

**Caracterización Hidrogeológica e
Investigación del Recurso Hídrico
para el Abastecimiento de Aguas a
Familias Campesinas en Extrema
Pobreza del Valle de “Guaymas” ,
El Progreso. Honduras.**



Financiación Gobierno del Principau d'Asturies. Conseyería de Xusticia,
Segurida Pública y Relaciones Esteriores



Soporte de la "Asociación de Investigación para el Desarrollo Ecológico y Socioeconómico" (ASIDE).



GEOLOGOS DEL MUNDO

Coordinación de Proyecto: Luis Manuel Rodriguez, Juan Luis García Acedo y Pilar Montero
Gullón

Jefe de Proyecto: Juan Francisco García Ruiz

Geólogo Voluntario: Mauro García-Oliva Gonzalez



El Progreso, febrero de 2005

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar queremos agradecer a la Consejería de Xusticia, Segurida Pública y Relaciones Exteriores del Gobiernu del Principau d'Asturies la confianza depositada en nuestra organización y contraparte, de manera que se entienda la importancia que supone a los beneficiarios directos e indirectos este primer esfuerzo realizado en el año 2004, esperando que esta se vea reforzada en futuros proyectos.

Resaltar el apoyo de nuestra contraparte en el proyecto, ASIDE, por la logística facilitada para el desarrollo del mismo y constante colaboración en el desarrollo del proyecto, así como por su ayuda en la integración a la vida hondureña de los técnicos de Geólogos del Mundo.

A los técnicos y directivos de la Región Sanitaria, por su colaboración, especialmente a los responsables de la zona de Guaymitas.

A la Comisión Ejecutiva del Valle de Sula, por su cesión de cartografía digital que ha facilitado la realización del presente proyecto.

Al SANAA, por facilitar análisis químicos realizados en la zona.

Por ultimo queremos también agradecer la amabilidad de los propietarios de los pozos inventariados y aforados, así como a los habitantes de comunidades visitadas, sin la colaboración de los cuales no hubiese sido posible la realización de este trabajo.

RESUMEN

La aldea de Guaymitas se encuentra ubicada en el municipio de El Progreso, en Honduras, se sitúa sobre un acuífero aluvial, cercano a la cordillera del Mico Quemado. Las poblaciones más cercanas a la cordillera se abastecen de agua superficial procedente de la misma. En verano se produce un estiaje de las aguas superficiales que provoca dificultades en el suministro a dichas poblaciones, por lo que se ha valorado la utilización de aguas subterráneas para paliar esta deficiencia. Se ha realizado un estudio del acuífero infrayacente a dichas comunidades, para ello se presenta una piezometría aproximada y una caracterización geoquímica de la zona, realizada principalmente con datos recopilados en el presente trabajo. Así mismo se han establecido parámetros hidrogeológicos para diferentes zonas del acuífero, y se ha realizado una campaña de prospección geoelectrica con el fin de conocer la geometría del acuífero. Finalmente se han seleccionado dos zonas como optimas para la realización de sondeos de cara al abastecimiento de aguas a las comunidades de los alrededores, y se hacen algunas recomendaciones para la construcción de las nuevas captaciones.

INDICE

1. INTRODUCCIÓN	7
1.1 Antecedentes.	7
1.2 Geografía.	7
1.2.1 <i>Situación geográfica</i>	7
1.2.2 <i>Fisiografía.</i>	10
1.2.3 <i>Clima.</i>	11
1.2.4 <i>Hidrología.</i>	12
1.2.5. <i>División Político-Administrativa.</i>	12
1.3 Situación Socio-Económica.	13
1.3.1 <i>Población.</i>	13
1.3.2 <i>Economía y comercio.</i>	13
1.3.3 <i>Educación</i>	14
1.3.4 <i>Salud.</i>	14
1.3.5 <i>Vivienda.</i>	14
1.3.6 <i>Servicios Públicos.</i>	14
1.4. Recursos Hídricos.	15
1.5 Objetivos.	15
2. GEOLOGÍA	17
2.1 Marco Geológico Regional	17
2.1.1 <i>Tectónica Regional</i>	18
2.1.2 <i>Estratigrafía Regional</i>	19
2.1.3 <i>Tectónica Local</i>	21
2.1.4 <i>Estratigrafía Local</i>	23
3. INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA	25
4. PIEZOMETRÍA	29
5 HIDROQUÍMICA	31
5.1 Toma de muestras y datos	31
5.2 Características fisico-químicas de las aguas analizadas	33
5.3 Análisis de la temperatura	39
5.4 Análisis de microelementos. Arsénico y Cadmio.	39
5.5 Análisis de Relaciones iónicas.	41
5.6 Síntesis hidrogeoquímica.	42
5.7 Análisis químicos de control	42
5.8 Potabilidad del agua	43

6. PARAMETROS HIDRAULICOS	47
6.1 Aforos a caudal constante	47
6.1.1 Aforo en aldea La 39 (P6)	48
6.1.2 Aforo en la Hacienda San Rafael (Guaymitas) (P25)	52
6.1.3 Aforo en el vivero (Guaymitas) (P23)	54
6.1.4 Aforo en la Hacienda Marlon (Guaymitas) (P13)	56
6.1.5 Aforo en aldea La 29 (P10)	58
6.1.6 Aforo en Planta de procesado de Hondupalma (sector Battán)(P24)	59
6.3 Datos de caudal específico.	60
6.4 Síntesis de resultados.	61
7. CAMPAÑA DE INVESTIGACIÓN GEOFÍSICA	62
7.1 Introducción	62
7.2 Realización de la campaña.	62
7.3 Interpretación.	64
8. CONCLUSIONES	69
9. RECOMENDACIONES	72
10. BIBLIOGRAFÍA.	73

ANEJOS

ANEJO 1

TABLA DE PUNTOS DE AGUA INVENTARIADOS

ANEJO 2

ANÁLISIS QUIMICOS

ANEJO 3

DATOS DE LOS ENSAYOS DE BOMBEO

ANEJO 4

CAMPAÑA DE PROSPECCIÓN GEOFÍSICA

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes.

La propuesta para la realización de este proyecto parte de la población, así como de los servicios sanitarios de la zona, a través de la Región Sanitaria, alarmados todos por la deficiente calidad del agua. La petición de un proyecto que resolviera sus necesidades se presento en primer lugar a una entidad local, la “Asociación de Investigación para el Desarrollo Ecológico y Socioeconómico” (ASIDE). A partir de este momento se ponen en contacto con Geólogos del Mundo para tratar de establecer una colaboración, que finalmente se ha producido. Para la definición del Proyecto, los técnicos de Geólogos del Mundo se desplazaron a la zona afectada, que aun sufre las secuelas del Mitch. Fueron acompañados por personal de la ONG local ASIDE, con amplia trayectoria en el país.

Una vez en la zona, la principal información de partida comprendía datos de dos pozos existentes. Uno el de la Aldea la 29 y, otro, el perforado para la compañía Hondupalma, en una de sus plantas de suministro. Además, a través del SANAA tuvimos acceso a datos de análisis previos del agua de la zona.

Por otro lado la Comisión Ejecutiva del Valle de Sula suministro abundante cartografía digital para la realización del presente proyecto.

El proyecto está financiado por El Gobiernu del Principau d’Asturies, a través de la Consejería de Xusticia, Seguridad Pública y Relaciones Exteriores.

Antes de la llegada del Mitch se había desarrollado un proyecto denominado PROPAR. Se llevo a cabo a través de la Cooperación Suiza al Desarrollo (COSUDE) y el Ministerio de Salud Publica (MSP).

1.2 Geografía.

1.2.1 Situación geográfica

La zona de estudio se localiza al norte del municipio de El Progreso, en el departamento de Yoro, en la zona Noroeste de Honduras (figura 1).

La República de Honduras, se sitúa en Centroamérica y desde el punto de vista geográfico, es parte central del istmo de América Central, que se extiende desde el istmo de Tehuantepec, en México, hasta el río Atrato de la república de Panamá. En función de coordenadas geográficas se localiza entre:

- Latitud Norte: 12° 58´ (tomando como extremo la desembocadura del río Negro, en el Golfo de Fonseca) y 16° 2´ (tomando como extremo Punta Castilla)
- Longitud Occidental: 83° 10´ (extremo oriental de Gracias a Dios) y 89° 92´ (Cerro Montecristo)

El país cuenta con una parte continental y otra Insular. En esta última, su parte más septentrional alcanza los 18° 56´ de latitud norte, y los 78° de longitud oeste.

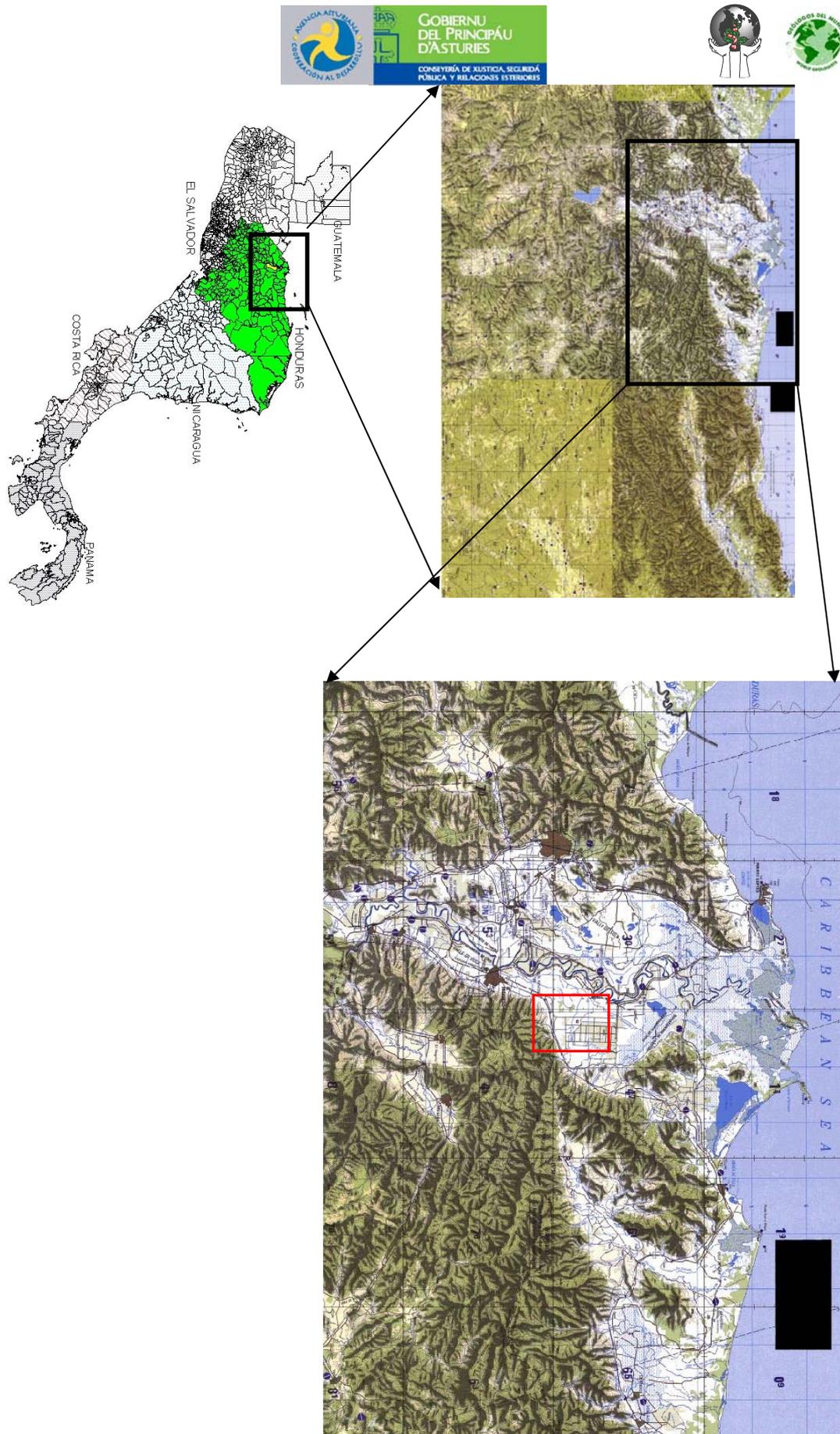


Figura 1. Localización de la zona de estudio, en rojo, respecto al Valle de Sula, al norte de Honduras (modificado de la cartografía cedida por Comisión Ejecutiva Valle de Sula).

Estos datos sitúan el territorio entre el Ecuador y el Trópico de Cáncer, es decir la zona intertropical o tórrida.

Sus límites físicos son los que siguen:

Al norte limita con el mar de Las Antillas; al sur con el Golfo de Fonseca (Océano Pacífico) y El Salvador, al este con la República de Nicaragua y el mar Caribe (Océano Atlántico), y al oeste con las repúblicas de Guatemala y El Salvador.

El área de Honduras es de 112.492 Km² y su capital Tegucigalpa. La anchura máxima del país es de 360 Km. y su longitud máxima de 676 Km.

La zona de estudio se centra en la aldea de Guaymitas y las comunidades cercanas, todas ellas situadas en lo que se denomina el área de Guaymas, ya que Guaymas es el centro poblado mas importante de la zona. Dentro del Área de Guaymas, las aldeas donde se ha llevado a cabo nuestra labor, han sido las siguientes: La 29, La 39, La Mealer, La Eben Ezer, Santa Inés, La 40, El Castaño, Guaymitas Pueblo. En cuanto a los límites del estudio, están situados entre los 416000 y los 426000, de longitud Oeste, y entre los 1706000 y 1722000, de latitud Norte. El área aproximada es de 160 Km². Sin embargo, el trabajo se centra, fundamentalmente, en la parte aluvial, acotada, en nuestro caso, entre los 416000 y los 426000 de longitud Oeste; y entre los 1713000 y los 1722000 de latitud Norte, es decir, en un área de 90 Km².

1.2.2 Fisiografía.

La República de Honduras es una región muy montañosa, con elevaciones de más de mil metros, y en algunos puntos más de dos mil (figura 2). Desde el punto de vista fisiográfico, el país se puede dividir en varias regiones.

- Una región oeste que combina valles alargados en dirección norte sur, de fondo plano y límites abruptos, con altas elevaciones y fuertes pendientes.
- Una región montañosa central.
- Una región al este con montañas fuertemente disectadas y valles rectilíneos, y las zonas planas cercanas tanto al océano Atlántico como al Pacífico.

El Valle de Sula es el situado más al norte dentro de la región oeste (figura 2), y como se ha comentado, forma un valle de fondo plano, que corresponde a la parte distal de las cuencas de los ríos Chamelecón y Ulúa. Los límites del valle están formados por cordilleras con elevaciones del orden de 500 a 1000 metros, y pendientes muy abruptas, lo que da una transición muy brusca del valle, una llanura, con las cordilleras. El límite este lo conforma la Sierra del Mico Quemado, al pie de la cual se sitúa la zona de Guaymas objeto del presente trabajo. Remarcar que el interés principal se centra en la zona plana, correspondiente a la llanura aluvial.



Figura 2a. Mapa de altitudes de Honduras. En el recuadro la situación del Valle de Sula.

Figura 2b. Mapa fisiográfico de Honduras.

1.2.3 Clima.

Lo primero que cabe destacar es que, en Honduras, no se dan las características típicas de las 4 estaciones del año, presentes en las latitudes medias. Debido a su localización geográfica, matizada en el apartado anterior, se presentan tan sólo 2 estaciones: La seca y la lluviosa.

Debe reseñarse que la existencia de factores geofísicos, modifican los vientos alisios que atraviesan el istmo centroamericano. De ello resultan cambios sustanciales del clima tropical lluvioso, del área del Litoral Atlántico de Honduras. Esto es lo que hace que localmente se produzcan variaciones, dando como resultado la diferenciación de 11 sub-climas dentro del País.

El Progreso, ubicado en la región de Yoro, se incluye en la denominada Zona Norte. A ella pertenecen también el Valle de Sula, Morazán y Olanchito.

Aquí el clima sería del tipo Sabana Tropical. En ella son propias las dos estaciones a las que hacíamos referencia. La temporada lluviosa comienza en Mayo y termina entre Noviembre y Diciembre.

Las precipitaciones Anuales promedio son de 1.128mm. Siendo el número de días de lluvia de 150. Septiembre presenta el promedio máximo con 176mm.

La temporada seca es de Enero a Abril. Los meses más secos suelen ser Marzo y Abril, con un promedio de 25mm.

La Tª media anual es de 26.2°C, con máximas promedio de 30.0°C y mínimas de 21.9°C. La humedad promedio se sitúa en un 75%.

Es importante destacar que, debido a la posición geográfica que ocupan los países de América Central, estos se ven expuestos frecuentemente a fenómenos naturales climatológicos de carácter destructivo (tormentas, huracanes). Tienen su origen en la zona atlántica, asociados a sistemas de bajas presiones del área de dominio de la zona de convergencia de los vientos alisios.

1.2.4 Hidrología.

En el área de Guaymitas el agua superficial llega desde varios puntos diferentes. Por un lado, encontramos aportes desde la cordillera del Mico Quemado. En este caso, el agua llega desde la cordillera de forma directa, a través de abundantes torrentes (“quebradas”), que drenan la vertiente norte de la cordillera, algunas de las cuales continúan por el aluvial. De manera intermitente, desembocan al aluvial algunos pequeños ríos, con un recorrido mayor a través de la cordillera, y que van a parar al río Ulúa, que es el río principal que forma el eje del Valle de Sula, al que aquí encontramos ya en su zona distal, con abundantes y amplios meandros. Algunos de los pequeños ríos son el Guaymas y el Guaymitas, que es el que se sitúa en la zona estudiada.

Cabe destacar que la circulación del agua tiene cierto control estructural ya que, muchas de las quebradas, se sitúan sobre fallas que atraviesan la cordillera y pueden llegar a afectar la zona del valle.

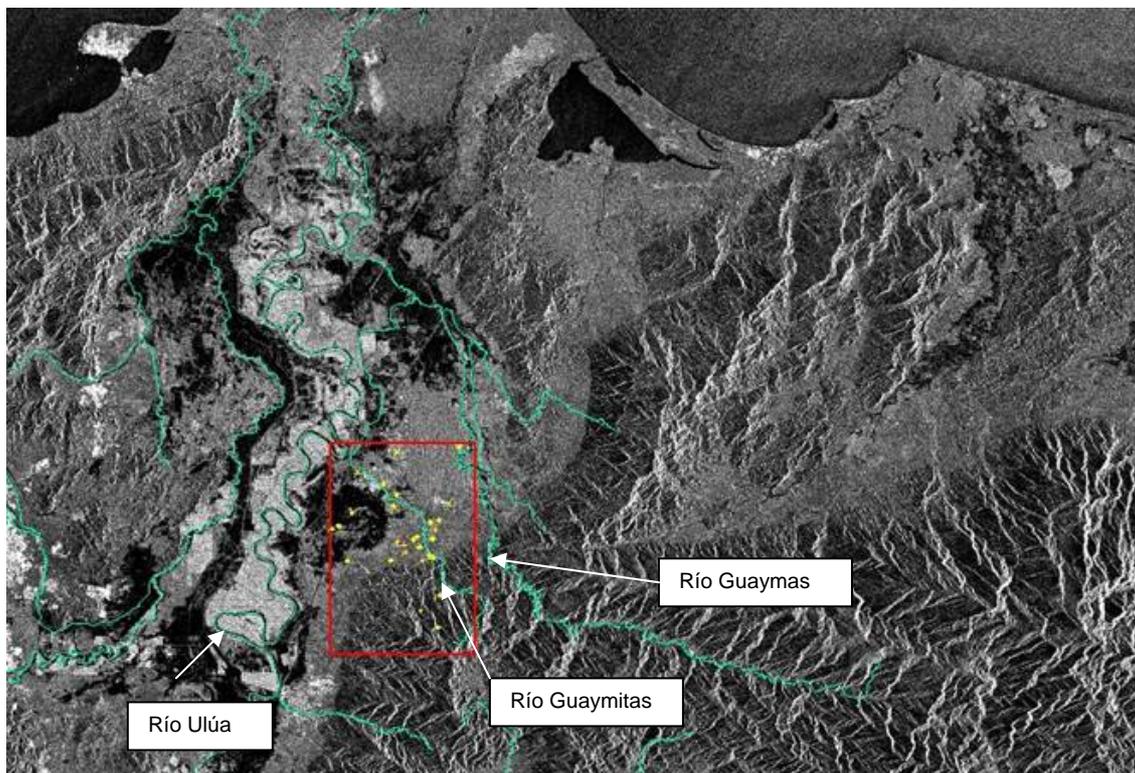


Figura 3. Principales cursos de agua superficial en el Valle de Sula. El área de estudio es la zona enmarcada. Los puntos amarillos representan los puntos de agua inventariados en el presente trabajo (ver apartado 3) (modificado de cartografía digital cedida por la Comisión Ejecutiva del Valle de Sula –CEVS-).

1.2.5. División Político-Administrativa.

El país se divide políticamente en 18 departamentos: Atlántida, Colón, Comayagua, Copán, Cortés, Choluteca, El Paraíso, Francisco Morazán, Gracias a Dios, Intibucá, Islas de la Bahía, La Paz, Lempira, Ocotepeque, Olancho, Santa Bárbara, Valle y Yoro.

El total de Municipios es de 298, con 3740 aldeas y 19937 caseríos.

El órgano responsable de la gestión de cada municipio, es la Municipalidad. La gestión del agua corre a cargo de un organismo gubernamental, pero no dependiente de la Municipalidad, que es el SANAA.

En las aldeas, que es el marco principal en el que se ha desarrollado este trabajo, el órgano de gobierno es el Patronato Municipal, quien gestiona todo lo referente a las aguas a través de de la Junta de Aguas local.

El área de salud es administrada por la Región Sanitaria, de la que dependen los municipios, que pueden no pertenecer al mismo departamento.

1.3 Situación Socio-Económica.

Este apartado trata de proporcionar una mayor comprensión de la problemática social existente en el desarrollo local, que puede resumirse en los siguientes factores:

1.3.1 Población.

La población de El Progreso, según el censo de 2001, es de 157000 habitantes. La densidad de población en las áreas rurales se estima en 4728 habitantes/Km², que se distribuye a lo largo de las líneas de comunicación, tanto principales como secundarias. En la zona de Guaymas se estima una población de 28708 habitantes.



Fotografías 1 y 2. Población de la zona de Guaymas.

1.3.2 Economía y comercio.

El empleo y subempleo gira mayormente entorno al trabajo asalariado, siendo escaso por cuenta propia. La pequeña empresa esta expresada en su estado más primario. Los centros principales de fuente de trabajo son un 50% la agroindustria, representada por la compañía transnacional "Tela Rail Road Company", que se dedica fundamentalmente a la explotación del Banano y La Palma; y la fabrica de aceites y manteca "Clavel" (de propiedad asociativa campesina). Un 35% de la ocupación es absorbida por la Industria maquiladora, instalada en la periferia del casco urbano. Otro 10% viaja diariamente a la ciudad de El Progreso donde se subemplea en diferentes centros comerciales. El 5% restante se encuentra inmigrado en Estados Unidos de América. En este punto cabe señalar que la llegada de remesas desde este

país es la primera fuente de ingresos en la nación Hondureña. La ventaja que posee el municipio es su proximidad y localización estratégica regional, respecto de los principales centros de desarrollo, tanto industrial (cerca de San Pedro Sula-Dpto. de Cortes) y turístico (La Ceiba y Copan), como al corredor aéreo, marítimo y terrestre comercial (Carretera Panamericana, Puerto Cortes, Puerto Castilla etc). Esto atenúa localmente, de forma muy parcial, la pobreza. La edad laboral promedio es de 35 años.

1.3.3 Educación

El sector de Guaymas posee un 62% de alfabetización, cuenta con 15 centros educativos (3 de educación secundaria y 12 de primaria). Además existen algunos programas de alfabetización de adultos, educación a distancia y dos universidades en el municipio. Otro tipo de recursos educativos, no formales, son los dirigidos al área vocacional y algunos programas de ONG'S orientados a la asistencia técnica y la capacitación técnica. Las materias de actuación en este sentido son diversas, Género, desarrollo local, prevención VIH-SIDA, seguridad alimentaria etc.

1.3.4 Salud.

El manejo inadecuado de los canales de regadío de los cultivos permanentes de la caña, palma aceitera y banano, son la principal fuente de proliferación de mosquitos, vectores positivos de Malaria y Dengues. La esperanza de vida promedio se estima en 65 años para hombres y 70 para mujeres. Las enfermedades más frecuentes son las respiratorias. Las enfermedades parasitarias e intestinales suman un 80% de incidencia, causada por el consumo de aguas contaminadas, principalmente en el sector Guaymas, donde el nivel freático es alto y la ausencia de letrinas, basureros y distribución correcta de aguas residuales no existe. Los pocos centros asistenciales siguen siendo una necesidad imperativa a pesar del apoyo internacional y gubernamental.

1.3.5 Vivienda.

Sigue teniendo una demanda insatisfecha significativa. La cantidad de familias con hogar propio es del 45%. El 55% restante prestan o alquilan una vivienda. Los precios altos de materiales de construcción han hecho imposible el acceso a planes urbanísticos y a la disponibilidad de un hogar digno, por lo que se tienden a formar núcleos poblacionales carentes de agua, electricidad y saneamiento. Se mantiene una necesidad de 55.000 viviendas anuales sobre un déficit habitacional de 1 millón, en todo el país. En el área rural esto se traduce en un 85%. En áreas rurales como Guaymas, la alternativa es la autoconstrucción a partir de materiales de la zona.

1.3.6 Servicios Públicos.

El servicio de energía eléctrica, es deficiente, aunque se oferta en el 98% de las comunidades del sector, por medio de una derivación del sistema de interconexión nacional. Esto no sucede con el manejo de residuos sólidos y líquidos, que propician la contaminación. La telefonía existente es mediante paneles solares y solamente los centros industriales poseen

directamente el servicio. El correo solo existe en el municipio y es muy poco usado. El servicio de transporte es efectivo, aunque a causa de la delincuencia es medianamente usado. En su inmensa mayoría las personas se transportan en vehículos particulares.

