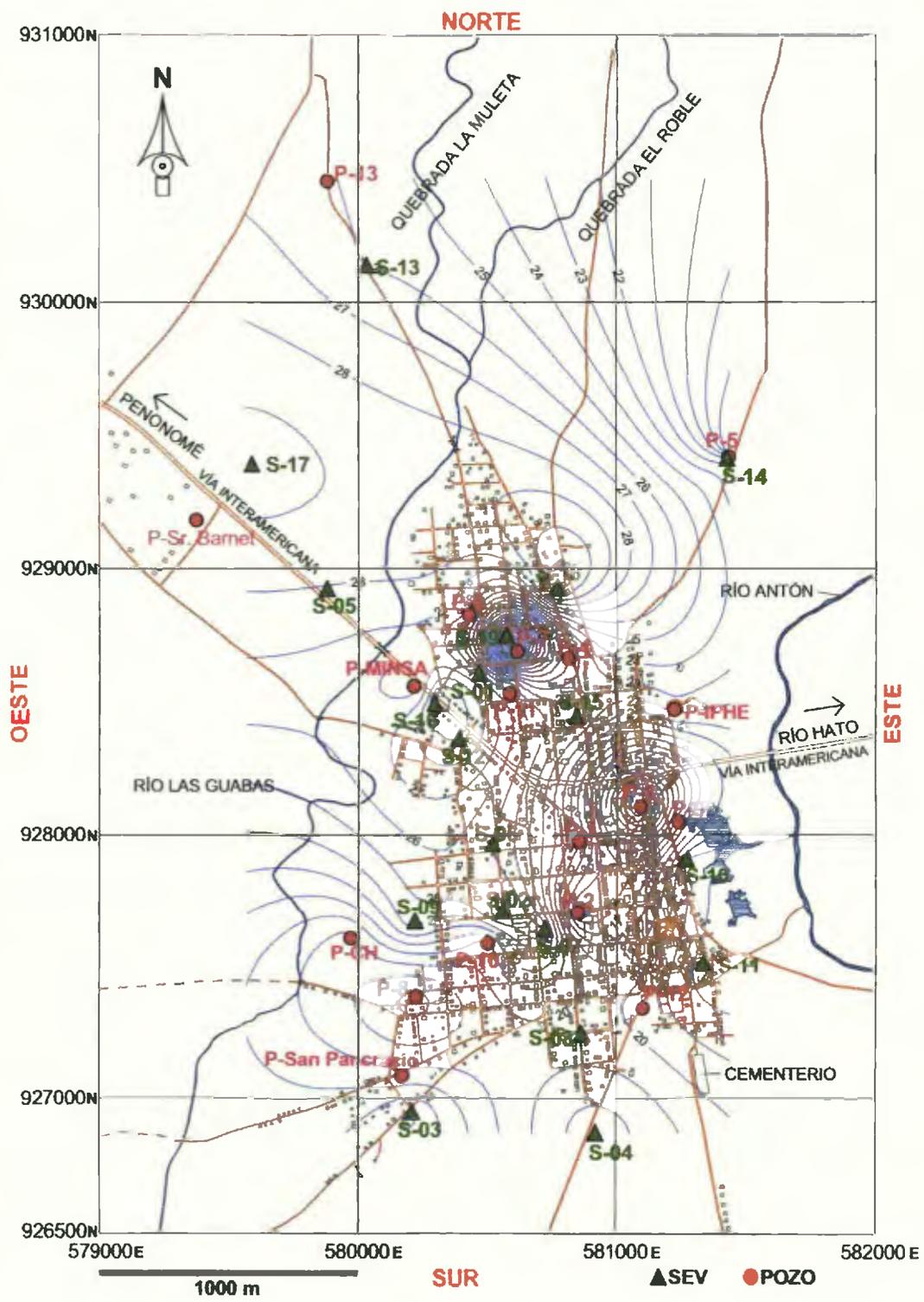


Figura 5.14. Mapa piezométrico del acuífero de Antón cabecera.

En la Figura 5 15 se muestra la sección O-E centrada en el pozo 7, donde queda claro por qué el pozo 7 se queda sin agua en la época seca. La capa de aluvi3n arenoso est3 totalmente seca. Adem3s, la parte inferior del pozo est3 en la zona 3 con alto contenido de arcilla (de baja conductividad hidr3ulica)

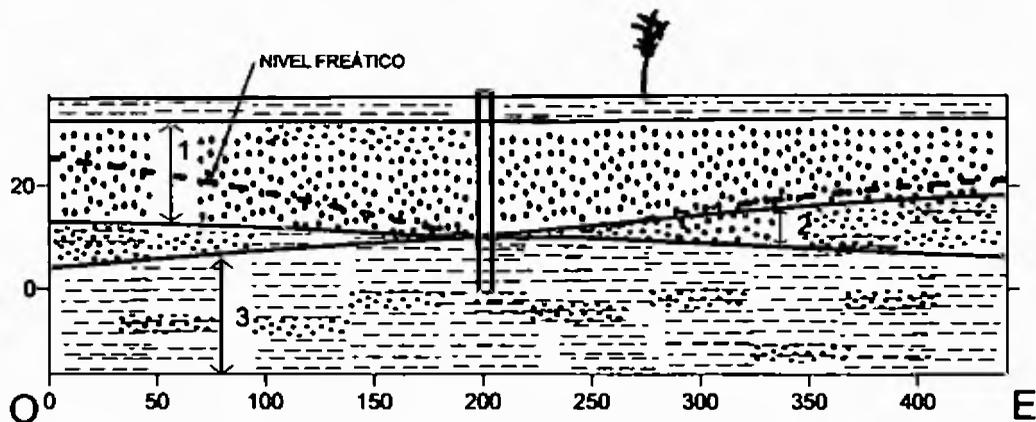


Figura 5 15 Sección O-E en el pozo 7. La contribuci3n de agua por parte del sedimento arenoso-arcilloso (capa 2) es pr3cticamente nula.

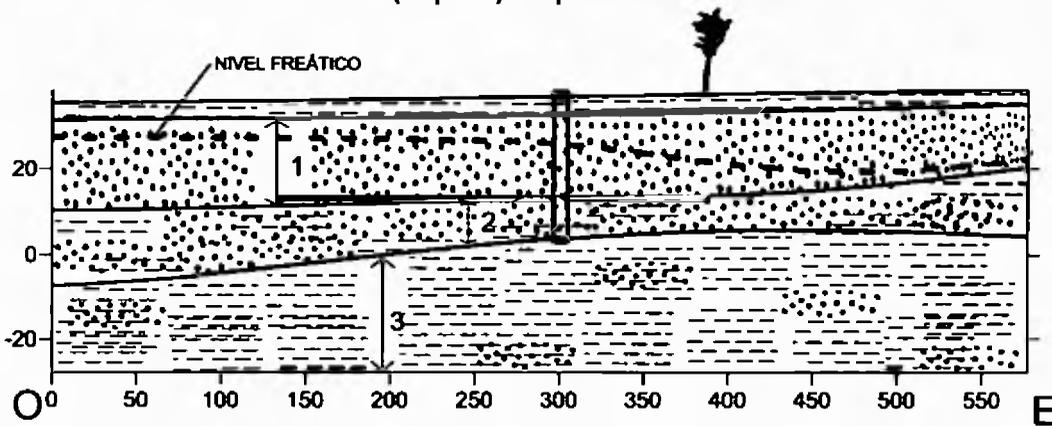


Figura 5 16. Sección O-E en el pozo 6

El pozo 6 (otro que se seca en verano) se ubica en la parte superior noroeste del cono de depresi3n (Figura 5 14). La Figura 5 16 ilustra la secci3n Oeste-Este centrada en este pozo. Se observa que s3lo recibe agua de la parte oeste y pronto baja el nivel fre3tico. Adem3s, el espesor del acuífero semi-

confinado de la zona arenosa arcillosa (zona 2) es bajo y por lo tanto, no tiene un buen flujo de agua para la recarga. Por su parte, el pozo 4 también queda en la parte superior del cono, pero en el sector este, donde la profundidad del acuífero confinado de la zona 2 es mayor y por lo tanto, un gran gradiente lo abastece rápidamente.

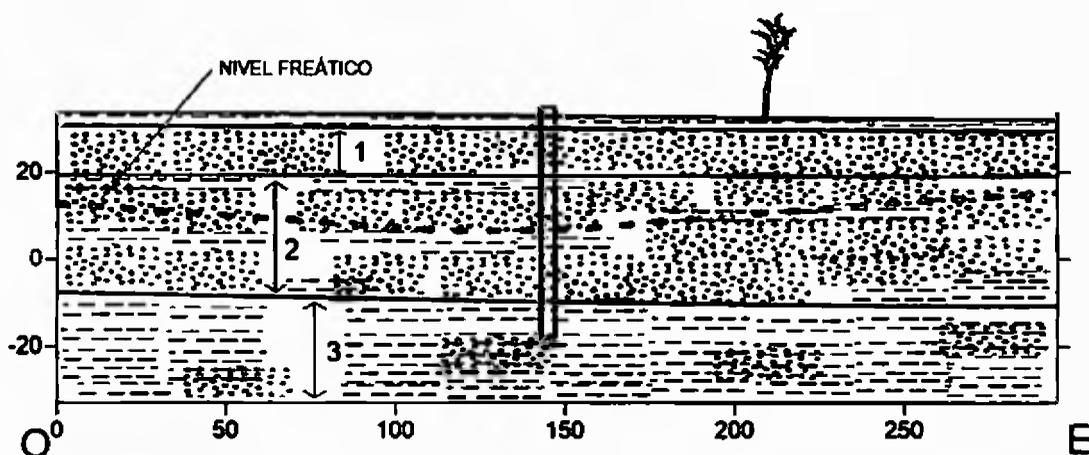


Figura 5 17 Sección O-E para el pozo 3

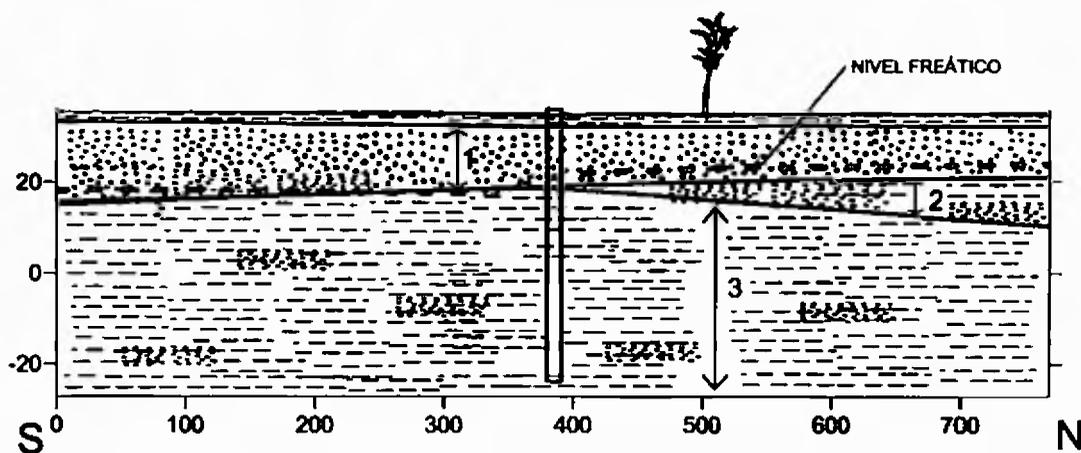


Figura 5 18 Sección N-S centrada en el pozo 5

El pozo 3 también está en el centro de un gran cono de depresión (Figura 5 14), aunque de mejor profundidad, localizado en la región este de la ciudad. Sin embargo, la profundidad del acuífero en este punto es suficiente para el abastecimiento, pues casi todo el pozo se encuentra entre el aluvión arenoso y la formación arenosa-arcillosa, materiales con buena conductividad hidráulica, (Figura 5 17). Quizá por ello, no se ha reportado que este pozo se quede sin agua durante la época seca, pero suponemos que debe bajar considerablemente su rendimiento.

Las secciones N-S 3 y O-E 1 indican que el extremo noreste del acuífero queda prácticamente seco en verano. El pozo 5 está en esta zona noreste del acuífero, donde el nivel de agua desciende directamente hasta el sedimento de baja conductividad hidráulica (zona 3). Esto explica por qué el pozo 5 se queda sin agua en la época seca. En la Figura 5 18 presentamos la sección N-S centrada en el pozo 5 donde se muestra que la mayor parte del pozo se encuentra en la zona 3, arcilla arenosa.

El mapa piezométrico de la Figura 5 14 también sugiere la existencia de flujos locales de recarga. Se observan dos puntos de recarga (uno próximo a los sondeos 12 y 16 y el otro cercano al sondeo 18). Estos puntos de recarga son conspicuos ya que los sondeos se realizaron en el mes de Febrero, cuando la época seca está en su punto máximo. Por lo tanto, sospechamos que la recarga en estos puntos proviene de las aguas residuales de las actividades humanas, que se infiltran favorecidas por el nivel de arena en el suelo arcilloso. En la visita de campo se pudo comprobar que en muchas regiones de la ciudad el contenido

de arena en el suelo es significativo. Para confirmar estas observaciones, analizamos los mapas de resistividades eléctricas de la capa superior de arcilla (parte de la zona no saturada) a diferentes profundidades (0.15 m, 0.50 m, 1.0 m y 4.0 m). En la Figura 5.19 se muestran los mapas de iso-resistividad eléctrica a estas profundidades, ya que el espesor promedio de la capa arcillosa, según las perforaciones y los SEV está próximo a los 4.30 m.

De acuerdo a los resultados de resistividad eléctrica, la arcilla de la ciudad de Antón presenta resistividades eléctricas entre  $10 \Omega \text{ m}$  y  $86 \Omega \text{ m}$  (Ver Anexo B) según el porcentaje de humedad. Por lo tanto, valores de la resistividad eléctrica de la capa arcillosa superiores a  $100 \Omega \text{ m}$  sugieren un porcentaje significativo de limo y arena, lo que mejora la permeabilidad de la capa superficial.

En la Figura 5.19-a, puede verse que aproximadamente  $\frac{3}{4}$  de la ciudad de Antón (la zona central y sur) yace sobre un suelo, que a 0.15 m debajo de la superficie, posee resistividades eléctricas entre  $140 \Omega \text{ m}$  y  $250 \Omega \text{ m}$ . Es decir, se trata de un suelo arcilloso con un contenido significativo de arena, que permite la infiltración de aguas residuales (de las actividades domésticas, regadíos, lavados y otras). Las Figuras 5.19-b, 5.19-c y 5.19-d, indican que hay betas de suelo arcilloso-limoso-arenoso en contacto entre sí, lo que permite que las aguas residuales puedan atravesar esta capa y llegar al acuífero.



## 5.2 Parámetros Hidráulicos

Los registros de las pruebas de bombeo y de recuperación de los pozos 9, 10, 4 y 12 se presentan en las Tablas del anexo C. En las Figuras 5 20, 5 21, 5 22 y 5 23 se ilustran las rectas de recuperación de cada pozo, respectivamente. En la Tabla 5 3 se resumen los parámetros hidráulicos característicos de cada pozo.

Tabla 5 3 Parámetros hidráulicos de los pozos del acuífero de Antón

Pozo	Q (m <sup>3</sup> /día)	s (m)	C E (m <sup>2</sup> /día)	T <sub>1</sub> (m <sup>2</sup> /día)	T <sub>2</sub> (m <sup>2</sup> /día)	⟨T⟩ (m <sup>2</sup> /día)	h (m)	K (m/día)
9	273	3 69	74	77	132	105	28	3 8
10	221	2 10	105	110	59	85	27	3 1
4	409	0 64	639	666	476	571	21	27 2
12	360	1 22	295	307	219	263	32	8 2
					promedio	256		10 6

Q caudal, s abatimiento total, C E capacidad específica, T<sub>1</sub> transmisividad durante el bombeo, T<sub>2</sub> transmisividad durante la recuperación, ⟨T⟩ transmisividad promedio, h espesor medio del acuífero en el pozo, K permeabilidad (conductividad hidráulica)

Vemos que el orden de magnitud de la transmisividad del acuífero, en la localidad de los pozos, durante el bombeo y durante la recuperación es el mismo (10<sup>2</sup> m<sup>2</sup>/día). En promedio, la transmisividad del acuífero es 256 m<sup>2</sup>/día y la permeabilidad es 10 6 m/día. Estos valores corresponden a un medio intergranular arenoso de grano mediano (aproximadamente 0 40 mm de diámetro) con una conductividad hidráulica mediana-alta.

De la Tabla 5 3, se aprecia que los pozos 9 y 10 tienen el caudal más bajo y sufren un mayor abatimiento después de 48 horas de bombeo, mientras que los pozos 4 y 12 presentan un abatimiento menor a pesar de que el caudal es mayor. Además, los valores de conductividad hidráulica indican que los pozos 9 y 10 están en una formación arenosa de grano fino, alrededor de 0 25 mm, (Rebollo, 2007) mientras que los pozos 12 y 4 están, respectivamente, en una

formación arenosa de grano mediano (0.35 mm) y grueso (0.65 mm). Estos datos nos indican que el aporte del acuífero confinado o semiconfinado, en el sedimento arenoso-arcilloso, es mayor en los pozos 4 y 12. Posiblemente, en los pozos 9 y 10 el acuífero libre constituido por el aluvión arenoso es el principal contribuyente.

Las rectas de recuperación de los pozos 10, 4 y 12 tienen intercepto negativo, lo que evidencia claramente una recarga externa del acuífero (Villanueva & Iglesias, 1984). Sospechamos que el origen de esta recarga externa puede estar posiblemente en el reciclado del agua bombeada. Quizá el agua bombeada no fue vertida lo suficientemente lejos de la zona de embalse del pozo y logró incorporarse nuevamente al acuífero. Otra causa, quizá la más probable, puede estar en la recarga del pozo procedente de la captación de los pozos vecinos.

La recuperación en el pozo 9 presenta dos comportamientos distintos, típicos de la contribución de un drenaje difuso (Villanueva & Iglesias, 1984). Durante los primeros cinco minutos el pozo se recupera con agua del propio acuífero (con  $T = 34 \text{ m}^2/\text{día}$ ), sin embargo, en los últimos 25 minutos, recibe una recarga difusa que crea una transmisividad anómala de  $230 \text{ m}^2/\text{día}$ . Nuevamente, consideramos que esta recarga difusa puede provenir del agua reciclada o de la recarga interfenda a los pozos vecinos.

