



**UNIVERSIDAD DE OVIEDO**  
Departamento de Geología

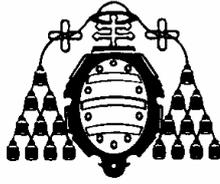


**INVENTARIO, CARACTERIZACIÓN Y  
BALANCE DE LOS RECURSOS HIDRICOS  
EN LA CORDILLERA DE MICO QUEMADO  
(HONDURAS)**

**ANA ISABEL LÓPEZ BARRERA**

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN**

**Junio de 2006**



**UNIVERSIDAD DE OVIEDO**  
**Departamento de Geología**

C/Jesus Arias de Velasco s/n. 33005 Oviedo.  
Tfno.: 98 510 31 04/02/18. Fax 98 510 31 03  
e-mail: geodir@asturias.geol.uniovi.es

**D. José Antonio Águeda Villar, Catedrático del Departamento de Geología de la Universidad de Oviedo,**

**AUTORIZA**

**A D<sup>a</sup>. Ana Isabel LÓPEZ BARRERA, para que presente el Trabajo de Investigación titulado: “INVENTARIO, CARACTERIZACIÓN Y BALANCE DE RECURSOS HÍDRICOS DE LA CORDILLERA DE MICO QUEMADO (HONDURAS)”, para optar a la Suficiencia Investigadora.**

**Lo que manifiesta en calidad de Director del mismo, en cumplimiento de las normas vigentes en ésta Universidad.**

**Oviedo 23 de Junio de 2006**

**Fdo. José Antonio Águeda Villar**

## **AGRADECIMIENTOS**

**Quiero agradecer ante todo a Geólogos del Mundo, y en especial a su Delegado en Asturias, Luís Manuel Rodríguez González, la oportunidad que me ha dado para desarrollar una labor tan gratificante como es la colaboración humanitaria en países en vías de desarrollo, y al mismo tiempo poder conocer parte de Honduras y así llevar a cabo este Trabajo de Investigación. También, gracias a los compañeros de la ONG que participaron en el mismo**

**En esta misma línea agradecer a ASIDE su constante colaboración en el desarrollo del proyecto y la logística facilitada para llevarlo a cabo, así como su ayuda en la integración a la vida hondureña. Mención especial para algunos de los compañeros de la oficina, que mostraron conmigo desde el principio una amabilidad desbordante (ellos saben a quien me refiero; podéis contar con mi amistad donde sea).**

**A la Municipalidad del Progreso y al SANAA por haberme prestado a mí y a mis compañeros ayuda y protección en algunas de las visitas a la Cordillera. Agradecer también la amabilidad de los propietarios de las fincas, así como a los habitantes de comunidades visitadas, sin la colaboración de los cuales no hubiese sido posible la realización de este trabajo.**

**No me puedo olvidar de la Axencia Asturiana de Cooperación al Desarrollu del Principau D'Asturies y de la Fundación Nando Peretti (Roma) quienes llevan varios años financiando proyectos de abastecimiento de agua a varias localidades del Valle de Sula donde se desarrolló este trabajo de investigación que servirá para conocer mejor la hidrogeología de la zona y de esta manera ayudar de una forma más eficiente a las poblaciones que aún no cuentan con este servicio básico para la salud y el desarrollo humano.**

**Por último, dar las gracias al Departamento de Geología de la Universidad de Oviedo, y muy en especial a mi tutor en este Trabajo de Investigación ,D. José Antonio Águeda Villar, nadie mejor que él para dirigirlo.**

## INDICE

### I. INTRODUCCIÓN

I.1. Objetivos y estructura del trabajo .....	1
I.2. Antecedentes .....	2
I.3. Situación Geográfica .....	3
I.4. Clima y vegetación.....	5
I.5. Situación Socio-Económica.....	6

### II.GEOLOGÍA

II.1. Marco Geológico Regional.....	9
II.2. Tectónica Regional y Local .....	11
II.3. Estratigrafía Regional y Local .....	13
II.4. Geomorfología .....	19
II.5. Edafología.....	22

### III.HIDROLOGÍA

III.1. El Sistema Hidrológico .....	23
III.2. La Cuenca de drenaje .....	26
III.2.1. Unidades de la Cuenca de Drenaje	
III.2.2. Perfiles longitudinales	
III.3. Geometría de las Cuencas: parámetros .....	37
III.3.1. Superficie o Área de drenaje (A)	
III.3.2. Perímetro (P)	
III.3.3. Longitud (L)	
III.3.4. Relación de elongación (Re)	
III.3.5. Relación de circularidad (Rc)	
III.4. Relieve de la Cuenca: parámetros .....	41
III.4.1. Pendiente de las cuencas (s)	
III.4.2. Altura máxima de las cuencas (H)	
III.4.3. Altura mínima de las cuencas (h)	
III.4.4. Desnivel absoluto de las cuencas (D)	
III.4.5. Altura media a partir de (D)	
III.5. Composición de la Cuenca de drenaje.....	43
III.5.1. Parámetros lineales	
III.5.1.1. Orden de canales	
III.5.1.2. Longitud de canales	
III.5.2. Parámetros superficiales	
III.5.2.1. Densidad de la red de drenaje	
III.6. Características físico-químicas de aguas superficiales.....	48

### IV.HIDROGEOLOGÍA

IV.1. Inventario de puntos de aguas y Prospección realizada.....	55
IV.1.1. Realización del inventario y datos obtenidos	
IV.1.2. Piezometría	
IV.1.3. Características físico-químicas del agua	
IV.1.4. Datos obtenidos por prospección geofísica (SEVs)	
IV.1.5. Evaluación y resultados	
IV.2. Sondeos y pozos realizados: Resultados.....	69

- IV.2.1. Sondeos
- IV.2.2. Pozos y ensayos de bombeo
- IV.2.3. Características químicas de las aguas. Potabilidad
- IV.2.4. Pozo de abastecimiento

<b>V.</b>	<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>83</b>
<b>VI.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>86</b>

## **I. INTRODUCCIÓN**

El inventario, la caracterización y el balance de los recursos hídricos existentes en una zona concreta y para un determinado periodo de tiempo, constituyen los pasos previos y obligados para acceder a la utilización sostenible de los mismos.

El trabajo de campo, corresponde a los seis meses de mi estancia en la región citada, como técnica-voluntaria perteneciente a Geólogos del Mundo, en un Proyecto subvencionado por el Principado de Asturias, y como respuesta a la petición local de la Asociación de Investigación para el Desarrollo Ecológico y Socioeconómico (ASIDE) para aportar soluciones a la necesidad actual y futura de los recursos hídricos de la Cordillera.