1.4. Recursos Hídricos.

En la zona de Guaymas, las fuentes principales de abastecimiento de agua para consumo humano tienen dos orígenes.

Por un lado, algunas comunidades traen agua desde las quebradas de la cordillera del Mico Quemado. Algunas han construido pequeñas represas, en uno o más puntos, a partir de las cuales, por canalizaciones, llevan el agua hasta la aldea. Otras, además, han incluido algún tipo de filtro de grava. A pesar de encontrarse en zona agrícola, no presentan contaminación por fertilizantes, pero sí bacteriológica, lo que conlleva una problemática asociada. En algunos casos se presenta un problema añadido durante el verano, cuando algunas de las quebradas disminuyen considerablemente su caudal.

Las poblaciones más cercanas al río Guaymitas, en muchas ocasiones, toman su agua, también para consumo. Esto afecta negativamente a la población debido a la contaminación bacteriológica del río Guaymitas. Además muchos canales artificiales recorren toda el área llevando esta agua a diferentes comunidades más alejadas del Río Guaymitas.

Otra forma de obtención de agua para consumo, es mediante pozos. Abundan los poco profundos, donde la contaminación bacteriológica está controlada, así como el suministro a lo largo de todo el año.

A medida que las aldeas se alejan de la cordillera, la opción de tomar agua de la misma deja de ser viable económicamente, y se opta por el suministro a través de aguas subterráneas, encontrándose algunos pozos de más de 70 metros de profundidad.

De todos modos, en muchas de las aldeas del área de Guaymas, existe una distribución racionada del agua, atribuible, en algunas de ellas, al bajo caudal obtenido. En otras comunidades se opta por dicha distribución racionada debido al coste de la extracción, ya que no pueden permitirse tener la bomba en funcionamiento 24 horas al día, y solo la conectan durante algunas horas.

1.5 Objetivos.

El proyecto pretende profundizar los conocimientos geológicos, cartográficos, hidrogeológicos e hidrogeoquímicos con el fin de evaluar los recursos hídricos existentes en el área de estudio y poder de este modo facilitar el acceso al agua potable de las comunidades rurales que se encuentran en la zona. Es por esto, que las actividades a realizar se van a centrar en la investigación del recurso hídrico del área, así como las características de los acuíferos existentes.

1.5.1 Objetivo General.

Conocer el estado actual de los recursos hídricos subterráneos, con el fin de aportar la información base necesaria para conformar las herramientas principales para instaurar una política de gestión de recursos hídricos, que contribuya a un desarrollo sostenible del municipio de Guaymitas.

1.5.2 Objetivos Específicos.

- Proporcionar la información base necesaria para la realización de las obras necesarias que garanticen el abastecimiento de agua potable a las comunidades, en una segunda fase o proyecto posterior.
- Definir las posibles alternativas a valorar para la ejecución del abastecimiento, así como los limitantes existentes para el logro del mismo.
- Recomendar, valorando los resultados obtenidos, cuales serían las zonas preferentes para la implantación de acciones especiales, inmediatas o específicas para la gestión del recurso hídrico.
- Fomentar la inquietud institucional con respecto a la gestión del recurso hídrico que facilite la implantación de acciones o medidas y la creación de políticas hacia la gestión integral del mismo.

Para lograr los objetivos expuestos se ha planificado la ejecución de una serie de actividades las cuales se desarrollará su contenido posteriormente, y que como producto de ellas obtendremos los siguientes resultados:

- Estudio de la cartografía hidrogeológica del área.
- Realización de un inventario de puntos de agua que nos ayude a la determinación del recurso hídrico.
- Estudio de la calidad del recurso hídrico en el área de Guaymitas, valorando la potabilidad del mismo.
- Determinación de los parámetros que definen las características de los acuíferos presentes en el área.
- Estudio de la geometría y disposición de los acuíferos más relevantes.

2. GEOLOGÍA

2.1 Marco Geológico Regional

A gran escala, Honduras esta situada en la esquina noroeste de la placa tectónica del Caribe, justo al sur de la zona de contacto entre esta última y la placa de Norte América. Por otro lado, el contacto entre la placa tectónica de Cocos (oceánica) y la del Caribe (continental) conforman un margen tectónico activo, en el cual se está produciendo una subducción de la primera bajo la segunda (proceso derivado de la diferencia de densidad entre ambas placas, la más densa, corteza oceánica, se hunde bajo la placa continental).

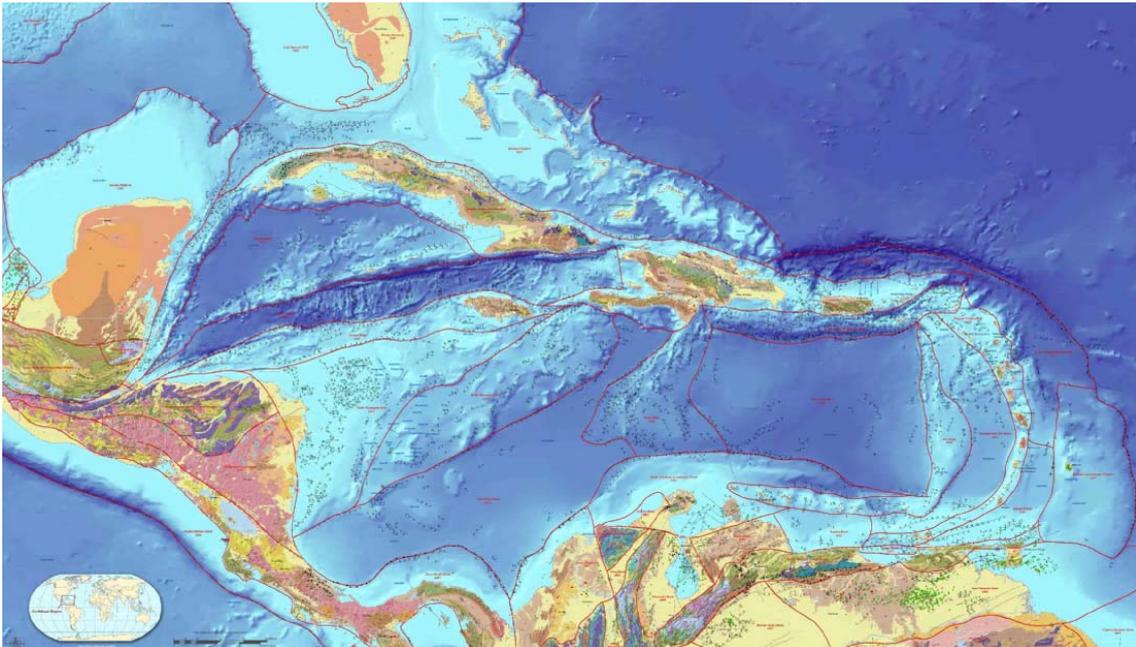


Figura 4. Mapa de la placa tectónica del Caribe, mostrando sus principales estructuras (modificado de USGS, 2004).

NOAM, Norte América. SOAM, Sur América. Cayman Trough, Fosa de Las Caimán.

Nicaraguan Rise, Elevación de Nicaragua.

Middle American Trench. Fosa Mesoamericana.

La subducción de la placa de Cocos bajo las de Norte América y del Caribe produce la formación de la Fosa Mesoamericana, el actual arco volcánico de Centro América, y terremotos a lo largo de la interfase de placas.

El límite entre la placa tectónica de Norte América y la del Caribe está formado por los sistemas de falla de Motagua y Polochic (sur de Guatemala) en su parte terrestre, y por la continuación marina de este sistema, la fosa de las Caimán, limitada por la falla de Swan

Island, todo el sistema de fallas tipo cizalla con desplazamiento siniestro. Este margen de placa es un escenario tectónico que produce una deformación intraplaca.

Desde un punto de vista geológico, la República de Honduras se sitúa sobre lo que se ha denominado Bloque Chortís, utilizado como un termino geográfico para describir el estilo tectónico del Neógeno al sur de la falla de Motagua en Guatemala (Buchanan, 1997), diferenciándolo de las regiones del norte de la falla, y del sur de Centroamérica (Sur de Nicaragua, Costa Rica y Panamá). Su límite sur ha sido definido en la latitud $12^{\circ} 30'$, debido a la falta de una característica geológica visible que sirva como limite entre los dos tipos de corteza terrestre (continental al norte y oceánica al sur).

Los materiales del Bloque Chortís corresponden a formaciones de edad Mesozoica y Cenozoica las cuales se sitúan de manera discordante sobre un zócalo de rocas metamórficas que no han sido bien datadas. Las rocas del zócalo son principalmente rocas metasedimentarias de bajo grado. Se han datado intrusiones de edad Paleozoica, que, a su vez, han sido metamorfizadas. La corteza del Bloque Chortis es de tipo continental.

2.1.1 Tectónica Regional

Tectónicamente, el Bloque Chortís se puede considerar como una gran región de deformación relacionada con el movimiento sobre el límite de placas. Dicha deformación esta provocada por la rotación alrededor del sistema arqueado de fallas de Motagua-Polochic. Sus principales estructuras tectónicas son (figura 5):

- La depresión de Honduras. Es una zona de cerca de una docena de pequeños rifts, o cuencas extensionales limitadas por fallas, también llamadas “grabens”. Se sitúa al oeste de Honduras, y está definida por valles con dirección norte limitados por fallas normales. También se encuentra en el sudoeste de Guatemala, y es una zona tectónica y sísmicamente activa.

El Valle de Sula es la cuenca más al norte de la depresión de Honduras. Las fallas normales que limitan el valle continúan hasta la costa del Caribe. Los límites del valle presentan un brusco cambio de pendiente entre las montañas, muy abruptas, y el fondo plano del valle.

- Fallas de desgarre intraplaca, activas tectónicamente. Al este de la depresión de Honduras aparecen este tipo de fallas, subparalelas al limite entre las placas de Norte América y del Caribe. Dos de las más importantes son la de La Ceiba y la de Aguán (ver figura 5). Tanto en los mapas topográficos como en imagen satélite, aparecen como escarpes muy bien marcados, sin estar rotos por corrientes u otras fallas, lo que indicaría que son activas tectónicamente.

- Fallas de desgarre interrumpidas. Al sur de la falla de Motagua y al oeste de la depresión de Honduras, se encuentran algunas fallas de desgarre inactivas, mostrando evidencias de estar afectadas por las más recientes fallas normales. Los registros sísmicos muestran que la característica tectónicamente activa es la de las fallas normales.

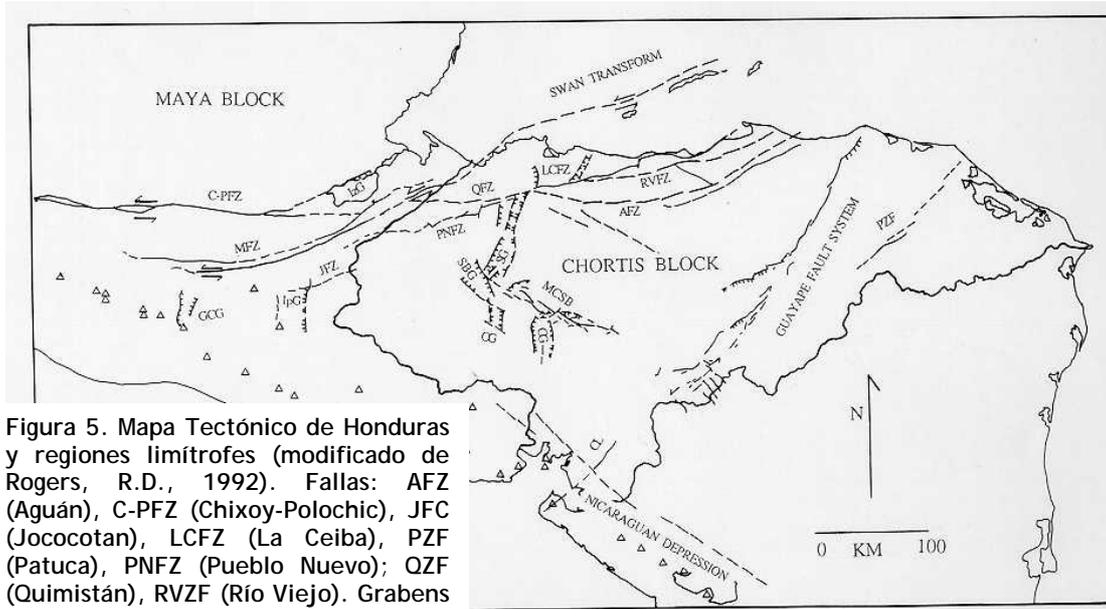


Figura 5. Mapa Tectónico de Honduras y regiones limítrofes (modificado de Rogers, R.D., 1992). Fallas: AFZ (Aguán), C-PFZ (Chixoy-Polochic), JFC (Jococotan), LCFZ (La Ceiba), PZF (Patuca), PNFZ (Pueblo Nuevo); QZF (Quimistán), RVZF (Río Viejo). Grabens de la depresión de Honduras: CG (Comayagua), OG (Otoro), SBG (Santa Bárbara), SG (Sula).

2.1.2 Estratigrafía Regional

Como ya se ha comentado, el zocalo del Bloque Chortís está formado por rocas metamórficas, principalmente rocas sedimentarias con un metamorfismo de grado bajo. Los tipos de roca dominante son filitas y esquistos graníticos, si bien pueden aparecer rocas con metamorfismo variable, desde gneises y migmatitas hasta cuarcitas y mármoles. A todo este conjunto de materiales se le conoce como Esquistos de Cacaguapa, o Grupo Cacaguapa, y cuya edad es pre-mesozoica, probablemente del Paleozoico.

Sobre el zócalo paleozoico se sitúan, de forma discordante, unas formaciones sedimentarias, de edad mesozoica, más concretamente Jurásico y Cretácico Inferior, depositadas bajo condiciones continentales o marinas someras. Estos materiales reciben el nombre de Grupo Honduras y se subdividen en la Formación Agua Fría y un miembro superior siliciclástico.

En el Cretácico Superior sedimentaron una potente serie de rocas carbonatadas, seguidas de unas rocas detríticas, tipo molasa de color rojo morado bien marcado.

Las calizas han sido llamadas Grupo Yojoa, y están distribuidas por una amplia zona de Honduras, Noroeste de El Salvador y Suroeste de Guatemala, corresponden a calizas arrecifales de aguas poco profundas.

En cuanto a las rocas detríticas forman el llamado Grupo Valle de Ángeles, compuesto por conglomerados, areniscas, margas y calizas. Está dividido en Capas Rojas Superiores y Capas Rojas Inferiores, separadas por formaciones calizas (Jaitique, Esquíes, etc.).

Durante el Terciario se producen emisiones volcánicas comenzando por la Formación Matagalpa, una unidad volcánica pre-ignimbrítica de composición mayoritariamente básica, con predominio de coladas de andesita, basalto y sedimentos piroclásticos, descansando discordantemente sobre las rocas cretácicas. Por encima de esta formación aparece el Grupo Padre Miguel, extendido al conjunto de los depósitos volcánicos ácidos de Centro América del Oligoceno y Mioceno, con erupciones entre 20 y 9 millones de años (Harwood, R., 1993). Este episodio probablemente estuvo relacionado con la fusión parcial de la corteza continental bajo la zona (Rogers, R.B., et al, 2002). Consiste en un grupo de ignimbritas, tobas riolíticas, y tobas andesíticas. En la figura 6 se muestra la extensión de los depósitos mesozoicos y terciarios.

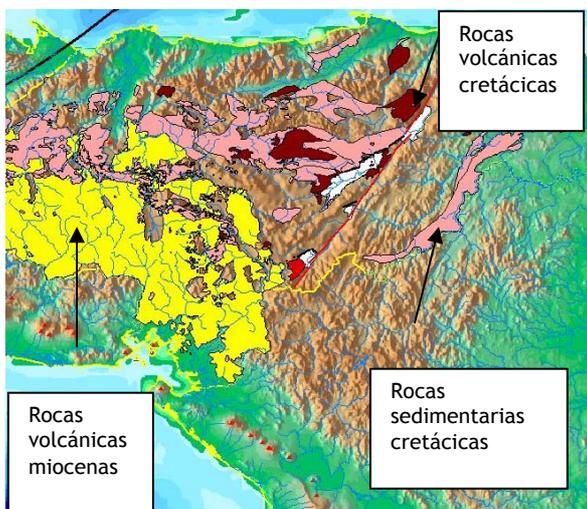


Figura 6. Mapa de los depósitos mesozoicos y terciarios. (modificado de University of Texas-Institute of Geophysics (2001)).

Numerosos cuerpos intrusivos cortan a todas las rocas descritas, encontrándose granitos, granodioritas y dioritas incluso en la Formación Matagalpa, así como cuerpos subvolcánicos (SERNA, GEOMINH-BRGM, 1987-1992)

A finales del Terciario se produce un levantamiento global del Bloque Chortis, que provoca la erosión de los materiales descritos. Los productos de esta erosión fueron transportados y sedimentados en cuencas interiores,

o en las costas.

De este tipo se definen la Formación Mosquitia, de tipo deltaico (probablemente la Ulúa Chamelecón pueda ser de este tipo, pero recubierta por sedimentos más recientes); la Formación Grácias, de arenas y lutitas; y la Formación Humuya (graben de Comayagua).

Durante el cuaternario se producen emisiones basálticas en varios puntos del país, particularmente en la región al norte del lago de Yojoa.

Los materiales más recientes serían los aluviales, deltaicos y coluviales actuales.

En la figura de la página siguiente se intenta sintetizar esta información.

ÉPOCA		FORMACIÓN		EVENTOS	
CUATERNARIO	Holoceno	ALUVIAL		Distension grabens	Levantamiento de Honduras (erosion).
	Pleistoceno	Basalto			
TERCIARIO	Plioceno	Fm. Gracias		Subduccion Placa Cocos.	Migration del bloque chortis hacia el Este
	Mioceno	Grupo Padre Miguel			
	Oligoceno				
	Eoceno	Fm. Matagalpa			
	Paleoceno				
	CRETÁCICO SUPERIOR	Maastrichtiense	Grupo Valle de Ángeles		
Campaniense		Esquías			
Santonense				Jaitique	
Coniacense				Rocas Rojas Inferiores	
Turonense					
Cenomaniense					
CRETÁCICO INFERIOR	Albiense	Grupo Yojoa		Fase tectonica, plegamiento, metamorfismo, intrusivos.	
	Aptiense				
	Barremiense				
	Hauteriviense	Grupo Honduras	unidad siliciclastica sin nombre		
	Valangiense				
	Berriasiense				
JURASICO	Superior				
	Medio	Fm. Aguafría			
	Inferior				
TRIASICO			Emersion continental.		
PALEOZOICO		Esquistos Cacaguapa		Orogenesis mayor del fin del Paleozoico.	

Figura 7. Columna estratigráfica de Honduras (modificado de Rogers, R.D., 1992 y SERNA, GEOMINH-BRGM, 1987-1992).

2.1.3 Tectónica Local

La zona estudiada se sitúa en la región definida como depresión de Honduras (figura 8a), y más concretamente en el graben de Sula. Específicamente se encuentra en la confluencia de tres importantes estructuras explicadas en el apartado 2.1.1, por un lado la falla normal que actúa como limite este del graben de Sula, por otro lado dos de las fallas de desgarre activas, como son la de Quimistán y la de La Ceiba (figura 8b).

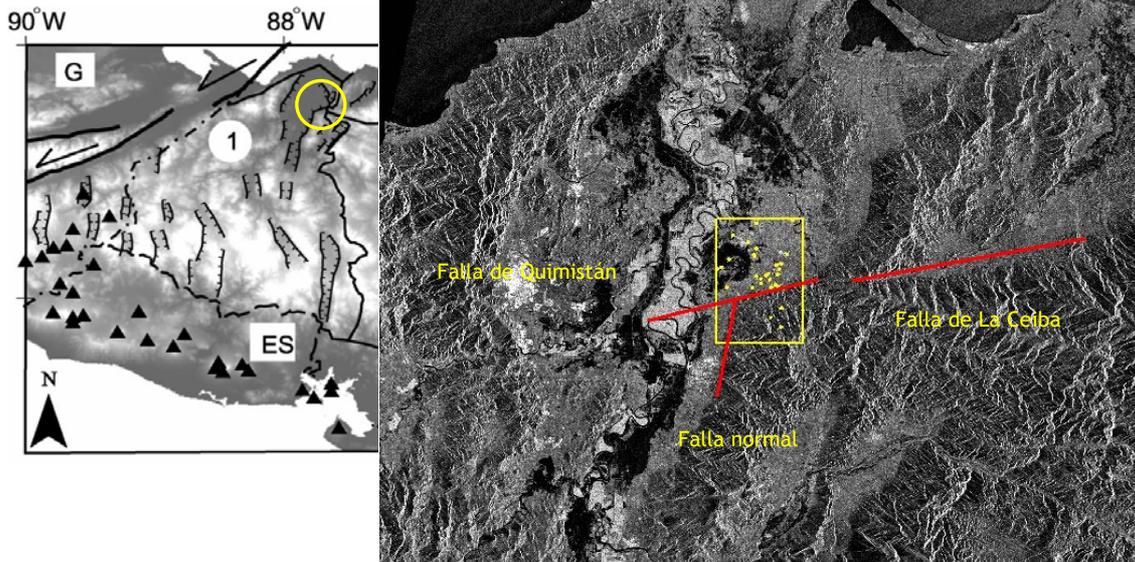


Figura 8a. Localización de la zona de estudio respecto a la región definida como depresión de Honduras, y el graben de Sula.

Figura 8b. Localización de las principales estructuras tectónicas respecto a la zona de estudio, marcada con el recuadro amarillo.

Los grandes sistemas de fallas llevan asociados a su vez, fallas menores, que son relativamente fácil de situar en la cordillera, pero mas difícilmente en nuestra zona de interés, la llanura aluvial. Analizando a partir de la imagen satélite, los trazados de los ríos Guaymitas y Guaymas dentro de la zona aluvial, se pueden detectar cambios bruscos en los mismos, que indicarían un control tectónico, y una actividad tectónica actual. El trazado de estas pequeñas fallas, que parecen ser las últimas en haber actuado, es aproximadamente paralelo al trazado de la falla de Quimistán en esta zona, o sea SW-NE, y el conjunto de las mismas estaría indicando un desplazamiento neto hacia el NE (figura 9), que coindiría con el desplazamiento de desgarre descrito para el sistema de fallas.

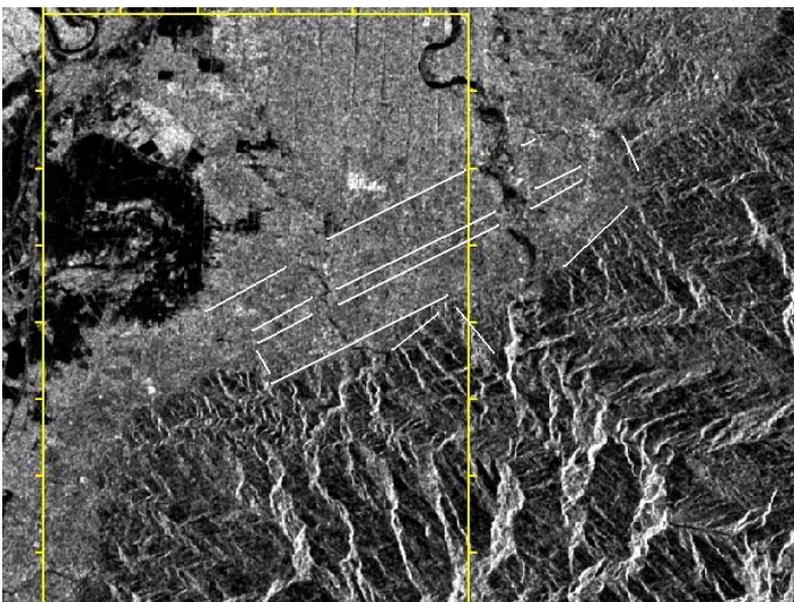


Figura 9. Delineación de alguna de las fallas deducidas a partir de la imagen satélite.

2.1.4 Estratigrafía Local

Como ya se ha comentado, el interés del presente trabajo se centra en la llanura aluvial del valle de Sula, donde los materiales son principalmente sedimentos aportados por los diferentes ríos que circulan por dicha llanura.

Por otro lado la cercanía de la cordillera del Mico Quemado, hace que los materiales que la componen puedan influir en las características de las aguas que, posteriormente, circulen por la llanura.

Teniendo en cuenta estas consideraciones, se describen los materiales de la cordillera inmediata a la llanura aluvial objeto de este estudio, así como de los materiales que rellenan a esta última.

- Materiales de la cordillera del Mico Quemado.

Los materiales predominantes en la cordillera son los Esquistos Cacaguapa, (GC en el mapa) (figura 10). El metamorfismo prevaleciente es de tipo esquistos verdes, aunque puede alcanzar el grado de anfibolita. La unidad está compuesta por clorita, mica blanca, y cuarzofilitas. Se encuentran mármoles, cuarcitas y metaconglomerados intercalados con las cuarzofilitas, así como rocas ígneas máficas y epiclastitas, metamorizadas, aunque estas últimas en menor medida.

La vertiente norte de la cordillera la constituyen las capas rojas del grupo Valle de Ángeles (TS en el mapa) (figura 10), probablemente el miembro inferior del mismo, que en la zona aparecen como capas de calizas centimétricas, con algún nivel decimétrico, e intercalaciones centimétricas de margas, teniendo todo el conjunto un color rojo violáceo. Son visibles en el P17 (ver inventario). También aparecen como materiales de grano fino (tamaño limo y arcilla) visibles más hacia el Este.

Aunque no aparecen directamente en la zona de estudio, se han encontrado en las áreas cercanas intrusiones de granitoides, tanto en la cordillera (CI en el mapa) (figura 10), como en la llanura aluvial, en Urraca pueblo, al norte de la zona estudiada, y que no aparece cartografiado.