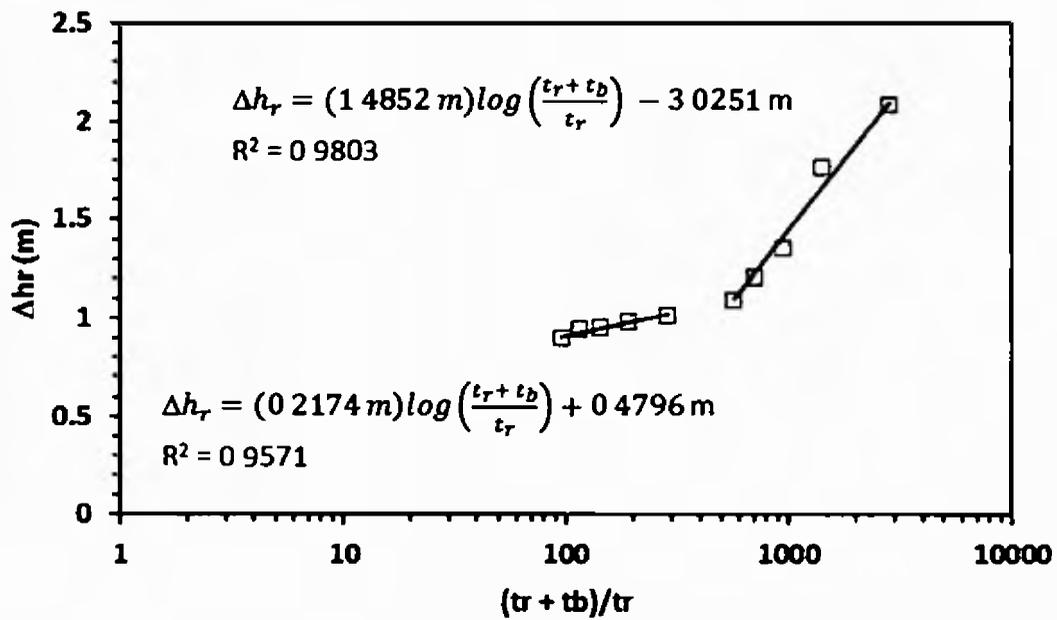


Figura 5 20 Recta de recuperación del pozo # 9 (1995)

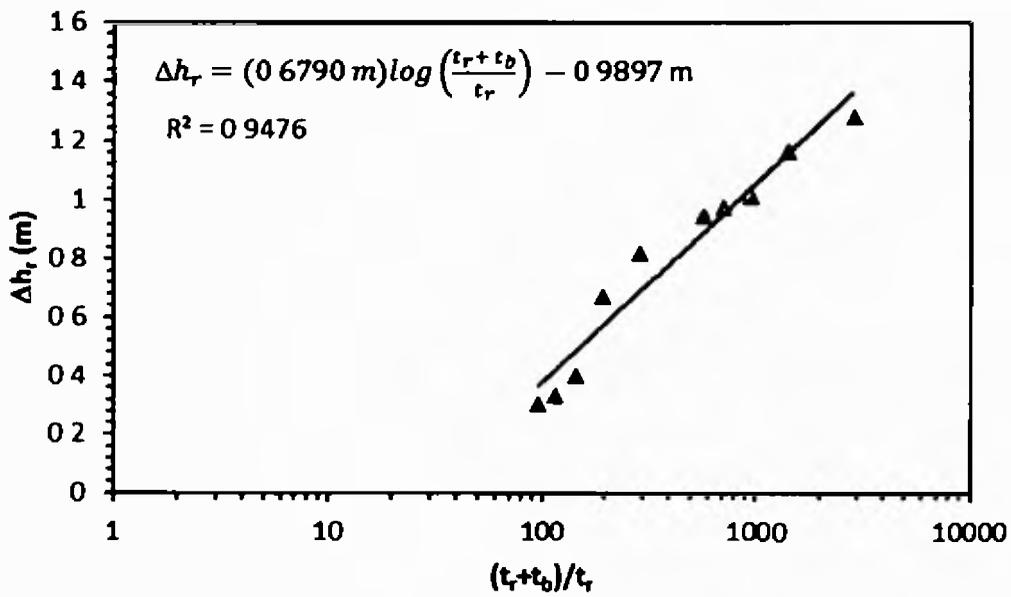


Figura 5 21 Recta de recuperación del pozo # 10 (1997)

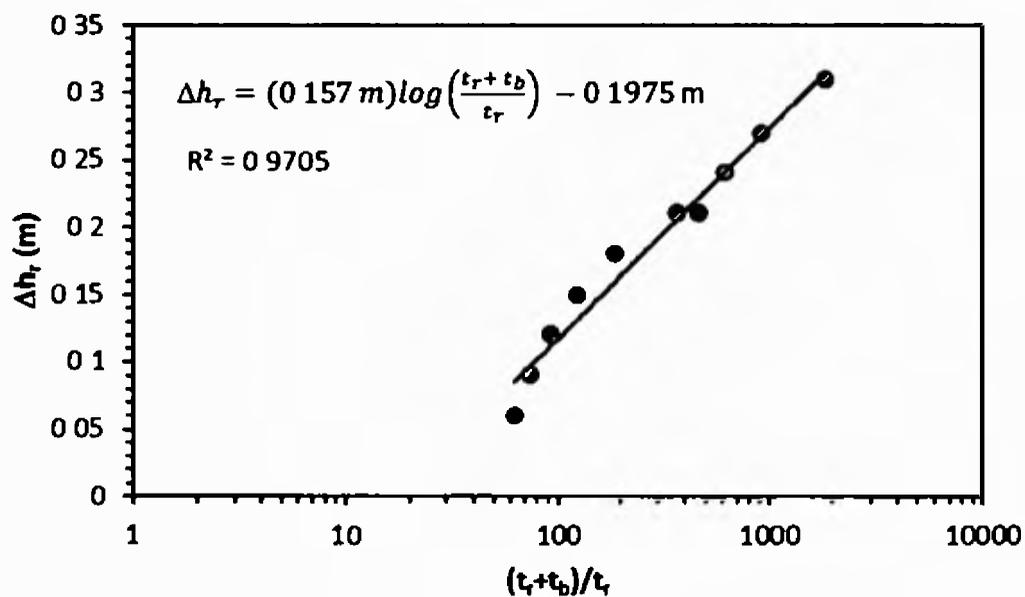


Figura 5.22 Recta de recuperación del pozo # 4 (2001)

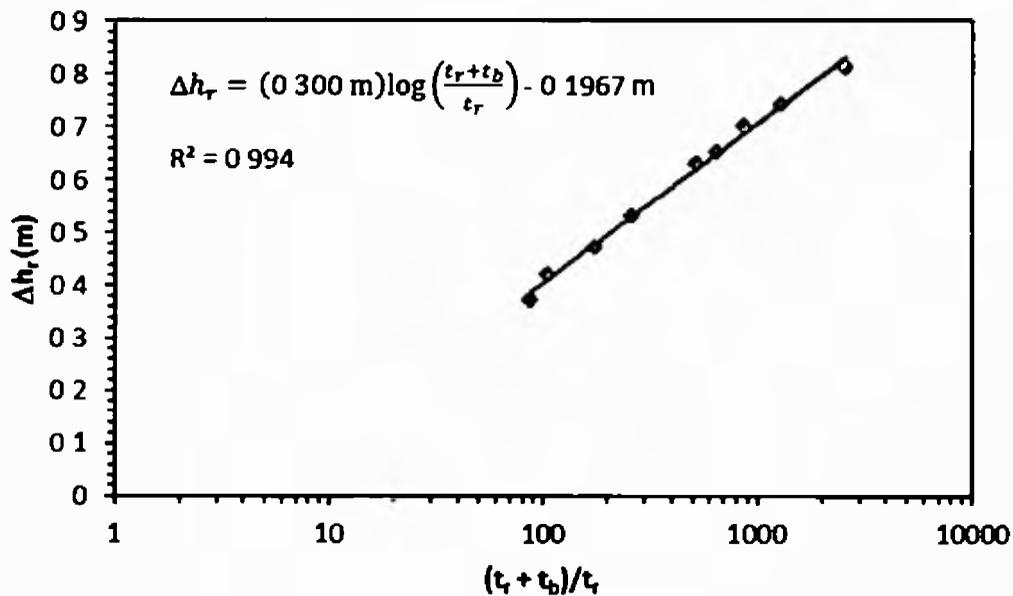


Figura 5.23 Recta de recuperación del pozo # 12 (2004)

### 5.3 Contenido de iones en las aguas subterráneas.

#### 5.3.1 Niveles de aniones

Las medidas de los contenidos de aniones (bicarbonatos, cloruros, nitratos y sulfatos), en el campo de pozos y en los ríos Las Guabas y Antón, que limitan el distrito de Antón, se resumen en la Tabla 5 4 En las Figuras 5 24, 5 25 5 26 y 5 27 se ilustran las iso-concentraciones de estos aniones. Los valores registrados en las aguas de los ríos Las Guabas y Antón no se presentan en las gráficas por ser aguas superficiales

Tabla 5 4 Niveles de aniones en el campo de pozos del distrito de Antón

Nombre	bicarbonato (HCO <sub>3</sub> ) mg/L	Cloruro mg/L	Nitrato (NO <sub>3</sub> ) mg/L	Sulfato (SO <sub>4</sub> ) mg/L
Pozo 1	51 0	22 2	3 8	2 0
Pozo 2	49 3	33 3	3 7	1 0
Pozo 3	56 6	38 9	5 5	5 0
Pozo 4	46 3	27 8	3 4	1 0
Pozo 5	33 2	11 1	0 7	1 0
Pozo 6	51 2	33 3	2 9	2 0
Pozo 7	35 1	11 1	1 1	1 0
Pozo 8	43 6	27 8	2 5	1 0
Pozo 9	62 4	38 9	3 4	9 0
Pozo 10	55 6	38 9	4 2	1 0
Pozo 11	48 3	27 8	3 4	1 0
Pozo 12	52 9	44 5	5 1	6 0
Pozo 13	30 5	5 6	0 6	1 0
Pozo CH	40 2	11 1	1 1	1 0
Pozo IPHE	57 3	38 9	6 6	4 0
Pozo MINSA	35 3	8 3	1 8	1 0
Pozo San Pancracio	50 7	38 9	2 8	1 0
Rio Las Guabas	29 0	11 1	0 6	0 5
Rio Antón	26 3	22 2	0 4	0 5

Las concentraciones de aniones en las aguas del acuífero de Antón están por debajo de los mínimos recomendados por la Organización Mundial de la Salud

(Guevara, 1996), por lo que la calidad del agua, en lo referente a carbonatos, cloruros, nitratos y sulfatos, es aceptable para el consumo humano. Sin embargo, las curvas de concentraciones de estas sustancias confirman que el acuífero recibe agua de las actividades humanas y que estas aguas residuales son las principales fuentes del aumento en la concentración de estos aniones en el agua subterránea.

La Figura 5 24 muestra que los niveles naturales de bicarbonatos (dureza) son inferiores a 40 mg/L. Sin embargo, justo debajo de la ciudad los niveles se incrementan hasta aproximadamente 64 mg/L, lo que da soporte al análisis anterior sobre la recarga del acuífero con aguas residuales. Además, los niveles más altos de dureza se encuentran en la zona este, que es hacia donde fluyen principalmente las aguas del acuífero (Figura 5 13 y 5 14).

Las Figuras 5 25, 5 26 y 5 27 dejan ver los mismos resultados, cuando se analizan, respectivamente, los contenidos de cloruros, nitratos y sulfatos. Los niveles de estos aniones sobresalen debajo de la ciudad respecto a las zonas no pobladas y que la concentración máxima se da en la zona de convergencia de las aguas subterráneas.

En las Figuras señaladas, se ve un alto contenido de aniones justo en la toma de agua del pozo del IPHE. Durante una visita de campo a este pozo, pudimos observar que la perforación no fue sellada correctamente, por lo que consideramos que la propia perforación de este pozo facilita la intrusión de agua superficial, además de la que permite el propio suelo.

Los gráficos o mapas también sugieren que los compuestos químicos usados en las actividades agrícolas y agropecuarias (localizadas en la región norte y sur principalmente) no están afectando la concentración de aniones en las aguas subterráneas. Además, a pesar de que las aguas fluyen hacia el río Antón, los niveles de aniones encontrados son muy bajos, lo que sugiere dos posibilidades: 1) las aguas subterráneas contaminadas no llegan al río Antón, o 2) el caudal del río es lo suficiente para diluir el exceso de contenido de estos aniones.

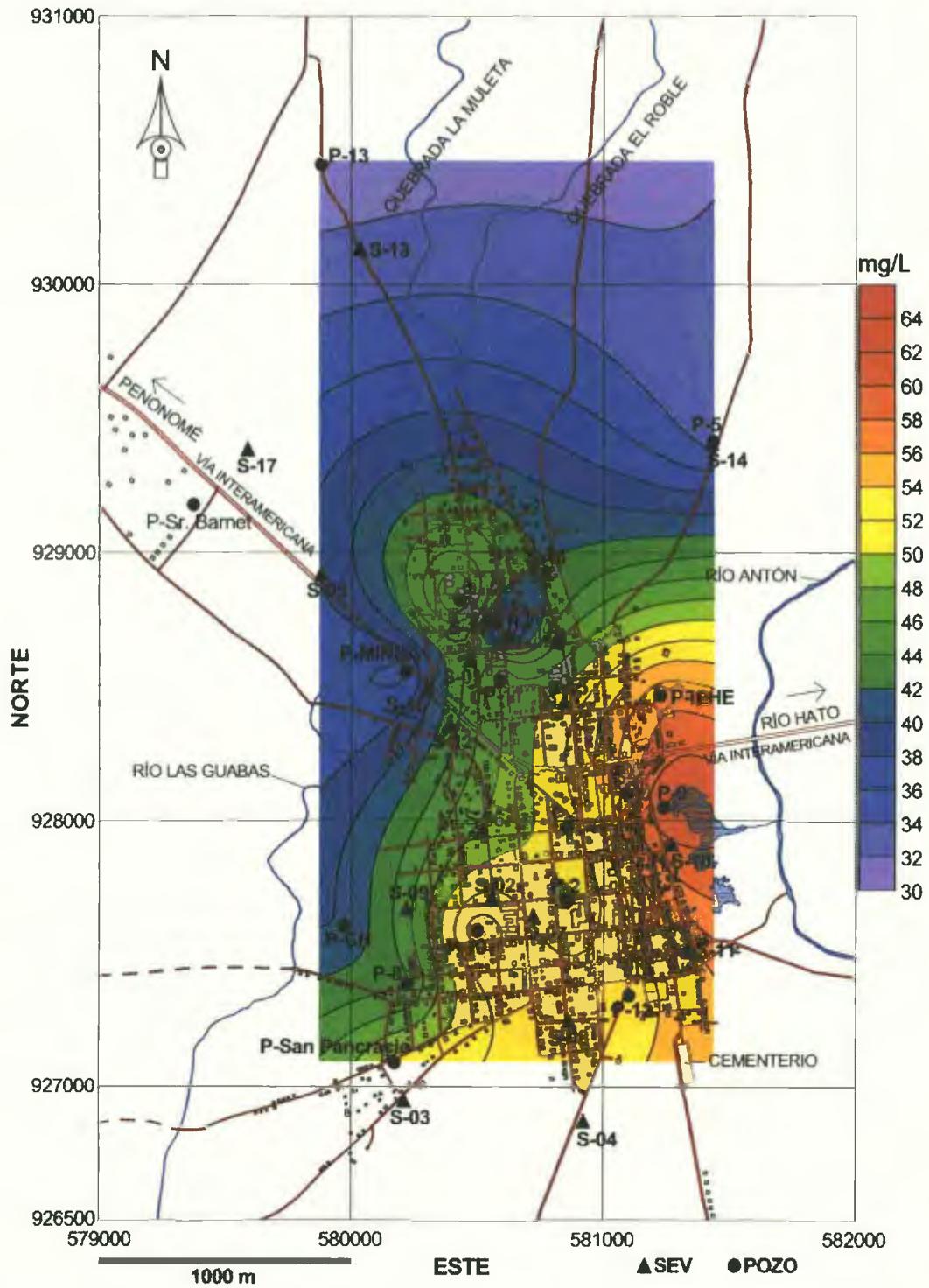


Figura 5.24. Niveles de dureza debido al bicarbonato ( $\text{HCO}_3$ ).

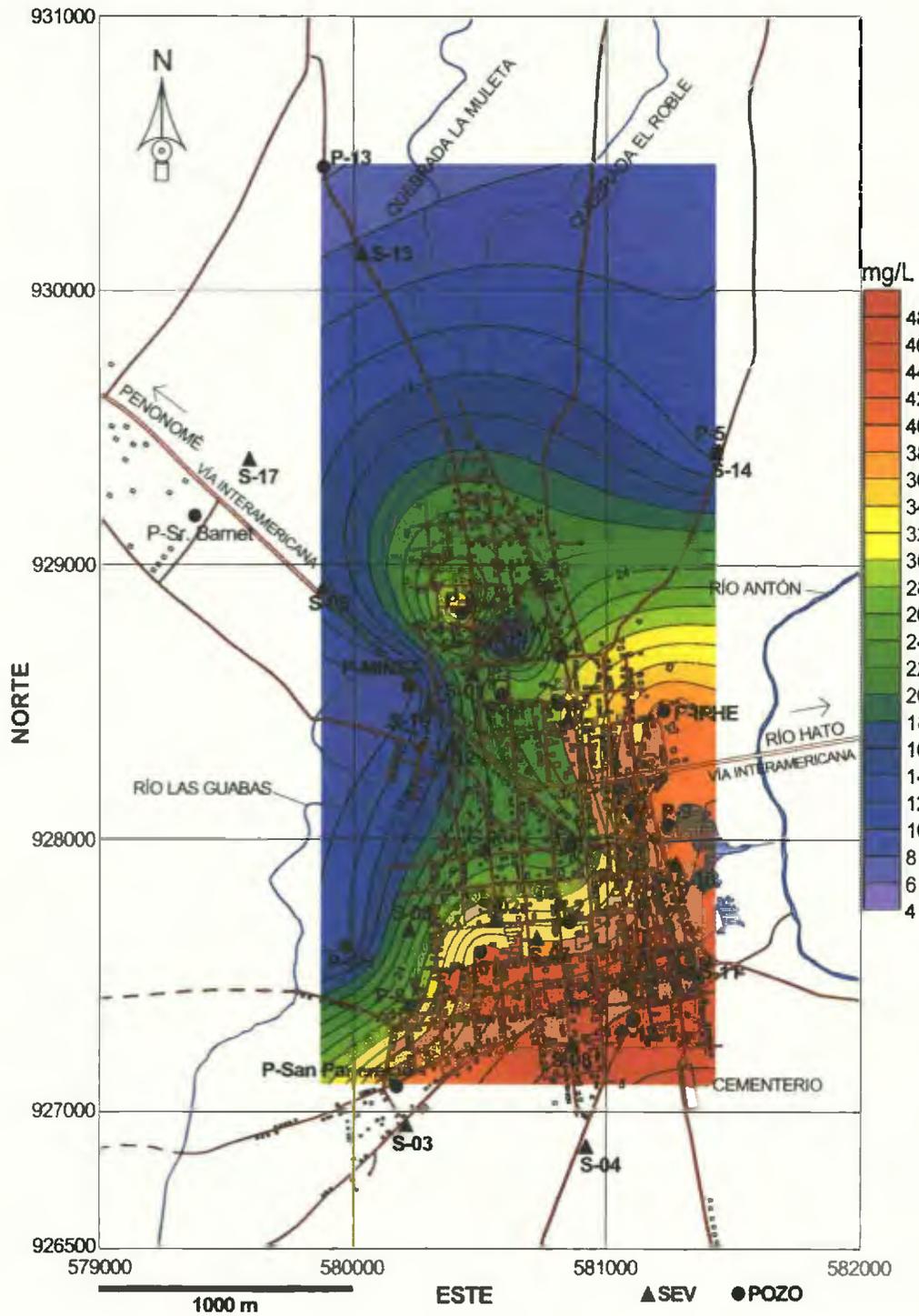


Figura 5.24. Niveles de cloruro (Cl<sup>-</sup>) en las aguas subterráneas de Antón

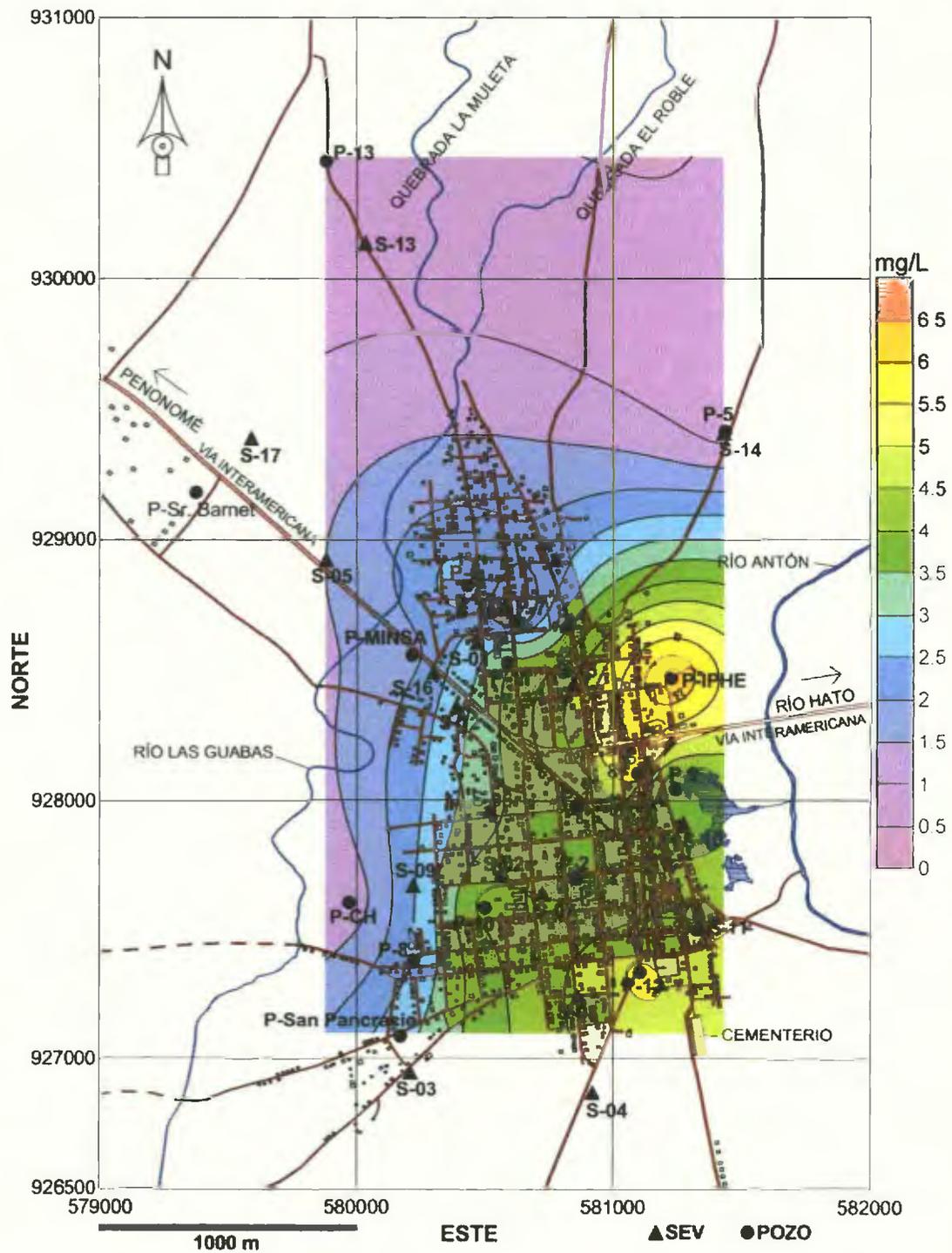


Figura 5.25. Niveles de nitratos en las aguas subterráneas de Antón.