En el presente trabajo se estudian los recursos hídricos totales (superficiales y subterráneos) existentes en la Cordillera de Mico Quemado (Honduras), declarada como Zona de Reserva Forestal (2004), y más concretamente en su vertiente occidental que vierte las aguas al Valle de Sula. Es la aportación hídrica principal para el abastecimiento de agua para consumo humano, que tienen las múltiples comunidades y caseríos, tanto las situadas en la propia Cordillera como al pie de sus vertientes, que suman más de 137.000 habitantes.

### **I.1. OBJETIVOS Y ESTRUCTURA DEL TRABAJO**

Los objetivos previstos, comprenden la realización de un inventario de aguas, tanto subterráneas como superficiales, el establecimiento de las relaciones circulación-caudal, la caracterización físico-química de las aguas, la determinación de zonas favorables para extraer agua y la realización de dos sondeos, para completar el abastecimiento de agua potable a la zona de Guaymitas.

Se presenta a continuación la estructuración de este estudio de investigación, correspondiente a la obtención de los objetivos perseguidos:

- Etapa previa de recogida y análisis de datos referentes a la geología e hidrogeología de la zona estudiada, que en este caso, dada la casi ausencia de antecedentes, los resultados son escasos, dispersos y poco específicos, lo que nos ha obligado a efectuar trabajos de campo, más de nuevos levantamientos y de realización que de verificación.
- Síntesis geológica de los materiales de la zona, en vistas a su caracterización y comportamiento hidrogeológico, con especial énfasis en la identificación de las formaciones superficiales que puedan constituir acuíferos, que aunque de dimensiones limitadas son las más accesibles para la obtención de agua potable de forma inmediata y económica.
- En vistas de las necesidades de recursos hídricos totales para abastecimiento y regadío, se ha realizado un estudio morfológico de las cuencas de drenaje (28 microcuencas), que vierten sus aguas al Valle de Sula, con la finalidad de reconocer la forma y distribución de los caudales aportados.

- Se ha llevado a cabo un inventario global de puntos de agua, para establecer una piezometría de la vertiente occidental de la Cordillera de Mico Quemado. Se han hecho determinaciones de características físico-químicas de muestras de agua superficiales y obtenido muestras de aguas de pozos para su posterior análisis.
- Estudio pormenorizado de un acuífero cuaternario en el valle de Guaymitas, basado en los datos de los sondeos realizados y de los ensayos de bombeo realizados.
- El estudio se completa con la caracterización física y química, tanto de aguas subterráneas como superficiales, para su utilización como recurso de abastecimiento humano.

## I.2. ANTECEDENTES

Los antecedentes geológicos e hidrológicos sobre la zona objeto de estudio, son escasos, dispersos y de difícil localización. Las principales fuentes de información han sido los datos proporcionados por:

**CATIE** (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza): “Proyecto Mitigación de Desastres Naturales (PMDN).

**ESNACIFOR** (Escuela Nacional de Ciencias Forestales): “Análisis de Vulnerabilidad. Planificación Preventiva y Plan de Capacitación a Nivel Municipal”, y “Diagnóstico inicial base de los recursos hídricos, Situación de las Cuencas Hidrográficas y la Capacidad Técnica del Municipio para la protección y manejo integrado de las cuencas hidrográficas del Municipio de El Progreso, Yoro”.

Como antecedente más específico, está un trabajo previo de la **ONG Geólogos del Mundo** (2004): “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.”

La **Comisión Ejecutiva del Valle de Sula** suministró abundante cartografía digital para la realización del presente proyecto.

Desde el punto de vista de caracterización de acuíferos y balances hídricos, en vista de la poca información que se tiene al respecto, se han extrapolado datos de otros acuíferos próximos a la Cordillera de Mico Quemado, que si bien no se pueden tener en cuenta como datos totalmente exactos para la zona que nos ocupa, sí nos dan una aproximación bastante fiable del tipo de acuíferos y de la hidrogeología existente en la misma.

**P. Signanini** y **L. Gasparri** (2003), en el “Studio di un acquifero alluvionale in area tropicale” aportan datos significativos para completar el estudio de los acuíferos en el Valle de Sula. En él se hace un estudio de un acuífero en la Cordillera del Merendón, cordillera casi paralela a la de Mico Quemado, pero al otro lado del Valle de Sula.

Además se ha dispuesto de información procedente del SINIA (Sistema Nacional de Información Ambiental), el cual elaboró un Proyecto de Mitigación de Desastres Naturales (PMDN) financiado por la Asociación de Municipios del Honduras, la Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente y la Comisión Permanente de Contingencias, recogiendo en dicho trabajo datos referentes a análisis de vulnerabilidades y planificaciones preventivas de riesgos.

### I.3. SITUACIÓN GEOGRÁFICA

La República de Honduras, se sitúa en la Región Centroamericana, en la 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 las coordenadas geográficas se localiza:

- 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. En la figura 1 se presenta un mapa general de Honduras y dentro del mismo la situación de la zona estudiada.



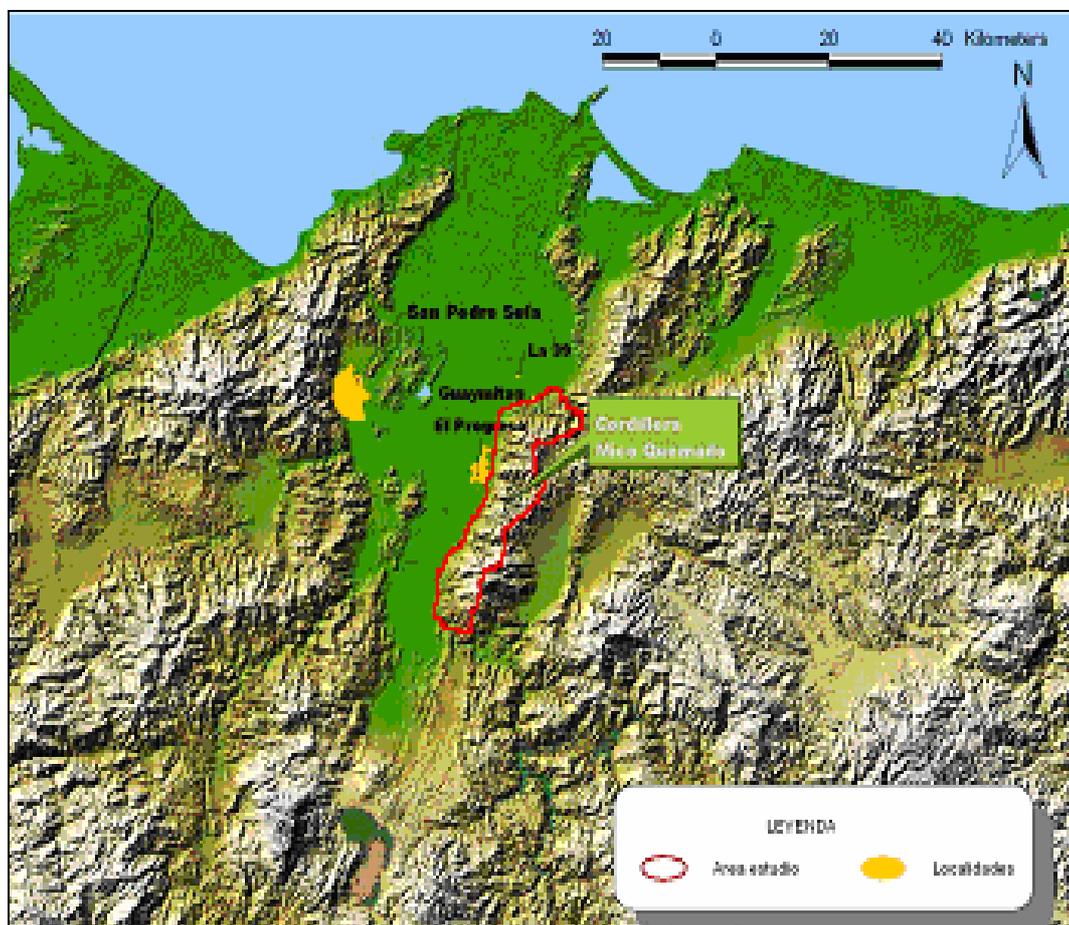
Fig.1 Mapa general de Honduras y ubicación de la zona de estudio