- Materiales de la llanura aluvial.

Estos materiales consisten en los aportes transportados y depositados por los diferentes ríos que cubren todo el valle de Sula. En nuestra zona son principalmente, materiales finos, tipo arcillas o limos, en superficie, encontrándose materiales algo más gruesos (arena arcillosa o arena) a mayor profundidad. Estos materiales aparecen como estratos centimétricos a decimétricos, con lo que podemos encontrar cambios bruscos en el tamaño de grano, obteniendo capas de tamaño grueso intercaladas entre otras de menor tamaño de grano. Esta explicación es una generalización, ya que la variabilidad en los sedimentos puede llegar a ser muy importante, como es típico en este tipo de ambientes sedimentarios.

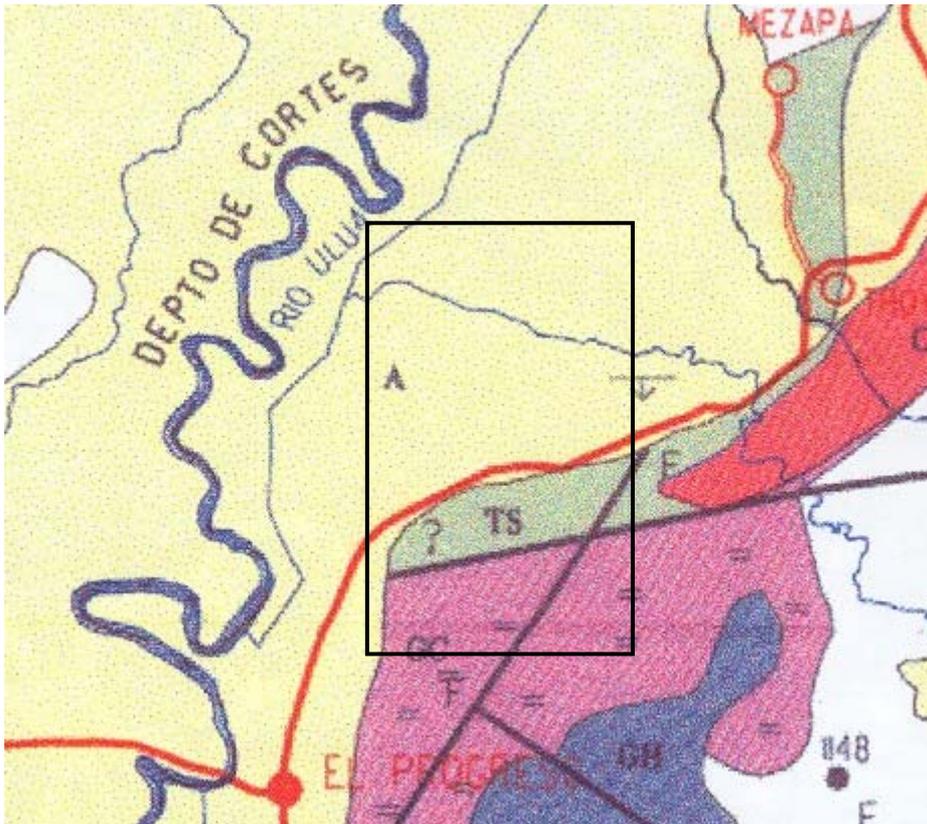


Figura 10. Mapa geológico de la zona estudiada (enmarcada en el recuadro) y zonas adyacentes. (modificado de Mapa Metalogenético y Catálogo de Minas y Ocurrencias Minerales, Inventario Minero Nacional II Fase, (1987-1992).

3. INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA

El inventario de puntos de agua de este proyecto se ha centrado en Guaymitas y sus alrededores. Para su desarrollo se ha contado con la colaboración de las Juntas de Agua locales y agentes locales de la Región sanitaria, quienes tienen un buen conocimiento de la ubicación de los pozos y surgencias de la zona. Se consideraron para este trabajo tres tipos de puntos de agua: superficiales, fuentes, ríos/quebradas y surgencias; pozos someros, de hasta 40 m de profundidad y pozos profundos, de más de 40 metros de profundidad.

En la figura 11 se muestra la localización de los puntos inventariados, divididos en las tres categorías establecidas. La localización de los puntos se ha medido con un GPS tipo GARMIN etrex summit, con error de medida entre 5 y 15 m. La medida de la altura sobre el nivel del mar ha sido corregida posteriormente a partir de los mapas topográficos escala 1:50000 disponibles.

Algunas de las fuentes, surgencias y arroyos a las que nos referimos, se sitúan en la Cordillera del Mico Quemado, de donde se abastecen algunas de las poblaciones del área de Guaymas. El punto del río Guaymitas al que nos referimos en este trabajo se encuentra en la zona en la que el río pasa de la cordillera a la llanura aluvial. En todos los puntos se han tomado, siempre que ha sido posible, los datos de profundidad del pozo, Nivel estático de la lámina de agua, así como los parámetros de temperatura (T), pH y conductividad eléctrica del agua (CE).

Algunos valores de pH son anómalos, probablemente debido a defectos de medida del aparato de campo.

PUNTO	X (UTM)	Y (UTM)	ALTURA (m.s.n.m.)	PH	C.E.	T °C	PROFUNDIDAD DEL NIVEL MEDIDO	NIVEL (m.s.n.m.)
P1	417300	1713100	20	6.4	300	27.4	0.3	19.7
P2	416139	1715499	17	7.1	60	27.2	3.6	13.4
P3	416585	1715725	17	6.8	800	30.2		
P4	416669	1715732	17	6.9	1000	28.7		
P5	417633	1716738	17	7.4	700	26.9	3.2	13.8
P6	420824	1717137	20	8.4	300	27.4		
P7	420764	1717292	19				1.8	17.2
P8	420026	1718929	16	6.8	200	28.2	2.98	13.02
P9	418020	1719873	18	8.3	400	29.6	2.55	15.45
P10	421059	1721342	18	8.4	300	29.3		18
P11	421113	1714589	20	7.0	200	26.7	1	19
P12	421606	1714293	25	6.2	200	26.8	3	22
P13	422766	1714134	60	7.0	200	26	6.9	25.1
P14	422300	1714700	35	5.6	200	27.5		
P15	422557	1714897	35	7.1	200	27.7		
P16	420573	1713108	36				7.6	28.4
P17	422951	1713095	58	8.6	100	23.8		58
P18	423763	1714781	55	6.3	200	26.7		
P19	423930	1715450	45	5.0	100	26.8	2	43
P20	423614	1716003	40	5.7	150	27.6	0.9	39.1
P21	424228	1716179	42	7.0	500	27.9	0.47	41.53
P22	421033	1718126	17				0.39	16.61
P23	423516	1713473	57	6.6	228	28.4	4.09	52.91
P24	425650	1721750	25					
P25	421605	1713678	32	6.7	200	27.4	1.52	30.48
P26	422864	1709294	450	7.9	100	21.5		
P27	424189	1708024	670	8.2	100	21.2		
P28	424319	1710463	240	8.2	100	21.4		
P29	423775	1713546	53	8.7	100	22.1		
P30	425000	1717400	28					

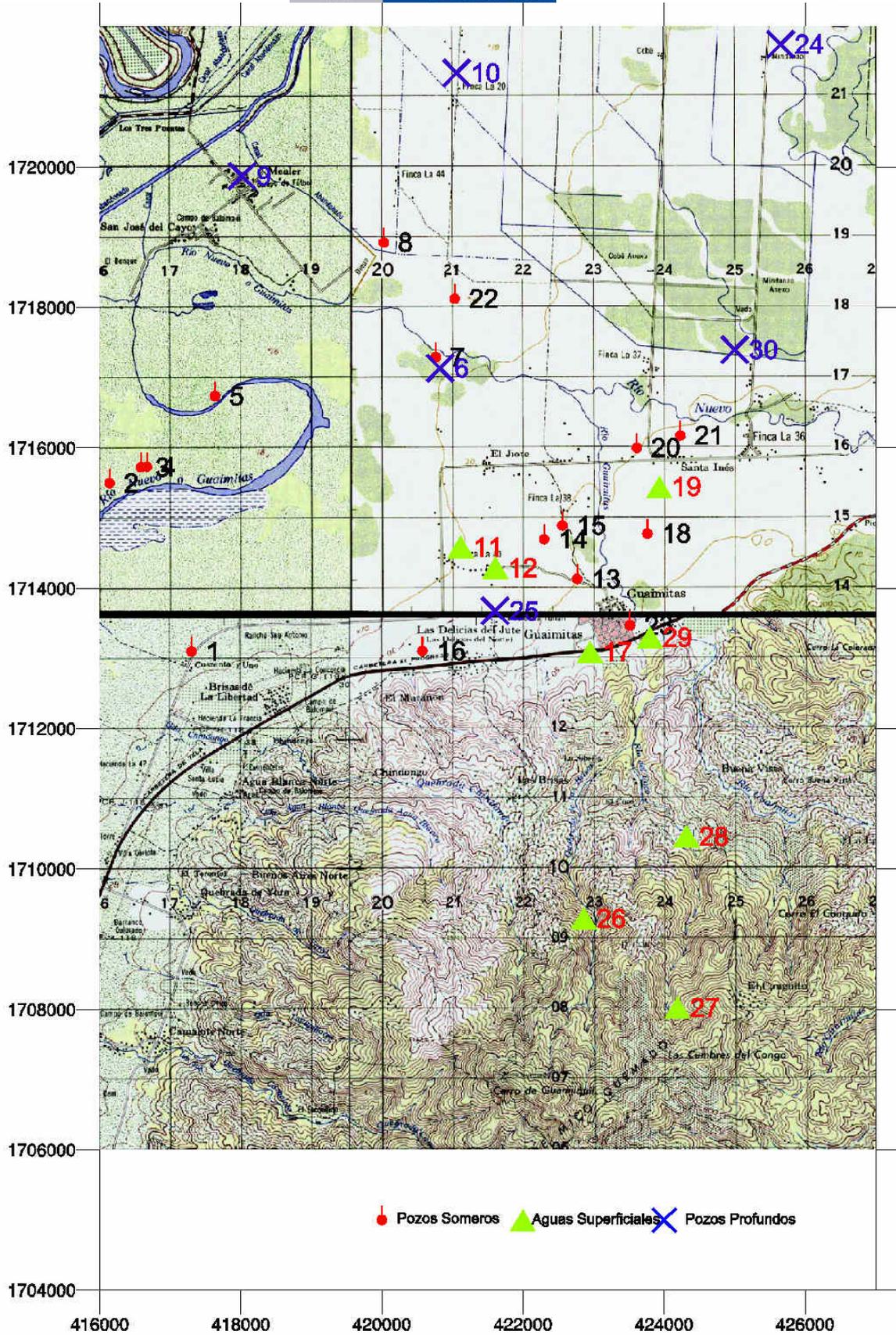


Figura 11. Localización de los puntos inventariados en el presente trabajo.



Fotografía 3. Inventario del punto P1.



Fotografía 4. Inventario del punto P17.



Fotografía 5. Toma de pH, conductividad eléctrica y temperatura en el punto P4.

4. PIEZOMETRÍA

Durante la campaña de campo realizada para establecer el inventario de puntos de agua se midieron los niveles piezométricos de los diferentes puntos. Las medidas se hicieron en pozos entubados, pozos abiertos, y surgencias. En la tabla del capítulo 3 se muestran los niveles piezométricos para los diferentes puntos.

Para obtener los valores de los niveles piezométricos en esta campaña, se realizaron las medidas de niveles, corrigiéndolas con las medidas tomadas en el campo, y situando las cotas topográficas a partir de las medidas tomadas con GPS, corregidas a partir de los mapas topográficos 1:50000 del Instituto Geográfico Nacional de Honduras.

Hay que señalar que la fase de campo se realizó durante la época de lluvias, y que el aparato de medición GPS que se utilizó, da unos valores fiables para las medidas de x e y , pero no tanto para la medida de la altura sobre el nivel del mar (z). Por otro lado, la cartografía de la que se dispone, representa las curvas de nivel únicamente cada 20 metros. Por todo esto, y dado que parte de la zona presenta unos desniveles muy pequeños, la piezometría que se presenta es un intento de entender el flujo del agua en la zona estudiada, teniendo en cuenta la fiabilidad de los datos obtenidos, para ello se ha utilizado una equidistancia de 10 metros desde el límite del aluvial con la cordillera, donde las cotas son mas altas, y de 5 metros hacia el interior del aluvial, con cotas menores de 20 metros (figura 12).

A la hora de representar los valores de los niveles piezométricos, se han tenido en cuenta tanto los pozos mas o menos someros situados por todo el área, pero especialmente en los alrededores de Guaymitas, como los profundos (más de 40 metros) de la zona interior del aluvial. También se han tenido en cuenta algunas surgencias que alumbran cuando el nivel piezométrico corta la cota topográfica del terreno.

Aunque en principio existen niveles inferiores que presentan un nivel piezométrico diferente al de los superiores, se han analizado todos en conjunto, ya que, a la escala a la que estamos trabajando, no se han apreciado variaciones excesivas; por el contrario, las isopiezas obtenidas son perfectamente consecuentes, sea cual sea el tipo de dato.

Las isopiezas resultantes son bastante paralelas entre sí. El flujo muestra una dirección preferencial SE-NO, mas o menos perpendicular a la dirección principal del río Ulúa.

Las isopiezas muestran una disminución del gradiente hacia el centro del aluvial, y coinciden aproximadamente con las curvas de nivel topográfico.

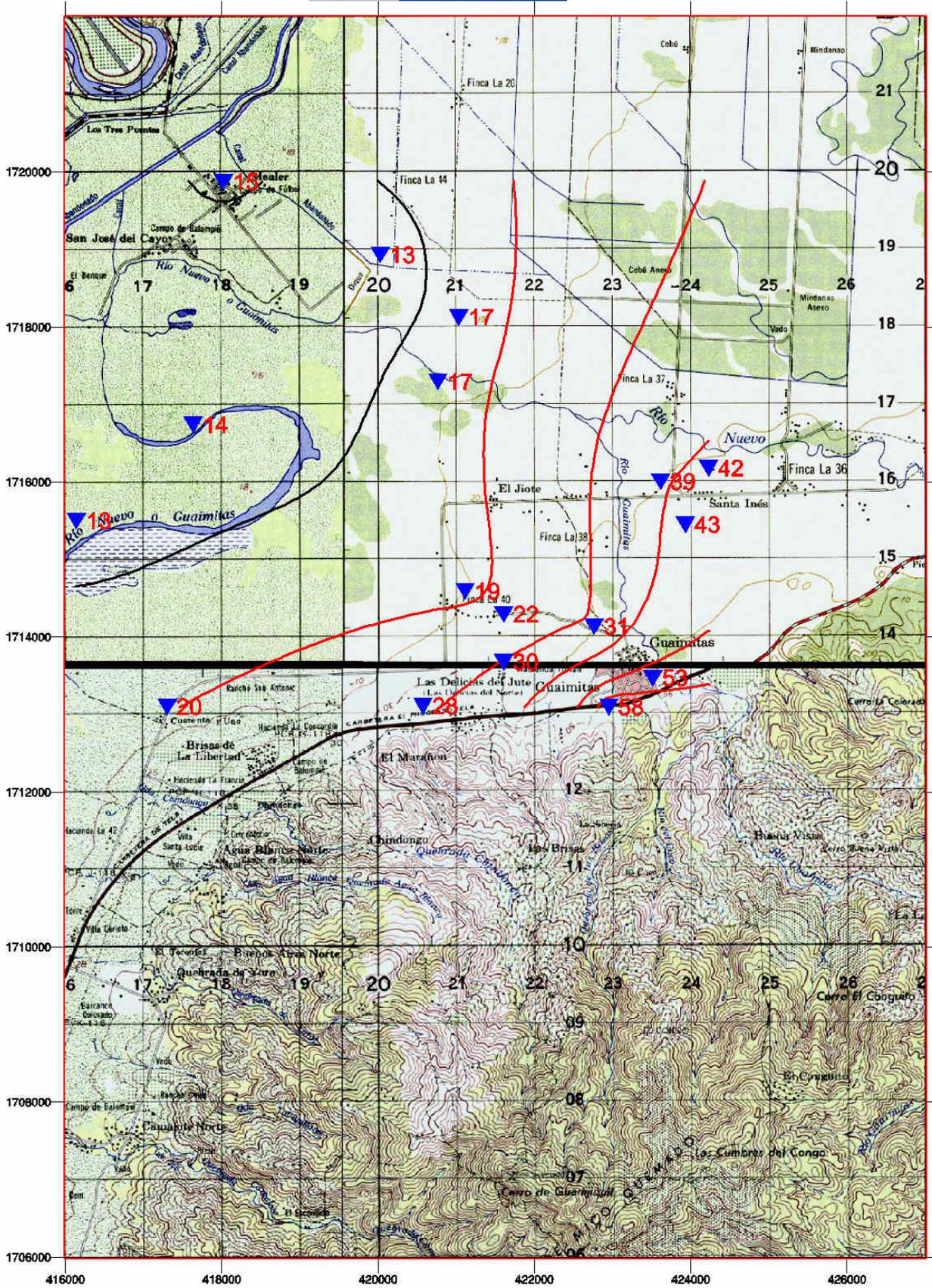


Figura 12. Piezometría de la zona estudiada.

5 HIDROQUÍMICA

En el agua subterránea natural, las sustancias disueltas se encuentran en estado iónico. Esto se debe a que la estructura química de la molécula del agua favorece la disolución de sustancias en estado iónico. En la corteza terrestre, existe una serie de elementos mucho más abundantes en proporción que el resto de elementos (oligoelementos). La disolución de estos o sus compuestos en el agua es común. Reciben el nombre de iones fundamentales y son:

- *Aniones*: Cloruro (Cl^-), Sulfato (SO_4^{2-}), Bicarbonato (HCO_3^-) y en menor medida Nitrato (NO_3^-) y Carbonato (CO_3^{2-})
- *Cationes*: Sodio (Na^+), Calcio (Ca^{2+}), Magnesio (Mg^{2+}) y en menor medida Potasio (K^+) y (Fe^{2+}).

Otro proceso común es la disolución de anhídrido carbónico (CO_2) atmosférico y su disolución en iones HCO_3^- y CO_3^{2-} .

El resto de iones y sustancias disueltas se encuentran en proporciones más pequeñas (menos del 1 % del contenido iónico total) y se llaman *iones menores*. Los iones menores más importantes son: NO_3^- , CO_3^{2-} , K^+ , Fe^{++} , Nitrito (NO_2^-), Flúor (F^-), Amoníaco (NH_4^+) y Estroncio (Sr^{++}), sus concentraciones están entre 0.01 y 10 mg/l.

Se le llama *elementos traza* a aquellos que aunque están presentes, son difícilmente medibles por medios químicos usuales. Los iones metálicos derivados del Arsénico (As), Antimonio (Sb), Cromo (Cr), Plomo (Pb), Cadmio (Cd), Cobre (Cu), Zinc (Zn), Bario (Ba), Vanadio (V), Mercurio (Hg), Uranio (U), etc., son en general, elementos traza (<0.0001 mg/l).

Todo lo expuesto se refiere a aguas naturales más frecuentes. En aguas subterráneas contaminadas, esto puede cambiar notablemente (Custodio, E; Llamas, R. 1983).

5.1 Toma de muestras y datos

La toma de muestras de agua se llevo a cabo en dos fases, la primera de ellas comprendida entre el 5 y 6 de Diciembre y la segunda entre el 9 y 10 de Enero. El total de puntos muestreados es de 12, diferenciándose tres tipos de puntos de muestreo:

- Agua superficial de arroyos, manantiales y río Guaymitas a su entrada en la zona aluvial: P26, P28, P17, P11, P19 y P29.
- Aguas de pozos someros (menos de 40m): P13, P23 y P15.
- Aguas de pozos profundos (mas de 40m): P10, P6 y P25.

Se han realizado los siguientes tipos de análisis, los resultados de los cuales se muestran en la figura 13:

	Determinaciones Físicas	Determinaciones Químicas	Análisis Bacteriológicos	Análisis Plaguicidas
P26 Represa La40	X	X	X	X
P28 Guaymitas	X	X	X	X
P6 La39 Pozo	X	X		X
P25 Teofilo Pozo	X	X		X
P13 Pozo Efraim	X	X		X
P23 Vivero Pozo	X	X		X
P17 Nacimiento	X	X		X
P11 La 40	X	X	X	X
P19 Naranjos	X	X	X	X
P10 La29	X	X	X	X
P15 Raul	X	X	X	X
P29 Rio Guaymitas	X	X	X	X

Determinaciones Físicas: pH, CE, Temperatura (°C) y Total de Sólidos Disueltos (TSD).

Determinaciones Químicas: Cationes (Ca, Mg, Na, K), Aniones (HCO₃, Cl, SO₄, F) y Microelementos (Fe, Mn, Cu, Zn), incluyendo los minerales pesados Cadmio (Cd) y Arsénico (As).

Análisis Microbiológicos: Coliformes Totales y Coliformes Fecales.

Análisis de Plaguicidas: Organoclorados, Organofosforados, Piretroides, Carbamatos.

Figura 13. Resultados de los análisis químicos realizados.

	P26 Represa La40	P28 Guaymitas	P6 La39 Agua Pozo	P25 Teofilo Pozo	P13 Pozo Efraim	P23 Vivero pozo	P17 Nacimiento	P11 La40	P19 Naranjos	P10 La29	P15 Raul	P29 Rio Guaymitas
Ph	7.79	7.90	7.34	6.36	6.64	6.62	7.34	6.81	6.22	7.91	6.98	7.86
CE (us/cm)	108	139	252	197	194	228	371	193	112	283	185	174
TSD (mg/l)	69.12	88.96	161.28	161.08	124.16	145.92	237.44	123.52	71.68	181.12	118.40	111.36
Cationes (mg/l)												
Calcio	4.10	6.50	11.80	18.80	13.60	25.80	77.00	12.10	4.10	9.95	11.95	11.10
Magnesio	3.75	5.40	6.00	3.40	5.80	4.40	4.00	7.90	2.85	4.30	7.80	7.00
Sodio	3.49	3.58	17.80	7.80	6.10	6.80	8.10	5.00	4.35	46.00	4.23	4.91
Potasio	0.46	0.32	2.70	0.80	0.70	0.70	0.89	0.73	0.57	1.36	0.72	0.66
Total Cationes	11.80	15.32	38.30	30.80	26.20	37.70	89.99	25.73	11.87	61.61	24.70	23.67
Dureza Total	52	58	110	109	100	130	230	104	50	93	102	100
Aniones (mg/l)												
Bicarbonatos (HCO ₃ ⁻)	50.30	67.91	138.96	91.59	77.97	120.42	230.87	84.89	45.48	160.13	78.70	79.02
Cloruros (Cl ⁻)	7.91	6.92	6.92	6.92	9.89	9.89	6.92	7.91	5.93	6.92	6.92	6.92
Sulfatos (SO ₄ ⁻)	0.55	0.46	0.04	0.31	16.30	0.06	0.18	20.04	0.30	11.59	20.32	14.53
Fluoruros (F)	0.09	0.02	0.30	0.14	0.38	0.36	0.19	0.20	0.15	0.28	0.17	0.00
Total Aniones	58.85	75.31	146.22	98.96	104.54	130.73	238.16	113.04	51.86	178.92	106.11	100.47
Microelementos												
Hierro (Fe) (mg/l)	0.030	0.030	0.010	0.010	0.000	0.015	0.000	0.030	0.040	0.000	0.060	0.030
Manganeso (Mn) (mg/l)	0.00	0.00	0.33	0.00	0.00	0.14	0.00	0.01	0.00	0.14	0.00	0.00
Cobre (Cu) (mg/l)	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00
Zinc (Zn) (mg/l)	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01
Cadmio (Cd) (mg/l)	0.000	0.001	0.005	0.001	0.002	0.001	0.000	0.001	0.001	0.001	0.001	0.000
Arsenico (As) (ug/l)	0.61	1.30	76.94	0.49	0.47	3.79	0.60	1.34	0.86	4.01	1.38	1.48
Coliformes Totales	620	590						250	1000	0	4	
Coliformes Fecales	100	310						80	700	0	0	
Plaguicida detectado	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No

Se ha de resaltar que a pesar de no detectar ninguno de los plaguicidas analizados, se han encontrado trazas por debajo del limite de cuantificación de Clorpirifos (0.001 ppm) y de Carbaril (carbamatos) (0.5 ppm).

Señalamos que algunas de las muestras superficiales, se tomaron en puntos de la cordillera próxima a la zona de estudio y de las cuales se abastecen alguna de las comunidades del área de Guaymitas. Se trataba de caracterizar el agua consumida en esas aldeas.

Otras muestras superficiales, corresponden a ríos y nacimientos de agua del área de estudio para tratar de determinar, la evolución de las mismas, así como el origen de la recarga. La toma de muestras de pozos someros y profundos tiene el mismo objetivo, al que se suma el tratar de establecer la existencia de uno o mas niveles acuíferos y sus características, con vistas a un posible abastecimiento para consumo humano.

Los análisis se realizaron en la FUNDACIÓN HONDUREÑA DE INVESTIGACIÓN AGRICOLA (FHIA), situado en La Lima (Honduras), laboratorio con amplia experiencia en análisis de aguas, suelos y plantas, inscrito en la E.P.A. CODE#38837, y que a fecha de realización de estos análisis (enero de 2005) está en proceso de certificación con la norma ISO 17025, a través del patrocinio del Consejo Hondureño de Ciencia y Tecnología.

La toma de muestras para el análisis Bacteriológico se realizo con guantes apropiados, en recipientes de vidrio esterilizados. El traslado se llevo a cabo con las muestras refrigeradas.

En las muestras para el análisis de Plaguicidas, los recipientes de vidrio estaban interiormente impregnados de acetona para la calidad de la muestra fuera óptima.

Se utilizaron botes de plástico con un volumen suficiente de agua para el análisis físico - químicos.

En todo momento, los técnicos encargados de la recogida de las muestras, siguieron las recomendaciones dadas por el organismo encargado de analizarlas (FHIA).