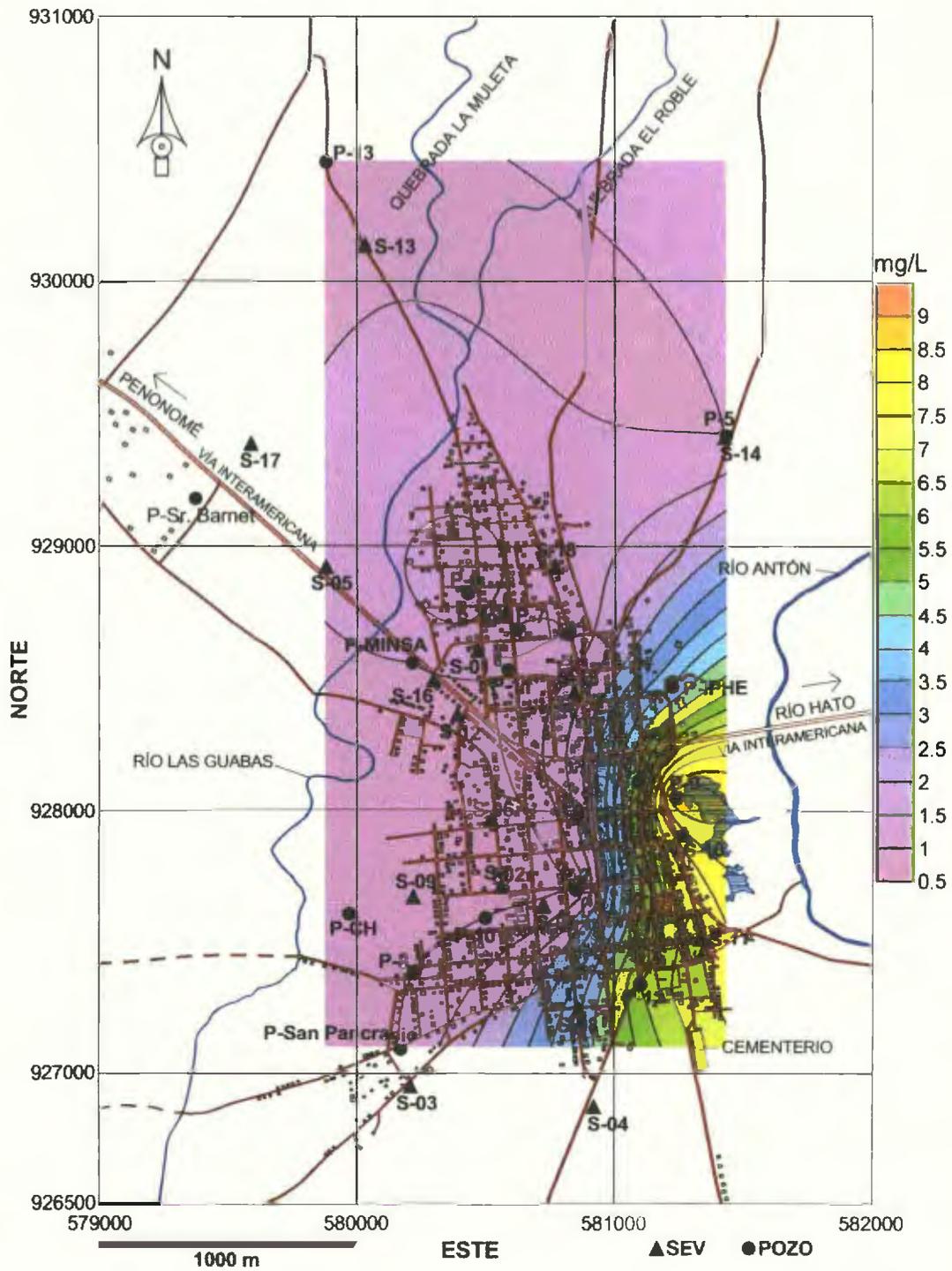


Figura 5.26. Niveles de sulfatos en las aguas subterráneas de Antón.

### 5.3.2 Niveles de cationes

En la Tabla 5 5 se presentan los contenidos de los cationes mayontanos encontrados en las aguas extraídas de los pozos que suplen la ciudad de Antón y de los ríos Las Guabas y Antón

Tabla 5 5. Niveles de cationes en el campo de pozos del distrito de Antón

Nombre	Sílice mg/L	Sodio mg/L	Potasio mg/L	Calcio mg/L	Magnesio mg/L
Pozo 1	109 0	14 2	2 8	19 3	3 9
Pozo 2	109 4	19 3	3 5	22 4	5 1
Pozo 3	112 9	22 0	4 0	28 7	5 1
Pozo 4	105 1	17 1	3 2	24 2	4 4
Pozo 5	102 6	22.0	3 2	12 3	4 5
Pozo 6	94 6	20 9	3 7	27 3	4 1
Pozo 7	116 8	17 2	2 5	14 8	4 5
Pozo 8	112 1	19 6	3 2	20 4	4 2
Pozo 9	101 7	24 8	4 8	34 0	5 0
Pozo 10	107.9	20 3	3 8	27 0	4 7
Pozo 11	109.0	17 1	3 5	25 3	4 2
Pozo 12	109 0	23 8	3 7	23 6	4 5
Pozo 13	106 7	13 2	2 5	13 8	3 1
Pozo CH	107 9	13 8	0 9	16 9	3 0
Pozo IPHE	103 8	22 7	3 8	32 1	4 7
Pozo MINSA	102 2	12 0	0 9	17 7	2 8
Pozo San Pancracio	108 8	19 6	3.7	27 1	4 4
Rio Las Guabas	101.2	9 8	1 7	8 9	2 4
Rio Antón	64 2	4 8	0 5	19 3	1 0

En las Figuras 5 28, 5 29, 5.30, 5 31 y 5-32, se muestran las curvas de iso-concentraciones de sílice, sodio, potasio, calcio y magnesio, respectivamente, en las aguas subterráneas extraídas de los 17 pozos. Al igual que en el análisis de los aniones, en las gráficas no incluimos los resultados tomados en los ríos por tratarse de aguas superficiales

En general, los niveles de sílice oscilan entre 102 mg/L y 116 mg/L, que corresponden a los rangos estándares para el agua subterránea en contacto permanente con una formación arenosa. Sólo el pozo 6 (Figura 5.27) posee un nivel de sílice inferior, debido posiblemente, a un mayor contenido de arcilla en su localidad. Este resultado refuerza el análisis anterior del por qué este pozo se queda sin agua en la época seca.

Los resultados cuantitativos y cualitativos encontrados en los ríos las Guabas y Antón tienen una explicación similar a la anterior. El agua del río las Guabas presentó un mayor nivel de sílice que el río Antón y cualitativamente, observamos que, por lo menos en el lugar de la toma de datos, el río las Guabas posee gravas y arena, mientras que el río Antón es más arcilloso.

El contenido de sodio en el acuífero (Figura 5.28) aumenta en la dirección del flujo de las aguas subterráneas. Las curvas de concentraciones sugieren que los niveles naturales de sodio en las aguas del acuífero oscilan entre 11 mg/L y 15 mg/L, ya que se trata de aguas que se dirigen hacia la ciudad y aún no han entrado en contacto con las recargas residuales. Al pasar por los puntos de recarga, debajo de la ciudad, observamos que los niveles de sodio se incrementan paulatinamente en la dirección del flujo de las aguas. Sin embargo, aún los niveles son muy bajos respecto a los estándares de la Organización Mundial de la Salud (Guevara, 1996).

Por otro lado, los bajos niveles naturales de sodio en el acuífero de Antón nos indican que las capas de arenas y arcilla que lo forman no son de origen marino, como podría pensarse debido a la cercanía a la costa marítima. Por lo tanto,

podemos suponer que las capas de arena y arcilla proceden de la erosión de las montañas de la cordillera del Valle, llevadas por las escorrentías a través de millones de años

Las concentraciones de potasio en la zona de estudio se ilustran en la Figura 5 28 Los niveles naturales de potasio oscilan entre 1 mg/L y 2 mg/L y puede observarse un incremento a medida que el flujo regional las pone en contacto con las aguas residuales vertidas en la ciudad

Los contenidos de calcio y magnesio se muestran, respectivamente, en las Figuras 5 27 y 5 28 La concentración de estos iones en el agua es importante, ya que son los principales contribuyentes a la dureza total de la misma (Rodríguez & Rodríguez, 2010) Según la Figura 5 30, naturalmente las aguas del acuífero de Antón contienen entre 12 mg/L y 19 mg/L de calcio disuelto Sin embargo, los niveles de calcio prácticamente se duplican cuando las aguas abandonan la ciudad, en el extremo sureste En el caso del magnesio, el mapa (Fig 5-31) sugiere que el agua contiene entre 2.7 mg/L y 3.5 mg/L antes de pasar por debajo de la ciudad de Antón Al salir de la ciudad, las aguas presentan cerca de 5.2 mg/L Estos resultados nuevamente sugieren que las recargas con aguas residuales durante la estación seca es la fuente del exceso de los iones de calcio y magnesio Estos resultados están en total acuerdo con los reportados por especialistas en la materia quienes encontraron que la infiltración de las aguas antropogénicas, especialmente las domésticas y las industriales, aumentan el contenido de calcio y magnesio de las aguas subterráneas (Jodral *et al.*, 2007)

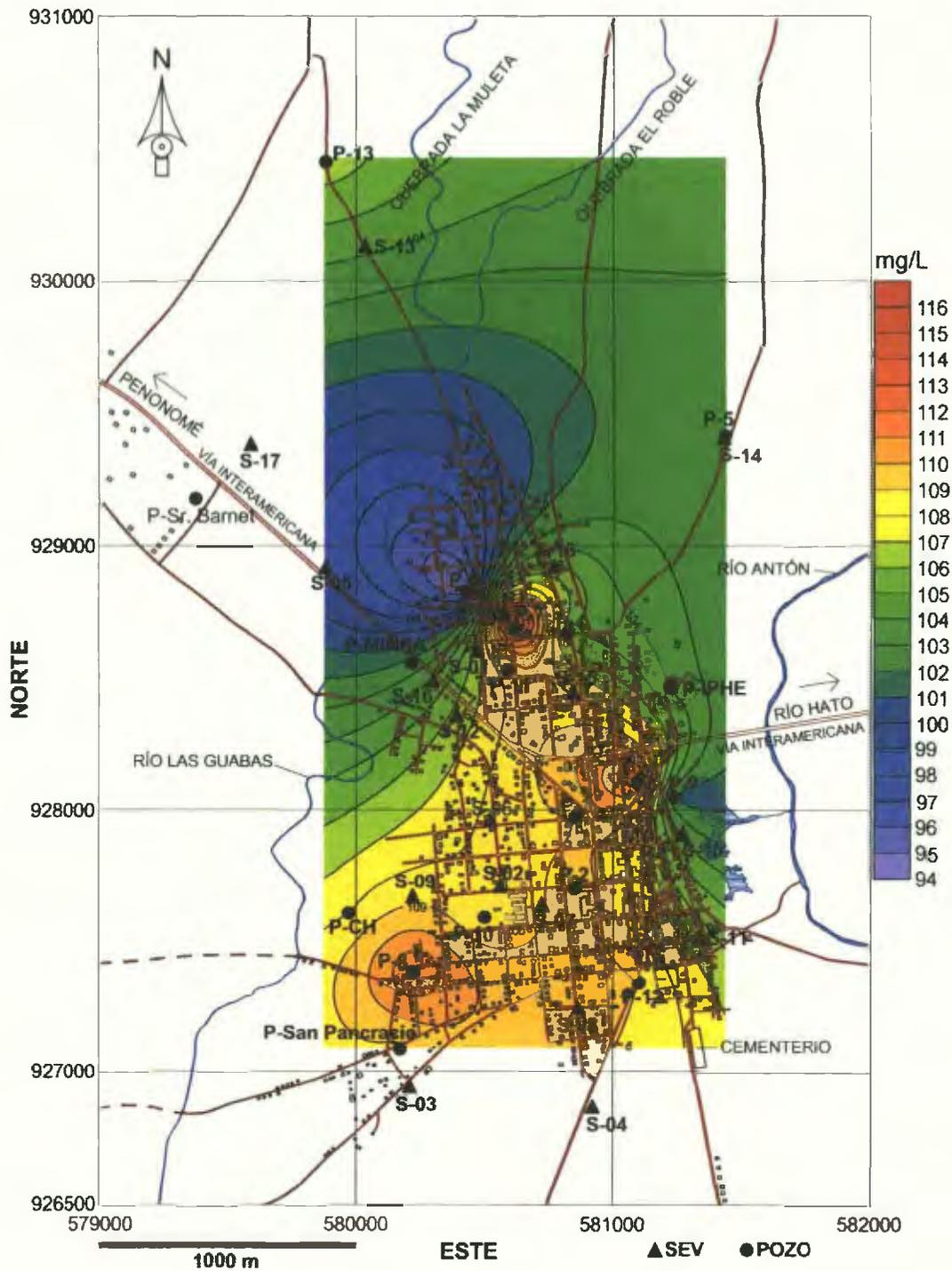


Figura 5.28. Niveles de sílice en las aguas subterráneas de Antón.

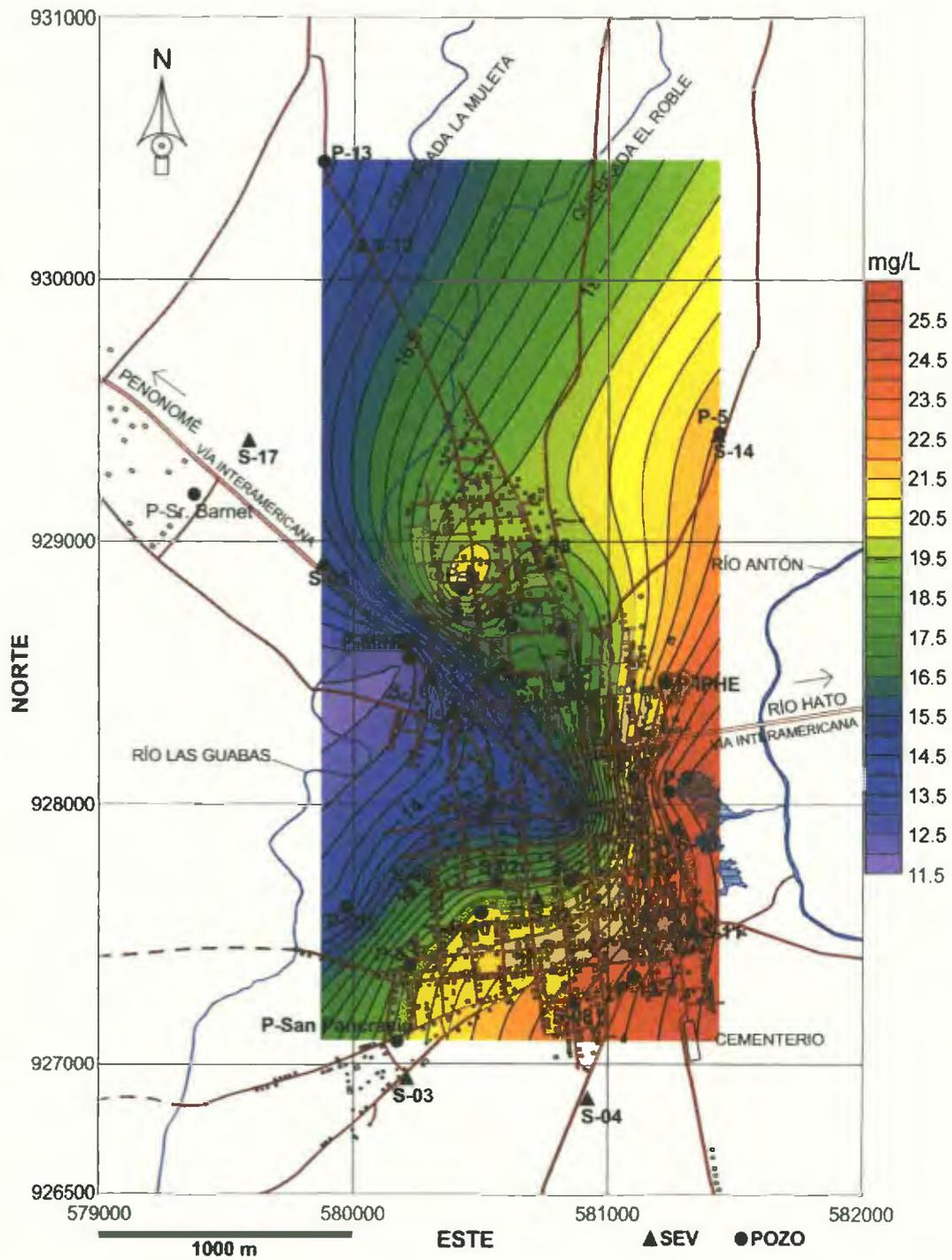


Figura 5.29. Niveles de sodio en las aguas subterráneas de Antón.

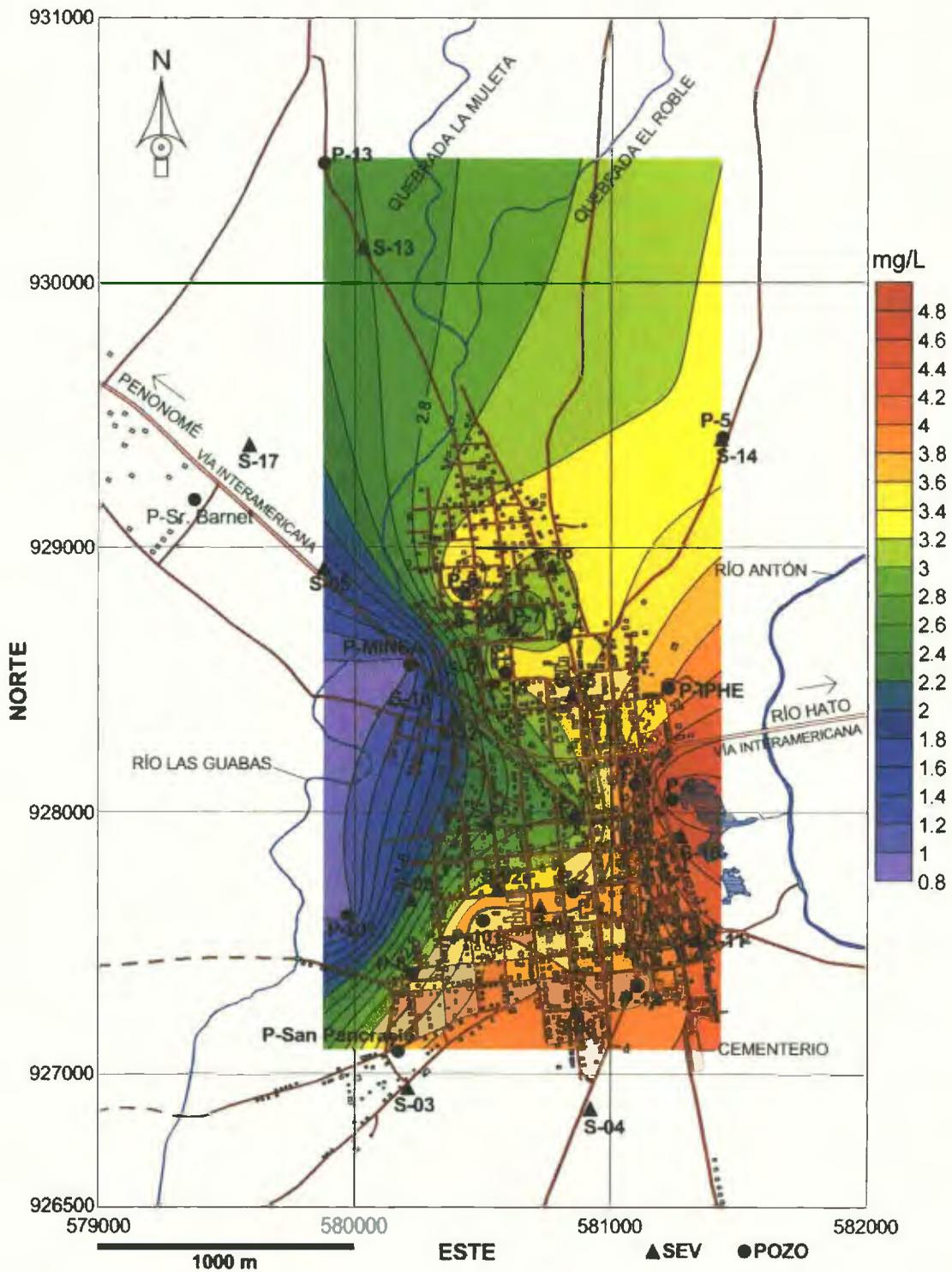


Figura 5.30. Niveles de Potasio en las aguas subterráneas de Antón.