La superficie de Honduras es de 112.492 Km<sup>2</sup> y su capital Tegucigalpa. La anchura máxima del país es de 360 Km. y su longitud máxima de 676 Km. Se sitúa el territorio

entre el Ecuador y el Trópico de Cáncer, es decir la zona intertropical. En cuanto a sus límites físicos: 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.

La zona de estudio es la *CORDILLERA DE MICO QUEMADO* (figura 2), que está ubicado en el Departamento de Yoro, en la zona Noroeste de Honduras. Posee 28500 hectáreas de norte a sur entre los Municipios de El Progreso, Santa Rita y El Negrito.

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 Km<sup>2</sup>, limitada al Norte por el Río Guaymas o Guymón, y al Sur por el Río Humuya, al Este por la divisoria de aguas E-W y al W por el límite entre la Cordillera y el Valle de Sula. Nuestra zona de estudio se ha centrado en la parte occidental de la misma, la que vierte al Valle de Sula.



**Fig.2 Área de estudio**

La Cordillera de Mico Quemado es la principal fuente de abastecimiento de agua para las comunidades en su zona baja. Actualmente se encuentra sometida a un proceso de degradación debido al incremento de asentamientos humanos, a la ganadería, la deforestación, la agricultura y un mal uso de los recursos naturales.

## **I.4. CLIMA Y VEGETACIÓN**

### **Clima**

En Honduras, debido a su localización geográfica, no se dan las características típicas de las cuatro estaciones del año presentes en las latitudes medias., suceden tan sólo dos estaciones: la seca y la lluviosa.

La existencia de factores físicos, modifican los vientos alisios que atraviesan el istmo centroamericano. Esto implica cambios sustanciales del clima tropical lluvioso, en el Litoral Atlántico de Honduras, lo que hace que localmente se produzcan variaciones, dando como resultado la diferenciación de 11 sub-climas dentro del país.

El Progreso, ubicado en el Departamento 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 anteriormente. La temporada lluviosa comienza aproximadamente en septiembre-octubre y termina entre enero y febrero. Las precipitaciones anuales promedio son de 1.128 mm/año. Septiembre presenta el promedio máximo con 176 mm. Los meses más secos suelen ser Marzo y Abril, con un promedio de 25 mm/año.

En la Cordillera de Mico Quemado la temperatura media anual es de 26.2 °C, con máximas promedio de 30 °C y mínimas de 20.7 °C. La humedad relativa predominante se sitúa en un 82%. La precipitación pluvial anual es de 1500 mm. El clima de la Cordillera se puede clasificar como lluvioso de transición, de acuerdo al sistema de clasificación de climas de Edgardo Zúñiga (1990).

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.

### **Vegetación**

En Honduras aún existen áreas potenciales de bosque natural. El país cuenta con una superficie de 112492 km<sup>2</sup> de los que el 64% son suelos de carácter forestal. La tasa de deforestación anual (año 2005) en Honduras es de 86000 Hz (65 años de vida forestal útil).

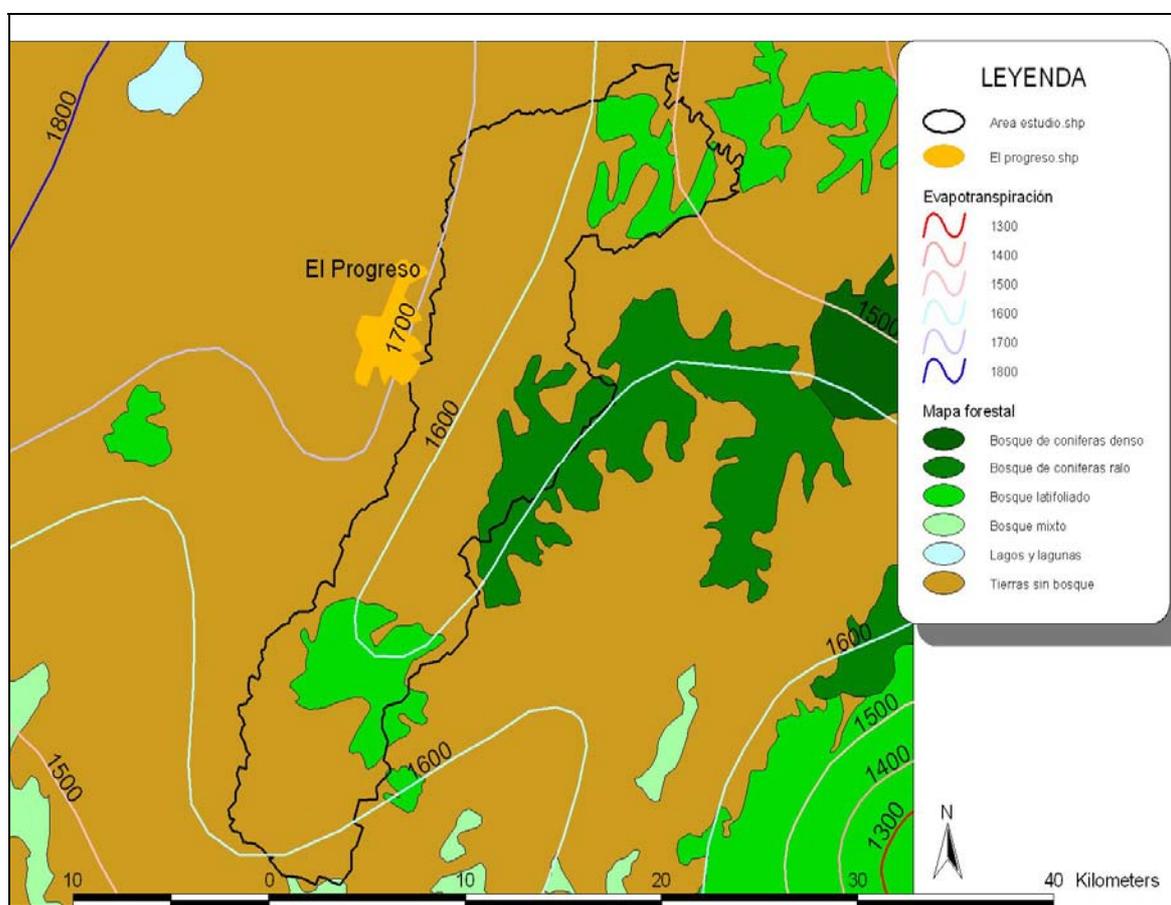
Como resultado de una generosa precipitación anual, una topografía pronunciada en la mayoría del territorio y la influencia del mar, existe en Honduras una rica diversidad biológica. Según datos del Banco Mundial-Fondo Mundial para la Naturaleza de las Ecorregiones Terrestres de América Latina y del Caribe, el país cuenta con las siguientes ecorregiones: los bosques secos del Pacífico de Centro América, los bosques de pino y roble de Centro América, bosques montañosos de zonas altas de Centro América, bosques húmedos de la región Atlántida de Centro América y los bosques de pino de la Mosquitia en el este.