Fotografía 6. Muestreo del punto P11.



Fotografía 7. Muestreo del punto P15.

5.2 Características fisico-químicas de las aguas analizadas

De la evaluación conjunta de los análisis utilizando los diagramas de Piper, Schoeller - Berkaloff y Stiff se extrapolan conclusiones sobre la calidad química de las aguas de la zona y de las relaciones de conjunto para toda el área.

Los diagramas de *Piper* (figura 14) son un conjunto de diagramas triangulares en los que se representa el porcentaje de aniones y cationes de las aguas muestreadas. La comparación de

aguas de distintas muestras sirve para determinar mezclas de aguas, precipitaciones, disoluciones, modificaciones, etc. En acuíferos de gran extensión conectados entre sí estas relaciones se deducen fácilmente. En el caso que nos ocupa, muestran lo siguiente:

En el aniónico se aprecia que el anión principal es el HCO_3 , mientras que el SO_4 presenta dos distribuciones, por un lado P-29, P-15, P-13 y P-11 alrededor del 20% y por otro lado el resto de las muestras (excepto la de P-10) con un contenido en ión SO_4 prácticamente nulo.

Las mayores variaciones en cuanto al tipo de iones presentes en las aguas analizadas se dan en el diagrama de cationes, donde las aguas P-29, P-15, P-13 y P-19 quedan agrupadas en una nube, a partir de esta nube, situándose aproximadamente sobre una recta de enriquecimiento en Na, nos encontramos con la P-6, y por último con la P-10. Así mismo la P-17 representa otro tipo de distribución, más rica en Ca. También se puede establecer una línea entre esta última y la nube ya definida, y que pasaría por la P-23 y la P-25.

Estos diagramas también se utilizan para la clasificación de las aguas, quedando las aguas analizadas clasificadas de la siguiente manera:

- Bicarbonatadas cálcicas P-17, P-23 y P-25
- Bicarbonatadas cálcico-magnésicas P-13
- Bicarbonatadas magnésico-cálcicas P-29, P-15, P-28, P-11 y P-19.
- Bicarbonatadas sódico-cálcicas P-6.
- Bicarbonatadas sódicas P-10.

DIAGRAMA DE PIPER

Guaymitas, El Progreso, Honduras. Enero 2005

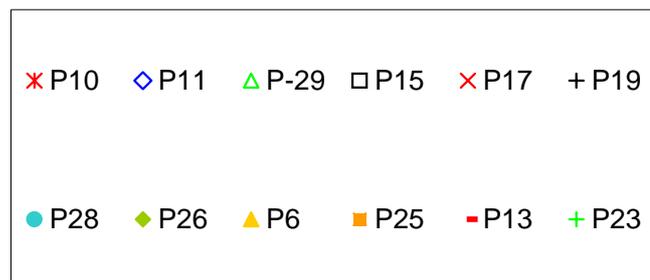
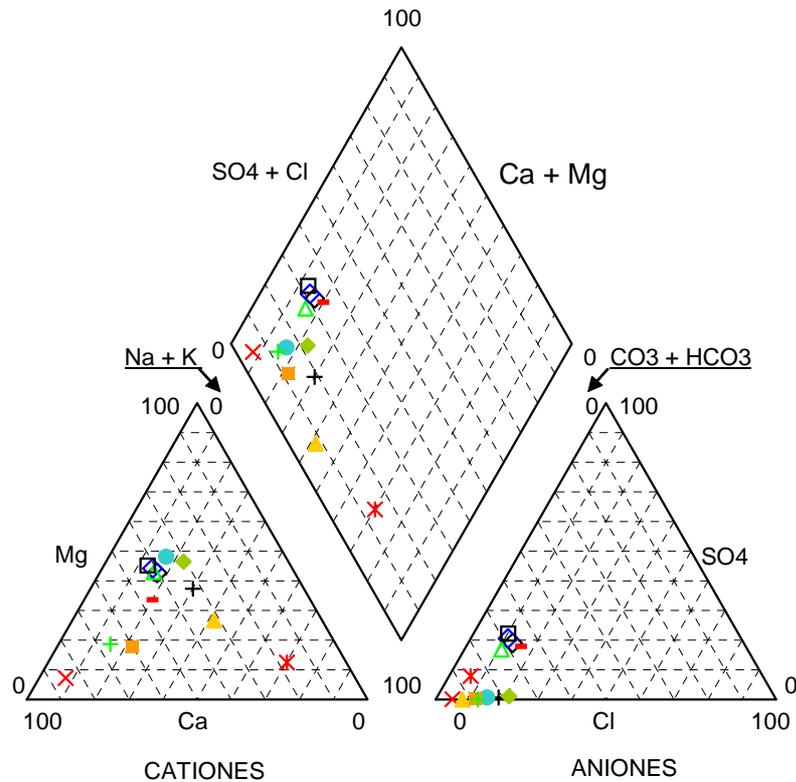


Figura 14. Diagramas de Piper.

Los diagramas de Schoeller - Berkaloff (figura 15) son una representación en columnas verticales de las concentraciones absolutas en mg/l de los iones mayoritarios en las aguas. Los diferentes puntos de un análisis se unen en una línea. Permite diferenciar los iones que presentan mayor variación y cuales son las aguas con más mineralización.

DIAGRAMA DE SCHOELLER-BERKALOFF

Guaymitas, El Progreso, Honduras. Enero 2005

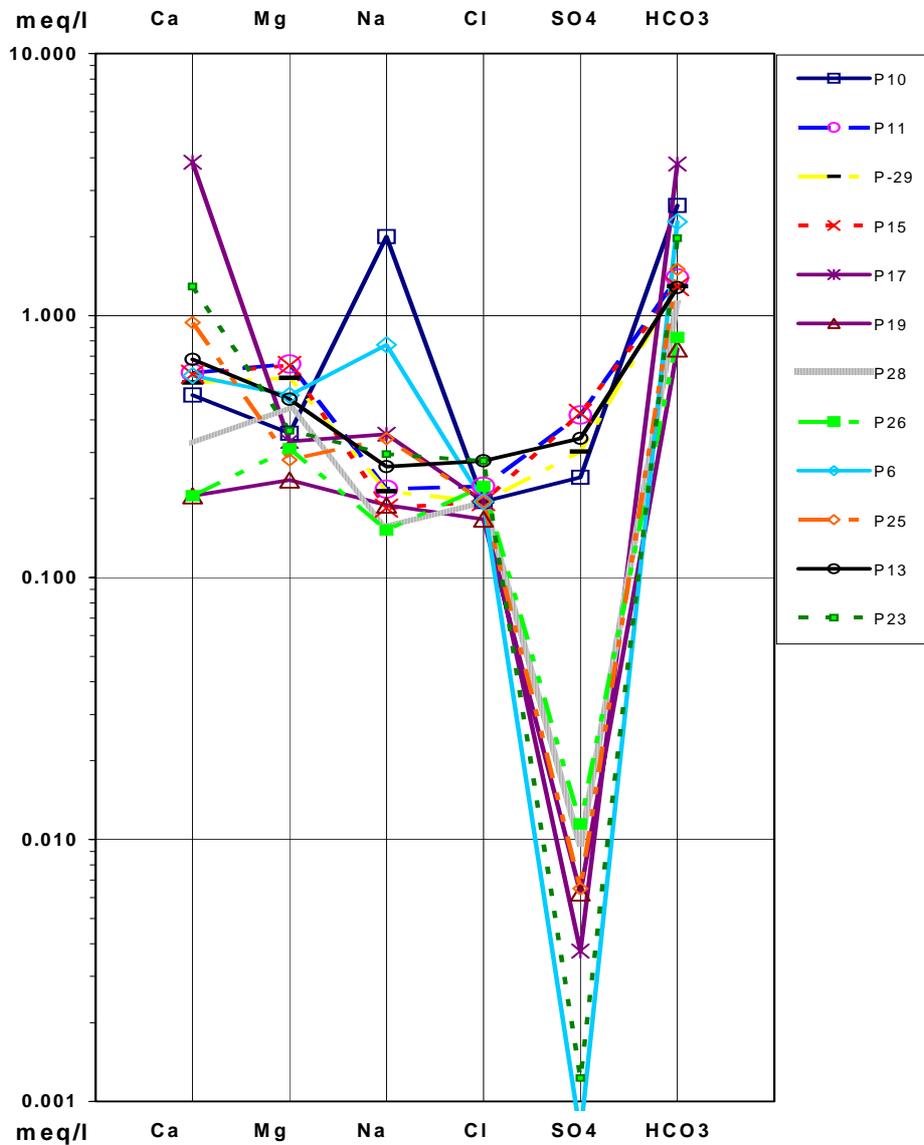


Figura 15. Diagramas de Schoeller - Berkaloff.

Así, para las aguas que se han analizado se muestran como los iones que presentan mayor variación en la zona son el Na⁺ y el Ca²⁺, seguidos por el HCO₃⁻ y el Mg²⁺, el SO₄²⁻ presenta dos agrupaciones claramente diferenciadas, mientras que las variaciones de Cl⁻ no son muy significativas. También se puede apreciar que son aguas de poca mineralización.

Por otra parte, muestra como la P-29, P-15 y P-11, junto con la P-13 son muy similares, diferenciándose de otro grupo que componen la P-26, P-28 y P-19. Por otro lado están la P-13, P-25, P-39 y P-10, que son relativamente similares, y que muestran una relación inversa entre el ión Ca²⁺, y el ión Na⁺, o sea que para estas muestras, a mayor cantidad en Na⁺, menor cantidad en Ca²⁺, y viceversa.

Finalmente, los diagramas modificados de Stiff consisten en tomar sobre semirrectas paralelas segmentos proporcionales a cada ión. Uniendo sus extremos se trazan unos polígonos que permiten apreciar con rapidez las variaciones de las relaciones iónicas con respecto a la unidad y la variación de las relaciones entre cationes y/ aniones. Los diagramas de Stiff modificados de las aguas analizadas se han trazado sobre un mapa para poder discutir las variaciones regionales de las aguas analizadas (figura 16).

De esta manera, se puede apreciar que el punto P29, que corresponde al río Guaymitas en su entrada a la zona estudiada, tiene una composición bicarbonatada magnésico-cálcica, de baja mineralización, y aguas con diagramas muy similares son P13, P15, P11 y P19, que se sitúan en las cercanías de dicho río. Por otro lado la muestra P17 es bicarbonatada cálcica, siendo las muestras P23 y P25 de similares características, aunque con menor mineralización, y situadas cercanas a la cordillera. La muestra P10 es la mas alejada de la cordillera y del río Guaymitas, y su composición es bicarbonatada sódica, mientras que la P6, mas cercana a la cordillera presenta menos cantidad de sodio, siendo bicarbonatada sódico-cálcica. En cuanto a las muestras P-26 y P28 que corresponden a manantiales de la cordillera, tan solo comentar que presentan características similares a las de la P29, con menor mineralización.

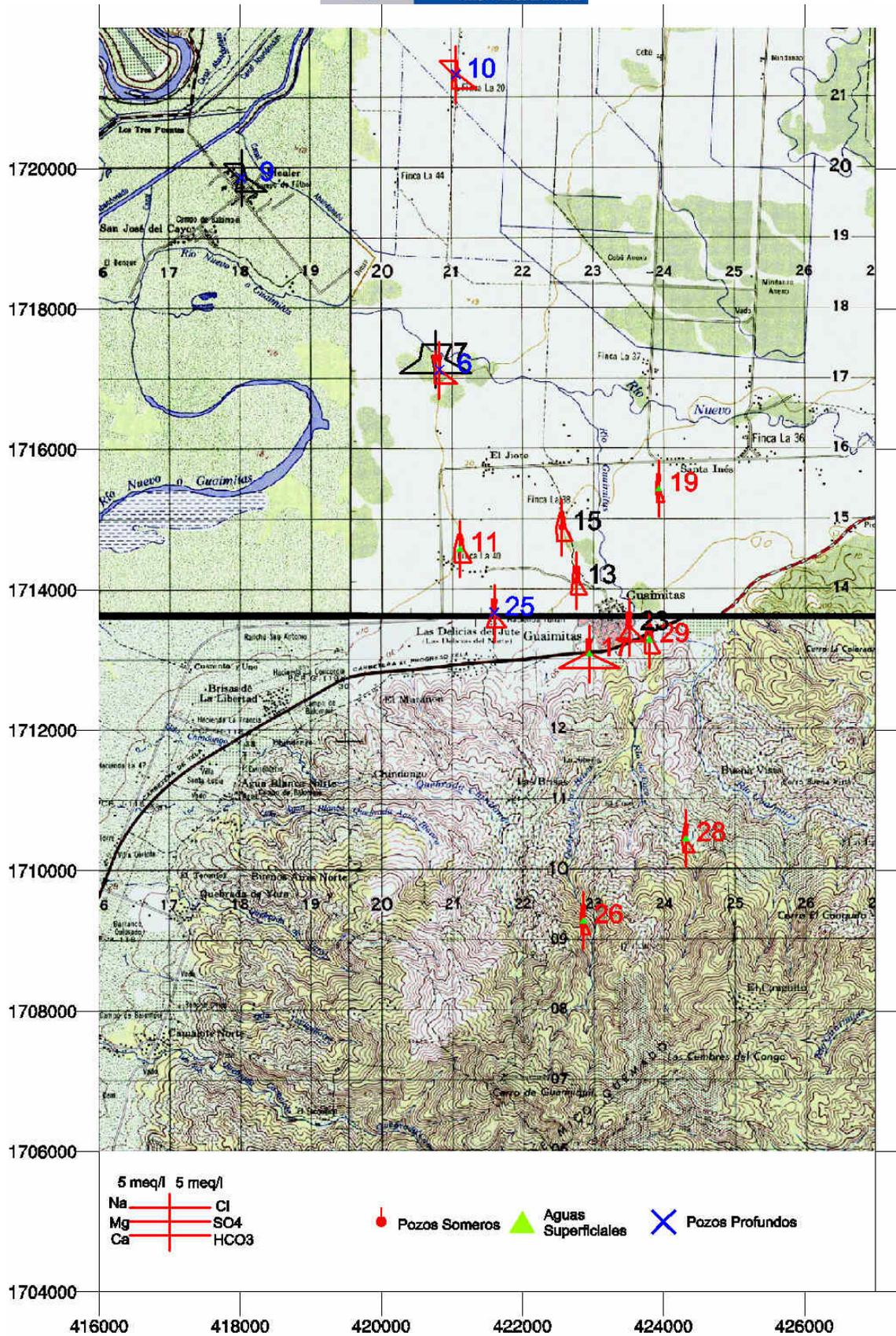


Figura 16. Diagrama de Stiff. Los puntos P7 y P9, representados en negro, corresponden a análisis de control, como se explica en el apartado 5.7.

5.3 Análisis de la temperatura

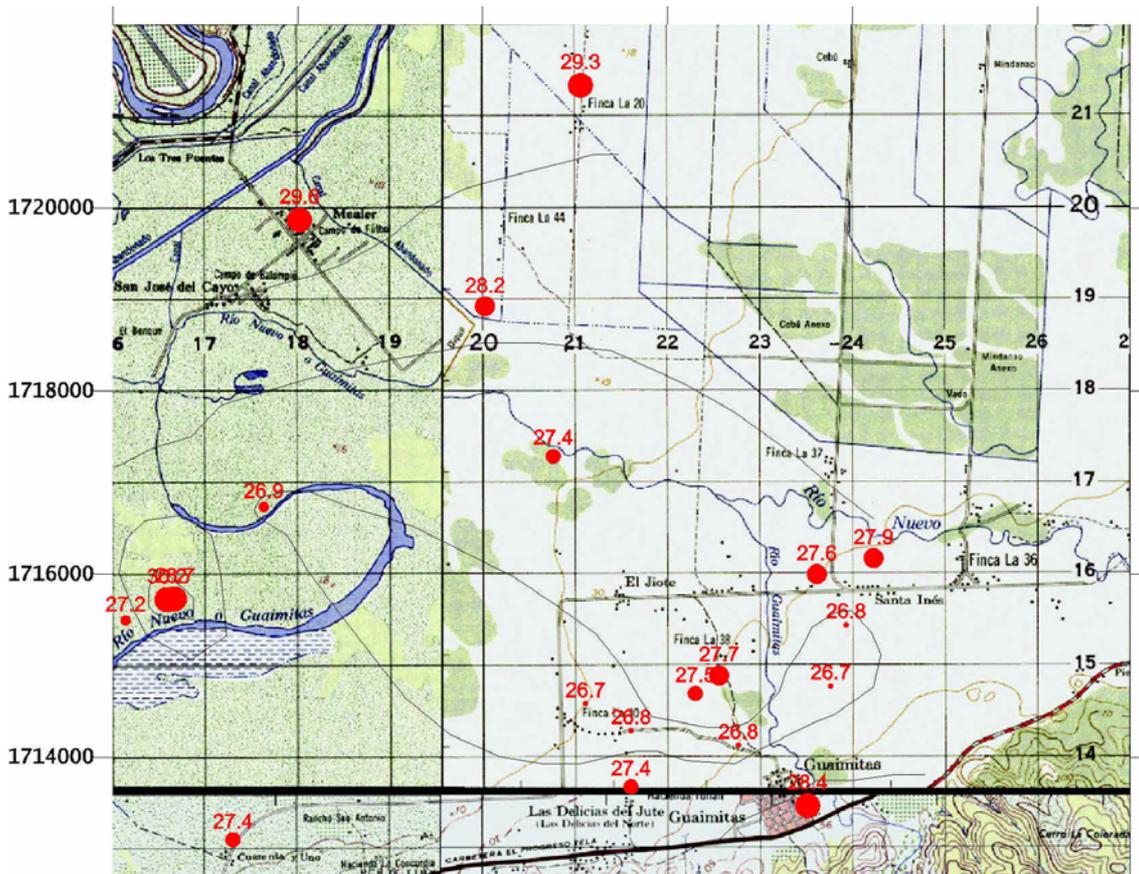


Figura 17. Temperaturas (en grados centígrados) obtenidas durante la fase de inventario y toma de muestras.

En la figura se muestran los valores de temperatura de las aguas, medidos durante las campañas de inventario y recogida de muestras. Como se puede apreciar, los valores son ligeramente altos, y se clasifican como aguas moderadamente tibias (Custodio, E.; Llamas, R., 1983). Los valores van desde 26.7° a 30°.

En general, la temperatura parece disminuir desde la zona cercana a la cordillera para luego ir aumentando hacia el norte, hacia el centro del aluvial, si bien encontramos un punto anómalo, correspondiente a los puntos P3 Y P4, con valores cercanos a 30°.

5.4 Análisis de microelementos. Arsénico y Cadmio.

Los análisis de microelementos muestran valores significativos en las concentraciones de arsénico y de cadmio, lo que demuestra que las aguas de la zona contienen un cierto “fondo” de estos elementos. Generalmente, en la naturaleza, la concentración de estos dos elementos no es apreciable, situándose alrededor de unos pocos $\mu\text{g/l}$. Sin embargo encontramos que la muestra correspondiente al río Guaymitas (P29), presenta una concentración de $1.48\mu\text{g/l}$, y valores similares presentan los puntos P19 y P11. Además, los pozos correspondientes a P23 y P10 tienen valores entre 3 y $4\mu\text{g/l}$, y aparece un valor anómalo, $76.94\mu\text{g/l}$, en el pozo P6.

El arsénico se presenta en forma natural en rocas sedimentarias y rocas volcánicas, y en aguas geotermales . El arsénico se presenta en la naturaleza con mayor frecuencia como sulfuro de arsénico y arsenopirita, que se encuentran como impurezas en los depósitos mineros, o como arsenato y arsenito en las aguas superficiales y subterráneas. El arsénico está presente en el agua por la disolución natural de minerales de depósitos geológicos, la descarga de los efluentes industriales y la sedimentación atmosférica. Suelen encontrarse los mayores niveles de arsénico en las aguas bicarbonatadas y de baja dureza, es decir con altas concentraciones de bicarbonatos y baja concentración de calcio y magnesio. Existe una fuerte correlación entre arsénico y flúor debida a las condiciones fisicoquímicas del agua que favorecen la migración de ambos compuestos.

Como se ha dicho, en el agua, las formas mas frecuentes de encontrarlo son como arsenatos As^{+5} y Arsenitos As^{+3} , aunque no son las únicas. En aguas naturales de pH 5 a 9 predominan los arsenitos, en las especies: $H_2AsO_4^-$, $HAsO_4^{2-}$, H_3AsO_3 , H_2AsO_3 . El arsenato, o arsénico pentavalente (As^{+5}) se encuentra en forma estable en aguas con altos niveles de oxígeno como H_3AsO_4 en un rango de pH de 2 a 13 .

En cuanto al Cadmio, también aparecen concentraciones significativas, siendo la mas destacada los 0.005 mg/l del pozo P6. Se puede encontrar en la naturaleza asociado a Zinc y Plomo, tiene gran tendencia a formar compuestos complejos acuosos, en los que se une de uno a cuatro ligandos. Entre dos tercios y tres cuartos del cadmio que se encuentra en los cuerpos de agua superficiales y subterráneos está adsorbido a partículas en suspensión. Por acción de los agentes formadores de complejos puede ser removido de los sedimentos y removilizado.

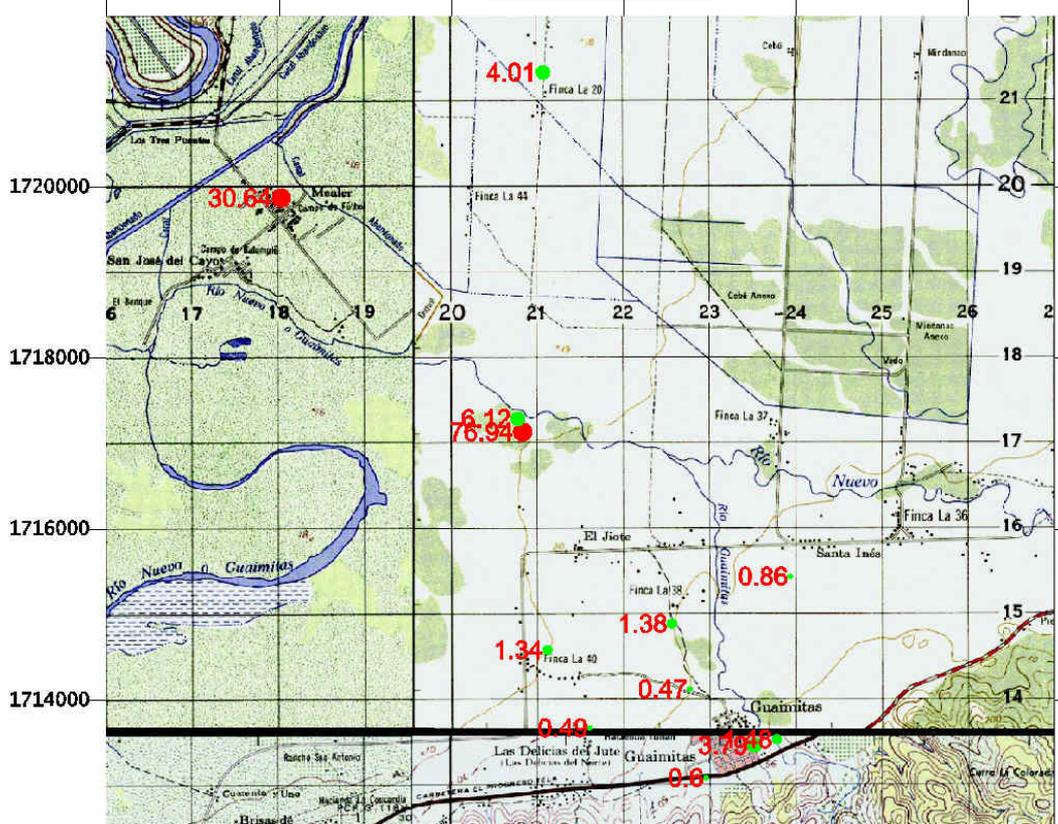


Figura 18. Resultados de los análisis de arsénico, expresados en microgramos/litro ($\mu\text{g/l}$)

5.5 Análisis de Relaciones iónicas.

Las relaciones entre los iones disueltos en un agua pueden indicar la acción de fenómenos modificadores, o el tipo de terreno del que procede el agua.

Los resultados de las principales relaciones son los siguientes

	P10	P11	P-29	P15	P17	P19	P28	P26	P6	P25	P13	P23
rNa/rK	57.50	11.64	12.65	9.99	15.47	12.97	19.02	12.90	11.21	16.58	14.81	16.51
rMg/rCa	0.71	1.08	1.04	1.08	0.09	1.15	1.37	1.51	0.84	0.30	0.70	0.28
rSO4/rCl	1.24	1.87	1.55	2.17	0.02	0.04	0.05	0.05	0.00	0.03	1.22	0.00
rCl/rHCO3	0.07	0.16	0.15	0.15	0.05	0.22	0.18	0.27	0.09	0.13	0.22	0.14
icb	-9.44	-0.06	-0.18	-0.04	-0.92	-0.22	0.16	0.27	-3.32	-0.84	-0.02	-0.13
Kr	1.51	1.05	0.98	1.00	3.81	0.48	0.74	0.52	1.45	1.28	1.04	1.71

De ellas, las que se han encontrado mas útiles son :

Índice de cambio de Bases (icb): $(\text{Cl}-(\text{Na}+\text{K}))/\text{Cl}$ (expresado en meq/l). Un aumento o disminución de esta relación indica un cambio de bases del agua, si disminuye indica un cambio en las bases de ablandamiento, y si aumenta el cambio se produce en las de endurecimiento del agua. Observamos que para la mayoría de las muestras los valores son cercanos a 0, tanto positivos como negativos, excepto en las muestras P10 y P6 donde son claramente negativos. Esto puede ser indicador de intercambio catiónico, fenómeno especialmente acusado en presencia de minerales de arcilla, que afecta principalmente a los cationes Na^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} . Consiste en que el terreno cede iones Na^+ y toma del agua iones Ca^{2+} y Mg^{2+} , como resultado el agua se ablanda y tiende a convertirse en sódica.