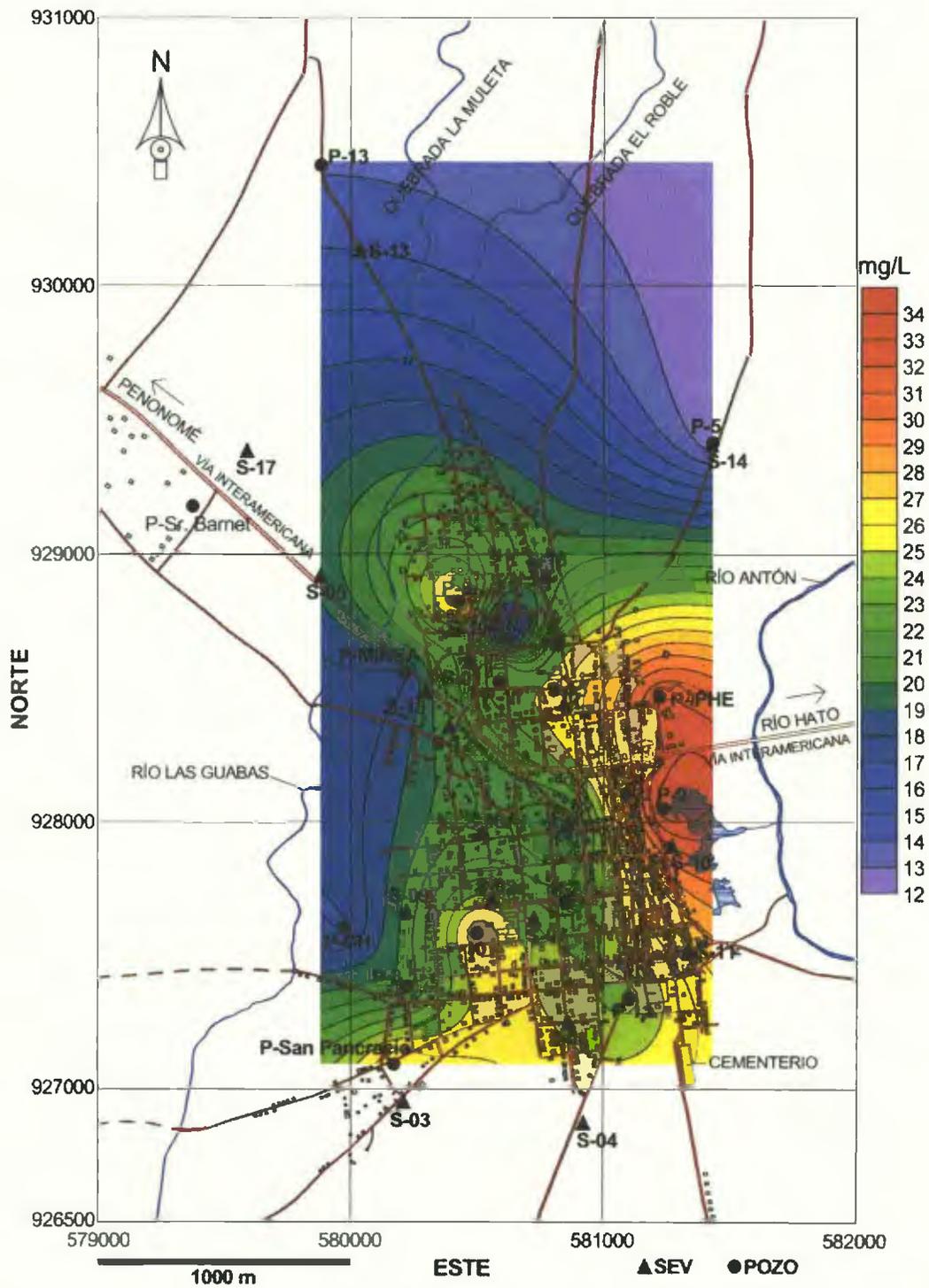


Figura 5.31. Niveles de Calcio en las aguas subterráneas de Antón.

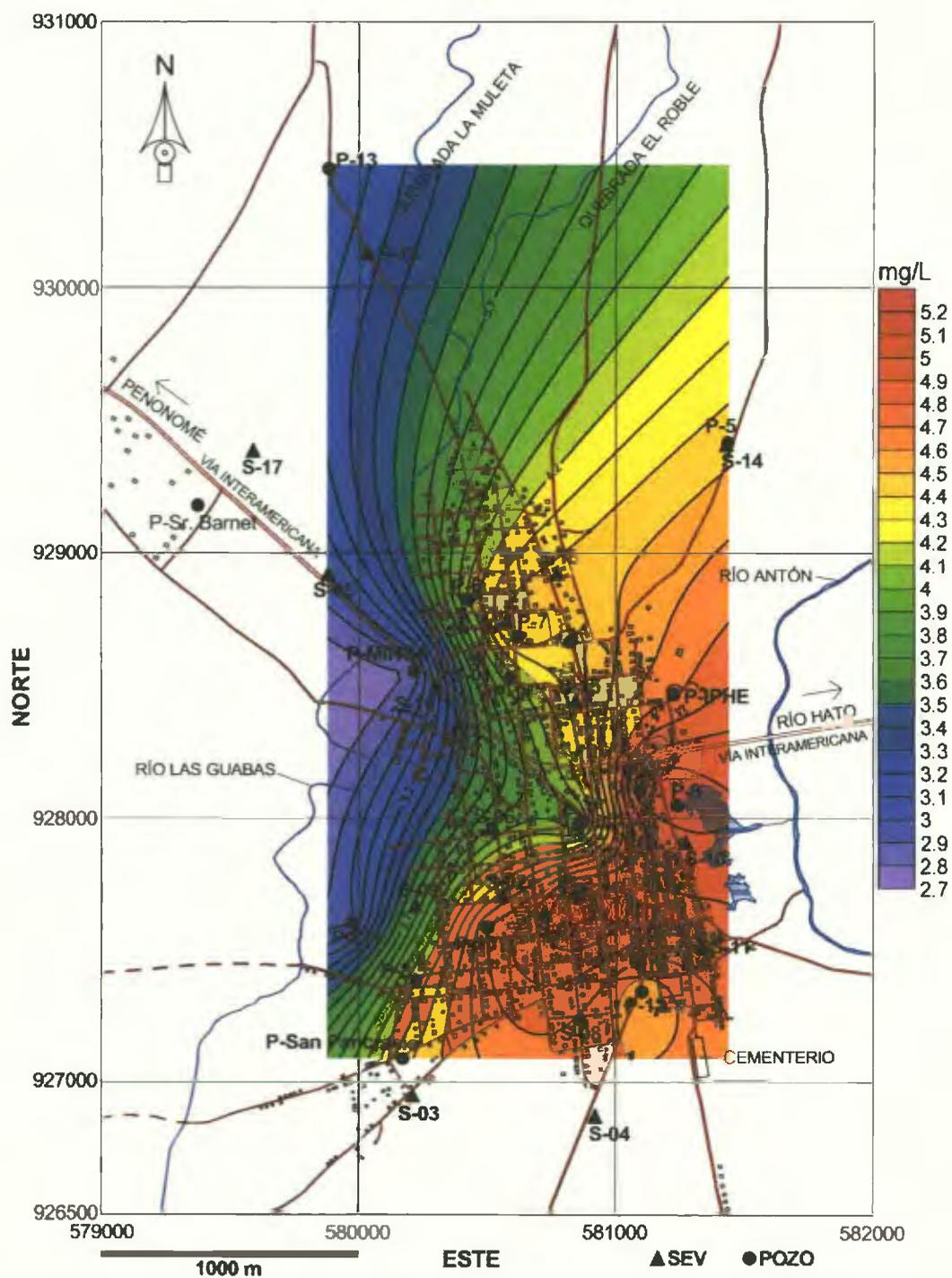


Figura 5.32. Niveles de magnesio en las aguas subterráneas de Antón.

## **Capítulo 6. PLAN DE EXPLOTACIÓN SOSTENIBLE**

Según la Contraloría General de la República, la proyección de población en Antón cabecera para el año 2030 se estima en, aproximadamente, 14 000 habitantes (Contraloría, 2015) y de acuerdo a la OMS, una persona necesita, en promedio, 50 litros diarios (14 gal/día), para cubrir las necesidades básicas (ONU, 2005). Sin embargo, en Panamá, el IDAAN reporta que el consumo promedio por persona es 80 gal/día. De esto se desprende que la población de Antón cabecera necesitará cerca de 1 120 000 gal/día, en el 2030.

Del resumen de la Tabla 6.1, se observa que el volumen total diario producido por los pozos oficiales es, actualmente, 1 072 800 gal/día. Este volumen diario debería ser suficiente para atender la demanda actual (10 000 habitantes, que necesitarían 800 000 gal/día). No obstante, ya hay problemas de abastecimiento en algunos sectores de la ciudad.

En este sentido, basados en los resultados encontrados en este trabajo y tomando en consideración las consultorías realizadas por el IDAAN, concluimos que las causas principales, por las cuales la producción actual de los pozos no sufre, adecuadamente, a la población, son

- 1) A pesar de que todos los pozos están conectados a una red única, todos poseen condiciones hidrogeológicas diferentes, como lo vimos en las secciones realizadas (Figuras 5.10 y 5.11). Algunas zonas son abastecidas, principalmente, por pozos que tienen interferencias, significativas, con otros pozos o, que se encuentran en regiones en las

que la formación geológica, (debajo del aluvión arenoso) tiene baja conductividad hidráulica y no favorece la extracción del agua (casos puntuales en los pozos 5, 6 y 7) Sin embargo, otras zonas que están conectadas a pozos situados en puntos favorables (de buena conductividad hidráulica), no presentan problemas tan agudos de abastecimiento del agua

- 2) Las bombas de extracción no están automatizadas Esto conlleva a que cerca del 40% del agua se pierde por fuga (posiblemente tuberías rotas por la alta presión, grifos e inodoros con escapes), debido a que cada pozo lleva, directamente, el agua a la red única de distribución a los hogares
- 3) Los pozos no están presentando el rendimiento óptimo debido a fallas de diseño y construcción de los mismos, tales como malas perforaciones, rejillas realizadas manualmente y el uso de grava no adecuada (algunas veces utilizan piedras # 4, y se recomienda canto rodado) Estimaciones realizadas indican que los pozos, con este diseño, pierden eficiencia entre un 40 % a 50 % de la capacidad que tendrían pozos bien diseñados y construidos

**Tabla 6 1 Producción total diaria de los pozos oficiales de Antón cabecera.**

No Pozo	Nombre	Q (gal/min)	Q <sub>diario</sub> (gal/día)
1	IDAAN	80	115 200
2	Esc Rep Dominicana	80	115 200
3	Policía Nacional	60	86 400
4	El Ciruelito	60	86 400
5	La Incada	35	50 400
6	Laura Gaitán	40	57 600
7	Estadio El Ciruelito	30	43 200
8	Guabas Abajo	45	64 800
9	Calle Pnmera	45	64 800
10	Colegio Salomón Ponce	30	43 200
11	Parque Kennedy	40	57 600
12	Cooperativa de pescadores	35	50 400
13	El Mirador	60	86 400
14	Capilla San Pancracio	50	72 000
15	CH	---	---
16	IPHE	---	---
17	MINSA	55	79 200
<b>Total</b>			<b>1 072 800</b>

Basados en las causas anteriores, consideramos que una mejor opción de explotación sostenible del acuífero de Antón, para enfrentar la demanda creciente de agua potable, por lo menos hasta el año 2030, es crear un sistema único de abastecimiento de agua. Para ello, proponemos la construcción de seis (6) nuevos pozos, con un caudal promedio de 150 gal/min, que lleve las aguas a una central de almacenamiento (depósito de 400 000 gal), en donde se realizaría el proceso de cloración y distribución controlada, en igualdad de condiciones a todos los puntos de la ciudad. Esto mejorará la red de distribución de agua potable a la ciudadanía y optimizará el control por parte de las autoridades.

Los pozos deben tener un diámetro de 10 pulgadas, diseñados y construidos con especificaciones, según normas ASTM F 480. Además, se debe

utilizar la bomba adecuada, sugenda por el ensayo de bombeo, para explotar el pozo con el caudal indicado. Con estos seis (6) pozos, se pretende obtener un volumen diario de 1 296 000 gal. Esto mejorará la red de distribución de agua potable a la ciudadanía y optimizará el control por parte de las autoridades.

Proponemos hacer nuevos pozos, en regiones donde la formación geológica presente buen caudal, y no rehabilitar los ya existentes, debido a que no se puede dejar sin agua potable a la población, mientras se hacen las reparaciones y además, resultaría más costoso reparar los pozos ya existentes que construir nuevos pozos. Cuando el nuevo sistema de pozo y central de almacenamiento esté terminado, se clausuraría el sistema actual y los pozos existentes se utilizarían como pozos de observación de una red piezométrica.

En la Figura 6.1, marcamos las posiciones para la construcción de los nuevos pozos. De las secciones Norte-Sur y Oeste-Este (Figuras 5.10 y 5.11) y el mapa de la delimitación de las mejores áreas del acuífero (Figura 5.12), se infiere que las mejores zonas para ubicar los nuevos pozos son la región sur y central de la ciudad. Escogemos estas zonas para localizar los pozos, por dos razones:

- 1) En estas zonas convergen las aguas regionales procedentes del Oeste (Figuras 5.13 y 5.14), lo que garantizará un suministro permanente de agua.
- 2) El espesor del aluvión arenoso (zona 1) y de la formación arenosa-arcillosa (zona 2) (donde existen acuíferos semiconfinados con buena conductividad hidráulica), en conjunto, está alrededor de los 45 m, lo que permitirá una buena profundidad para los pozos.

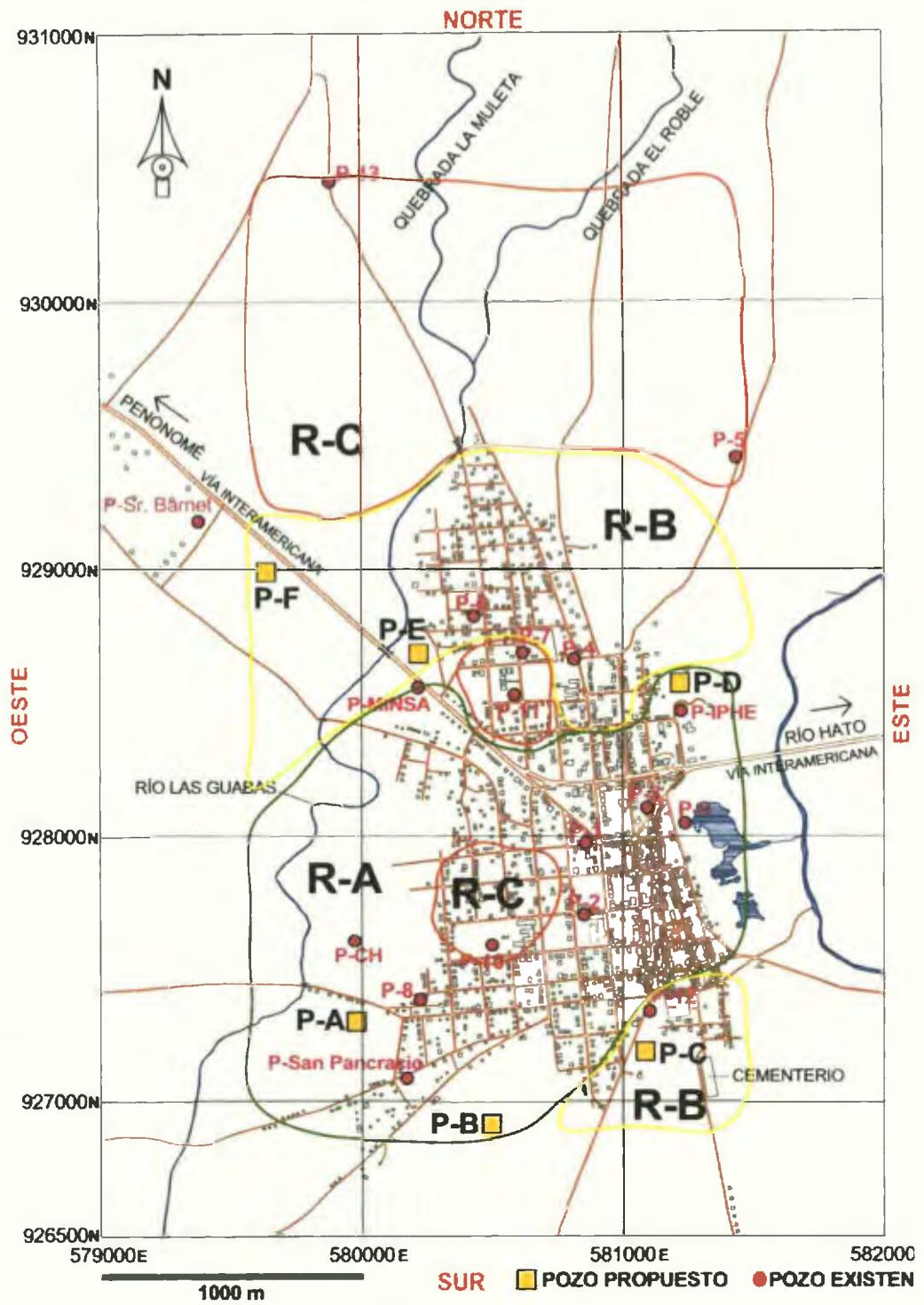


Figura 6.1. Localización sugerida para los nuevos pozos

**Tabla 6 2 Coordenadas UTM de los pozos propuestos**

<b>Pozo</b>	<b>Norte</b>	<b>Este</b>
A	927 250	580 000
B	926 700	580 500
C	927 200	581 100
D	928 600	581 200
E	928 700	580 200
F	929 130	579 500

Según esta propuesta, la distancia mínima entre los pozos es 760 m. Con esta separación se busca evitar las interferencias mutuas. Además, la distancia más corta de los nuevos pozos a los ya existentes es de 105 m, por lo que descartamos interferencias significativas entre los pozos nuevos y los actuales durante la construcción.

Por el momento, descartamos la región norte, debido a que, si bien el espesor del aluvión arenoso es mayor que en otros sectores, los niveles de agua bajan considerablemente y la formación arcillosa-arenosa (de baja conductividad hidráulica), que soporta al aluvión arenoso, no favorecería la recarga de los pozos. Quedará realizar estudios geofísicos e hidrogeológicos en la parte más al norte para obtener más información sobre ella.

## **Capítulo 7. CONCLUSIONES**

El acuífero de Antón es tipo poroso compuesto por dos estratos geológicos bien marcados del cuaternario reciente. La parte superior es un aluvión arenoso libre y la parte inferior es una formación sedimentaria arenosa-arcillosa, donde existen acuíferos porosos de arena semiconfinados por capas de arcilla-arenosa. Además, los valores promedios de conductividad hidráulica y transmisividad dejan ver que las arenas de grano mediano son el constituyente principal del material poroso del acuífero

Las medidas verticales de resistividad eléctrica señalan que la mayoría de los pozos, perforados por el IDAAN, están emplazados entre el acuífero libre de aluvión arenoso y los acuíferos semiconfinados de la formación arenosa-arcillosa inferior. Sin embargo, los pozos 5, 6 y 7, que se quedan sin agua en la época seca, están instalados entre el aluvión arenoso y la formación arcillosa-arenosa (de baja resistividad eléctrica) donde el agua contenida no puede ser cedida

Los niveles de aniones y cationes en las aguas subterráneas de Antón están por debajo de los límites recomendados por la Organización Mundial de Salud, por lo que el agua es apta para el consumo humano. Sin embargo, se observa un incremento en los niveles naturales de estos iones justo debajo de la ciudad de Antón y en el sentido de circulación de las aguas. En este sentido, de los registros de la resistividad eléctrica de la capa orgánica y de la capa de arcilla subyacente, se infiere que posiblemente los altos contenidos de arena en estos estratos estén facilitando la infiltración de las aguas residuales domésticas y de negocios pequeños. Además, los contenidos de cloro y sodio pueden estar

vinculados a la cloración directa de las aguas, en el mismo pozo, con hipoclorito de sodio ( $\text{NaClO}$ )

Si bien no se observa mucha interferencia entre los pozos existentes, hay dos zonas donde existen conos de depresión que afectan a dos (2) y hasta tres (3) pozos (pozos 3, 6 y 7). Por lo tanto, el rendimiento general se puede ver afectado por la creación de nuevos pozos, sin un fundamento geofísico e hidrogeológico.

Una propuesta para resolver la problemática de agua potable en la ciudad de Antón cabecera, proyectada hasta el año 2030, es la construcción de seis (6) nuevos pozos en la zona sur de la ciudad, con un rendimiento aproximado de 150 gal/min. Estos pozos suplirán de agua potable a una central única de purificación, almacenamiento y distribución controlada, a todos los puntos de la ciudad y alrededores con una capacidad de, aproximadamente 400 000 gal.