Las costas de Honduras se caracterizan también por la presencia de manglares y ecosistemas de áreas húmedas y los arrecifes de coral que son los segundos en tamaño e importancia de Centro América después de los de Bécice.

Los *bosques lluviosos* ocupan una enorme extensión a lo largo de la Vertiente Atlántica, y se extienden desde el nivel del mar hasta los 1500 m aproximadamente. Reciben entre 2000 y 3500 mm de precipitación anual y se caracterizan por su vegetación exuberante, con árboles de hasta 70 m de altura.

Los *bosques nublados* se ubican en la parte central y occidental del país, y son importantes fuentes abastecedoras de agua a muchas comunidades. Reciben una precipitación anual de 2000-3000 mm.

Dada la interrelación entre clima y vegetación y la necesidad de utilizar estos parámetros para el cálculo del balance hídrico, se adjunta un mapa en el que se muestran los datos de evapotranspiración media para la zona de estudio;



**Fig. 3. Mapa de evapotranspiraciones medias anuales**

## I.5. SITUACIÓN SOCIO-ECONÓMICA

Dada la finalidad de este estudio y con el fin de proporcionar un conocimiento global de la problemática social y económica de la región, y justificar las necesidades de abastecimiento de recursos hídricos, se resumen algunos datos de interés.

### **I.5.1 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.

Honduras consta de 298 municipios en total, 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 (independiente de la Municipalidad), el SANAA (Servicio Autónomo Nacional de Acueductos y Alcantarillados).

En la Cordillera, los órganos de gobierno son los diferentes Patronatos Municipales, quienes gestionan todo lo referente a las aguas a través de la Junta de Aguas locales.

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

Nuestro trabajo se desarrolla en el departamento de Yoro, concretamente en la parte Este a la ciudad de El Progreso.

### **I.5.2 Población y vivienda.**

La población de El Progreso, según el censo de 2001, es de 157000 habitantes, con una tasa de crecimiento anual del 3.18 %.

La densidad de población en las áreas rurales se estima en 4728 habitantes/Km<sup>2</sup>, que se distribuye a lo largo de las líneas de comunicación, tanto principales como secundarias. La población se distribuye así: 20 % de hombres, 24 % de mujeres y 56 % de niños.

En la Cordillera de Mico Quemado, la población dominante es de etnias “Mestiza” y “Toulupán”, que se localiza en las diferentes áreas de la misma: el núcleo, la zona de amortiguamiento y subzonas de uso múltiple.

La *vivienda* tiene una demanda insatisfecha elevada. 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%, y aquí, la alternativa es la autoconstrucción a partir de materiales de la zona.

En las tribus indígenas, el tipo de construcción tradicional (*Bajareque*) está siendo modificado debido a que en sus paredes se puede hospedar el chinche transmisor del mal de Chagas.

### **I.5.3 Economía e industria**

La edad laboral promedio es de 35 años. El empleo y subempleo giran mayormente en torno 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 en el municipio de El Progreso son:

- en un 50% la agroindustria (de los cuales un 90% se dedica a la caficultura; el resto de la actividad laboral en este campo está representada por la explotación del banano y la palma; y la fábrica de aceites y manteca).
- un 35% en la industria maquiladora.
- Otro 10% viaja diariamente a la ciudad de El Progreso donde se subemplea en diferentes centros comerciales.
- el 5% restante se encuentra en Estados Unidos como inmigrantes (las remesas desde este país son la primera fuente de ingresos en Honduras).

El mayor problema que se presenta en la zona de amortiguamiento de la Cordillera es el pastoreo extensivo, las quemas y la deforestación. Esto es debido a un mal uso de las tierras; en la mayoría de los casos, se practica un sistema de ganadería y cultivo tradicionales, esto es, agricultura migratoria, donde el campesino va abriendo nuevos frentes a base de talar los bosques. Seguidamente, estas tierras las convierten en tierras de pastoreo. No hay barbechos, de forma que el terreno no tiene tiempo para recuperarse de siembras tan continuadas.

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 y de forma muy parcial, la pobreza.

### **I.5.4. Educación**

El nivel de educación de la población es del 37.8 % según diagnóstico último. Hay un elevado índice de analfabetismo generado por la falta de centros escolares y lo inaccesible que es llegar a los existentes, sumado a la desnutrición y utilización de la mano de obra infantil en el trabajo agrícola.

Existen algunos programas de alfabetización de adultos, educación a distancia y dos universidades en el municipio de El Progreso. 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, desarrollo local, prevención VIH-SIDA, seguridad alimentaria, etc.

### **I.5.5 Salud**

Según datos de la ESNACIFOR (2000), la esperanza de vida promedio se estima en 65 años para hombres y 70 para mujeres.

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, transmisores positivos de enfermedades.