Relación Magnesio/Calcio (rMg^{2+}/rCa^{2+}). Es mayor que 1 en P29, P11, P15, P19, P26 y P28. Para el resto los valores, P10 y P13 presentan valores cercanos a 1, y P17, P23 y P25 muestran valores muy cercanos a 0. Generalmente los valores mayores a 1 están relacionados con terrenos ricos en silicatos magnésicos como los gabros y basaltos.

5.6 Síntesis hidrogeoquímica.

En líneas generales estas aguas presenta una mineralización media - baja, y las podemos clasificar en tres grupos.

Por un lado la P-29, correspondiente al río Guaymitas cuando deja la cordillera y entra a la zona aluvial, presenta una composición química fruto de un agua de lluvia que se infiltra por rocas ígneas básicas, o rocas metamórficas evolucionadas de las mismas como gabros, anfibolitas, serpentinitas etc. El elemento claramente indicador de este proceso es la relación Mg/Ca mayor que 1, tanto en P29 (río) como en P26 y P28 (manantiales de la cordillera), junto con bajos contenidos tanto en Cl^- como en SO_4^{2-} .

Las muestras P26 y P28 (manantiales) tienen menor cantidad de iones que la de P29 (río), siendo especialmente patente para el ión SO_4^{2-} , este hecho puede explicarse por el aumento del tiempo de contacto del agua del río respecto al agua de los manantiales, que hace que la misma pueda ir disolviendo mas sales.

Otras aguas de similar composición a la P29 son P15, P11 y P19 que corresponden a aguas de pozos someros (P15) y a surgencias (P11 y P19) dentro del aluvial cercano al río Guaymitas. Este hecho indicaría que las aguas de recarga de esta parte del acuífero son las provenientes del río, de una manera bastante directa, ya que su composición química es muy similar.

Por otro lado la P17 (manantial al pie de la cordillera) muestra una composición muy diferente, sobre todo en cuanto a cationes, ya que se clasifica como bicarbonatada cálcica de baja mineralización. Esto indicaría que los terrenos por los que se ha infiltrado el agua de lluvia corresponden a rocas calizas o mármoles. Aguas de similares características son las de P23 y P25 (pozos en el aluvial, cercanos a la cordillera) lo que indicaría que el agua de recarga para esta zona del aluvial proviene de la parte baja mas cercana de la cordillera. Comentar que la P13 presenta características de ambos tipos de agua (bicarbonatada cálcico-magnésica), lo que supone que esta situado en la zona de mezcla.

Por ultimo los puntos P6 y P10 (pozos profundos alejados de la cordillera) presentan un agua diferente a las ya comentadas, siendo bicarbonatada sódica la mas alejada (P10) y bicarbonatada sódico-cálcica la intermedia (P6). Esta composición se puede explicar como una evolución de las aguas similares a la P29 (río) al atravesar estratos ricos en arcilla, ya que se produce el fenómeno de intercambio catiónico ya explicado en el apartado 4.3.

5.7 Análisis químicos de control

Con la principal finalidad de verificar los altos contenidos de arsénico y cadmio encontrados en algunos de los pozos, así como de comprobar el modelo geoquímica establecido, se

realizaron tres nuevos análisis químicos, los resultados de los cuales se muestran en la siguiente tabla.

	P9 Aldea La Mealer	P7 La 39 Pozo excavado	P6(2) La39 Agua Pozo
Ph	6.80	6.10	6.90
CE (us/cm)	351	841	242
TSD (mg/l)	224.64	538.24	154.88
Cationes (mg/l)			
Calcio	14.79	89.55	11.15
Magnesio	5.55	24.48	7.05
Sodio	49.48	36.78	20.02
Potasio	3.03	2.02	2.82
Total Cationes	72.85	152.83	41.04
Dureza Total	104	347	95
Aniones (mg/l)			
Bicarbonatos (HCO ₃ ⁻)	195.98	275.83	134.56
Cloruros (Cl ⁻)	5.93	70.00	1.98
Sulfatos (SO ₄ ⁻)	25.40	56.14	0.39
Fluoruros (F)	--	--	--
Total Aniones	227.31	401.97	136.93
Microelementos			
Hierro (Fe) (mg/l)	0.040	0.360	0.140
Manganeso (Mn) (mg/l)	0.16	0.86	0.32
Cobre (Cu) (mg/l)	0.01	0.01	0.00
Zinc (Zn) (mg/l)	0.20	0.03	0.27
Cadmio (Cd) (mg/l)	0.001	0.000	0.001
Arsenico (As) (ug/l)	30.64	6.12	61.17

Los resultados de arsénico en el punto P6 fueron similares a los de los análisis anteriormente realizados, mientras que los realizados en el punto P7, muy cercano a P6, pero con una profundidad de menos de dos metros, muestran unos valores sensiblemente menores; el punto P9, correspondiente a un pozo profundo, también tiene valores altos.

En cuanto al resto de parámetros físico-químicos, los valores de la muestra de P6 son muy similares a los obtenidos en el anterior análisis, a pesar de que el primer análisis se realizó sobre una muestra tomada después de 20 horas de bombeo, y la del segundo se tomó después de unos 15 minutos de bombear. Los parámetros de P9 son parecidos a los de P10, y corrobora la teoría de intercambio catiónico para las aguas más alejadas de la cordillera, ya que muestra una composición bicarbonatada sódica, claramente visible en el diagrama de Stiff (figura 16). La muestra obtenida de P7 es bicarbonatada clorurada cálcica, y corresponde a un agua superficial, sin relación con el agua procedente de los acuíferos más profundos.

5.8 Potabilidad del agua

La Organización Mundial de la Salud (O.M.S. ó W.H.O. según sus siglas en inglés), diferencia en cuatro grupos de características para evaluar la potabilidad del agua:

- *Características físico - químicas.* En donde diferencia:
 - Sustancias químicas que afectan a la potabilidad del agua (sólidos totales, hierro, manganeso, cobre, calcio, cloruros, pH, etc.
 - Sustancias químicas específicas que pueden afectar a la salud (como fluoruros, nitratos, etc.)

- Sustancias tóxicas (Plomo, Arsénico, Selenio, Cromo hexavalente, Cianuro, Cadmio, Bario y Plata).
- Y como indicadores químicos de contaminación resalta la demanda química de oxígeno (DQO), la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), el nitrógeno total y otros.
- *Características bacteriológicas.* El criterio de calidad bacteriológica del agua se basa en la determinación del contenido en el agua de aquellos microorganismos que pueden afectar directamente a la salud humana, o aquellos que, por su presencia pueden señalar la posible existencia de otros que sí afecten a la salud. Para evitar la dificultad de realizar determinaciones muy exhaustivas se adoptan unos índices de calidad. En la normativa de la O.M.S. la determinación de las bacterias del grupo coliforme (grupo de bacterias muy numeroso que se encuentran en el intestino del hombre y de otros animales, así como en otras fuentes no fecales) y de estos, la bacteria *Escherichia coli* es el más significativo como patógeno accidental presente en el intestino humano. Su presencia no significa la presencia de algún otro germen patógeno, pero indica un agua en condiciones inadecuadas para el consumo. Por otra parte su ausencia no significa la no presencia de otras sustancias patógenas, pero es el indicativo de contaminación bacteriológica más comúnmente aceptado.
- *Características biológicas.* Contenido en determinados organismos de origen orgánico no vinculados con las bacterias.
- *Características radioactivas.* Para las aguas de abastecimiento público se admiten unos límites con respecto al contenido en sustancias radiactivas. A título orientativo, aquellas sustancias con emisión de radiación α son las de mayor peligrosidad.

A título orientativo, la contaminación más común de las aguas subterráneas en medios rurales es debida a la no existencia de depuración ni control de las aguas fecales humanas, aunque también pueden provenir de las explotaciones ganaderas propias de estos medios. Son responsables de la transmisión de diarreas, retortijones, nauseas, cefaleas, etc. síntomas de enfermedades relacionadas con el sistema digestivo humano. Otras enfermedades que se relacionan con las bacterias son el cólera, la fiebre tifoidea, disentería, etc. Enfermedades relacionadas con el contenido biológico de las aguas son las hepatitis y poliomielitosis (vinculadas a la existencia de virus), ascariosis (helmintos: gusanos, tenias, etc.) y ameabiosis (amebas).

Estas enfermedades de origen orgánico se relacionan con la existencia de fosas sépticas, corrales, establos, botaderos, ausencia de canales para recogida de aguas en zonas con acceso de animales o personas, áreas densamente pobladas con inexistencia de recogida apropiada de aguas negras, etc.

En cuanto a los microelementos, el Cadmio, junto al Arsénico, son los metales que presentan una mayor toxicidad y tendencia a la bioacumulación.

Arsénico. Cabe recordar que en un primer momento la OMS situó el límite máximo permitido en $50 \mu\text{g/l}$. Sin embargo algunos estudios de toxicidad del arsénico indican que muchas de las normas actuales basadas en las guías de la OMS son muy altas, y plantean la necesidad de reevaluar los valores límites basándose en estudios epidemiológicos. De hecho en estos estudios, La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de Norte América, USEPA, clasifica al arsénico como cancerígeno en el grupo A debido a la evidencia de sus efectos adversos sobre la salud y El Centro Internacional de Investigaciones sobre cáncer lo ha clasificado en el grupo I porque tienen pruebas suficientes de la carcinogenicidad para seres humanos. El grupo A y grupo 1 indican que el agente (o la mezcla) es carcinógeno para los seres humanos. Por este motivo casi todas las normativas (entre ellas la de la OMS) están tendiendo a reducir los máximos permitidos. Y ya desde 1993 el límite de la OMS es de $10 \mu\text{g/l}$, que corresponde con el de la normativa Hondureña de aguas potables. Es cierto que en ocasiones se ha considerado una sobreestimación de la problemática y se sabe, por ejemplo, que, en países de América latina, la incidencia para las mismas concentraciones de arsénico, es menor. Pero aun así, en todas las propuestas de reducción del límite máximo de arsénico permitido, los valores que se están evaluando son de 2, 5, 10 y $20 \mu\text{g/l}$. Lejos de los $50 \mu\text{g/l}$ anteriores, puesto que según los estudios, la exposición a $0,05 \text{ mg/l}$ puede causar 31,33 casos de cáncer de la piel por cada 1000 habitantes. En algunos casos puntuales donde las concentraciones de arsénico son muy altas, se están permitiendo límites transitorios de $100 \mu\text{g/l}$, que deberán rebajarse hasta $50 \mu\text{g/l}$.

Los efectos nocivos del arsénico sobre el cuerpo humano son diversos. La enfermedad que produce se denomina Hidroarsenicismo Crónico Regional Endémico (HACRE). Cuando se desarrolla se producen alteraciones de la piel (relajamiento de los capilares cutáneos y la dilatación de los mismos), con efectos secundarios en los sistemas nervioso, irritación de los órganos del aparato respiratorio, gastrointestinal, y hematopoyético y acumulación en los huesos, músculos y piel, y en menor grado en hígado y riñones. Existe evidencia epidemiológica que personas con ingestión prolongada de arsénico inorgánico, vía agua de bebida, es la hiperqueratosis palmo-plantar cuya manifestación principal es la pigmentación de la piel y callosidades localizadas en las palmas de las manos y pies.

Los síntomas clínicos tempranos de la intoxicación aguda por arsénico se manifiestan: con dolor abdominal, vómitos, diarrea, dolor muscular y debilidad con enrojecimiento de la piel. Estos síntomas son a menudo seguidos de entumecimiento y hormigueo de las extremidades, adormecimiento muscular y la aparición de erupción cutánea

Cadmio. La cantidad en agua de bebida debe ser, según la OMS inferior a 5 mcg/l ; y según la normativa hondureña menor de 0.003 mg/l . El Cd es acumulativo y altamente tóxico para los humanos y animales. El 90% del Cd ingerido se acumula en diversos tejidos en los que se asocia a los grupos -SH de las proteínas para formar el complejo "metalotioneina" siete veces más tóxico que el Cd solo. Niveles tóxicos de Cd dan origen a hipertensión y trastornos cardiovasculares, disfunciones renales, disturbios en las funciones del crecimiento, enfisema

pulmonar, rinitis, osteomalacia, afecciones cancerígenas e inhibir algunos procesos enzimáticos. Además del tracto gastrointestinal y el pulmón, es el riñón el órgano más afectado por exposición crónica al cadmio. El cadmio es una toxina de acumulación; su rápida solvólisis en ácidos débiles constituye un prerrequisito fundamental para su fácil asimilación en el organismo: en el tracto gastrointestinal se resorbe un 5% del cadmio, que se deposita en el hígado y en los riñones. En Asia, las altas concentraciones de cadmio en el arroz, son las responsables de la enfermedad "Itai-Itai" que destruye los eritrocitos y son los que producen, como señalábamos, proteinuria, rinitis, enfisema y bronquitis crónica. El cadmio y sus compuestos son carcinógenos. Un síntoma típico de intoxicación crónica es la excreción de β -microglobulina en la orina debido a la disfunción renal. También puede producir deformaciones óseas.

En general, las aguas analizadas son potables con respecto a su contenido físico - químico, excepto la del pozo P6. Esta última presenta valores de arsénico superiores a los permitidos por la normativa hondureña, y en cuanto a cadmio uno de los análisis ha dado un resultado superior al de la normativa hondureña, si bien respecto a la OMS estaría en el límite de lo permitido, mientras que en el segundo análisis los valores están por debajo de ambos límites. El pozo P9 también muestra valores altos de arsénico, por encima de los establecidos tanto en la normativa hondureña, como de la recomendada por la OMS.

Por otro lado, las muestras de agua superficial han mostrado contaminación bacteriológica, tanto total como fecal (P26, P28, P11 y P19). En cuanto a los pozos, el profundo (P10) no muestra ningún tipo de contaminación, mientras que el somero (P15) muestra contaminación por coliformes totales, pero no fecales.

6. PARAMETROS HIDRAULICOS

Para determinar las características hidráulicas del acuífero estudiado, se contaba con documentación previa al proyecto como son:

- Informe de construcción del pozo de la aldea La 29 (P10), de 1991, que incluye un ensayo de bombeo a nivel constante, realizado durante 5 horas.
- Informe de construcción del pozo de la empresa Hondupalma (P24), situado en su planta procesadora de aceite del sector de Battan, El Negrito.

Datos de caudales específicos (descenso total producido en el pozo para un caudal determinado) suministrados por constructores de pozos locales, del pozo del vivero de Guaymitas (P23), del pozo de la aldea La Mealer (P9), y de un pozo de propiedad privada (P22).

Con la intención de aumentar el nivel de conocimiento del acuífero, los técnicos de Geólogos del Mundo han realizado dos aforos a caudal constante, de 24 horas de duración cada uno, en pozos seleccionados de la zona. Uno de ellos se realizó en el pozo de abastecimiento de la aldea La 39 (P6), mientras que el otro se realizó en la Hacienda San Rafael (P25). Previamente a la realización del aforo, se procedió a la limpieza de cada uno de los pozos mediante inyección de aire comprimido (air lift). Este proceso de limpieza tiene por objeto eliminar los elementos finos de las formaciones atravesadas para mejorar la productividad del pozo. La limpieza de los pozos se estuvo realizando hasta que se observó que el agua extraída del pozo estaba limpia (entre 3 y 6 horas). La situación de todos estos puntos se muestra en la figura 19.

Para los aforos, se instaló en cada sondeo una bomba monofásica sumergible, de 5 CV de potencia, con una tubería de impulsión de 1 ¼", colocándose la bomba con una profundidad de aspiración de 33.5 metros en la aldea La 39 (P6) y de 21.3 metros en la Hacienda San Rafael (P25).

Para terminar, se realizaron otros dos aforos a caudal constante, de 5 horas cada uno, en pozos de Guaymitas, con la misma bomba utilizada normalmente en el pozo.

Durante el tiempo de duración de estos aforos, se realizan mediciones periódicas de los descensos producidos.

Hay que señalar que los aforos se han realizado durante la época húmeda, tras un periodo prolongado de lluvias.

6.1 Aforos a caudal constante

Para el cálculo de los parámetros hidrogeológicos del acuífero, a partir de aforos a caudal constante, se ha utilizado el método de aproximación logarítmica de Cooper-Jacob, derivado de la fórmula de Thiem (resolución de la ecuación general del flujo en los medios porosos para el cálculo de la superficie piezométrica en un bombeo de un pozo en un acuífero cautivo infinito) para la interpretación de datos de aforo en acuíferos cautivos. Consiste en una

aproximación a partir de la representación gráfica de los descensos, en escala aritmética y los tiempos, en escala logarítmica. La curva así representada contiene un tramo que responde al de la evolución natural de los descensos, y del que se obtiene una recta cuya pendiente, m , sirve para el cálculo de la transmisividad mediante la siguiente relación:

$$T = 0,183 \frac{Q}{m},$$

También permite calcular el coeficiente de almacenamiento mediante la siguiente relación:

$$S = \frac{2,25Tt_0}{r^2},$$

donde t_0 es un valor de tiempo que se extrapola gráficamente, si bien esta relación no se puede aplicar a los descensos producidos en el pozo de bombeo, debido a las pérdidas de carga que se tienen en el mismo.

De manera similar, también se puede obtener información de la medida de la recuperación de los niveles, tras la finalización del bombeo. Se construye una gráfica en la que se representa la relación entre el tiempo que duró el aforo y el tiempo de medición tras el cese del bombeo frente a los descensos con respecto al nivel estático inicial. Una evolución ideal de una recuperación tiende a converger con el punto descenso = 0, relación de tiempos = 1, ya que cuando t se hace muy grande, la relación de tiempos tiende a 1. De manera similar al apartado anterior, la curva así representada contiene un tramo que responde al de la evolución natural de los descensos, y del que se obtiene una recta cuya pendiente, m , sirve para el cálculo de la transmisividad mediante la misma relación:

$$T = 0,183 \frac{Q}{m},$$

A diferencia del ensayo de bombeo, la recuperación no nos permite calcular el coeficiente de almacenamiento (S), ya que t_0 es siempre igual a 1.

En el Anejo 3, al final de este informe se halla una relación con los datos de los descensos registrados durante los aforos.

6.1.1 Aforo en aldea La 39 (P6)

El aforo se inició el 4 de enero de 2005, durante 24 horas con un caudal constante de 5.4 l/s (85 GPM). Posteriormente, el cinco de enero, se midió la recuperación de los niveles durante 6 horas. El nivel estático en el momento de comenzar el bombeo se encontraba a 1.46 metros y la depresión máxima alcanzada en el bombeo fue de 18.59 metros. El pozo tiene una profundidad de 62.5 metros.

En un pozo excavado, de unos dos metros de profundidad, situado a 61 metros de distancia del pozo de bombeo, se midieron los descensos durante el bombeo, no apreciándose descenso en el mismo.

Por otro lado, el encargado del pozo, nos informó que el pozo no tenía tubería ranurada en toda su profundidad, si no únicamente en el fondo, desconociendo la medida exacta, por lo que podemos concluir que el acuífero explotado se comporta de forma confinada en el punto analizado.

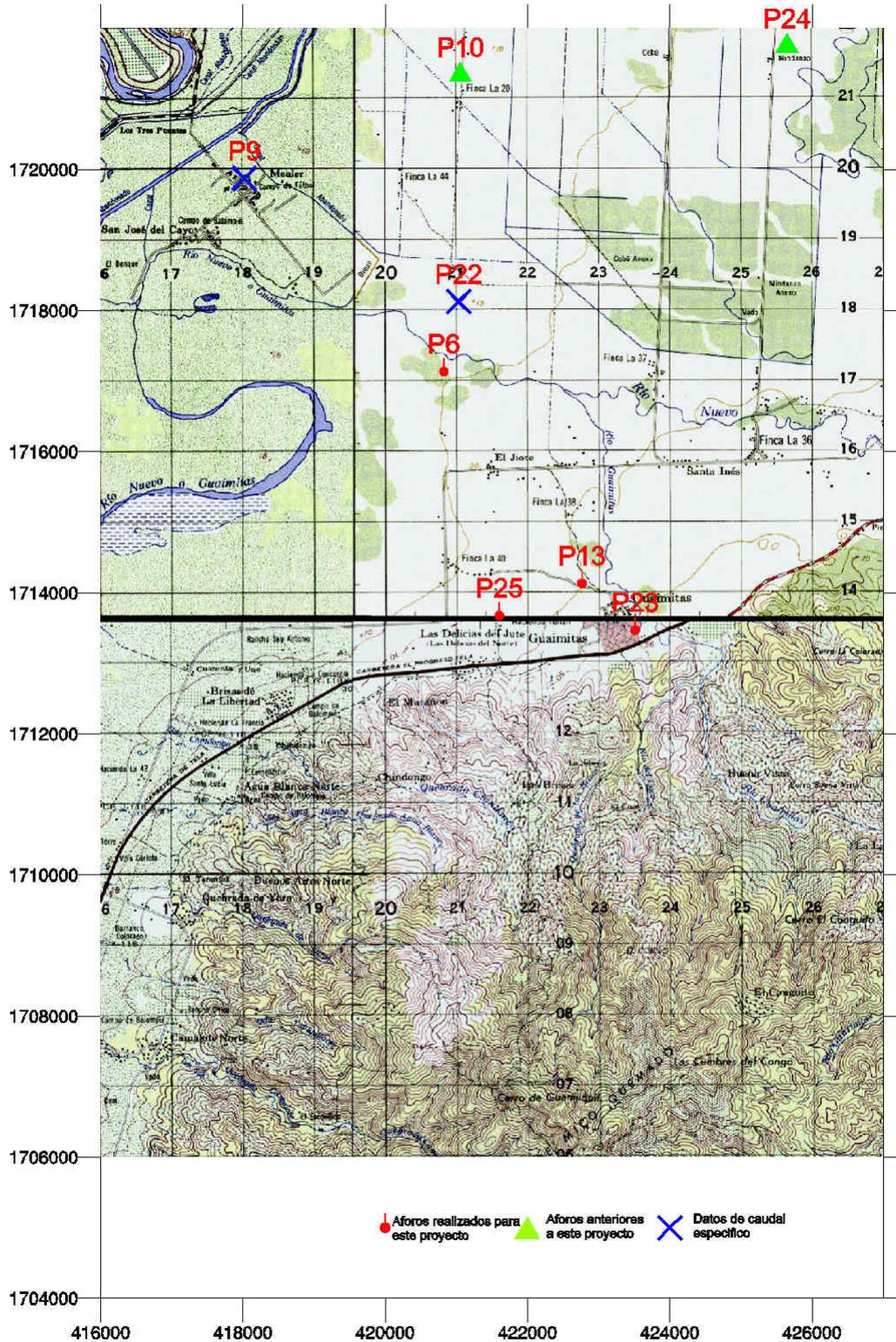
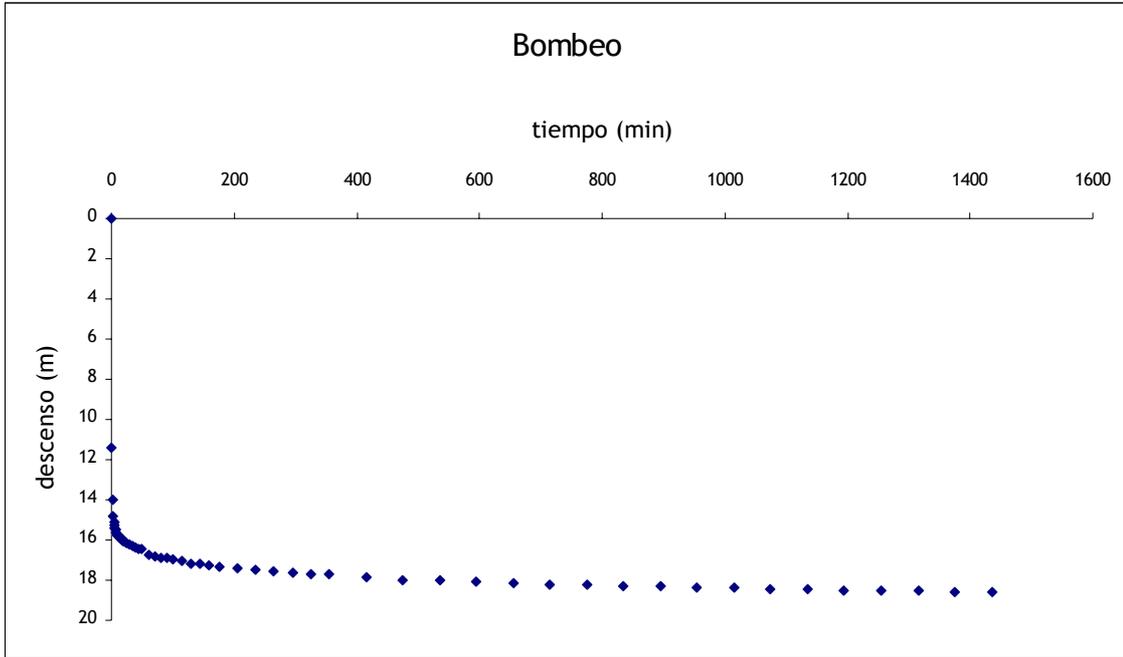


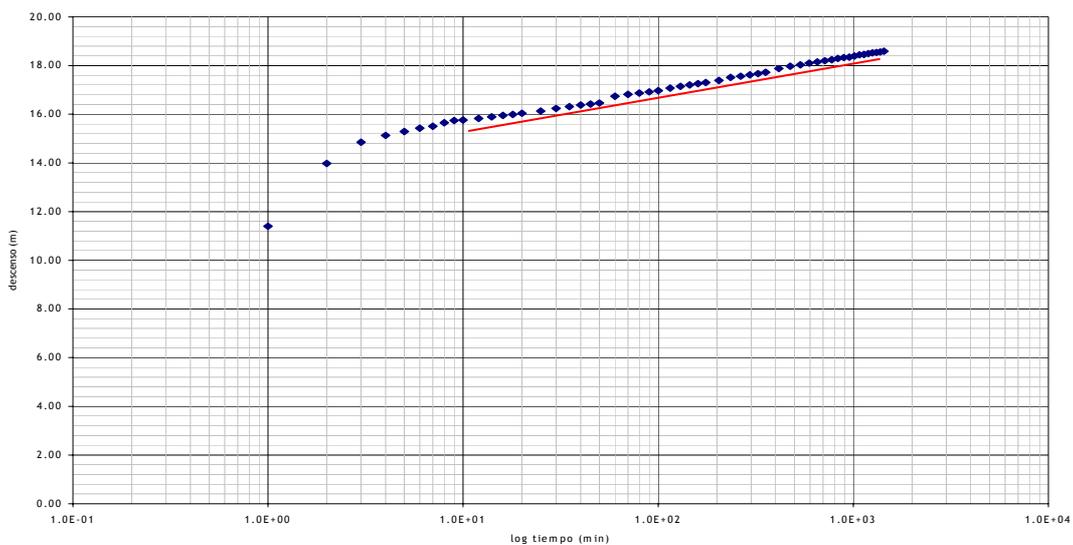
Figura 19. Situación de los puntos con datos de parámetros hidráulicos

En la gráfica 1 se han representado los descensos registrados en función del tiempo y se observa una evolución normal en el aforo. Aunque hay una tendencia a la estabilización no se aprecia que se haya alcanzado la estabilización total.