El emplazamiento de los pozos se hará en puntos donde las características hidrogeológicas (aluvión arenoso y formación arenosa-arcillosa) ofrezcan una buena transmisividad y un espesor saturado aproximado de 45 m. Además, el diseño y construcción debe hacerse siguiendo las especificaciones requeridas. Con esta propuesta, se clausuran los pozos existentes, dejándolos como pozos de observación, para monitorear la calidad de las aguas y establecer una red piezométrica, para estudiar el comportamiento dinámico del acuífero.

## **RECOMENDACIONES**

En este trabajo, el estudio se centró en la ciudad de Antón cabecera. Sin embargo, hay regiones hacia la parte norte y sur (con posibles potenciales de explotación futura) de las cuales se desconoce sus características geofísicas e hidrogeológicas. Por esta razón hacemos las siguientes recomendaciones:

- 1 Realizar medidas de tomografías eléctricas, de perfiles superiores a 500 m en la parte norte de la ciudad de Antón, específicamente, en las zonas de El Roble y El Mirador. En esas áreas se deben hacer perforaciones para conocer la estratigrafía de la región y así calibrar las medidas geofísicas. En las regiones recomendadas para la perforación de los nuevos pozos se deben realizar también tomografías para determinar la profundidad a la cual se deben perforar los mismos.
- 2 Colocar cuatro (4) colectores de agua de lluvia, situados a diferentes alturas, para determinar la zona de recarga. Con esto se busca proteger esta zona de posibles contaminaciones, para que el recurso sea sostenible.
- 3 En las pruebas de bombeo, el tiempo de recuperación debe ser mínimo el diez por ciento (10 %) del tiempo de bombeo. Con esto se tendrá mejor información de los parámetros hidrogeológicos del acuífero y de la relación pozo-acuífero.

## REFERENCIAS

- Ambientum com. (10 de Marzo de 2015) *Consumo de agua per capita Ambientum com*  
Obtenido de Ambientum com  
[http://www.ambientum.com/enciclopedia\\_medioambiental/aguas/el-consumo-de-agua-en-porcentajes.asp](http://www.ambientum.com/enciclopedia_medioambiental/aguas/el-consumo-de-agua-en-porcentajes.asp)
- ANAM (2009) *Informe de Monitoreo de la Calidad del Agua en las Cuencas Hidrográficas de Panamá 2002-2008* Panamá.
- ANAM, A (2010) *Atlas Ambiental de la República de Panamá (primera versión)* Panamá.
- Arias, D , Echeverri, O , & Hoyos, F (2012) Relaciones geoelectricas en la explotación geotécnica. *Ciencias de la tierra*, 39-50
- ATP (2007) *Reporte Plan Maestro de Turismo Sostenible 2007-2020* Barcelona.
- Auge, M (2008) *Métodos geoelectricos para la prospección de agua subterránea* Buenos Aires
- Baroni, L , Cenci, L , Tettamanti, M , & Berati, M (2007). Evaluating the environmental impact of various dietary patterns combined with different food production systems *ejcn*, 279-286
- Contraloría. (2015) *Estimaciones y proyecciones de la población total en la República de Panamá, por provincia y comarca indígena, según sexo y edad Instituto Nacional de estadística* Obtenido de INEC  
<https://www.contraloria.gob.pa/inec/Archivos/P2371Boletin8.pdf>
- Cordobesas, A (10 de Marzo de 2015) *Aguas Cordobesas* Obtenido de El agua y los seres vivos <https://www.aguascordobesas.com.ar/educacion/aula-virtual/el-agua-y-los-seres-vivos/el-agua-y-el-hombre>
- Eisberg, R., & Lerner, L (1986) *Física, Fundamentos y Aplicaciones* México McGraw-Hill
- Espinoza, C (2004) *Hidráulica de aguas subterráneas y su aprovechamiento* Santiago
- ETESA. (1999) *Mapa Hidrogeológico de Panamá* Panamá
- ETESA, E. (1999) *Mapa hidrogeológico de Panamá* Panamá.
- Garzon, L D (1999) *Hidráulica de Pozos* Colombia.
- Gomez-Alday, J , Castaño, S , & Sanz, D (2004) Origen geológico de los contaminantes (sulfatos) presentes en las aguas subterráneas de la Laguna de Pétrola. *Geogaceta*, 167-170
- Graniel, E , Pacheco, A , & Coronado, V (2009) Origen de los sulfatos en el agua subterránea del sur de la sierrita de Ticul, Yucatán. 49-58
- Guaya, P (2013) *Predicción de Caudales Medios Mensuales para Tres Cuencas no Aforadas en Ecuador* Madrid
- Guevara, A (1996) *Análisis de las normas de control de la calidad de las aguas* Lima.
- Herman, R. (2000) An introduction to electrical resistivity in geophysics. *Am J Phys* , 943-952
- Hidrogeocol (2009) *Estudio de prospección hidrogeológico del área de Antón*. Panamá.
- Hutchinson, R. (2012) *Nuevo sistema de acueducto potable para la comunidad de Antón* Panamá

- Jodral, A , Navarro, M., López, H., & MC , L. (2007) Contenido de magnesio y calcio en aguas del área costera Mediterránea del sureste de España y su relación con la actividad industrial *Ars Pharm*, 145-156
- Kalenov, E (1987) *Interpretación de curvas de sondeos eléctricos verticales* España Publicaciones Madrid
- Lorenzo, A (2010) *Programa de Formación iberoamericano en materia de aguas* Obtenido de Geoelectricidad <http://www.pnuma.org/agua-miaac/CODIA%20HIDROGEOLOGIA/MATERIAL%20ADICIONAL/PONENCIAS%20HIDROGEOLOGIA/PONENTES/TEMA%206%20Geofisica/METODOS%20ELECTRICOS.pdf>
- Manzano, M. (2008) *Interpretación de datos físico-químicos de aguas subterráneas* Cartagena
- Manzano, M. (2008) *Interpretación de un ensayo de bombeo en un acuífero cautivo en régimen variable* Cartagena.
- MINSA (2014). *Análisis de Situación de Salud 2014 Región de Salud de Coclé* Panamá.
- ONU, O d. (2005) *El agua fuente de vida 2005-2015 Un Water* Obtenido de Un Water [http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/human\\_right\\_to\\_water.shtml](http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/human_right_to_water.shtml)
- PNUMA (2012) *Informe Aguas Saludables para el desarrollo sostenible, estrategias del PNUMA para el agua dulce (2012-2016)* División de Comunicación e Información Pública del PNUMA
- Rebollo, L (2007) *Propiedades hidráulicas elementales de los medios sólidos Hidrogeología* Obtenido de Hidrogeología [https://portal.uah.es/portal/page/portal/GP\\_EPD/PG-MA-ASIG/PG-ASIG-67044/TAB42351/T2-Propiedades%20hidr%20lulicas%20elementales.pdf](https://portal.uah.es/portal/page/portal/GP_EPD/PG-MA-ASIG/PG-ASIG-67044/TAB42351/T2-Propiedades%20hidr%20lulicas%20elementales.pdf)
- Reckmann, O (2000) *Pozos profundos* Santiago
- República, C G (2010) *Proyecciones de Población* Panamá.
- Rodríguez, S , & Rodríguez, R. (2010) *La Dureza del Agua* Bahía Blanca Argentina.
- Rubio, A (1949) *Notas Sobre Geología de Panamá* Panamá Imprenta Nacional
- S A, H P (2009) *Estudio de prospección hidrogeológica del Area de Antón* Panamá.
- Sánchez, F (2012) Evolución geoquímica de las aguas subterráneas 1-9
- Sánchez, F (2014) *Conceptos fundamentales de hidrogeología* Salamanca (España)
- Sanz, J , Duque, E , & Gómez, E (2010) La resistividad del suelo en función de la frecuencia *Scientia et Technica*, 1-6
- Turismo, I P (2008) *Plan Maestro de Turismo Sostenible de Panamá*. Barcelona EuroPraxisConsultingCorp
- Villanueva, M , & Iglesias, A (1984) *Pozos y acuíferos, técnicas de evaluación mediante ensayos de bombeo* Madrid Talleres Gráficos IBERGESA
- Wikipedia. (2015) *Geología histórica* Obtenido de Wikipedia [http://es.wikipedia.org/wiki/Geolog%C3%ADa\\_hist%C3%B3rica](http://es.wikipedia.org/wiki/Geolog%C3%ADa_hist%C3%B3rica)

## Anexo A.

### A.1. Curvas típicas de los sondeos eléctricos verticales de tres (3) capas.

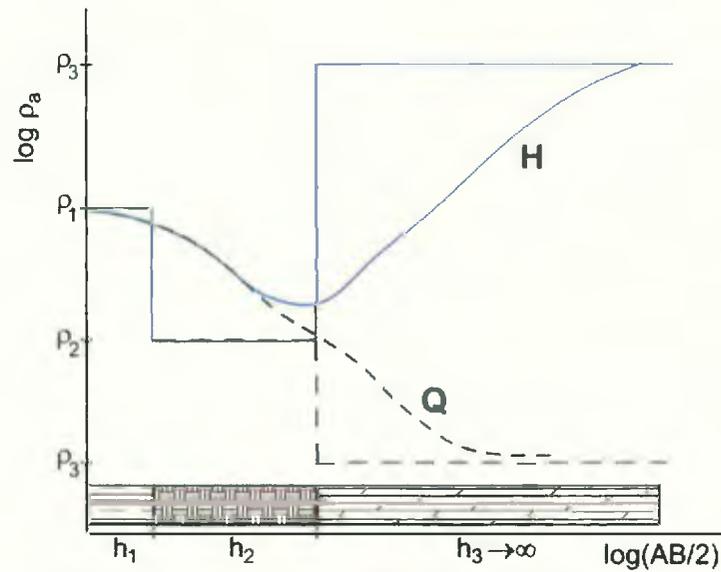


Figura A.1. Curva H, corresponde a una formación con  $\rho_1 > \rho_2$  y  $\rho_2 < \rho_3$ .  
Curva Q, corresponde a una formación con  $\rho_1 > \rho_2 > \rho_3$ .

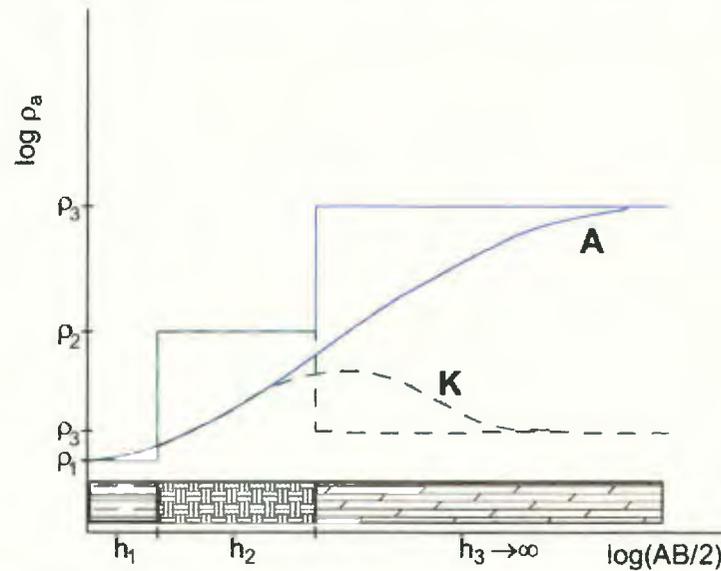


Figura A.2. Curva A, corresponde a una formación con  $\rho_1 < \rho_2 < \rho_3$ .  
Curva K, corresponde a una formación con  $\rho_1 < \rho_2$  y  $\rho_2 > \rho_3$ .

Tomado de (Kalenov, 1987)

**A.2. Curvas típicas de los sondeos eléctricos verticales de cuatro (4) capas.**

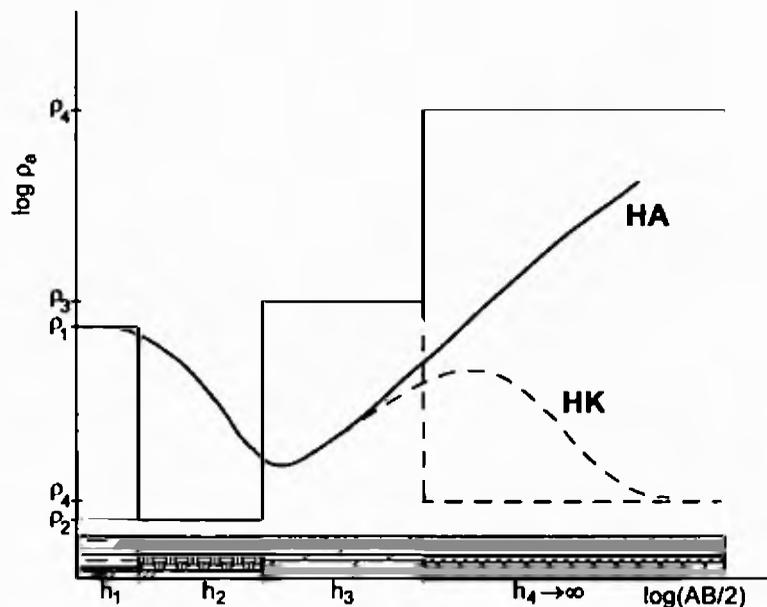


Figura A 3  
 Curva HA, corresponde a una formación con  $\rho_1 > \rho_2, \rho_2 < \rho_3 < \rho_4$   
 Curva HK, corresponde a una formación con  $\rho_1 > \rho_2, \rho_2 < \rho_3, \rho_3 >$

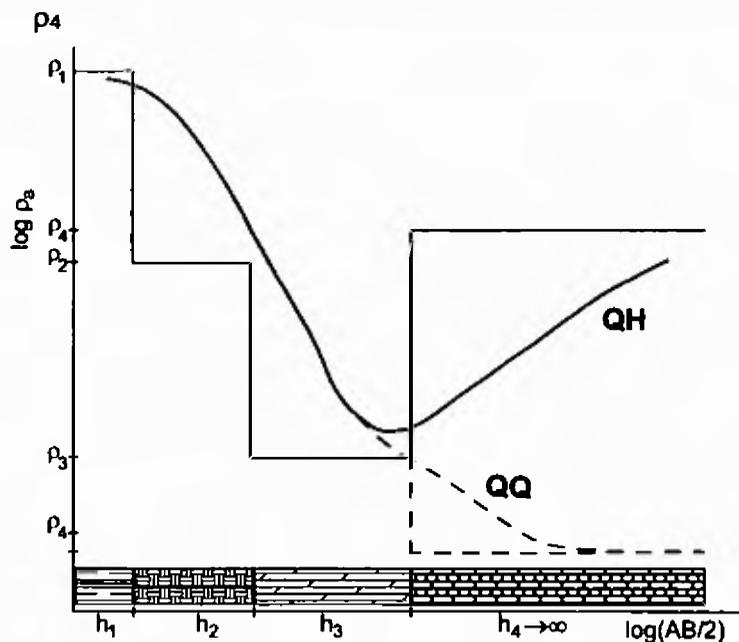


Figura A 4  
 Curva QH, corresponde a una formación con  $\rho_1 > \rho_2 > \rho_3, \rho_3 < \rho_4$   
 Curva QQ, corresponde a una formación con  $\rho_1 > \rho_2 > \rho_3 > \rho_4$

Tomado de (Kalenov, 1987)

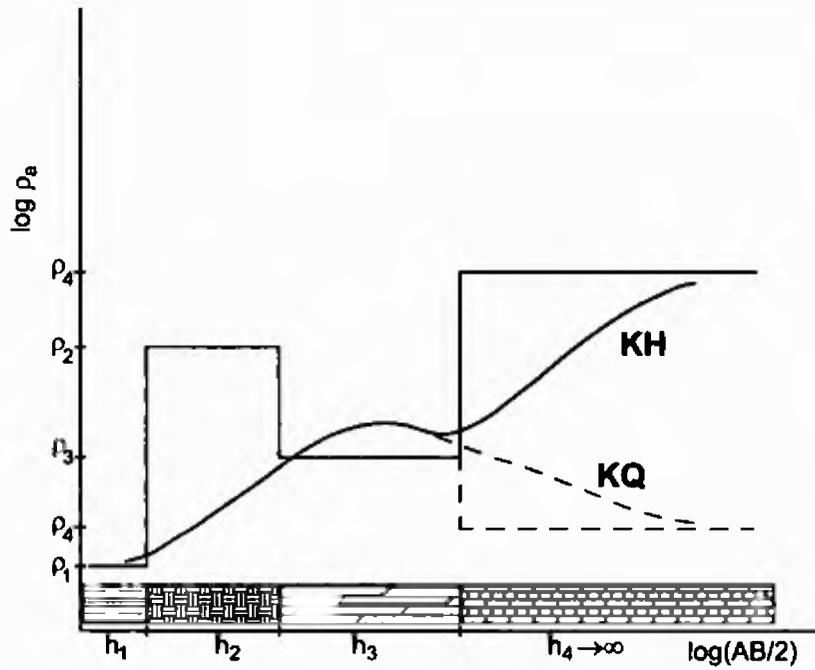


Figura A 5  
 Curva KH, corresponde a una formación con  $\rho_1 < \rho_2, \rho_2 > \rho_3, \rho_3 < \rho_4$   
 Curva KQ, corresponde a una formación con  $\rho_1 < \rho_2, \rho_2 > \rho_3 > \rho_4$

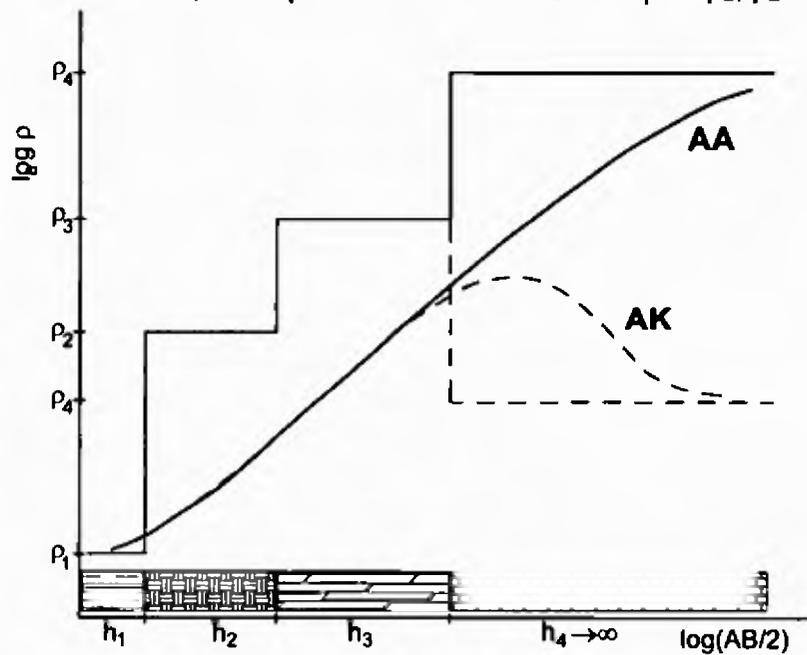


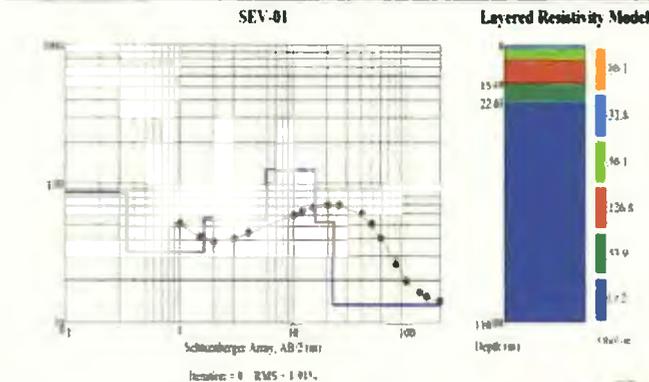
Figura A 6  
 Curva AA, corresponde a una formación con  $\rho_1 < \rho_2 < \rho_3 < \rho_4$   
 Curva AK, corresponde a una formación con  $\rho_1 < \rho_2 < \rho_3, \rho_3 > \rho_4$

Tomado de (Kalenov, 1987)

## Anexo B. Interpretación de los SEV.

### SEV 01

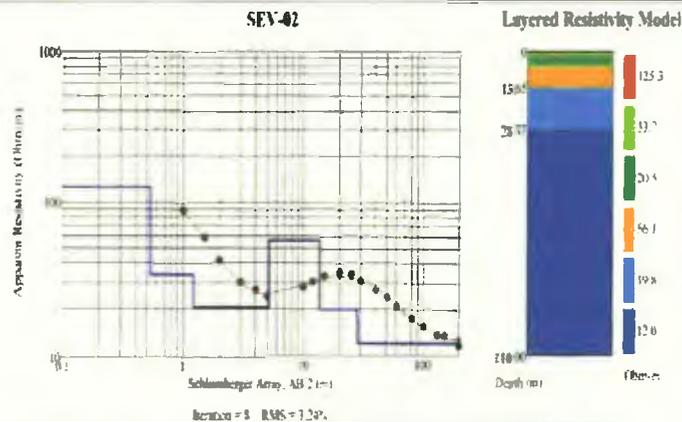
COORDENADAS UTM		COTA (msnm)
580468 NORTE	928609 ESTE	36