En la Cordillera, la problemática sanitaria principal es la falta de higiene, el consumo de aguas contaminadas, la ausencia de letrinas, basureros y distribución incorrecta de aguas residuales, lo que produce enfermedades parasitarias e intestinales. El paludismo y el mal de Chagas son otras de las enfermedades de riesgo en la zona.

Para una inmensa mayoría sumida en la pobreza, la dieta alimentaria es deficiente, basada sobre todo en productos de agricultura tradicional.

La mayoría de los enfermos son asistidos mediante medicina natural. En algunas aldeas se maneja la atención paramédica y tratamientos por medio de botiquines asistidos por voluntarios puntuales de ONG's.

### **I.5.6 Servicios Públicos**

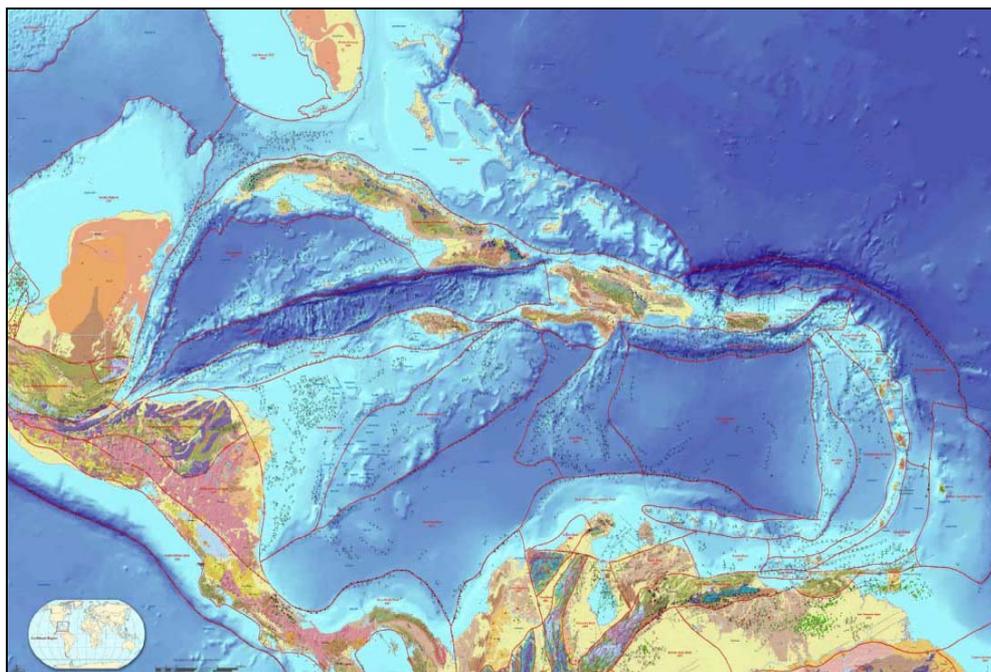
El servicio de energía eléctrica, es deficiente, aunque se oferta en el 98% de las comunidades del sector, por medio de una derivación del sistema de interconexión nacional. Esto no sucede con el manejo de residuos sólidos y líquidos, que propician la contaminación. La telefonía existente es mediante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

## **II. GEOLOGÍA**

### **II.1. MARCO GEOLÓGICO REGIONAL**

Honduras posee una extensión de 112492 km<sup>2</sup>. La morfología predominante es montañosa, muy quebrada, con elevadas pendientes y multiplicidad de cerros y colinas conformando multitud de microcuencas que, junto con la gran variedad de materiales sedimentarios, ígneos y metamórficos, limitan el potencial acuífero.

El país está situado 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).



**Fig. 4. Mapa de la placa tectónica del Caribe, mostrando sus principales estructuras.**

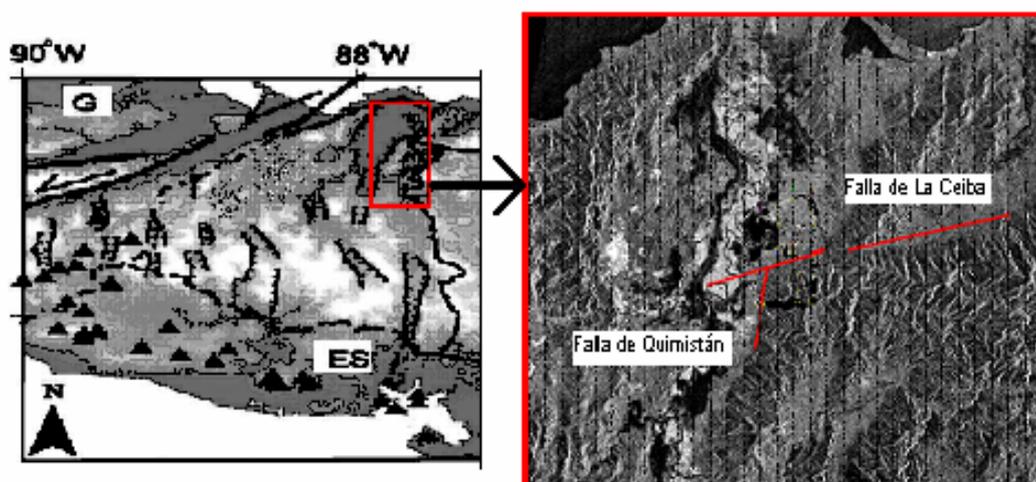


**Fig. 5. Mapa de la placa tectónica del Caribe, mostrando sus principales estructuras (modificado de USGS, 2004). NOAM, Norte América. SOAM, Sur América. Cayman Trough, Fosa de Las Caimán. Nicaraguan Rise, Elevación de Nicaragua. Middle American Trench. Fosa Mesoamericana.**