Gráfica 1

Se ha representado los datos registrados en una gráfica semilogarítmica observándose que la mayoría de los puntos se sitúan sobre una recta con una pendiente determinada, sin llegar a estabilizarse (gráfica 2). Dicha recta es la que se ha tenido en cuenta a la hora de interpretar el aforo, calculándose la transmisividad del acuífero para el tramo estable del bombeo.



Gráfica 2

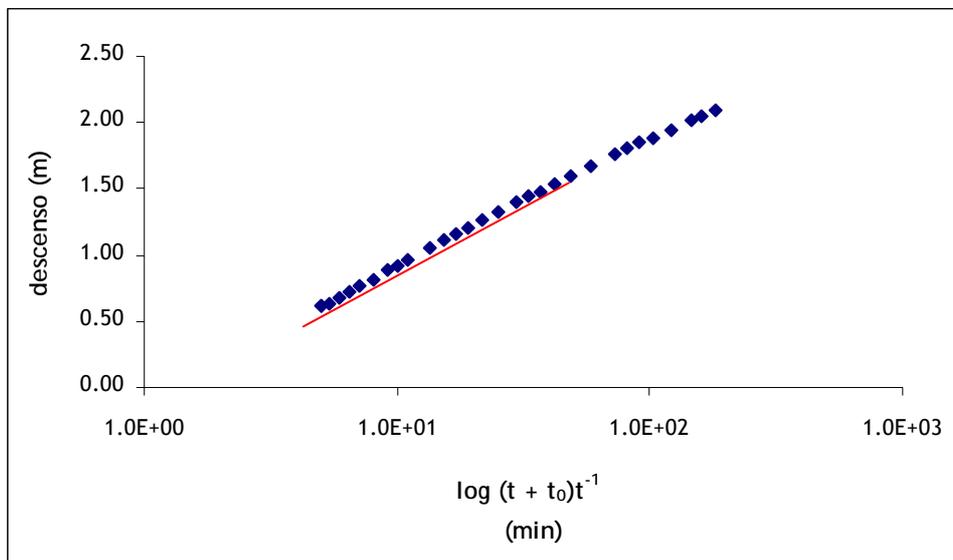


Fotografía 7. Proceso de “limpieza” del pozo P6 con aire comprimido.



Fotografía 8. Vista del “tubo Pitot”, sistema para medir el caudal en P6.

Terminado el aforo se estuvo midiendo la recuperación de los niveles en el sondeo durante seis horas. Los resultados de la recuperación se muestran en la siguiente gráfica.



Gráfica 3

Los resultados de el análisis de la gráfica 2 arrojan un valor de 1.383 para la pendiente de la recta seleccionada, lo que da un resultado de transmisividad $T = 62 \text{ m}^2/\text{día}$.

La pendiente de la recta de la gráfica 3 tiene un valor de 1.016, con lo que la transmisividad $T = 84 \text{ m}^2/\text{día}$.

Por lo tanto obtenemos un resultado de transmisividad entre 60 y $90 \text{ m}^2/\text{día}$.

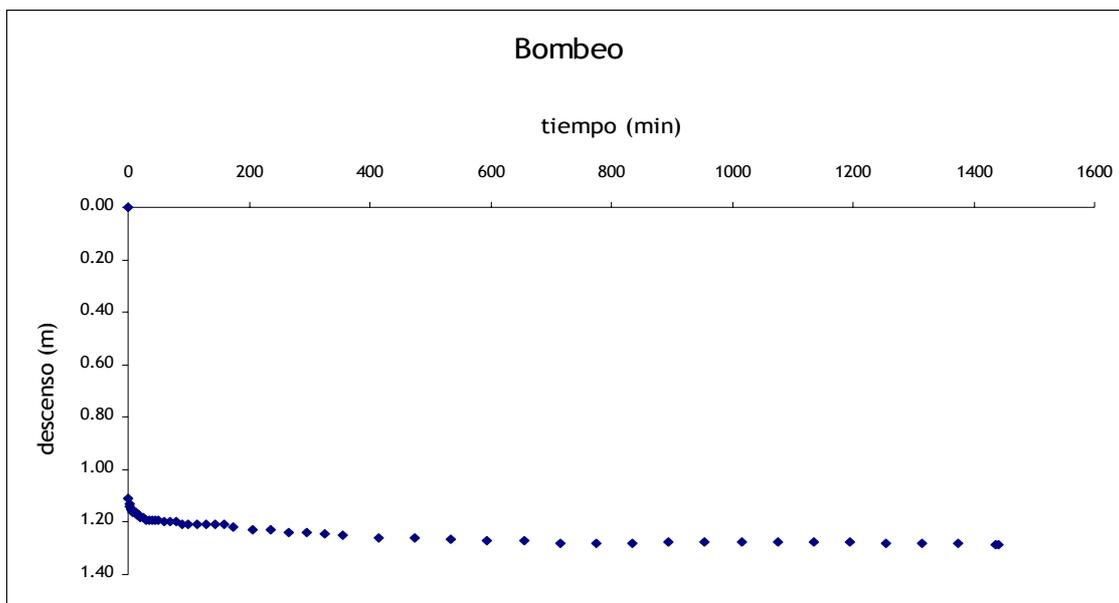
Como hemos comentado no se puede obtener el valor del coeficiente de almacenamiento, pero si consideramos el acuífero como cautivo, podemos tomar un valor de S entre 10^{-3} y 10^{-4} .

6.1.2 Aforo en la Hacienda San Rafael (Guaymitas) (P25)

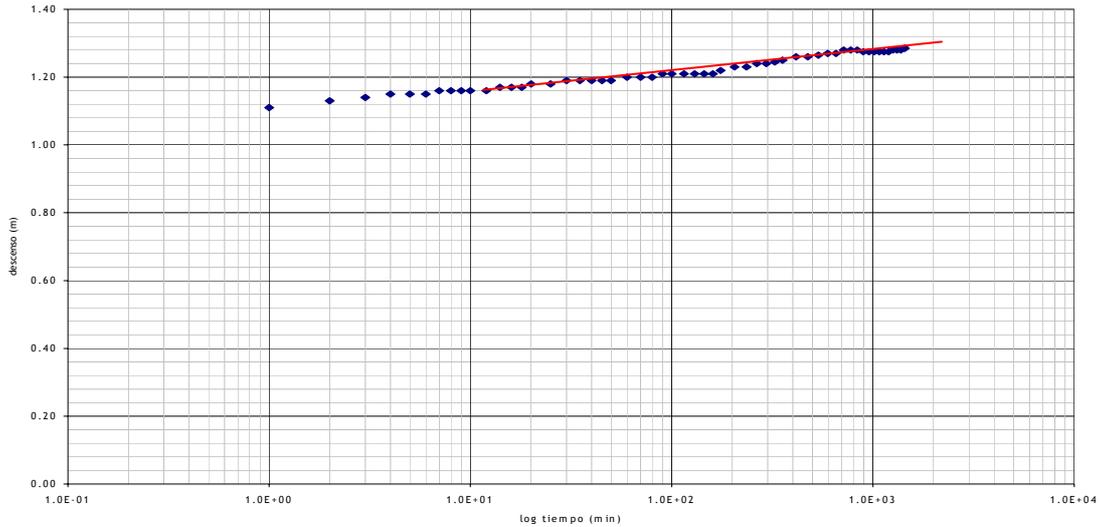
El aforo se inició el seis de enero del 2005, y se realizó durante 24 horas con un caudal constante de 6.94 l/s (110 GPM). Posteriormente, el día siete de enero, se midió la recuperación de los niveles durante 3 horas. El nivel estático en el momento de comenzar el bombeo se encontraba a 1.53 metros y la depresión máxima alcanzada en el bombeo fue de 1.29 metros.

Señalar que el pozo tiene una antigüedad de mas de veinte años, según información facilitada por el dueño, y se construyó con una profundidad de 62.5 metros, pero a la hora de hacer la limpieza pudimos constatar que la profundidad real es de solo 30 metros. Algo similar sucedió con el diámetro de entubación, ya que a pesar de ser de 6", no se pudo introducir una tubería de impulsión de 4", por lo que la tubería final fue de 2", y como consecuencia el ensayo hubo de realizarse con una bomba de pequeño caudal en relación a la capacidad del pozo, lo que provocó descensos muy pequeños en el mismo. A pesar de todos estos inconvenientes decidimos continuar adelante con el ensayo, ya que consideramos muy interesante la información que se podía obtener. Según comentarios del propietario, la entubación del pozo esta ranurada en toda su profundidad.

Al igual que en el ensayo anterior, se han representado los descensos registrados en función del tiempo (Gráfica 4), y los datos registrados en una gráfica semilogarítmica (descensos - logaritmo de tiempo) (Gráfica 5). Constatar que en este ensayo si que se llega a la estabilización, aproximadamente a las 12 horas de inicio.

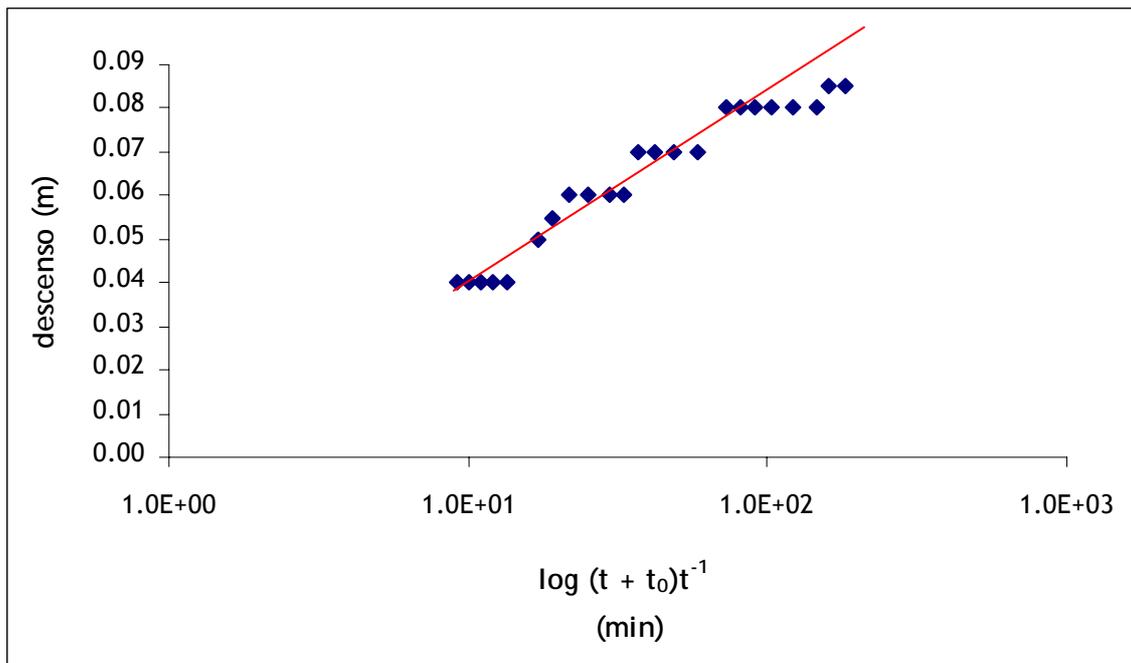


Gráfica 4



Gráfica 5

También se representaron los datos de la recuperación (gráfica 6).



Gráfica 6

La pendiente (m) de la gráfica 5 es de 0.061 y por lo tanto $T = 1790 \text{ m}^2/\text{día}$, mientras que $m = 0.043$ con resultado $T = 2540 \text{ m}^2/\text{día}$, y por lo tanto T tiene un valor entre 1800 y 2500 $\text{m}^2/\text{día}$.

Si consideramos el acuífero como libre, y la profundidad real del pozo, a partir de tablas establecidas entre permeabilidad y litología (siempre teniendo en cuenta que estos valores son puramente indicativos), obtenemos una permeabilidad del orden de 100 m/día, que correspondería a unas arenas limpias, con una porosidad eficaz del orden del 25%, que coincidiría con el coeficiente de almacenamiento del acuífero.

6.1.3 Aforo en el vivero (Guaymitas) (P23)

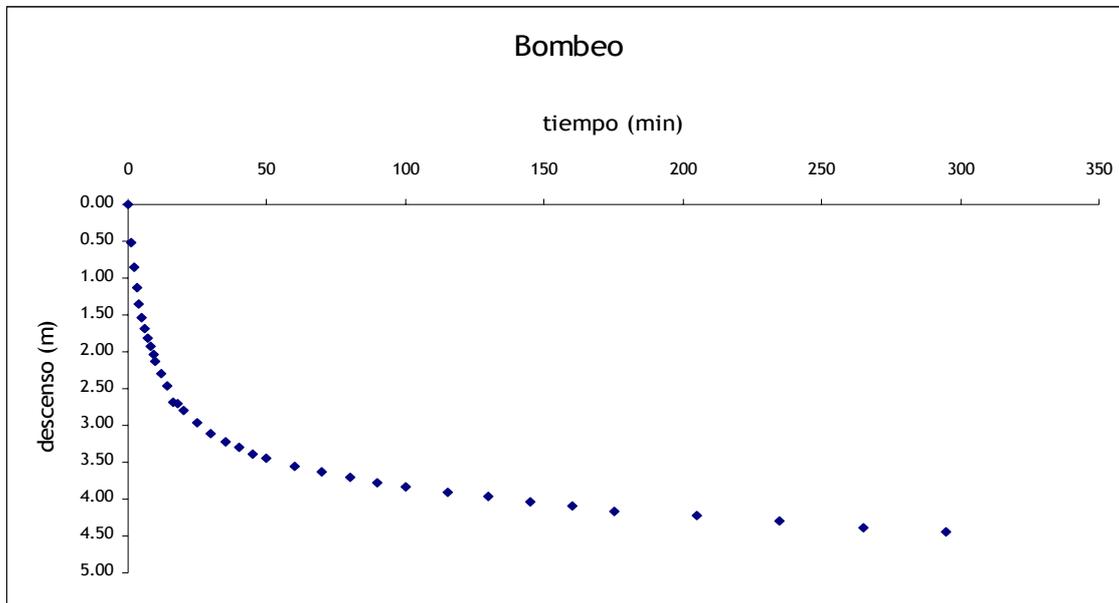
El aforo se realizó el día seis de enero de 2005, durante 5 horas con un caudal constante de 0.5 l/s (7.9 GPM). Posteriormente se midió la recuperación de los niveles durante 1 hora. El nivel estático en el momento de comenzar el bombeo se encontraba a 4.09 metros y la depresión máxima alcanzada en el bombeo fue de 4.44 metros. El aforo se realizó con una bomba eléctrica de aspiración de 1.5 HP de potencia, situada a 18.30 metros. El pozo tiene una profundidad de 39.6 metros, y según el propietario, y la tubería esta ranurada en los últimos 9.1 metros.

Durante el ensayo de bombeo se controlaron los descensos en un pozo perforado, de unos 20 metros de profundidad, abandonado, situado a 65 metros de distancia del pozo de bombeo.

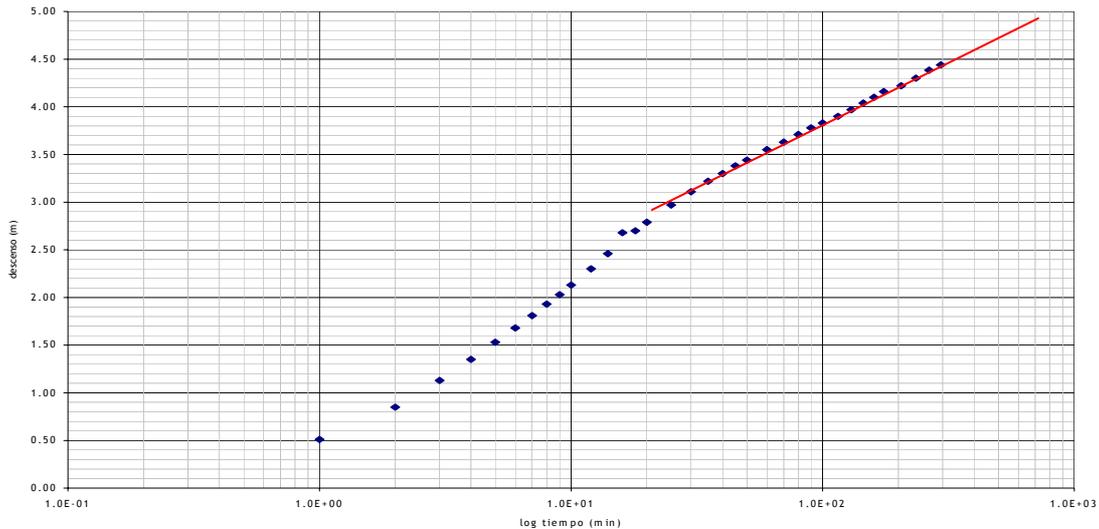
Los datos recogidos son los siguientes

t(min)	s (m)
0	0.00
30	0.00
90	0.00
255	0.015
300	0.020

Los descensos registrados en función del tiempo, en el pozo de bombeo, se muestran en la gráfica 7, y los datos registrados en una gráfica semilogarítmica (descensos - logaritmo de tiempo) en la gráfica 8.



Gráfica 7



Gráfica 8

En la gráfica 7, se observa que aunque hay una tendencia a la estabilización, no se ha llegado a alcanzar.

Este hecho queda aún mas patente en la gráfica 8, donde se observa que a partir de un cierto punto, las observaciones se sitúan a lo largo de una recta.

En cuanto a los valores de recuperación no se han tenido en cuenta, debido al corto espacio de tiempo durante el que se tomaron.

Del análisis de la recta de la gráfica 8 obtenemos que la pendiente m es 1.302 dando como resultado una transmisividad T de $6 \text{ m}^2/\text{día}$.

En cuanto al coeficiente de almacenamiento, a pesar de tener datos del piezómetro situado a 65 m, estos no son concluyentes, ya que únicamente disponemos de dos puntos, muy cercanos entre sí, lo que implica una mayor probabilidad de error en la medida. No obstante se ha intentado realizar un análisis, para obtener un resultado, cuando menos orientativo.

Trazando una recta que pase por los dos puntos medidos en el piezometro, se obtiene un tiempo t_0 de 167 minutos, que, aplicando la formula del coeficiente de almacenamiento

$$S = \frac{2,25Tt_0}{r^2},$$

nos da un valor de $S = 7 \times 10^{-4}$.

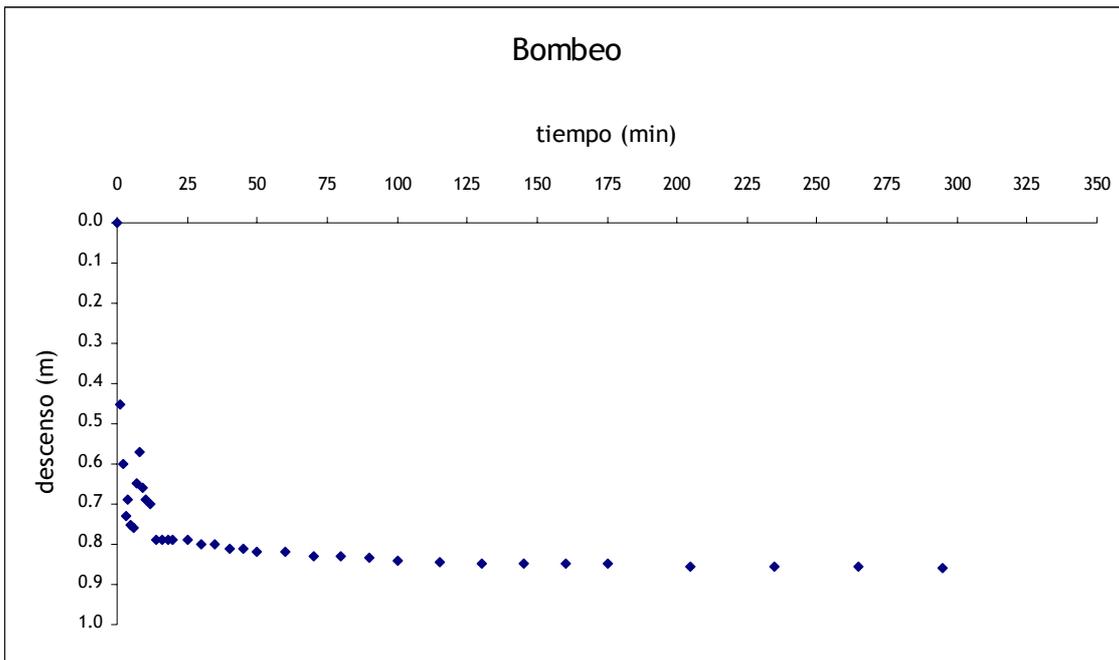
Por otro lado, podemos considerar que este t_0 no es muy real, ya que únicamente teníamos dos puntos para trazar la recta. Para intentar ser un poco mas precisos podemos extrapolar la recta obtenida del análisis de la gráfica 8, sobre uno de los dos puntos obtenidos en el piezometro, por ejemplo $t = 300$ minutos y $s = 0.02$ metros. El tiempo de corte de esta recta es $t_0 = 182$ minutos con el que se obtiene un valor de coeficiente de almacenamiento

$S = 7 \times 10^{-4}$ que sería típico de un acuífero cautivo.

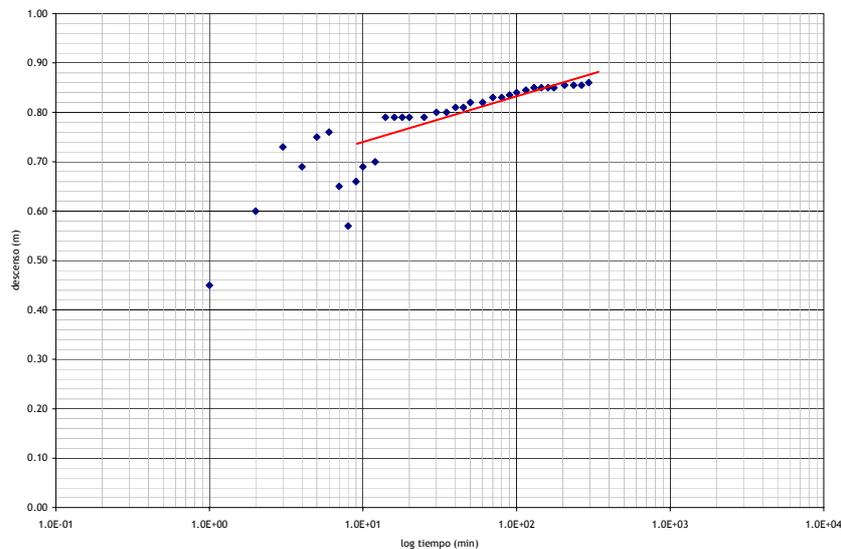
6.1.4 Aforo en la Hacienda Marlon (Guaymitas) (P13)

El aforo se realizó el día cinco de enero, durante 5 horas con un caudal constante de 0.45 l/s (7.1 GPM). Posteriormente se midió la recuperación de los niveles durante 3 horas. El nivel estático en el momento de comenzar el bombeo se encontraba a 6.90 metros y la depresión máxima alcanzada en el bombeo fue de 0.86 metros. El aforo se realizó con una bomba eléctrica de aspiración de 1hp de potencia. El pozo tiene una profundidad de 16.6 metros, y según el propietario, la tubería esta ranurada en toda su extensión.

Los descensos registrados en función del tiempo se muestran en la gráfica 9, y los datos registrados en una gráfica semilogarítmica (descensos - logaritmo de tiempo) en la gráfica 10.