INTERPRETACIÓN			
Zona	$\rho$ ( $\Omega \cdot m$ )	Espesor (m)	Material
1	86,15	0 - 0,35	Suelo orgánico - arenoso
2	32,82 - 56,12	0,35 - 5,79	Arcilla-limosa-arenosa
3	126,77- 53,9	5,79 - 22,61	Aluvión arenoso
4	13,19	22,61→	Formación arenosa - arcillosa

### SEV 02

COORDENADAS UTM		COTA (msnm)
580538 NORTE	927700 ESTE	36

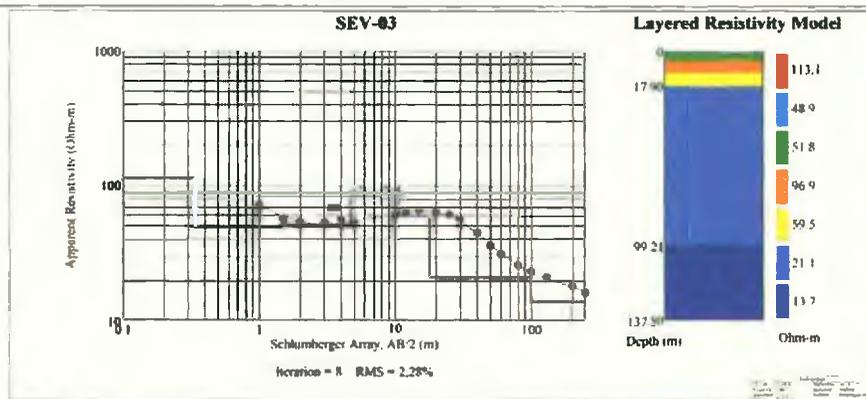


INTERPRETACIÓN			
Zona	$\rho$ ( $\Omega \cdot m$ )	Espesor (m)	Material
1	125.33	0 – 0.53	Suelo orgánico
2	33.67 - 20.48	0.53 – 5.20	Arcilla-limosa-arenosa
3	56.12	5.20 - 13.65	Aluvión arenoso
4	19.78 - 11.98	13.65 →	Formación arenosa- arcillosa

### SEV 03

COORDENADAS UTM  
580204NORTE 926940 ESTE

COTA (msnm)  
31



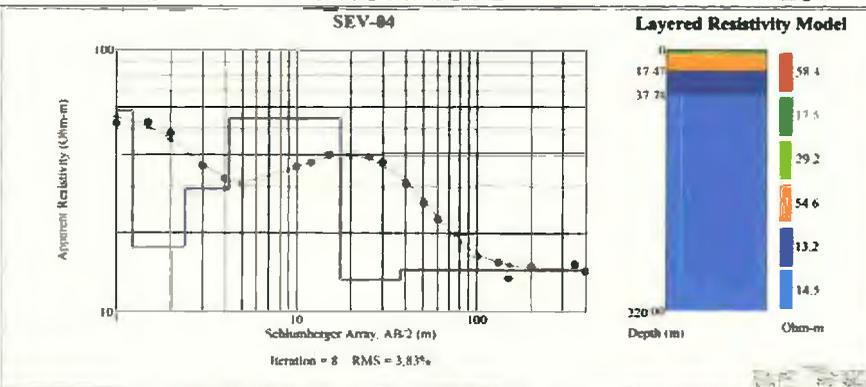
#### INTERPRETACION

Zona	$\rho$ ( $\Omega \cdot m$ )	Espesor (m)	Material
1	113,10	0 – 0,34	Suelo orgánico arenoso
2	48,92 – 51,77	0,34 – 4,71	Arcilla-limosa-arenosa
3	96,92–59,47	4,71 – 17,90	Aluvi3n arenoso
4	21,09 – 13,66	17,90 →	Formaci3n arenosa - arcillosa

### SEV 04

COORDENADAS UTM  
580914 NORTE 926865 ESTE

COTA (msnm)  
28



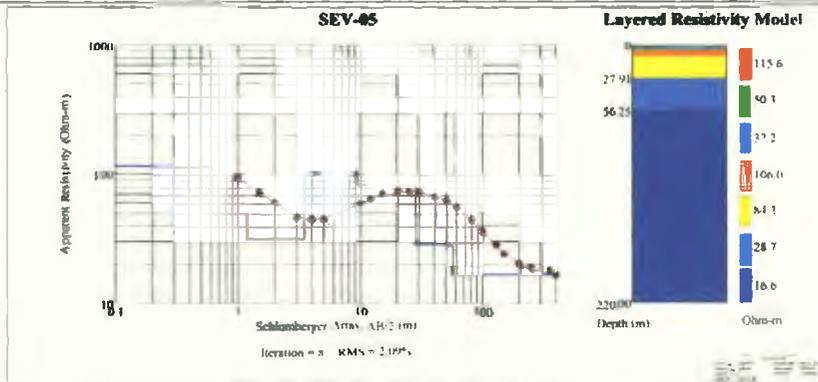
#### INTERPRETACION

Zona	$\rho$ ( $\Omega \cdot m$ )	Espesor (m)	Material
1	58,36	0 – 1,23	Suelo orgánico
2	17,54 – 29,19	1,23 – 4,21	Arcilla-limosa-arenosa
3	54,61	4,21 – 17,47	Aluvi3n arenoso
4	13,24 – 14,49	17,47 →	Formaci3n arenosa - arcillosa

**SEV 05**

COORDENADAS UTM  
580261 NORTE 928519 ESTE

COTA (msnm)  
33

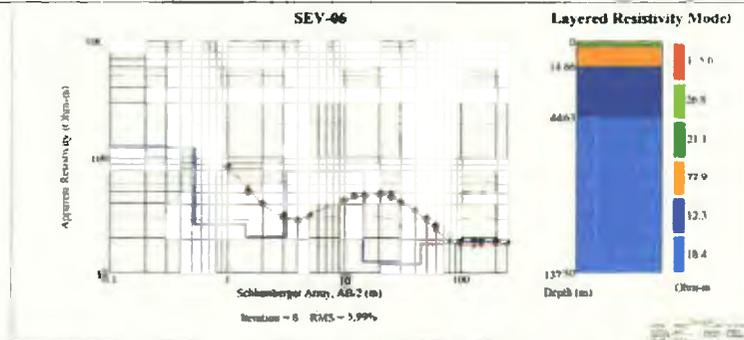
**INTERPRETACION**

Zona	$\rho$ ( $\Omega \cdot m$ )	Espesor (m)	Material
1	115,55	0 - 0,61	Suelo orgánico arenoso
2	50,35 - 32,22	0,61 - 3,46	Arcilla-limosa-arenosa
3	106,05 - 84,31	3,46 - 27,91	Aluvión arenoso
4	28,67 - 16,60	27,91 →	Formación arenosa-arcillosa

**SEV 06**

COORDENADAS UTM  
580504 NORTE 927961 ESTE

COTA (msnm)  
34

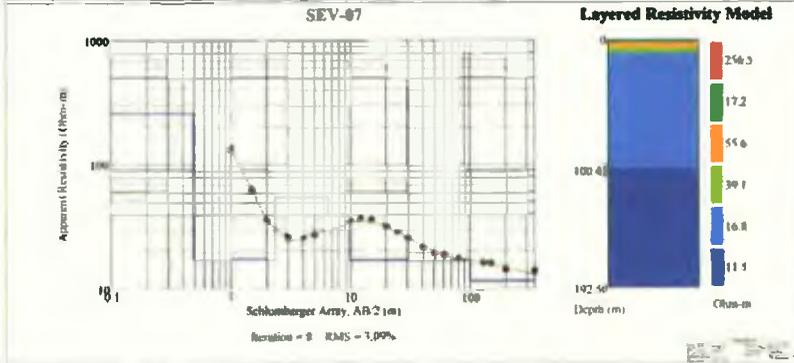
**INTERPRETACION**

Zona	$\rho$ ( $\Omega \cdot m$ )	Espesor (m)	Material
1	125,01	0 - 0,53	Suelo orgánico arenoso
2	26,81-21,09	0,53 - 3,19	Arcilla-limosa-arenosa
3	77,92	3,19 - 14,66	Aluvión arenoso
4	12,32 - 18,37	14,66 →	Formación arenosa-arcillosa

**SEV 07**

COORDENADAS UTM  
580705 NORTE 927631 ESTE

COTA (msnm)  
34

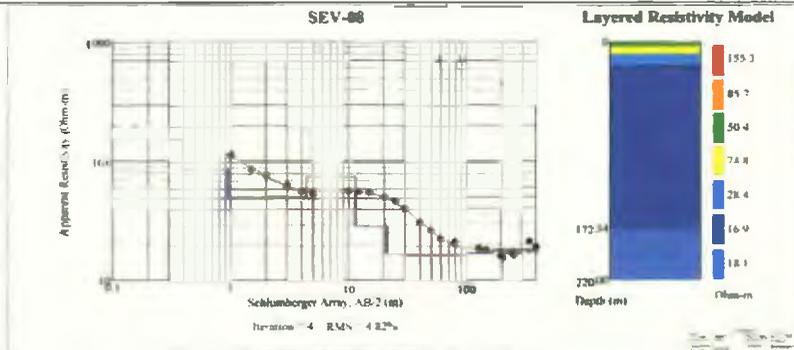
**INTERPRETACIÓN**

Zona	$\rho$ ( $\Omega \cdot m$ )	Espesor (m)	Material
1	256,53	0 – 0,49	Suelo orgánico arenoso
2	17,15	0,49 – 2,36	Arcilla-limosa
3	55,63 – 39,08	2,36 – 9,91	Aluvión arenoso
4	16,80 – 11,49	9,91 →	Formación arenosa-arcillosa

**SEV 08**

COORDENADAS UTM  
580198 NORTE 926945 ESTE

COTA (msnm)  
31

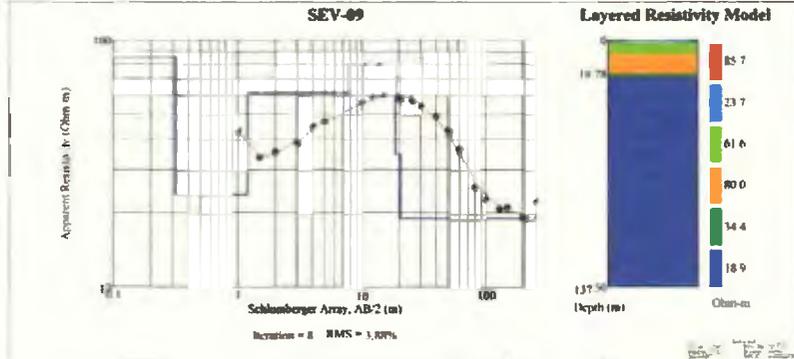
**INTERPRETACIÓN**

Zona	$\rho$ ( $\Omega \cdot m$ )	Espesor (m)	Material
1	155,26	0 – 0,39	Suelo orgánico arenoso
2	85,68–50,36	0,39 – 4,39	Arcilla-limosa-arenosa
3	74,79	4,39 – 11,38	Aluvión arenoso
4	28,39 – 16,88	11,38 →	Formación arenosa-arcillosa

### SEV 09

COORDENADAS UTM  
580203 NORTE 927665 ESTE

COTA (msnm)  
29



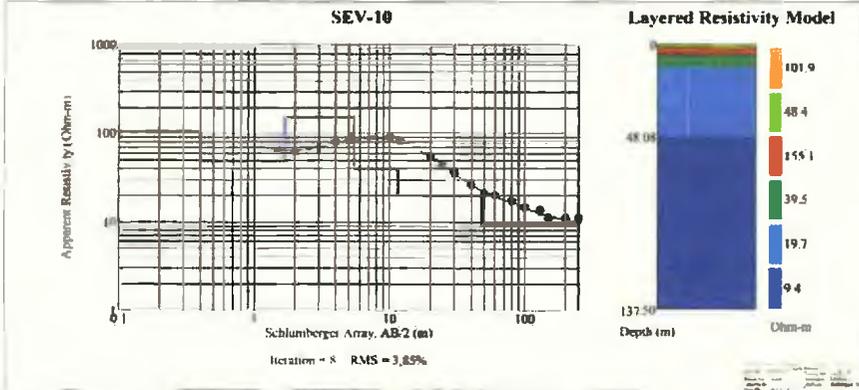
#### INTERPRETACIÓN

Zona	$\rho$ ( $\Omega \cdot m$ )	Espesor (m)	Material
1	85,67	0 – 0,32	Suelo orgánico arenoso
2	23,71	0,32 – 1,20	Arcilla-limosa
3	61,63 – 80,02	1,20 – 18,78	Aluvión arenoso
4	34,44 – 18,94	18,78 →	Formación arenosa-arcillosa

### SEV 10

COORDENADAS UTM  
581265 NORTE 927896 ESTE

COTA (msnm)  
30

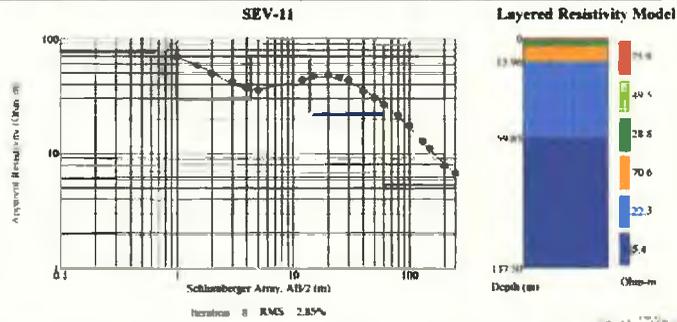


#### INTERPRETACIÓN

Zona	$\rho$ ( $\Omega \cdot m$ )	Espesor (m)	Material
1	101,95	0 – 0,40	Suelo orgánico arenoso
2	48,39	0,40 – 1,68	Arcilla-limosa-arenosa
3	155,14-39,51	1,68 – 5,48	Aluvión arenoso
4	19,7-9,37	5,48 →	Formación arenosa-arcillosa

### SEV 11

<b>COORDENADAS UTM</b>		<b>COTA (msnm)</b>
581357 NORTE	927483 ESTE	32

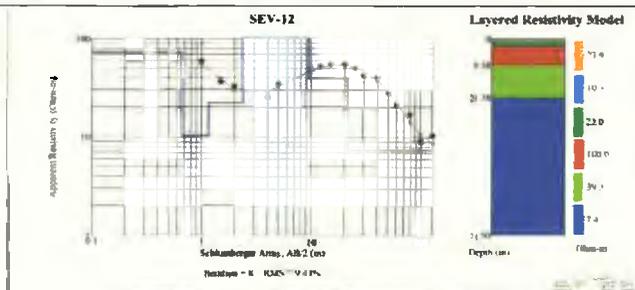


### INTERPRETACIÓN

Zona	$\rho$ ( $\Omega \cdot m$ )	Espesor (m)	Material
1	75,94	0 – 0,74	Suelo orgánico arenoso
2	49,46–28,84	0,74 – 4,32	Arcilla-limosa
3	70,63	4,32 – 13,96	Aluvión arenoso
4	22,33–5,36	13,96→	Formación arenosa-arcillosa

### SEV 12

<b>COORDENADAS UTM</b>		<b>COTA (msnm)</b>
580387 NORTE	928356 ESTE	35



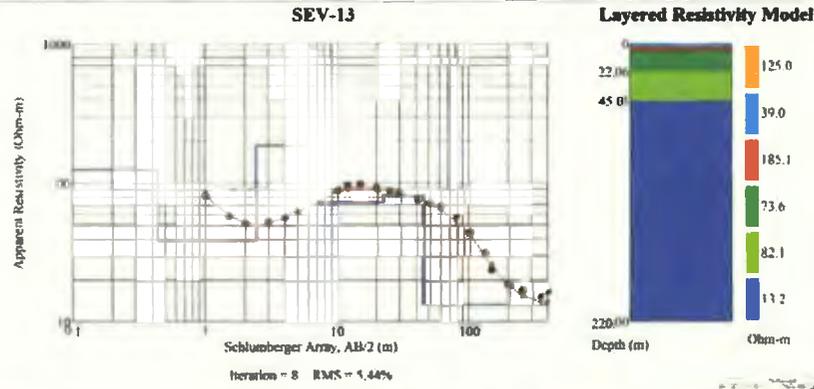
### INTERPRETACIÓN

Zona	$\rho$ ( $\Omega \cdot m$ )	Espesor (m)	Material
1	73,89	0 – 0,65	Suelo orgánico arenoso
2	10,33 – 22,04	0,65 – 2,40	Arcilla-limosa-arenosa
3	99,98 - 39,30	2,40 – 21,38	Aluvión arenoso
4	7,37	21,38→	Formación arcillosa-arenosa

### SEV 13

COORDENADAS UTM  
580026NORTE 930141 ESTE

COTA (msnm)  
40



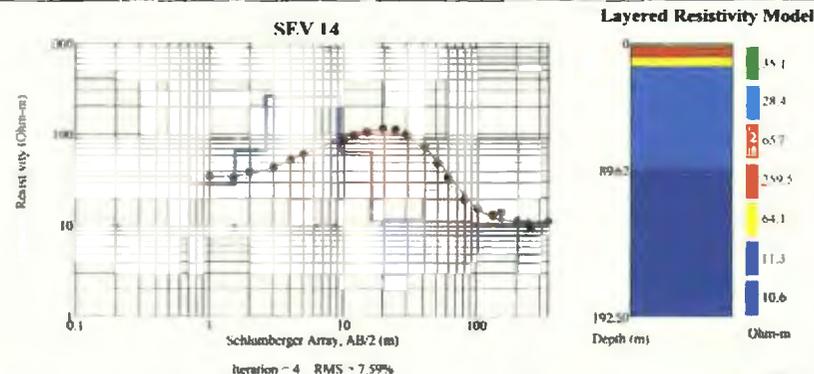
#### INTERPRETACIÓN

Zona	$\rho$ ( $\Omega \cdot m$ )	Espesor (m)	Material
1	125,0	0 – 0,43	Suelo orgánico arenoso
2	39,0	0,43 – 2,4	Arcilla-limosa
3	185,1 – 82,1	2,4 – 45,0	Aluvión arenoso
4	13,16	45,0 →	Formación arenosa-arcillosa

### SEV 14

COORDENADAS UTM  
581426 NORTE 929409 ESTE

COTA (msnm)  
35



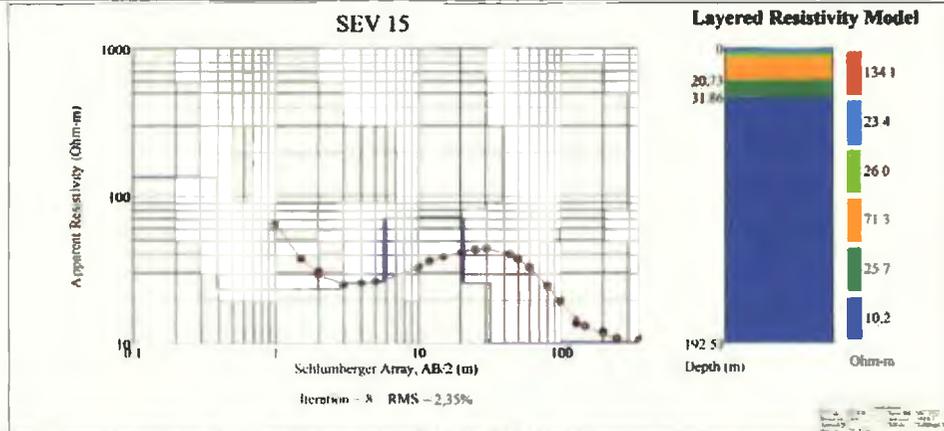
#### INTERPRETACIÓN

Zona	$\rho$ ( $\Omega \cdot m$ )	Espesor (m)	Material
1	35,14	0 – 0,72	Suelo orgánico arenoso
2	28,37 – 65,74	0,72 – 2,62	Arcilla-limosa-arenosa
3	259,50–64,08	2,62 – 16,17	Aluvión arenoso
4	11,26 – 10,61	16,17 →	Formación arcillosa-arenosa