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),

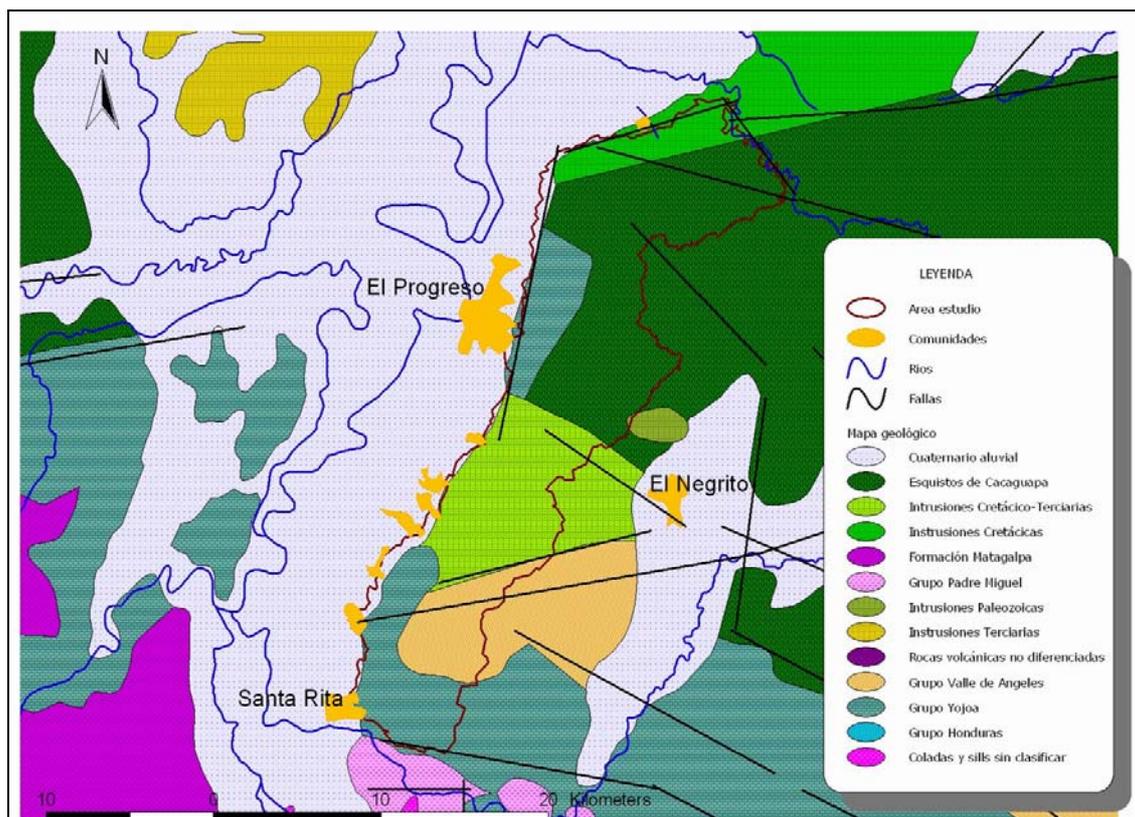




**Fig.7. Localización de la la región definida como depresión de Honduras, y el graben de Sula. En rojo la zona donde se localiza el estudio. (G = graben, ES= escarpes). Localización de las principales estructuras tectónicas respecto a la zona de estudio.**

Las principales estructuras tectónicas son:

- a) La *depresión de Honduras*. Es una zona compuesta por 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.
- b) 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.
- c) *Fallas de desgarre intraplaca*, activas tectónicamente. Al este de la depresión de Honduras aparecen este tipo de fallas, subparalelas al límite 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 6). 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.
- d) *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.



**Fig.8. Mapa geológico con indicación de las fallas principales.**

Los grandes sistemas de fallas llevan asociados a su vez, fallas menores, que son relativamente fáciles de situar en la cordillera, pero más difícilmente en 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 que coincidiría con el desplazamiento de desgarre descrito para el sistema de fallas.

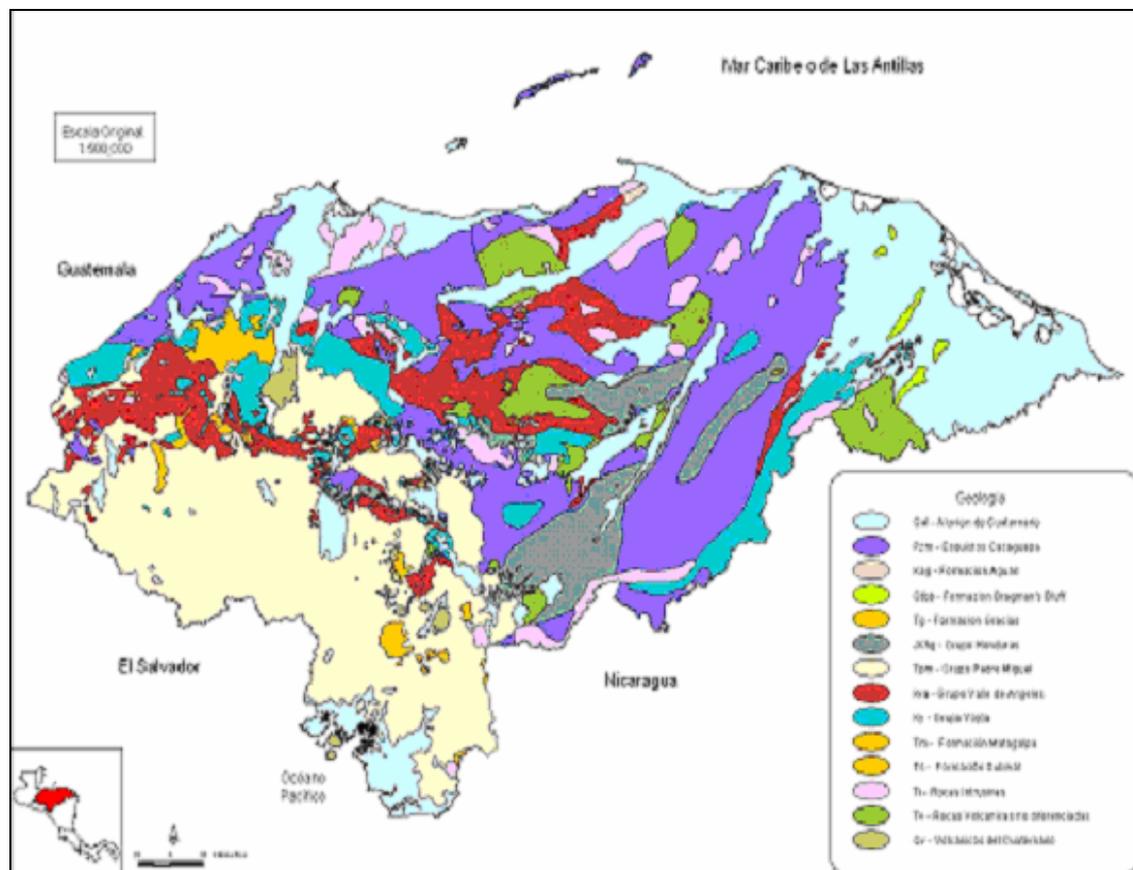
### II.3. ESTRATIGRAFÍA REGIONAL Y LOCAL

#### Estratigrafía regional

Como ya se ha comentado, el zócalo 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, **Paleozoico**.

Sobre el zócalo paleozoico se sitúan discordantemente unas formaciones sedimentarias, de edad mesozoica (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 **conjunto Superior Siliciclástico**.