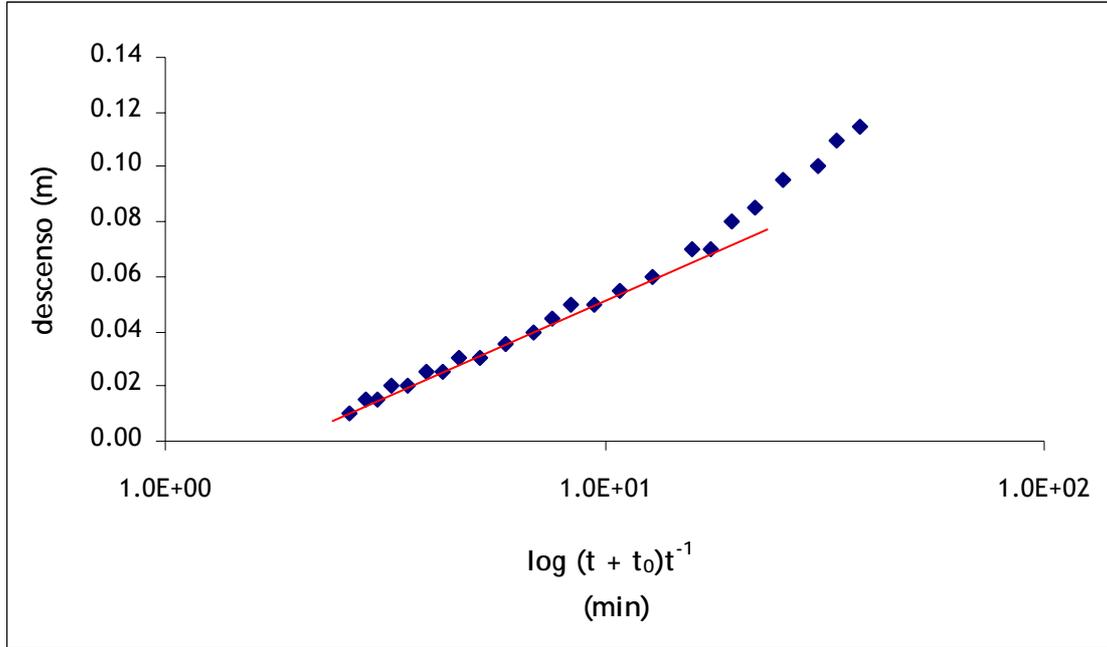
Gráfica 9



Gráfica 10

Como se puede apreciar por las graficas, hubo algunos problemas en la lectura de los primeros datos, pero a partir de los 15 minutos de bombeo la grafica muestra una evolución normal del aforo.

Los datos de la recuperación se presentan en la gráfica 11.



Gráfica 11

En cuanto a los parámetros hidrológicos, la pendiente de la recta de la gráfica 10 es $m = 0.081$ y se obtiene $T = 88 \text{ m}^2/\text{día}$. La pendiente de la recta de la gráfica 11 es $m = 0.073$ dando como resultado $T = 98 \text{ m}^2/\text{día}$ con lo que obtenemos una transmisividad de entre 90 y $100 \text{ m}^2/\text{día}$.



Fotografía 9. Manguera de desagüe en el pozo P23.

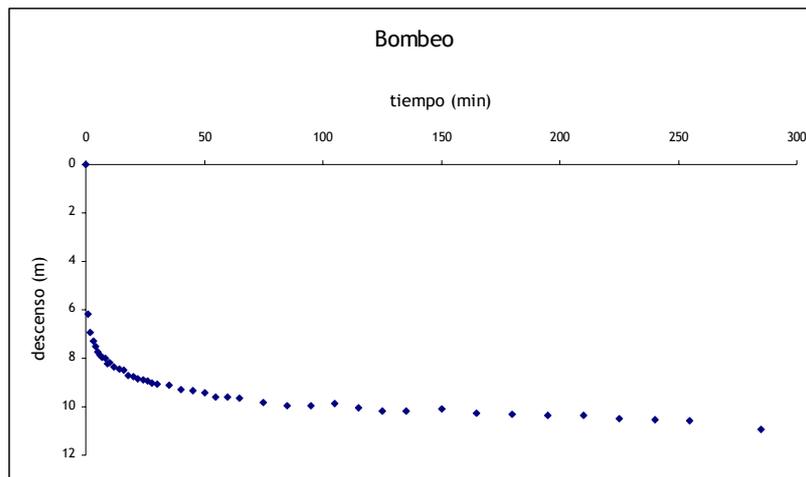


Fotografía 8. Detalle del sistema de medición en el pozo P25.

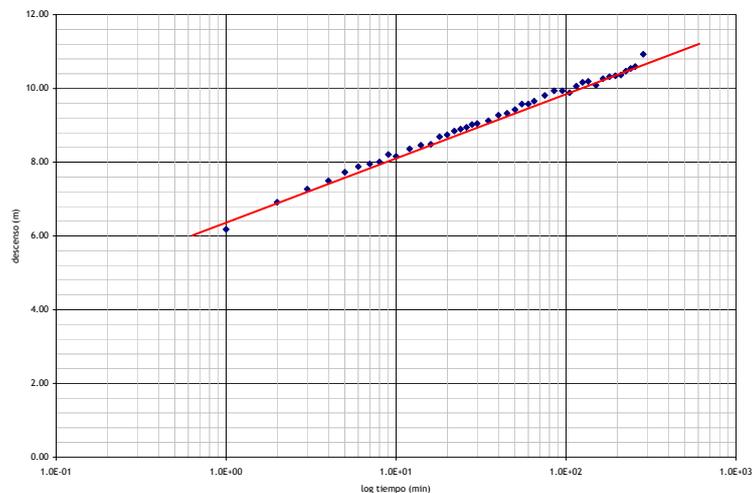
6.1.5 Aforo en aldea La 29 (P10)

Este aforo fue realizado durante la fase de construcción del pozo para abastecer la aldea La 29, en el año 1991. El pozo tiene unos 98 metros de profundidad, la rejilla ocupa unos 26 metros en total, dividida en tres tramos, situados a más de 45 metros de profundidad. El aforo se realizó, durante 5 horas con un caudal constante de 11.36 l/s (180 GPM). Posteriormente se midió la recuperación de los niveles durante 1 hora, por lo que no la vamos a tener en cuenta a la hora de calcular los parámetros hidráulicos. El nivel estático en el momento de comenzar el bombeo se encontraba a 4.56 metros y la depresión máxima alcanzada en el bombeo fue de 10.93 metros. El aforo se realizó con una bomba eléctrica situada a 22.9 metros de profundidad.

Los descensos registrados en función del tiempo, en el pozo de bombeo, se muestran en la gráfica 12, y los datos registrados en una gráfica semilogarítmica (descensos - logaritmo de tiempo) en la gráfica 13.



Gráfica 12



Gráfica 13

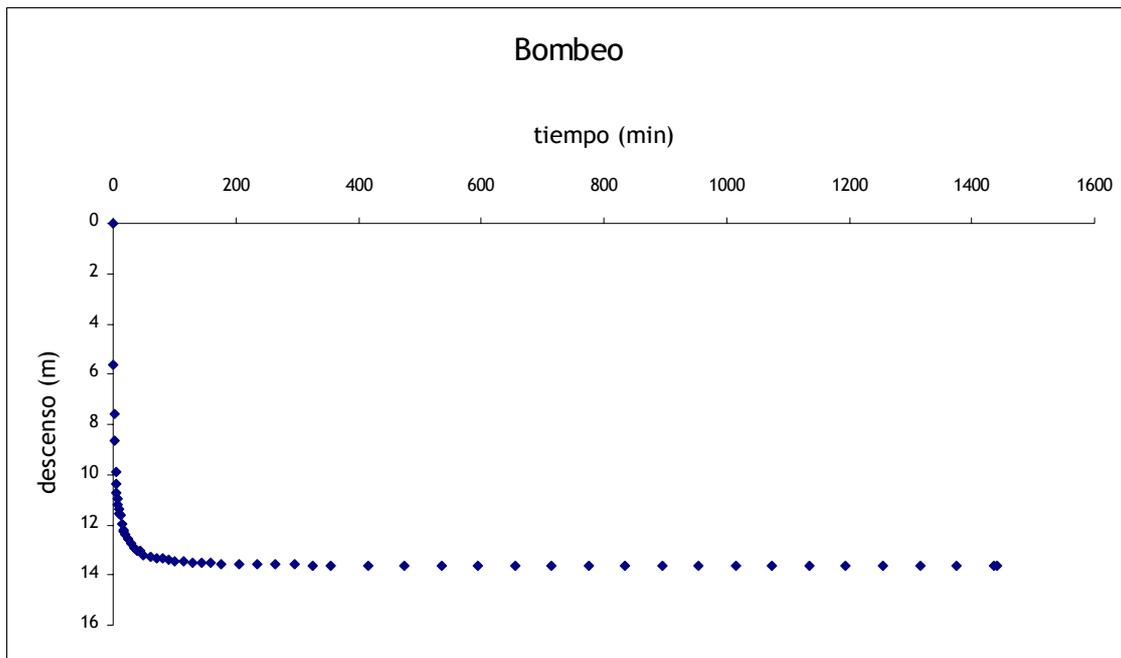
Se puede apreciar que no se llegó a alcanzar la estabilización.

La pendiente m de la gráfica 13 es igual a 1.703, obteniéndose una transmisividad $T = 107 \text{ m}^2/\text{día}$.

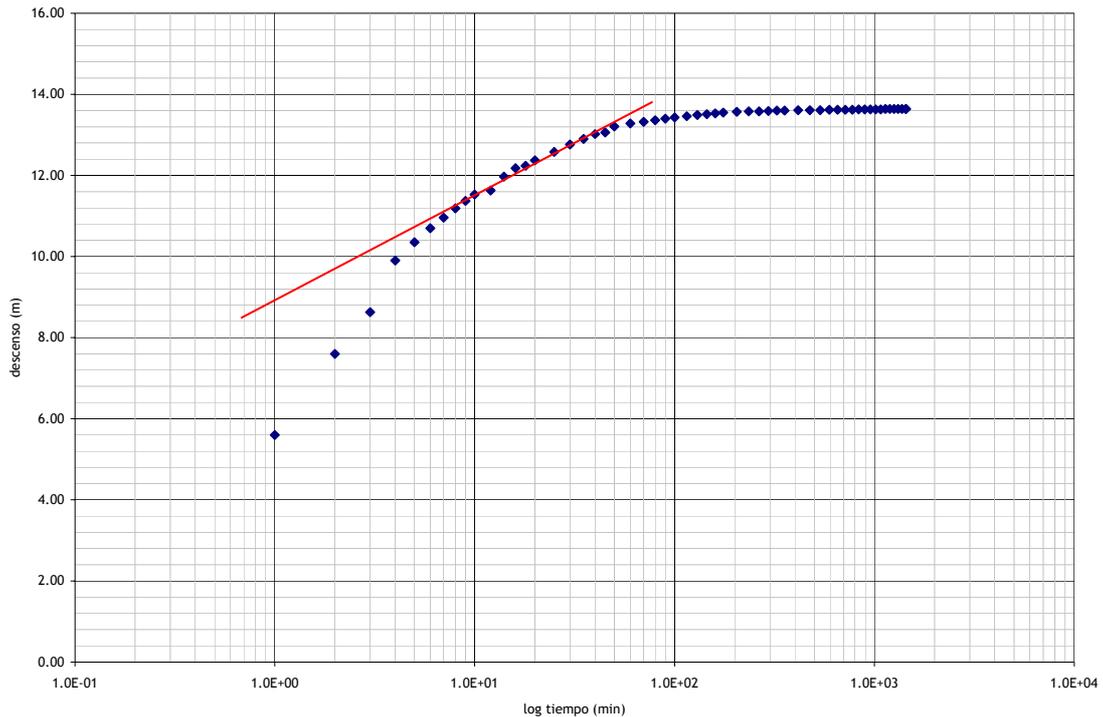
6.1.6 Aforo en Planta de procesado de Hondupalma (sector Battán)(P24)

Este aforo fue realizado durante la fase de construcción del pozo para abastecer la planta procesadora de aceite de la empresa Hondupalma, en marzo de 2004. El pozo tiene unos 76 metros de profundidad, la rejilla ocupa unos 47 metros en total, dividida en tres tramos, situados a mas de 17 metros de profundidad. El aforo se realizó, durante 24 horas con un caudal constante de 26 l/s (450 GPM). Posteriormente se midió la recuperación de los niveles durante 12 minutos, por lo que no la vamos a tener en cuenta a la hora de calcular los parámetros hidráulicos. El nivel estático en el momento de comenzar el bombeo se encontraba a -0.2 metros y la depresión máxima alcanzada en el bombeo fue de 14.4 metros. El aforo se realizó con una bomba eléctrica situada a 36.6 metros de profundidad.

Los descensos registrados en función del tiempo, en el pozo de bombeo, se muestran en la gráfica 14, y los datos registrados en una gráfica semilogarítmica (descensos - logaritmo de tiempo) en la gráfica 15.



Gráfica 13



Gráfica 15

Como se puede observar, en este caso si que se ha llegado a la curva de estabilización.

La pendiente de la recta dibujada en la gráfica 15 es $m = 2.494$, dando como resultado una transmisividad $T = 168 \text{ m}^2/\text{día}$.

6.3 Datos de caudal específico.

El caudal específico de un pozo o sondeo es la relación entre el caudal de extracción y el descenso de los niveles piezométricos en el mismo. Esta relación nos da un valor aproximado de la Transmisividad, basándose en la fórmula de Thiem.

$$T = \frac{\ln \frac{R}{r_p}}{2\pi} \times \frac{Q}{s_p}$$

de donde el caudal específico q , es igual a

$q = \frac{Q}{s_p}$, siendo el otro factor un valor que se encuentra siempre entre 1 y 1.4, y por tanto

$$T \approx q = \frac{Q}{s_p}$$

Para nuestra aproximación utilizamos la fórmula de Galofré en detrimento de otras fórmulas de uso corriente como la fórmula de Logan, etc. Esta fórmula es:

$$T(\text{m}^2/\text{día}) = 100 \frac{Q(\text{l}/\text{seg})}{s_p(\text{m})};$$

Por lo tanto, a partir de los datos suministrados por personas ajenas al proyecto, sobre caudales específicos medidos, podemos obtener valores aproximados de transmisividad.

Pozo	Nivel Estático (m)	Nivel Dinámico (m)	Descenso (m)	Caudal (l/s)	Transmisividad
Andres Velasquez (P22)	3.05	15.85	12.80	8.2	64
La Mealer (P9)	3.05	17.07	14.02	5.7	41
Vivero Guaymitas (P23)	11.28	21.95	10.67	3.8	36

6.4 Síntesis de resultados.

En la siguiente tabla se intenta resumir todos los parámetros hidráulicos medidos y deducidos

POZO	PROFUNDIDAD m	LONGITUD DE REJILLA (m)	T m ² /d (calculada)	K m/d (estimada)	S (estimado)
P6	62.5	10	90	9	10 ⁻³ a 10 ⁻⁴
P25	30	25	2000	100	25
P23	40	13	10	1	10 ⁻³ a 10 ⁻⁴
P13	17	15	100	7	10 ⁻³ a 10 ⁻⁴
P29	98	26	110	4	10 ⁻³ a 10 ⁻⁴
P24	76	47	170	4	10 ⁻³ a 10 ⁻⁴
P22	37	12	60	5	10 ⁻³ a 10 ⁻⁴
P9	64	-	40	-	10 ⁻³ a 10 ⁻⁴

Como se puede observar los valores obtenidos son bastante similares, a excepción del pozo P25, que destaca por tener transmisividades ($\approx 2000 \text{ m}^2/\text{día}$) y permeabilidades ($\approx 100 \text{ m}/\text{día}$) altas, y del P23 por lo contrario, valores bajos de transmisividad ($\approx 10 \text{ m}^2/\text{día}$) y permeabilidad ($\approx 1 \text{ m}/\text{día}$). Los valores bajos del P23, podrían ser debidos a que el pozo perfora materiales menos permeables, agravado por la cercanía a los materiales del zócalo, que pueden actuar como una barrera impermeable. En cuanto al P25, la alta transmisividad podría deberse a que el pozo esté situado en una zona con arenas más gruesas, ligadas de alguna manera con tectónica reciente.

El resto de puntos analizados se mueve entre valores cercanos a $100 \text{ m}^2/\text{día}$ de transmisividad y entre 5 y 9 m/día de permeabilidad, que indicaría que están explotando niveles con similares características litológicas, si bien hay que tener en cuenta las diferentes profundidades de los niveles explotados.

7. CAMPAÑA DE INVESTIGACIÓN GEOFÍSICA

7.1 Introducción

Con el fin de determinar las características geológicas, hidrogeológicas y morfológicas de la zona aluvial, así como realizar un estudio en profundidad del mismo que nos facilitara la identificación de las distintas geometrías y características físicas de los acuíferos que lo componen, se planificó el diseño de una campaña de investigación geofísica.

Para la realización de dicha campaña se decidió optar por aplicar el Método de Resistividades Eléctricas, en su variedad de Sondeos Eléctricos Verticales (SEVs), cuyo procedimiento se explica detalladamente en el Anejo 4.

Para esta campaña se identificaron 17 perfiles preferenciales a realizar, distribuyéndolos de la manera más homogénea posible a lo largo del valle, y con una mayor concentración de puntos en lo que es nuestra zona de mayor interés en este estudio, Guaymitas. La distribución de los SEVs se ha realizado desde prácticamente en contacto entre el aluvial y la Cordillera del Mico Quemado hacia la abertura del valle. La orientación de los mismos ha sido N-S y E-O, con el fin de trazar una malla que nos facilitara la identificación de la geometría de los acuíferos. Se han aprovechado la existencia de caminos rectilíneos para facilitar la apertura de las alas del equipo geofísico hasta lograr una extensión correcta de las mismas. La distribución de los SEVs, así como el trazado de los mismos puede observarse en la figura 19

7.2 Realización de la campaña.

La campaña se realizó en la tercera semana de Enero, más concretamente a partir del 17 de enero, y tuvo una duración de 5 días, concluyendo en 21 de enero. Para la realización e interpretación de los SEV se contó con la colaboración del Licenciado Jorge García Pérez, Geólogo Colegiado nº 2,662, que como resultado de su trabajo presentó un informe a partir del cual se ha realizado una síntesis e interpretación de la información aportada en él.

En los SEVs realizados la longitud de ala (extensión máxima de cada uno de los electrodos de corriente) ha sido de 370 metros, exceptuando los SEVs 6, 7 y 8 donde la apertura ha sido de 310 metros y en el SEVs 9 de 250 metros por falta de espacio. La intención era lograr la mayor extensión de apertura posible, ya que a mayor apertura mayor, mayor profundidad de investigación. Los SEVs se han distribuido con direcciones rectilíneas para facilitar la correlación de los resultados obtenidos en cada uno, de forma que sea posible trazar perfiles litoeléctricos entre ellos. Esto nos permitiría obtener un modelo de distribución de las distintas capas litológicas del subsuelo, pudiendo de esta forma delimitar aquellas formaciones o estratos que potencialmente tienen unas propiedades favorables para la conformación de un acuífero, y diferenciarlas de las restantes formaciones o capas que no presentan estas características y funcionarían como acuitardos o como niveles impermeables.



Fotografía 8. Localización del SEV 2.



Fotografía 9. Localización del SEV 4.



Fotografía 10. Detalle del equipo utilizado.

7.3 Interpretación.

Para cada uno de los SEVs realizados se ha obtenido un modelo de distribución de capas, o columna geoelectrica, equivalente a una columna estratigráfica. A partir de todas estas columnas se han podido realizar diferentes perfiles que muestren la distribución de las capas a lo largo de toda la zona. La distribución de los perfiles se muestra en la figura 19.

A partir del análisis de toda esta información podemos deducir que la distribución litológica de los materiales del acuífero, es la que se muestra en la siguiente tabla:

PROFUNDIDAD	LITOLOGÍA	RESISTIVIDAD
0 a 12 metros	Limos o arenas con algo de arcilla.	90 - 1150 $\Omega \cdot m$
12 a 120 metros	Alternancia de niveles de arcillas arenosas o arenas arcillosas, con porciones de arcilla y arena variables tanto lateralmente como en profundidad.	8 $\Omega \cdot m$ niveles arcillosos 40 $\Omega \cdot m$ capas con mayor contenido arenoso. 80 - 100 $\Omega \cdot m$ niveles arenosos
120 metros >	Gravas o substrato cristalino alterado	195 - 800 $\Omega \cdot m$

Las zonas más resistivas, en principio, son las más favorables para ser explotadas, ya que corresponden con materiales más arenosos. En el presente caso las zonas más favorables son las capas arenosas de 80 - 100 $\Omega \cdot m$, que aparecen a una profundidad mínima entre 10 - 15 m, y que, en algunas zonas, llegan hasta más de 120 m.

Por otro lado la capa altamente resistiva que aparece en profundidad, podría ser un buen nivel de explotación, pero no sabemos si corresponde al zócalo del aluvial, o a un depósito de gravas.

En las páginas siguientes se muestran los perfiles obtenidos

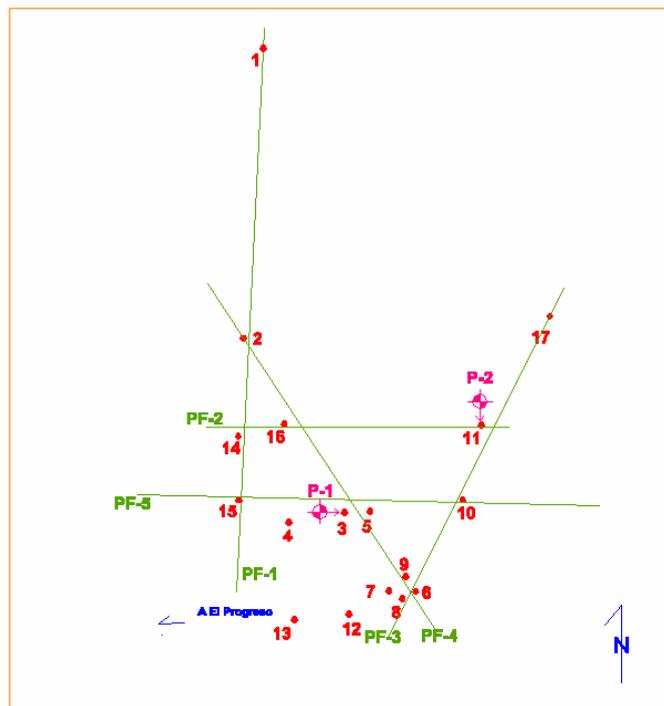
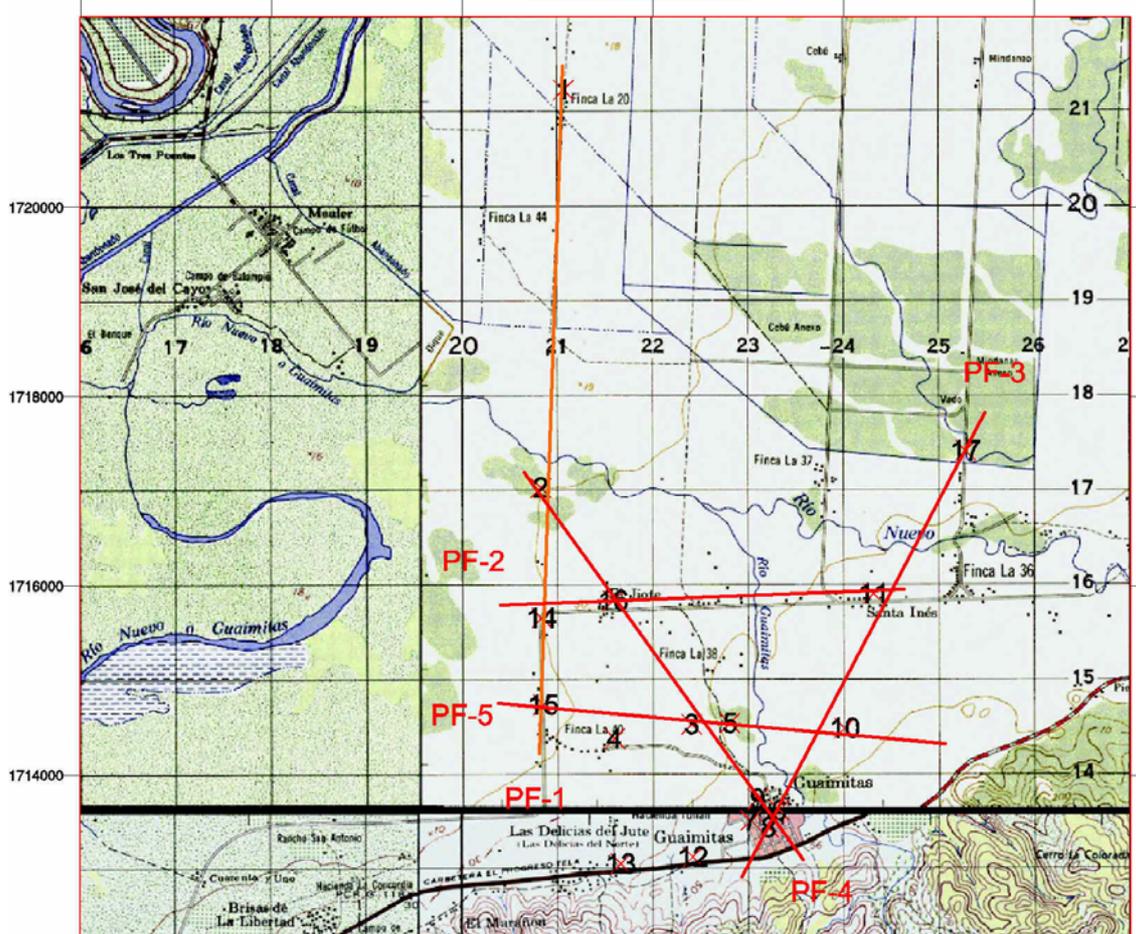


Figura 19. Mapa y esquema de la localización de los diferentes SEV's y perfiles realizados.