## SEV 15

COORDENADAS UTM  
580839 NORTE 928441 ESTE

COTA (msnm)  
37



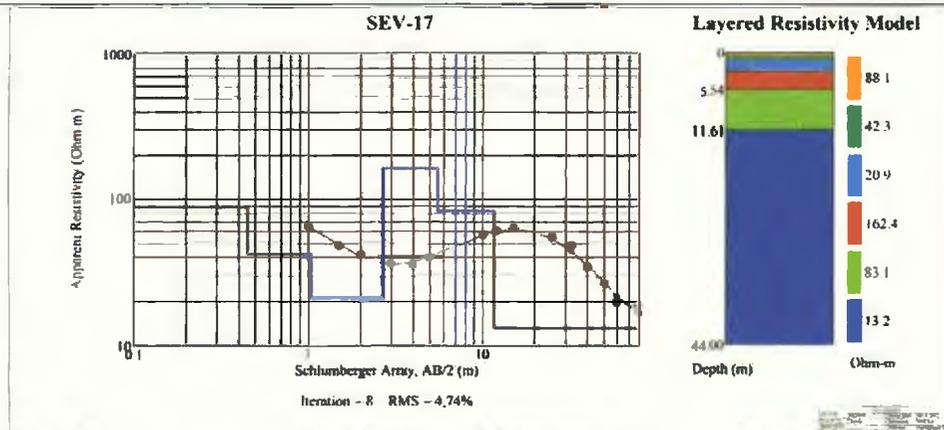
### INTERPRETACIÓN

Zona	$\rho$ ( $\Omega \cdot m$ )	Espesor (m)	Material
1	134,08	0 – 0,40	Suelo orgánico arenoso
2	23,43 – 26,04	0,40 – 5,77	Arcilla-limosa
3	71,31	5,77 – 20,73	Aluvión arenoso
4	25,72 – 10,16	20,73 →	Formación arenosa-arcillosa

## SEV 16

COORDENADAS UTM  
580304 NORTE 928510 ESTE

COTA (msnm)  
35



### INTERPRETACIÓN

Zona	$\rho$ ( $\Omega \cdot m$ )	Espesor (m)	Material
1	88,14	0 – 0,45	Suelo orgánico arenoso
2	42,28 – 20,89	0,45 – 2,69	Arcilla-limosa-arenosa
3	162,36 – 83,07	2,69 – 11,61	Aluvión arenoso
4	13,24	11,61 →	Formación arenosa-arcillosa



**SEV 19**

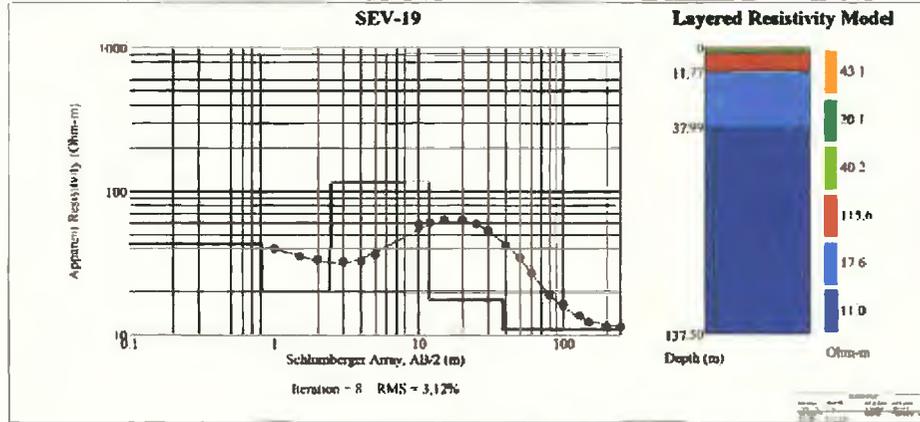
COORDENADAS UTM

COTA (msnm)

850588NORTE

928723 ESTE

35



**INTERPRETACIÓN**

Zona	$\rho$ ( $\Omega \cdot m$ )	Espesor (m)	Material
1	43,12	0 – 0,82	Suelo orgánico arenoso
2	20,08–40,22	0,45 – 2,69	Arcilla-limosa-arenosa
3	115,65	2,69 – 11,61	Aluvión arenoso
4	17,55-10,97	11,61 →	Formación arenosa-arcillosa

## Anexo C. Resultados de las pruebas de bombeo

Tabla C 1 Resultados de la prueba de bombeo en el pozo # 9 (Marzo de 1995)

$t_b$ (min)	$h$ (m)	Abat (m)	Q gal/min	$t_b$ (min)	$h$ (m)	Abat (m)	Q gal/min	$t_b$ (min)	$h$ (m)	Abat (m)	Q gal/min
0	3.75	0	50.08	810	6.93	3.18	50.08	1890	7.43	3.68	50.08
1	4.79	1.04	50.08	840	6.93	3.18	50.08	1920	7.43	3.68	50.08
2	4.85	1.10	50.08	870	6.93	3.18	50.08	1950	7.44	3.69	50.08
3	5.08	1.33	50.08	900	6.93	3.18	50.08	1980	7.44	3.69	50.08
4	5.2	1.45	50.08	930	6.93	3.18	50.08	2010	7.44	3.69	50.08
5	5.43	1.68	50.08	960	6.93	3.18	50.08	2040	7.44	3.69	50.08
10	5.55	1.80	50.08	990	6.93	3.18	50.08	2070	7.44	3.69	50.08
15	5.66	1.91	50.08	1020	6.93	3.18	50.08	2100	7.44	3.69	50.08
20	5.73	1.98	50.08	1050	6.93	3.18	50.08	2130	7.44	3.69	50.08
25	5.83	2.08	50.08	1080	6.93	3.18	50.08	2160	7.44	3.69	50.08
30	6.12	2.37	50.08	1110	6.93	3.18	50.08	2190	7.43	3.68	50.08
60	6.42	2.67	50.08	1140	6.93	3.18	50.08	2220	7.43	3.68	50.08
90	6.55	2.80	50.08	1170	6.93	3.18	50.08	2250	7.43	3.68	50.08
120	6.64	2.89	50.08	1200	6.93	3.18	50.08	2280	7.43	3.68	50.08
150	6.75	3.00	50.08	1230	6.93	3.18	50.08	2310	7.43	3.68	50.08
180	6.80	3.05	50.08	1260	6.93	3.18	50.08	2340	7.43	3.68	50.08
210	6.84	3.09	50.08	1290	6.93	3.18	50.08	2370	7.43	3.68	50.08
240	6.89	3.14	50.08	1320	6.97	3.22	50.08	2400	7.43	3.68	50.08
270	6.93	3.18	50.08	1350	6.97	3.22	50.08	2430	7.43	3.68	50.08
300	6.93	3.18	50.08	1380	6.97	3.22	50.08	2460	7.43	3.68	50.08
330	6.93	3.18	50.08	1410	6.97	3.22	50.08	2490	7.43	3.68	50.08
360	6.93	3.18	50.08	1440	6.97	3.22	50.08	2520	7.44	3.69	50.08
390	6.93	3.18	50.08	1470	6.97	3.22	50.08	2550	7.44	3.69	50.08
420	6.93	3.18	50.08	1500	7.05	3.30	50.08	2580	7.44	3.69	50.08
450	6.93	3.18	50.08	1530	7.05	3.30	50.08	2610	7.44	3.69	50.08
480	6.93	3.18	50.08	1560	7.05	3.30	50.08	2640	7.44	3.69	50.08
510	6.93	3.18	50.08	1590	7.1	3.35	50.08	2670	7.44	3.69	50.08
540	6.93	3.18	50.08	1620	7.4	3.65	50.08	2700	7.44	3.69	50.08
570	6.93	3.18	50.08	1650	7.41	3.68	50.08	2730	7.44	3.69	50.08
600	6.93	3.18	50.08	1680	7.41	3.68	50.08	2760	7.44	3.69	50.08
630	6.93	3.18	50.08	1710	7.42	3.67	50.08	2790	7.44	3.69	50.08
660	6.93	3.18	50.08	1740	7.42	3.67	50.08	2820	7.44	3.69	50.08
690	6.93	3.18	50.08	1770	7.42	3.67	50.08	2850	7.44	3.69	50.08
720	6.93	3.18	50.08	1800	7.43	3.68	50.08	2880	7.44	3.69	50.08
750	6.93	3.18	50.08	1830	7.43	3.68	50.08				
780	6.93	3.18	50.08	1860	7.43	3.68	50.08				

$t_b$  tiempo de bombeo,  $h$  profundidad del nivel dinámico medido desde la superficie del pozo,

Abat abatimiento (descenso en el nivel dinámico respecto al nivel estático) y Q caudal de bombeo

Tabla C 2. Valores de la prueba de recuperación en el pozo # 9 (1995)

$T_r$ (min)	$h_r$ (m)	$(t_r + t_b)/t_r$	$\Delta h_r$ (m)
0	7.44	—	0
1	5.83	2881	2.08
2	5.51	1441	1.76
3	5.10	961	1.35
4	4.95	721	1.20
5	4.84	577	1.09
10	4.76	289	1.01
15	4.73	193	0.98
20	4.70	145	0.95
25	4.69	116.2	0.94
30	4.65	97	0.90

$t_r$  tiempo de recuperación (tiempo transcurrido desde que se suspendió el bombeo),  $h_r$  nivel dinámico de recuperación y  $\Delta h_r$  descenso residual (diferencia entre el nivel estático y el nivel dinámico de recuperación)

**Tabla C 3 Resultados de la prueba de bombeo en el pozo # 10 (Marzo de 1997)**

t <sub>b</sub> (min)	h (m)	Abat (m)	Q gal/min	t <sub>b</sub> (min)	h (m)	Abat (m)	Q gal/min	t <sub>b</sub> (min)	h (m)	Abat (m)	Q gal/min
0	6.34	0	40.48	810	8.44	2.10	40.48	1890	8.44	2.10	40.48
1	6.83	0.49	40.48	840	8.44	2.10	40.48	1920	8.44	2.10	40.48
2	6.98	0.64	40.48	870	8.44	2.10	40.48	1950	8.44	2.10	40.48
3	7.16	0.82	40.48	900	8.44	2.10	40.48	1980	8.44	2.10	40.48
4	7.04	0.7	40.48	930	8.44	2.10	40.48	2010	8.44	2.10	40.48
5	7.44	1.1	40.48	960	8.44	2.10	40.48	2040	8.44	2.10	40.48
10	7.53	1.19	40.48	990	8.44	2.10	40.48	2070	8.44	2.10	40.48
15	7.35	1.01	40.48	1020	8.44	2.10	40.48	2100	8.44	2.10	40.48
20	7.65	1.31	40.48	1050	8.44	2.10	40.48	2130	8.44	2.10	40.48
25	7.71	1.37	40.48	1080	8.44	2.10	40.48	2160	8.44	2.10	40.48
30	7.80	1.48	40.48	1110	8.44	2.10	40.48	2180	8.44	2.10	40.48
60	7.86	1.52	40.48	1140	8.44	2.10	40.48	2220	8.44	2.10	40.48
90	7.65	1.31	40.48	1170	8.44	2.10	40.48	2250	8.44	2.10	40.48
120	7.99	1.65	40.48	1200	8.44	2.10	40.48	2280	8.44	2.10	40.48
150	7.96	1.62	40.48	1230	8.44	2.10	40.48	2310	8.44	2.10	40.48
180	8.23	1.89	40.48	1260	8.44	2.10	40.48	2340	8.44	2.10	40.48
210	8.35	2.01	40.48	1290	8.44	2.10	40.48	2370	8.44	2.10	40.48
240	8.35	2.01	40.48	1320	8.44	2.10	40.48	2400	8.44	2.10	40.48
270	8.35	2.01	40.48	1350	8.44	2.10	40.48	2430	8.44	2.10	40.48
300	8.35	2.01	40.48	1380	8.44	2.10	40.48	2460	8.44	2.10	40.48
330	8.35	2.01	40.48	1410	8.44	2.10	40.48	2480	8.44	2.10	40.48
360	8.38	2.04	40.48	1440	8.44	2.10	40.48	2520	8.44	2.10	40.48
390	8.38	2.04	40.48	1470	8.44	2.10	40.48	2550	8.44	2.10	40.48
420	8.38	2.04	40.48	1500	8.44	2.10	40.48	2580	8.44	2.10	40.48
450	8.38	2.04	40.48	1530	8.44	2.10	40.48	2610	8.44	2.10	40.48
480	8.41	2.07	40.48	1560	8.44	2.10	40.48	2640	8.44	2.10	40.48
510	8.41	2.07	40.48	1590	8.44	2.10	40.48	2670	8.44	2.10	40.48
540	8.41	2.07	40.48	1620	8.44	2.10	40.48	2700	8.44	2.10	40.48
570	8.41	2.07	40.48	1650	8.44	2.10	40.48	2730	8.44	2.10	40.48
600	8.41	2.07	40.48	1680	8.44	2.10	40.48	2760	8.44	2.10	40.48
630	8.41	2.07	40.48	1710	8.44	2.10	40.48	2790	8.44	2.10	40.48
660	8.44	2.10	40.48	1740	8.44	2.10	40.48	2820	8.44	2.10	40.48
690	8.44	2.10	40.48	1770	8.44	2.10	40.48	2850	8.44	2.10	40.48
720	8.44	2.10	40.48	1800	8.44	2.10	40.48	2880	8.44	2.10	40.48
750	8.44	2.10	40.48	1830	8.44	2.10	40.48				
780	8.44	2.10	40.48	1860	8.44	2.10	40.48				

t<sub>b</sub> tiempo de bombeo, h profundidad del nivel dinámico medido desde la superficie del pozo, Abat: abatimiento (descenso en el nivel dinámico respecto al nivel estático) y Q caudal de bombeo

**Tabla C 4 Valores de la prueba de recuperación en el pozo # 10 (1997)**

Tr (min)	h <sub>r</sub> (m)	(t <sub>r</sub> + t <sub>b</sub> )/t <sub>r</sub>	Δh <sub>r</sub> (m)
0	8.44	—	—
1	7.62	2881	1.28
2	7.5	1441	1.18
3	7.35	961	1.01
4	7.31	721	0.87
5	7.28	577	0.94
10	7.18	288	0.82
15	7.01	183	0.87
20	6.74	145	0.40
25	6.87	118.2	0.33
30	6.64	87	0.30

t<sub>r</sub> tiempo de recuperación (tiempo transcurrido desde que se suspendió el bombeo), h<sub>r</sub> nivel dinámico de recuperación y Δh<sub>r</sub> descenso residual (diferencia entre el nivel estático y el nivel dinámico de recuperación)

**Tabla C 5 Resultados de la prueba de bombeo en el pozo # 4 (Junio de 2001)**

$t_b$ (min)	$h$ (m)	Abat (m)	Q gal/min	$t_b$ (min)	$h$ (m)	Abat (m)	Q gal/min	$t_b$ (min)	$h$ (m)	Abat (m)	Q gal/min
0	11 28	0	—	450	11 86	0 58	75	1170	11 62	0 34	75
1	11 43	0 15	75	480	11 86	0 58	75	1200	11 62	0 34	75
2	11 31	0 03	75	510	11 86	0 58	75	1230	11 62	0 34	75
3	11 59	0 31	75	540	11 86	0 58	75	1260	11 62	0 34	75
4	11 71	0 43	75	570	11 86	0 58	75	1290	11 89	0 61	75
5	11 83	0 55	75	600	11 86	0 58	75	1320	11 89	0 61	75
10	11 83	0 55	75	630	11 86	0 58	75	1350	11 89	0 61	75
15	11 83	0 55	75	660	11 86	0 58	75	1380	11 89	0 61	75
20	11 83	0 55	75	690	11 86	0 58	75	1410	11 89	0 61	75
25	11 83	0 55	75	720	11 86	0 58	75	1440	11 89	0 61	75
30	11 83	0 55	75	750	11 86	0 58	75	1470	11 92	0 64	75
60	11 83	0 55	75	780	11 62	0 34	75	1500	11 92	0 64	75
90	11 83	0 55	75	810	11 62	0 34	75	1530	11 92	0 64	75
120	11 83	0 55	75	840	11 62	0 34	75	1560	11 92	0 64	75
150	11 83	0 55	75	870	11 62	0 34	75	1590	11 92	0 64	75
180	11 83	0 55	75	900	11 62	0 34	75	1620	11 92	0 64	75
210	11 83	0 55	75	930	11 62	0 34	75	1650	11 92	0 64	75
240	11 83	0 55	75	960	11 62	0 34	75	1680	11 92	0 64	75
270	11 83	0 55	75	990	11 62	0 34	75	1710	11 92	0 64	75
300	11 83	0 55	75	1020	11 62	0 34	75	1740	11 92	0 64	75
330	11 83	0 55	75	1050	11 62	0 34	75	1770	11 92	0 64	75
360	11 83	0 55	75	1080	11 62	0 34	75	1800	11 92	0 64	75
390	11 83	0 55	75	1110	11 62	0 34	75	1830	11 92	0 64	75
420	11 86	0 58	75	1140	11 62	0 34	75	1860	11 92	0 64	75

$t_b$  tiempo de bombeo,  $h$  profundidad del nivel dinámico medido desde la superficie del pozo, Abat: abatimiento (descenso en el nivel dinámico respecto al nivel estático) y Q caudal de bombeo

**Tabla C 6 Valores de la prueba de recuperación en el pozo # 4 (2001)**

$T_r$ (min)	$h_r$ (m)	$(t_r + t_b)/t_r$	$\Delta h_r$ (m)
0	11 92	—	0
1	11 59	1861	0 31
2	11 55	931	0 27
3	11 52	621	0 24
4	11 49	466	0 21
5	11 49	373	0 21
10	11 46	187	0 18
15	11 43	125	0 15
20	11 4	94	0 12
25	11 37	75 4	0 09
30	11 34	63	0 08

$t_r$  tiempo de recuperación (tiempo transcurrido desde que se suspendió el bombeo),  $h_r$  nivel dinámico de recuperación y  $\Delta h_r$  descenso residual (diferencia entre el nivel estático y el nivel dinámico de recuperación)

**Tabla C 7 Resultados de la prueba de bombeo en el pozo # 12 (Marzo de 2004)**

$t_b$ (min)	$h$ (m)	Abat (m)	Q gal/min	$t_b$ (min)	$h$ (m)	Abat (m)	Q gal/min	$t_b$ (min)	$h$ (m)	Abat (m)	Q gal/min
0	7.05	0	66	720	8.27	1.22	66	1710	8.27	1.22	66
1	7.73	0.68	66	750	8.27	1.22	66	1740	8.27	1.22	66
2	7.8	0.75	66	780	8.27	1.22	66	1770	8.27	1.22	66
3	7.84	0.79	66	810	8.27	1.22	66	1800	8.27	1.22	66
4	7.88	0.83	66	840	8.27	1.22	66	1830	8.27	1.22	66
5	7.91	0.86	66	870	8.27	1.22	66	1860	8.27	1.22	66
10	8	0.95	66	900	8.27	1.22	66	1890	8.27	1.22	66
15	8.03	0.98	66	930	8.27	1.22	66	1920	8.27	1.22	66
20	8.07	1.02	66	960	8.27	1.22	66	1950	8.27	1.22	66
25	8.1	1.05	66	990	8.27	1.22	66	1980	8.27	1.22	66
30	8.12	1.07	66	1020	8.27	1.22	66	2010	8.27	1.22	66
60	8.14	1.09	66	1050	8.27	1.22	66	2040	8.27	1.22	66
90	8.16	1.11	66	1080	8.27	1.22	66	2070	8.27	1.22	66
120	8.17	1.12	66	1110	8.27	1.22	66	2100	8.27	1.22	66
150	8.18	1.13	66	1140	8.27	1.22	66	2130	8.27	1.22	66
180	8.19	1.14	66	1170	8.27	1.22	66	2160	8.27	1.22	66
210	8.2	1.15	66	1200	8.27	1.22	66	2190	8.27	1.22	66
240	8.21	1.16	66	1230	8.27	1.22	66	2220	8.27	1.22	66
270	8.22	1.17	66	1260	8.27	1.22	66	2250	8.27	1.22	66
300	8.23	1.18	66	1290	8.27	1.22	66	2280	8.27	1.22	66
330	8.24	1.19	66	1320	8.27	1.22	66	2310	8.27	1.22	66
360	8.25	1.2	66	1350	8.27	1.22	66	2340	8.27	1.22	66
390	8.25	1.2	66	1380	8.27	1.22	66	2370	8.27	1.22	66
420	8.25	1.2	66	1410	8.27	1.22	66	2400	8.27	1.22	66
450	8.25	1.2	66	1440	8.27	1.22	66	2430	8.27	1.22	66
480	8.26	1.21	66	1470	8.27	1.22	66	2460	8.27	1.22	66
510	8.26	1.21	66	1500	8.27	1.22	66	2490	8.27	1.22	66
540	8.26	1.21	66	1530	8.27	1.22	66	2520	8.27	1.22	66
570	8.26	1.21	66	1560	8.27	1.22	66	2550	8.27	1.22	66
600	8.26	1.21	66	1590	8.27	1.22	66	2580	8.27	1.22	66
630	8.26	1.21	66	1620	8.27	1.22	66	2610	8.27	1.22	66
660	8.27	1.22	66	1650	8.27	1.22	66				
690	8.27	1.22	66	1680	8.27	1.22	66				

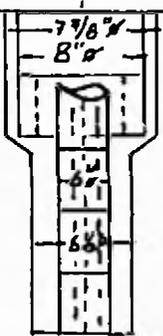
$t_b$  tiempo de bombeo,  $h$  profundidad del nivel dinámico medido desde la superficie del pozo, Abat. abatimiento (descenso en el nivel dinámico respecto al nivel estático) y Q caudal de bombeo