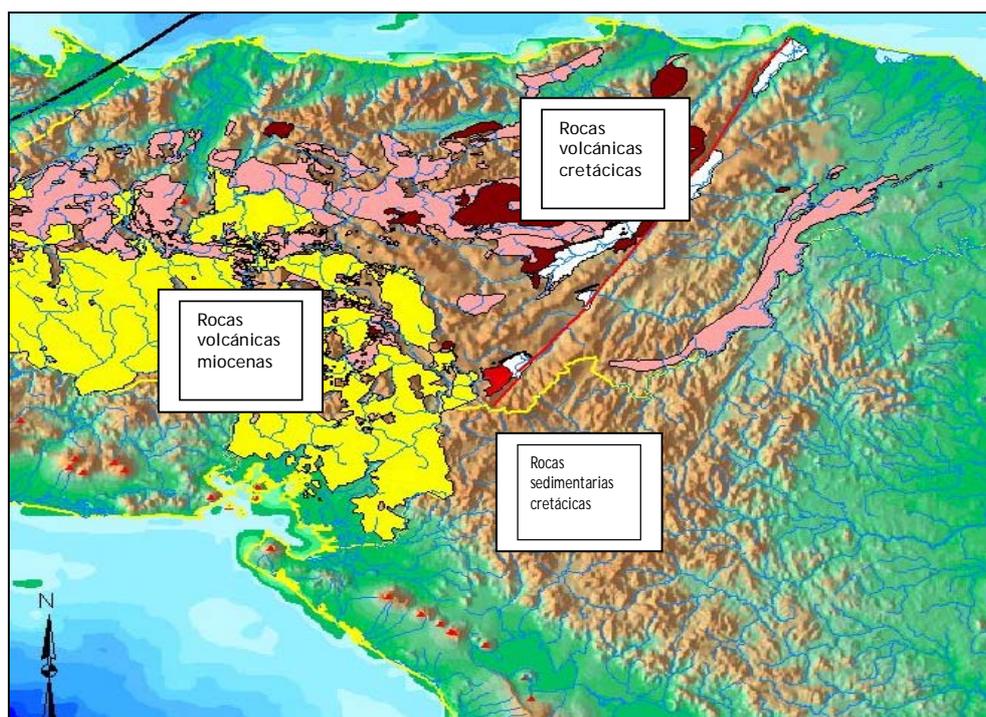
**Fig. 9. Mapa geológico de Honduras, 1991 (SINIA; Sistema Nacional de Información Ambiental)**

En el **Cretácico Superior** se depositó 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 de calizas (Jaitique, Esquías, 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 andesitas, basaltos 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 fig. 10, se muestra la extensión de los materiales mesozoicos y terciarios.



**Fig.10. Mapa de los depósitos mesozoicos y terciarios. (Modificado por 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, principalmente en las zonas de graben, o en las costas. Las unidades estratigráficas correspondientes son: la **Formación Mosquitia**, de tipo deltaico; la **Formación Gracias**, de arenas y lutitas; y la **Formación Humuya** (grieta 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.

ÉPOCA		FORMACIÓN		EVENTOS	
CUATERNARIO	Holoceno	ALUVIAL		Distension grabens	Levantamiento de Honduras (erosion).
	Pleistoceno	Basalto			
TERCIARIO	Plioceno	Fm. Gracias		Subduccion Placa Cocos. Constitucion de prisma de acreccion en borde de subduccion de la placa cocos.	Migracion del bloque chorris hacia el Este
	Mioceno	Grupo Padre Miguel			
	Oligoceno				
	Eoceno	Fm. Matagalpa			
	Paleoceno				
CRETÁCICO SUPERIOR	Maastrichtiense	Grupo Valle de Ángeles	Rocas Rojas Superiores	Fase Tectonica. Plegamientos Intrusivos. Sedimentos detriticos de cuenca(lagunas) en contexto continental.	
	Campaniense		Esquías		
	Santonense				Jaitique
	Coniacense				
	Turonense				Rocas Rojas Inferiores
	Cenomaniense				
CRETÁCICO INFERIOR	Albiense	Grupo Yojoa		Fase tectonica, plegamiento, metamorfismo, intrusivos.	
	Aptiense				
	Barremiense				
	Hauteriviense	Grupo Honduras	unidad siliciclastica sin nombre		
	Valangiense				
	Berriasiense				
JURASICO	Superior			Emersion continental. Orogenesis mayor del fin del Paleozoico.	
	Medio	Fm. Aguafría			
	Inferior				
TRIASICO					
PALEOZOICO		Esquistos Cacaguapa			