Figura 20. Perfil PF-1

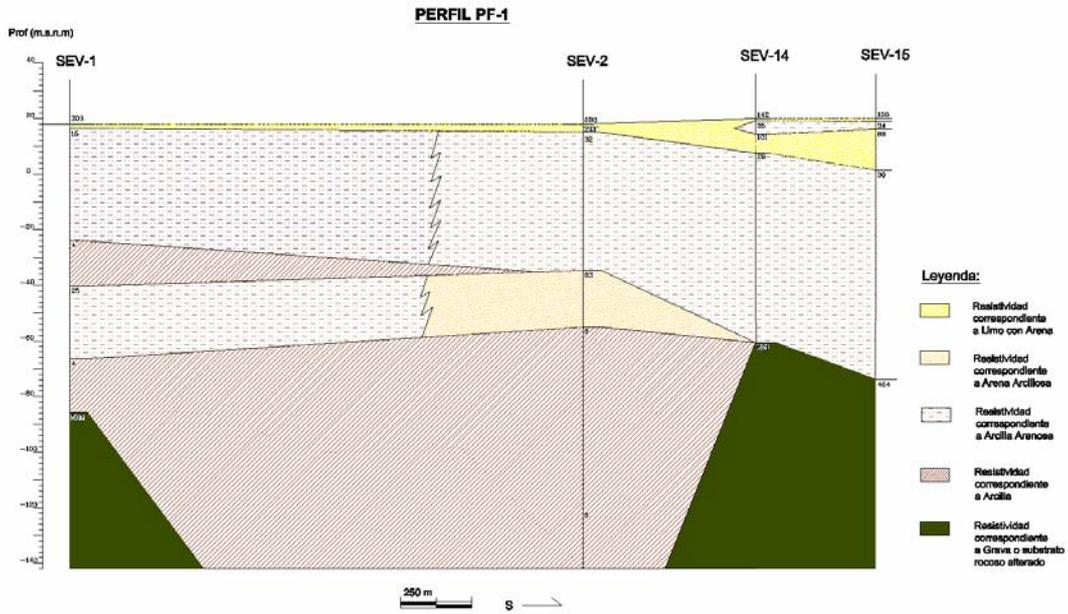


Figura 21. Perfil PF-2

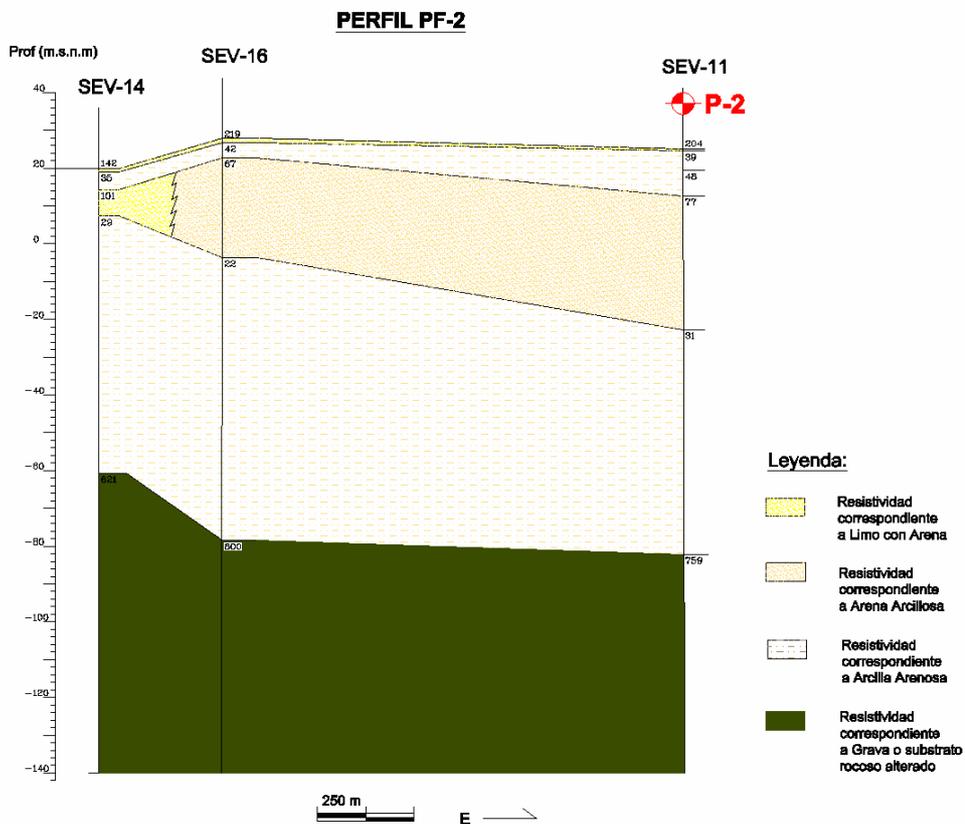


Figura 22. Perfil PF-3

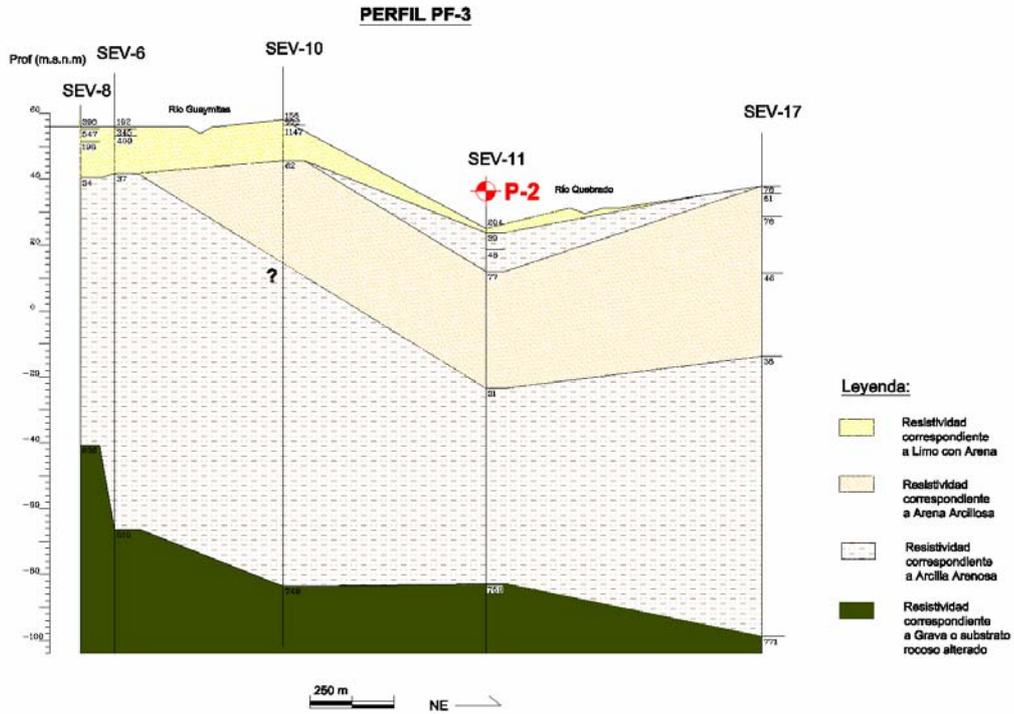


Figura 23. Perfil PF-4

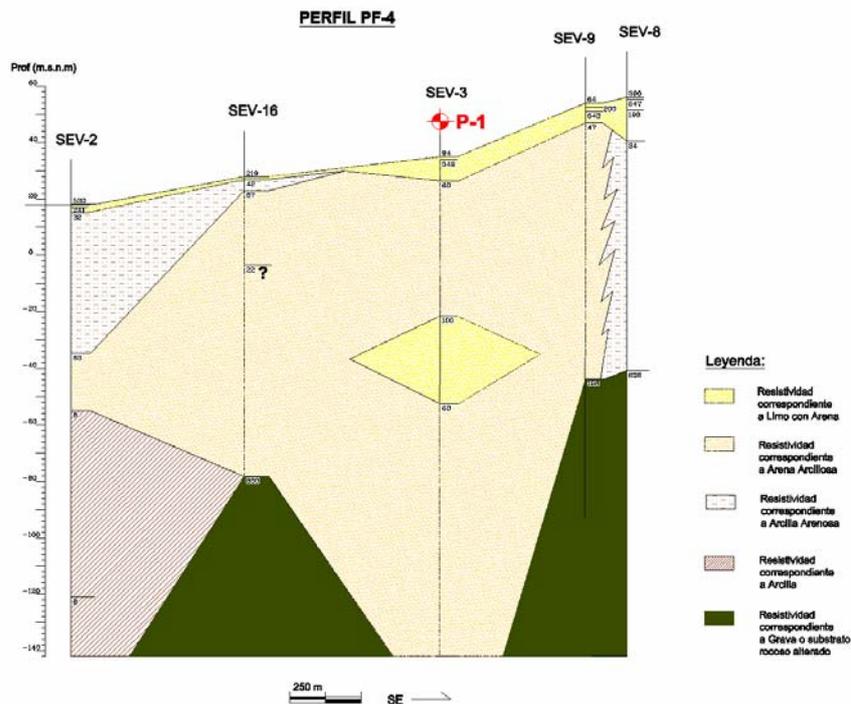
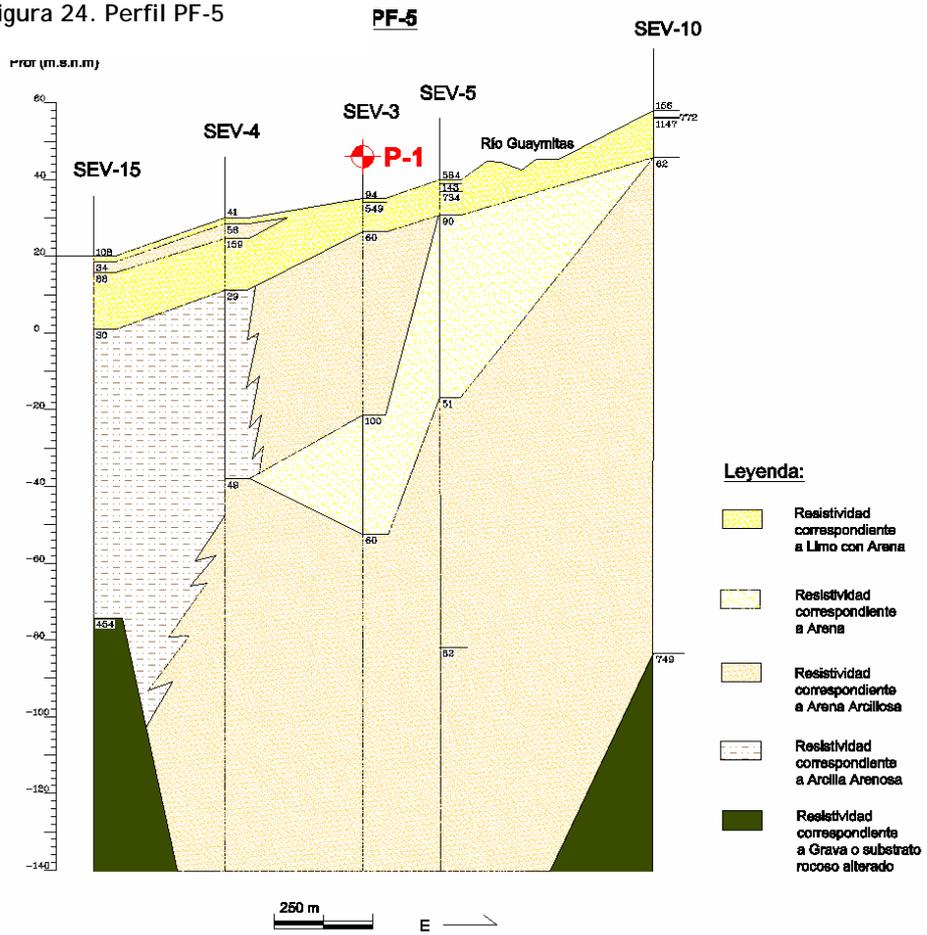


Figura 24. Perfil PF-5



8. CONCLUSIONES

- El acuífero aluvial del Valle de Sula, y más concretamente la zona correspondiente a la aldea de Guaymitas y alrededores, consta de materiales granulares de grano fino a medio, dispuesto en capas centimétricas con diferentes composiciones de arena, limo y arcilla, con pocas gravas. Este tipo de litología configura un acuífero de tipo aluvial, multicapa, de porosidad intergranular.
- La disposición de los materiales provoca que existan capas de alta permeabilidad rodeadas por otras capas de baja permeabilidad, y por tanto se comporten como acuíferos confinados o semiconfinados.
- El río Ulúa, curso de agua principal de la zona, circula canalizado, con diques antropicos de varios metros de altura respecto a la llanura de inundación, por lo que probablemente actúa como un río colgado sobre el resto del acuífero, con poca o ninguna influencia sobre el mismo, excepto en épocas de crecidas y desbordamiento.
- El agua que recarga el acuífero proviene, fundamentalmente, de la adyacente Cordillera de Mico Quemado, y en parte de la propia lluvia que cae sobre la zona.
- La composición química del agua al llegar a la zona aluvial desde la cordillera, depende de los materiales que haya atravesado en su recorrido. Se han encontrado dos tipologías diferentes:
 - *Aguas bicarbonatadas cálcicas*, producto de la infiltración por los materiales calizos de la formación Valle de Ángeles, presentes en la vertiente norte de la Cordillera, que limita con la llanura aluvial.
 - *Aguas bicarbonatadas magnésico cálcicas*, fruto de la infiltración por las rocas metamórficas de los esquistos Cacaguapa, que forman la mayor parte de la Cordillera.
- Una vez en el aluvial, esta agua evolucionan a *aguas bicarbonatadas sódicas*, producto del intercambio catiónico que se produce entre el agua y los minerales de las arcillas presentes en el acuífero. Esto sería correcto para las aguas subterráneas pero no para las superficiales, ya que se ha podido comprobar que en la zona alejada de la cordillera, la composición de las aguas superficiales es diferente de la de las aguas profundas (puntos P6 y P7) lo que avalaría la hipótesis de un acuífero confinado, más o menos independiente de las aguas superficiales.
- En cuanto a los microelementos se han encontrado cantidades significativas tanto de arsénico como de Cadmio, por lo que se puede decir que existe un “fondo” de estos elementos en la zona, si bien en dos de los puntos analizados (P6 y P9) la cantidad encontrada de arsénico supera los 10 µg/l. Estos dos puntos corresponden a pozos de profundidades entre 60 y 70 metros, mientras que análisis realizados de aguas superficiales de los mismos puntos (P7) muestran valores mucho menores, de lo que se concluye que la concentración de arsénico es mayor en profundidad. El origen de este

arsénico no está definido, pero podría ser debido a la disolución de minerales del zócalo metamórfico, y posterior acumulación en zonas bajas de la cuenca.

- La piezometría se ha realizado a partir de todos los datos obtenidos, a pesar del hecho que existen niveles no conectados entre sí, ya que, a la escala a la que estamos trabajando, no se han apreciado variaciones excesivas.
- Las isopiezas resultantes son bastante paralelas entre sí. El flujo muestra una dirección preferencial SE-NO, mas o menos perpendicular a la dirección principal del río Ulúa, que correspondería con una zona de mayor transmisividad.
- Las isopiezas muestran una disminución del gradiente hacia el centro del aluvial, y coinciden aproximadamente con las curvas de nivel topográfico.
- El análisis de la temperatura muestra una ligera disminución de la misma en una zona que coincide con la definida por la piezometría como de mayor transmisividad, este hecho podría ser debido a una rápida infiltración del agua del río Guaymitas, que bajaría ligeramente el agua del acuífero.
- A partir de la campaña de exploración geofísica realizada se ha podido establecer un modelo básico de distribución de las diferentes capas en función de la granulometría:

PROFUNDIDAD	LITOLOGÍA	RESISTIVIDAD
0 a 12 metros	Limos o arenas con algo de arcilla.	90 - 1150 $\Omega \cdot m$
12 a 120 metros	Alternancia de niveles de arcillas arenosas o arenas arcillosas, con porciones de arcilla y arena variables tanto lateralmente como en profundidad.	8 $\Omega \cdot m$ niveles arcillosos 40 $\Omega \cdot m$ capas con mayor contenido arenoso. 80 - 100 $\Omega \cdot m$ niveles arenosos
120 metros >	Gravas o substrato cristalino alterado	195 - 800 $\Omega \cdot m$

- Este modelo es una generalización, y las profundidades aquí representadas son las medias de las obtenidas entre todos los puntos. Se ha detectado una zona con resistividades correspondientes a niveles arenosos, que coincide con la zona identificada según la piezometría como más transmisiva.
- Los parámetros hidráulicos deducidos a partir de los ensayos realizados muestran valores bastante similares, a excepción del pozo P25, que destaca por tener transmisividades (2000 m²/día) y permeabilidades (100 m²/día) altas, y del P23 por lo contrario, valores

bajos de transmisividad ($10 \text{ m}^2/\text{día}$) y permeabilidad ($1 \text{ m}/\text{día}$). Los valores bajos del P23, podrían ser debidos a que el pozo perfora materiales menos permeables, agravado por la cercanía a los materiales del zócalo, que pueden actuar como una barrera impermeable. En cuanto al P25, la alta transmisividad podría deberse a que el pozo esté situado en una zona con arenas más gruesas, ligadas de alguna manera con tectónica reciente.

El resto de puntos analizados se mueve entre valores cercanos a 100 de transmisividad y entre 5 y 9 de permeabilidad, que indicaría que están explotando niveles con similares características litológicas, si bien hay que tener en cuenta las diferentes profundidades de los niveles explotados.

POZO	PROFUNDIDAD m	LONGITUD DE REJILLA (m)	T m^2/d (calculada)	K m/d (estimada)	S (estimado)
P6	62.5	10	90	9	10^{-3} a 10^{-4}
P25	30	25	2000	100	25
P23	40	13	10	1	10^{-3} a 10^{-4}
P13	17	15	100	7	10^{-3} a 10^{-4}
P29	98	26	110	4	10^{-3} a 10^{-4}
P24	76	47	170	4	10^{-3} a 10^{-4}
P22	37	12	60	5	10^{-3} a 10^{-4}
P9	64	-	40	-	10^{-3} a 10^{-4}

→ A partir de toda esta información se han seleccionado dos puntos como los más favorables a la hora de perforar pozos de abastecimiento para la comunidad de Guaymitas, el punto 1 P1, corresponde a la zona donde se realizó el SEV-3, y el punto 2 P2 a la zona donde se realizó el SEV-11 (ver figura). Estos puntos se han escogido únicamente con criterios

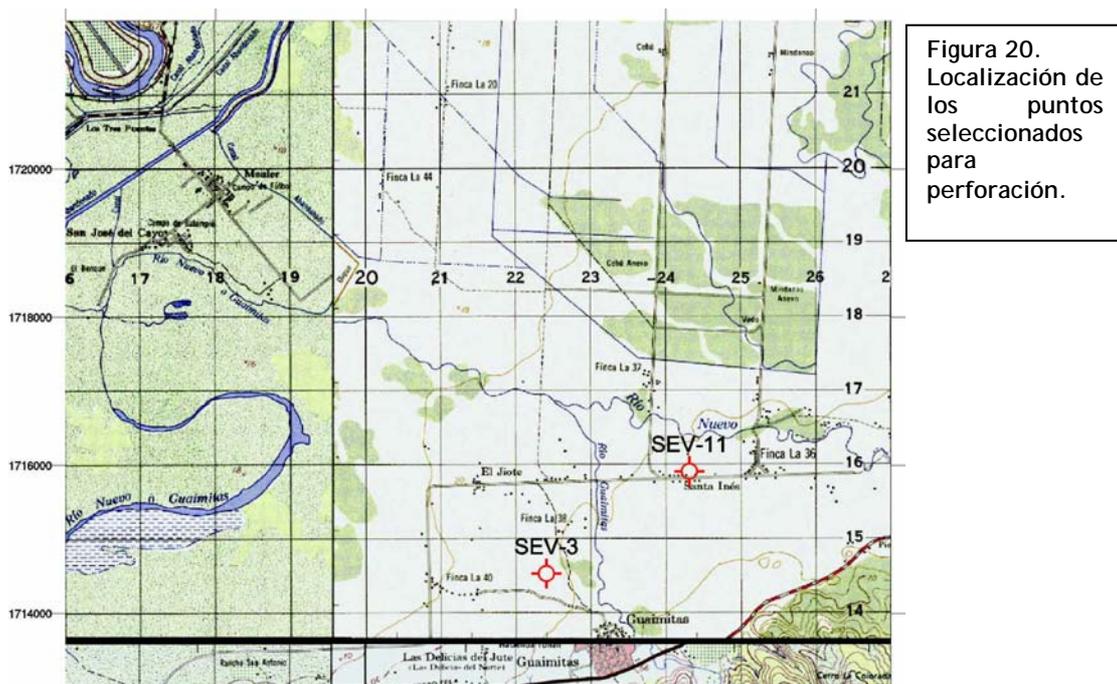


Figura 20. Localización de los puntos seleccionados para perforación.

hidrogeológicos, si bien tendrá que valorarse su idoneidad desde otros puntos de vista.

9. RECOMENDACIONES

- Se recomiendan, como zonas de perforación los puntos P1 y P2 de la figura 20.
- Estos puntos tienen a favor que desde el punto de vista hidrogeológico son los puntos susceptibles de tener mayores transmisividades.
- En el caso de querer abastecer a la población de Guaymitas a partir de la perforación realizada en el punto P1, hay que valorar que esta situado a cota topográfica unos 20 metros por debajo de la zona más elevada de dicha población, con lo que habrá que tener en cuenta la construcción de un deposito lo suficientemente elevado como para poder realizar el abastecimiento. Por otro lado también habrá que valorar el coste de la distribución desde dicho punto hasta la población, ya que esta situado fuera del núcleo urbano.
- Se recomienda la perforación de sondeos de reconocimiento de diámetro reducido, que permitan establecer la distribución de las capas arenosas, así como de sus parámetros hidráulicos. Dichos sondeos servirían también para comprobar que la calidad del agua de la perforación es la adecuada para consumo humano.
- La profundidad máxima de las perforaciones será entre 60 y 100 metros, y se intentará atravesar el máximo número de capas arenosas. Se entubarán con filtro los tramos correspondientes a las capas arenosas, entubando en ciego el resto y desde la superficie hasta una profundidad mínima de 20 a 25 metros, con el fin de evitar contaminación producida por aguas superficiales, también con esta finalidad, se sellara dicho tramo con hormigón sanitario en vez de utilizar un prefiltro de gravas.
- Se recomienda que la perforación definitiva se realice con un diámetro que permita obtener un alto rendimiento. A modo orientativo se aconseja perforar en un diámetro de 300 mm y entubar con un diámetro final de 250 mm, con PVC de 16 atmósferas.
- Una vez terminada la perforación se recomienda la limpieza y desarrollo del pozo, y la realización de un ensayo de bombeo de duración no inferior a las 24 horas, para el diseño adecuado de la instalación de bombeo e impulsión.
- Por otro lado, dada la problemática detectada respecto a las concentraciones de metales pesados, se recomienda profundizar en los estudios, ampliando la zona de los mismos, e incrementando el número de análisis químicos de dichos elementos para establecer una distribución espacial de las concentraciones, y por lo tanto acotar las zonas problemáticas. También, se recomienda hacer análisis de control en los puntos con altas concentraciones de arsénico, simultáneamente en dos laboratorios debidamente acreditados.

10. BIBLIOGRAFÍA.

- Benítez, Mónica E. - Osicka, Rosa M. - Giménez, María C. - Garro, Oscar A. Grupo de Química Ambiental - Facultad de Agroindustrias - UNNE. *Arsénico total en aguas subterráneas en el centro- oeste de la Provincia del Chaco.*
- Buchanan G. M. 1997. *Neogene Tectonics of the Chortis Block: A Wide Zone of Deformation Responding to Interaction Between The North America and Caribbean Plates.*
- CATIE. 2003. *Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio de El Progreso, Yoro.*
- Cuevas Ojeda J.L., Diaz Larrinaga L.A, Polo González B. 2001. *Anomalías Gravimétricas del Caribe Occidental y América Central.* Taller del Proyecto no 433 del PICG/UNESCO "Tectónica de Placas en el Mar Caribe".
- Custodio, E., Llamas, R. 1983. *Hidrología Subterránea* 2ª Edición Vol. I y II. Editorial Omega, Barcelona.
- Instituto Geográfico Nacional, Servicio Autónomo Nacional de Acueductos y Alcantarillados. 1996. *Mapa Hidrogeológico de la Republica de Honduras, Escala 1:500.000.*
- Instituto Geográfico Nacional. 1997. *Mapa Geotectónico de la Republica de Honduras. Escala 1:1.000.000.*
- Ministerio de Salud Pública de Honduras, Cooperación Suiza al Desarrollo. 1994. *Informe Anual.*
- Rogers R.D., Karason H., van der Hilst R. 2002. *Epeirogenic Uplift Above a detached slab in northern Centro America.* *Geology*: November 2002; v 30; No11; p 1031-1034. Geological Society of America.
- Rogers, R.D. 1992. *Geology of the Valle de Jamastrán Quadrangle, Honduras,* Open File Report, Instituto Geográfico Nacional, Tegucigalpa, Honduras 56 p.
- Rogers, R.D. 2000. *Slab Break-off Mechanism for the Late Neogene Uplift of Honduras, Northern Central America,* AGU Fall meeting, San Francisco, CA. 2000.
- Secretaria de Obras Públicas, Transporte y Vivienda. 1999. *Segundo Anuario Estadístico de Honduras, Volumen I.*
- Secretaria de Recursos Naturales, Dirección de General de Minas e Hidrocarburos - BRGM, *Texto explicativo del Mapa Metalogenético y Catalogo de Minas y Ocurrencias Minerales, Inventario Minero Nacional II Fase. (1987-1992),* Tegucigalpa, D.C., Republica de Honduras.
- Secretaria de Recursos Naturales, Dirección de General de Minas e Hidrocarburos - BRGM. *Mapa Metalogenético y Catalogo de Minas y Ocurrencias Minerales, Inventario Minero Nacional II Fase. (1987-1992),* Tegucigalpa, D.C., Republica de Honduras.
- Toujague R., Leonarte T., Reyes Verdecia A., Miravet B.L., Leal R.M. 2002. *Arsénico y Metales Pesados en Aguas del Área Delita, Isla Juventud, Cuba.*
- University of Texas, Institute for Geophysics. 2001. *Control on Chortis Block Landform Evolution.* On Line.

- U.S.G.S. Open File Report. 2004. *Map Showing Geology, Oil and gas Fields, and geologic Provinces of the Caribbean Region.*

- Vazquez H., Ortolani V., Rizzo G., Bochur J., Pidustwa V., Corey G., CEPIS-OPS. *Arsénico en Aguas Subterráneas: Criterios Para la Adopción de Límites Tolerables.* Ente Regulador de Servicios Sanitarios (ENRESS). Argentina.