**Tabla C 8 Valores de la prueba de recuperación en el pozo # 12 (2004)**

$t_r$ (min)	$h_r$ (m)	$(t_r + t_b)/t_r$	$\Delta h_r$ (m)
0	8.27	—	0
1	7.86	2611	0.81
2	7.79	1306	0.74
3	7.75	871	0.70
4	7.7	653.5	0.65
5	7.68	523	0.63
10	7.58	262	0.53
15	7.52	175	0.47
25	7.47	105.4	0.42
30	7.42	88	0.37

$t_r$  tiempo de recuperación (tiempo transcurrido desde que se suspendió el bombeo),  $h_r$  nivel dinámico de recuperación y  $\Delta h_r$  descenso residual (diferencia entre el nivel estático y el nivel dinámico de recuperación)

## Anexo D . Columna estratigráfica de algunos pozos

INSTITUTO DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS NACIONALES SUBDIRECCION DE SERVICIOS DE INGENIERIA DEPARTAMENTO DE FUENTES SUBTERRANEAS			
REGISTRO DE POZOS			
Provincia <u>Coclé</u>		Hoja Nº <u>4141 I</u>	
Distrito <u>Antón</u>		Coordenadas N <u>952750</u> E <u>594750</u>	
Localidad <u>El Valle - Las Mozas</u>		Cota del Suelo <u>700 m</u>	
Propietario <u>Comité Salud MINSA</u>		Cuenca Hidrográfica <u>Río Antón</u>	
Profundidad (m)	Litología Descripción	DISE (m)	Diseño Técnico del Pozo
20 40 60 80 105	Arcilla roja  Tepas y substrato suras de grano fino  Tobsus  Ductos	20 23 29 40 70 100	
ESC 1/8 = 5			Plano de Localización Hoja Topográfica _____ Escala <u>EP</u> <u>Valle</u> As 345° NW del 20m Parada de buses Mirador Cerro La Cruz Miasno La Goterita
Datos del Pozo			
Pozo Nº <u>P A 1-2000</u>			
Objeto del Pozo <u>Abastecimiento de comunidad</u>			
Perforadora Nº <u>RO-300 no 8</u>			
Método de Perforación <u>Rotativo con-aire</u>			
Profundidad <u>105 pies</u>			
Diámetros <u>40' 7-7/8" Ø, 65' 6-1/2" Ø</u>			
Entubamiento <u>20' PVC8" Ø, 20' PVC8" Ø</u>			
Enrejado <u>80' PVC8" Ø</u>			
Fecha de Construcción <u>21 al 23/11/2000</u>			
Observaciones <u>Q est. = 70 GPM</u>			
Calidad de Agua			
Color _____		Ca _____ SO <sub>4</sub> _____	
Olor _____		Mg _____ HCO <sub>3</sub> _____	
Turbiedad _____		Na _____ NO <sub>3</sub> _____	
pH _____		K _____ NO <sub>2</sub> _____	
Total de Sólidos _____		Cl _____	
Dureza (CaCO <sub>3</sub> ) _____		Otros Análisis: _____	
Prueba de Bombeo			
Fecha _____		Total Horas _____	
Caudal de Equilibrio (Qeq) _____			
Nivel Estático (NE) _____			

**INSTITUTO DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS NACIONALES**  
**SUBDIRECCION DE SERVICIOS DE INGENIERIA**  
**DEPARTAMENTO DE FUENTES SUBTERRANAS**

**REGISTRO DE POZOS**

Provincia COCHLE Hoja Nº 4141 II  
 Distrito ANTON Coordenadas N 927559 E 588755  
 Localidad PALO VERDE Cota del Suelo 30 m  
 Propietario COMITE DE AGUA Cuenca Hidrográfica Río Antón

Profundidad en pies desde el Cimentero	Litología Descripción	PTE	Diseño Técnico del Pozo	Plano de Localización																			
				Hoja Topográfica	Escala.																		
30	Arilla	27			<p align="center">Dato del Pozo</p> <p>Pozo Nº <u>PA 1-2001</u></p> <p>Objeto del Pozo <u>Abastecimiento a la comunidad</u></p> <p>Perforadora Nº <u>2</u></p> <p>Método de Perforación <u>Percusión por cable</u></p> <p>Profundidad <u>150'</u>, quedando en <u>115</u> pies</p> <p>Dímetros <u>60'-10"-90'-8"</u></p> <p>Entubamiento <u>100' PVC 86"Ø-50' PVC 66"Ø</u></p> <p>Enrejado _____</p> <p>Fecha de Construcción <u>02-05-01-23-05-01</u></p> <p>Observaciones <u>Este pozo en su desarrollo (limpieza), se colapsó la tubería en el fondo, se le colocó un tapón de 2' de largo y una capa de grava, quedando su profundidad a 115 pies</u></p>																		
35	Arena gruesa con 10% de cuarzo	29																					
30	Apelmado to báico	27																					
18	Arena m.	20																					
20	Arena fina	20																					
20	Arilla arenosa	20																					
30	Arilla plástica roja	150	<p align="center">esc 1/8 = 5</p>																				
<p align="center"><b>Calidad de Agua</b></p> <table border="0"> <tr> <td>Color _____</td> <td>Ca _____</td> <td>SO<sub>4</sub> _____</td> </tr> <tr> <td>Olor _____</td> <td>Mg _____</td> <td>HCO<sub>3</sub> _____</td> </tr> <tr> <td>Turbiedad _____</td> <td>Na _____</td> <td>NO<sub>3</sub> _____</td> </tr> <tr> <td>pH _____</td> <td>K _____</td> <td>NO<sub>2</sub> _____</td> </tr> <tr> <td>Total de Sólidos _____</td> <td>Cl _____</td> <td>_____</td> </tr> <tr> <td>Dureza (CaCo<sub>3</sub>) _____</td> <td>Otros Análisis _____</td> <td>_____</td> </tr> </table>				Color _____	Ca _____	SO <sub>4</sub> _____	Olor _____	Mg _____	HCO <sub>3</sub> _____	Turbiedad _____	Na _____	NO <sub>3</sub> _____	pH _____	K _____	NO <sub>2</sub> _____	Total de Sólidos _____	Cl _____	_____	Dureza (CaCo <sub>3</sub> ) _____	Otros Análisis _____	_____	<p align="center"><b>Prueba de Bombas</b></p> <p>Fecha <u>28-05-01-29-05-01</u> Horas <u>24</u></p> <p>Caudal de Equilibrio (Qeq) <u>42 GPM</u></p> <p>Nivel Estático (NE) <u>32</u> pies</p> <p>Nivel Dinámico (ND) <u>37</u> pies</p>	
Color _____	Ca _____	SO <sub>4</sub> _____																					
Olor _____	Mg _____	HCO <sub>3</sub> _____																					
Turbiedad _____	Na _____	NO <sub>3</sub> _____																					
pH _____	K _____	NO <sub>2</sub> _____																					
Total de Sólidos _____	Cl _____	_____																					
Dureza (CaCo <sub>3</sub> ) _____	Otros Análisis _____	_____																					

**INSTITUTO DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS NACIONALES**  
**SUBDIRECCION DE SERVICIOS DE INGENIERIA**  
**DEPARTAMENTO DE FUENTES SUBTERRANEAS**

**REGISTRO DE POZOS**

Provincia COCLE Hoja N° 414 III  
 Distrito Antón Coordenadas N° 927470 E 581150  
 Localidad ANTÓN Cota del Suelo 30 M  
 Propietario IDAAN Cuenca Hidrográfica RIO ANTON

Profundidad (pies)	Litología Descripción	PIE	Diseño Técnico del Pozo	Plano de Localización	
				Hoja Topográfica	Escala
20	Aruslla plástica amarilla	20		C Panamericana No 172.56 P. 1-2009 dist. 15m Cooperativa Pasca Antón R.L. Los Pantanos Duzgual	Residencial Brusas Ba Panama
10	P. Porosa	30			
20	Arena media	50			
30	Aruslla gris	70			
60	Arena gruesa	130			
10	Aruslla oscura	150			
170		170			
200		200			
225		225			
250		250			
ESC 1/8 = 5				Datos del Pozo Pozo N° <u>1-2004</u> Objeto del Pozo <u>Abastecimiento a la Comunidad</u> Perforadora N° <u>2</u> Método de Perforación <u>Percusión con Cab</u> Profundidad <u>150 pies</u> Diámetro <u>54"-12"Ø, 961-10"Ø</u> Entubamiento <u>35' pvc 6"Ø, 125' pvc 6"</u> Enrejado _____ Fecha de Construcción <u>08-01-04 al 23-01</u> Observaciones _____	
<b>Calidad de Agua</b>					
Color _____	Ca _____	SO <sub>4</sub> _____	Prueba de Bombeo Fecha <u>29 al 31/03/04</u> Horas <u>43:30</u> Caudal de Equilibrio (Qeq) <u>66 gpm</u> Nivel Estático (NE) <u>23.12'</u> Nivel Dinámico (ND) <u>27.13'</u>		
Olor _____	Mg _____	HCO _____			
Turbiedad _____	Na _____	NO <sub>3</sub> _____			
pH _____	K _____	NO <sub>2</sub> _____			
Total de Sólidos _____	Cl _____	_____			
Dureza (CaCo <sub>3</sub> ) _____	Otros Análisis: _____	_____			
Conductividad _____	_____	_____			
Emulsión _____	_____	_____			
_____	_____	_____			
_____	_____	_____			

**INSTITUTO DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS NACIONALES**  
**SUBDIRECCION DE SERVICIOS DE INGENIERIA**  
**DEPARTAMENTO DE FUENTES SUBTERRANEAS**

**REGISTRO DE POZOS**

Provincia OCLE Huja Nº 4141 III  
 Distrito ANTON Coordenadas N 928556 E 589558  
 Localidad ANTON Cota del Suelo 30 m  
 Propietario I.D.A.A.N. Cuenca Hidrográfica Río Antón

Profundidad	Perforación	Geología	Litología	PIE	Diseño Técnico del Pozo	Plano de Localización
Escalera		Descripción				
			Arcilla roja	20		<p>Hoja Topográfica _____</p> <p>Escala <u>Az 1:45 SE</u> <u>dist 15m</u></p> <p><u>Estadio INDE</u></p> <p><u>Lancha de fútbol</u></p> <p><u>Lancha de basket ball</u></p> <p><u>Parque El Caruelito</u></p> <p><u>Salvada Antón</u></p> <p><u>Finca Wamé</u></p> <p><u>La Hato</u></p>
			Arenas gruesas	25		
			Arenas gruesas	30		
			Arenas gruesas	35		
			Arenas gruesas	40		
			Arenas gruesas	45		
			Arenas gruesas	50		
			Arenas calizas	55		
			Arcilla negra-vellosa	60		
				65		
				70		
				75		
				80		
				85		
				90		
				95		
				100		
				105		
				110		
				115		
				120		
				125		
				130		
				135		
				140		
				145		
				150		
				155		
				160		
				165		
				170		
				175		
				180		
				185		
				190		
				195		
				200		
				205		
				210		
				215		
				220		
				225		
				230		
				235		
				240		
				245		
				250		
				255		
				260		
				265		
				270		
				275		
				280		
				285		
				290		
				295		
				300		

ESC 1/8 = 5'

Calidad de Agua	
Color _____	Co _____ SO <sub>4</sub> _____
Olor _____	Mg _____ HCO <sub>3</sub> _____
Turbiedad _____	Na _____ NO <sub>3</sub> _____
pH _____	K _____ NO <sub>2</sub> _____
Total de Sólidos _____	Cl _____
Dureza (CaCo <sub>3</sub> ) _____	Otros Análisis _____

Prueba de Bombeo	
Fecha _____	Total Horas _____
Caudal de Equilibrio (Qeq) _____	
Nivel Estático (NE) _____	
Nivel Dinámico (ND) _____	

**INSTITUTO DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS NACIONALES**  
**SUBDIRECCION DE SERVICIOS DE INGENIERIA**  
**DEPARTAMENTO DE PUENTES SUBTERRANEAS**

**REGISTROS DE POZOS**

Provincia Coelá			Hoja No 4141 III			
Distrito Antón			Coordenadas en UTM			
Localidad Antón			Latitud Norte: 930650			
Propietario IDAAN			Longitud Este: 579702			
Cuenca Hidrográfica Rio Grande			Cota del Suelo 45 m			
Profundidad	Formación Geológica	Espesor	Litología Descripción	Pie	Diseño Técnico del Pozo	Plano de Localización
160 PIES	RIO HATO (ORABA)	10'		25	 H.P. N.D.	Hoja Topográfica: Escala:  BARRANCA MIRADOR
		12'		37		
		10'		47		
		15'		62		
		18'		80		
		22'		102		
		10'		112		
		17'		129		
		30'		159		
			200	ARCILLA ARENOSA		
			225	ARENA ARENOSA		
			250	ARENA DE GRANO MED		
			275	ARENA DE GRANO MED		
			300	GRAVA Y ARENAS GRANES		
			325	GRAVA		
			350	AGLUTINADO TOBACCO		
			375			
			400			
<b>CALIDAD DEL AGUA</b>						
COLOR:		Ca:	SO <sub>4</sub>			
OLOR:		Mg:	HCO <sub>3</sub>			
TURBIEDAD:		Na:	NO <sub>3</sub>	<b>PRUEBA DE BOMBEO</b>		
p.H.		K:	NO <sub>2</sub>	FECHA:	09-Dic	
Total de Sólidos:		Cr:		Mostr:	48	
Dureza (CaCO <sub>3</sub> ):		Otros Análisis:		Caudal de Equilibrio (Qeq):	120 GPM	
Conductividad Especifica (µm/cm):				Nivel Estático (NE):	51.20'	
Alcalinidad Total:				Nivel Dinámico (ND):	45.20'	
<b>CARACTERÍSTICA HIDRÁULICAS DEL POZO</b>						
Nota: Todos los resultados se expresan en Mg/l. siempre que se especifica lo contrario.		T:	(m/30seg/metro)	K:	(m/día)	
		Q esp:			(m <sup>3</sup> /día)	

**INSTITUTO DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS NACIONALES**  
**SUBDIRECCION DE SERVICIOS DE INGENIERIA**  
**DEPARTAMENTO DE FUENTES SUBTERRANEAS**

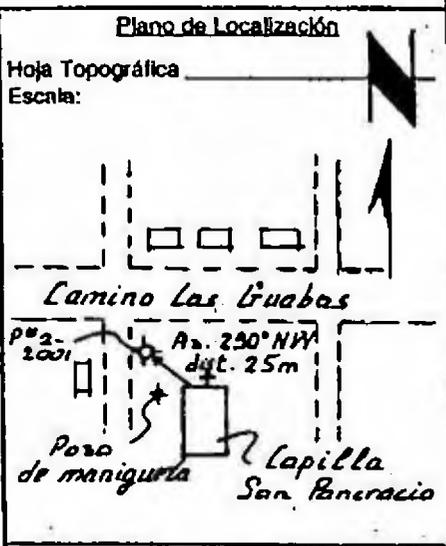
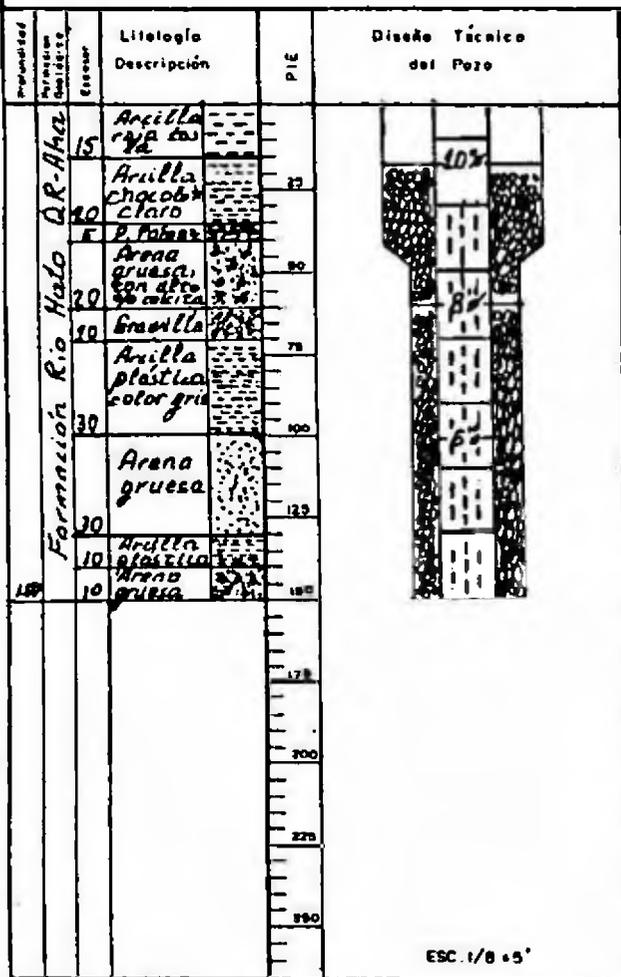
**REGISTROS DE POZOS**

Provincia. Coclé			Hoja No 4141 III				
Distrito Antón			Coordenadas en UTM				
Localidad Antón			Latitud Norte: 929229				
Proprietario IDAAN			Longitud Este 579647				
Cuenca Hidrográfica. Río Grande			Cota del Suelo 54 m				
Profundidad	Formación Geológica	Espesor	Litología Descripción	Pie	Diseño Técnico del Pozo	Plano de Localización	
150 PIES	RÍO HATO (OR-Año)	10'		25		Hoja Topográfica: Escala: 	
		10'		30			
		45'		75			
		45'		100			
		30'		125			
				150			
				173			
				200			ARCILLA ROJA
				225			ARENA ARCILLOSA
				250			ARENA DE G. MEDIO
				275			ARENA DE G. BAJA
				300			ARCILLA GASA
				325			ARCILLA TRAZADO
				350			
				375			
		400	ESCALA: 2cm = 1'				
<b>DATOS DEL POZO</b>							
Pozo No: 2-09							
Objeto del Pozo: Incremento de producción.							
Perforadora No. 11							
Método de Perforación: Robo-perforación.							
Profundidad: 160'							
Diámetros: 75' en 12 1/2" y 75' en 9 7/8"							
Entubamiento: 63' pipe y 87' pipe 1 1/2"							
Enejiado:							
Fecha de Construcción: 23-12-09 a 31-12-09							
Observación:							
<b>CALIDAD DEL AGUA</b>							
COLOR:		Cat:	SO <sub>4</sub>				
OLOR:		Mg:	HCO <sub>3</sub>				
TURBEDAD:		Nº:	NO <sub>3</sub>	<b>PRUEBA DE BOMBEO</b>			
pH:		K:	NO <sub>2</sub>	FECHA:	10-Ene	Horas: 50	
Total de Sólidos:		Cl:		Caudal de Equilibrio (Qeq.): 60 gpm			
Dureza (CaCO <sub>3</sub> ):		Otros Análisis:		Nivel Estático (NE): 21.71			
Conductividad Específica (µS/cm):				Nivel Dinámico (ND): 29.05			
Alcalinidad Total:				<b>CARACTERÍSTICA HIDRÁULICAS DEL POZO</b>			
Nota: Todos los resultados se expresan en Mg/L, excepto los de amoníaco lo cual es en mg/L.				T (m <sup>3</sup> /horómetro)	K (m <sup>3</sup> /s)		
				Q esp.		(m <sup>3</sup> /día)	

**INSTITUTO DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS NACIONALES**  
**SUBDIRECCION DE SERVICIOS DE INGENIERIA**  
**DEPARTAMENTO DE FUENTES SUBTERRANEAS**

**REGISTRO DE POZOS**

Provincia COCLE Hoja Nº 4141 III  
 Distrito ANTON Coordenadas N 926759 E 580148  
 Localidad ANTON Cota del Suelo 20  
 Propietario I.D.A.A.W. Cuenca Hidrográfica Río Anton



**Datos del Pozo**

Pozo Nº 2-2001  
 Objeto del Pozo Apoyo al Sistema  
 Perforadora Nº 2  
 Método de Perforación Percusión por cable  
 Profundidad 150 pies  
 Diámetros 43"-10"Ø; 107"-8"Ø  
 Entubamiento 50" PVC 20 2"  
 Enrejado \_\_\_\_\_  
 Fecha de Construcción 07-03-01-27-03-01  
 Observaciones \_\_\_\_\_  
Prueba de cuchara Q est. 45 GPM  
NE-20' ND-25'

**Calidad de Agua**

Color _____	Ca _____	SO <sub>4</sub> _____
Olor _____	Mg _____	HCO _____
Turbiedad _____	Na _____	NO <sub>2</sub> _____
p.H _____	K _____	NO <sub>3</sub> _____
Total de Sólidos _____	Cl _____	
Pureza (CaCO <sub>3</sub> ) _____	Otros Análisis:	
Conductividad _____		

**Prueba de Bombeo**

Fecha \_\_\_\_\_ Total Horas \_\_\_\_\_  
 Caudal de Equilibrio (Qeq) \_\_\_\_\_  
 Nivel Estático (NE) \_\_\_\_\_  
 Nivel Dinámico (ND) \_\_\_\_\_

**INSTITUTO DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS NACIONALES**  
**DIRECCION DE INGENIERIA**  
**Departamento de Fuentes Subterráneas**

**POZOS DE AGUAS - DATOS DE CONSTRUCCION**