**Fig.11. Columna estratigráfica de Honduras (Modificado de Rogers, R.D., 1992 y SERNA, GEOMINH-BRGM, 1987-1992).**

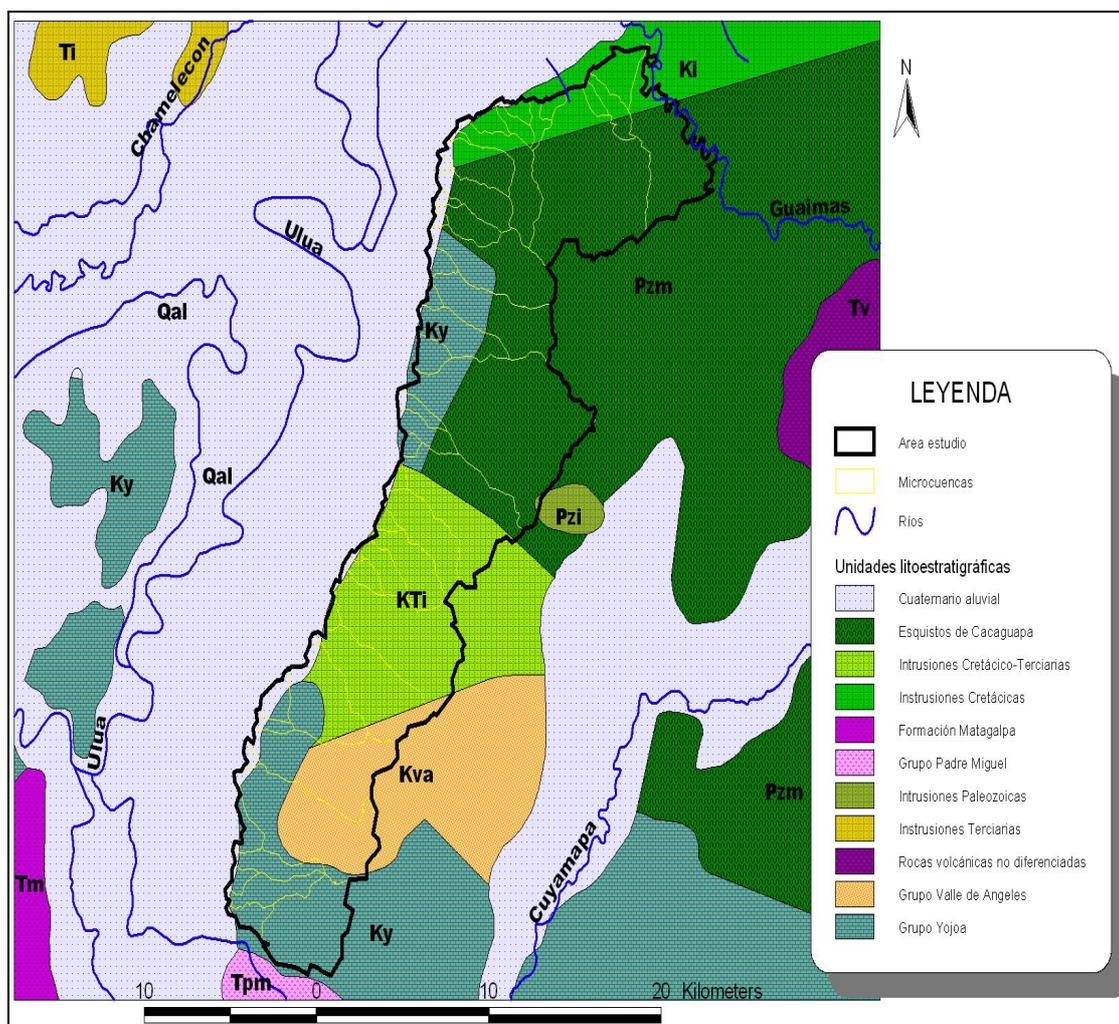
**Estratigrafía local**

**- Materiales de la Cordillera de Mico Quemado**

Las montañas de la Cordillera de Mico Quemado estuvieron sujetas a un levantamiento intenso y gran parte de la capa sedimentaria Mesozoica fue erosionada, dejando expuesto el basamento metamórfico previo al Periodo Cretácico.

Este basamento está compuesto de esquistos sericíticos, grafiticos, cuarcitas, filitas, mármol y vetas de cuarzo, además de pequeñas áreas formadas por rocas intrusivas tales que granitos, dioritas y granodioritas (figura 12).

Perimetralmente concurren grupos de colinas compuestas por materiales carbonatados (calizas), rocas volcánicas y esquistos.



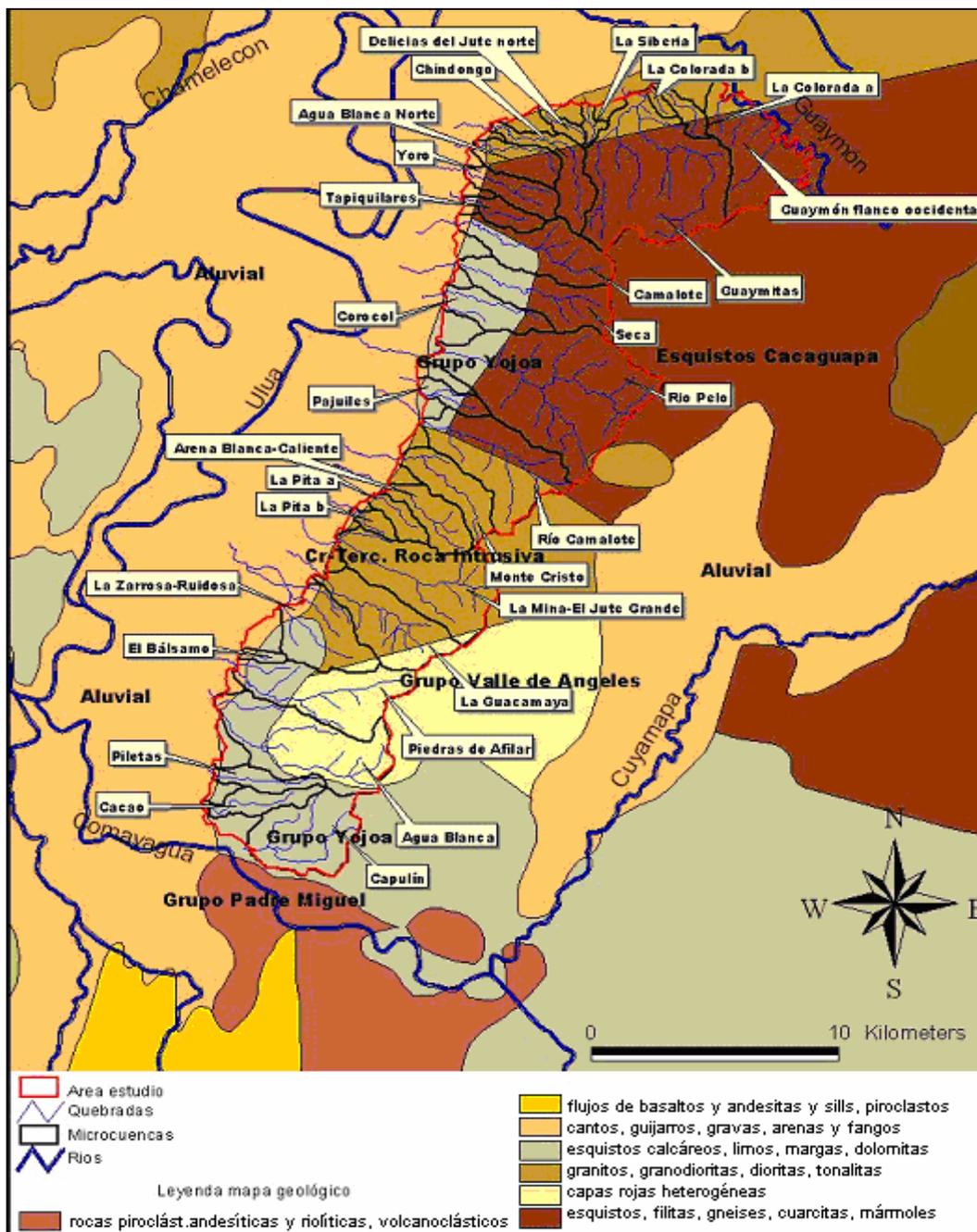
**Fig.12. Unidades litoestratigráficas de la cordillera de Mico Quemado**

Los materiales predominantes en la cordillera son los Esquistos Cacaguapa, (Pzm en el mapa anterior). 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 ultimas en menor medida.

La vertiente norte de la cordillera la constituyen las capas rojas del grupo Valle de Ángeles (Kva en el mapa), 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. También aparecen como materiales de grano fino (tamaño limo y arcilla) visibles mas hacia el Este.

Se han encontrado intrusiones de granitoides, tanto en la cordillera como en la llanura aluvial, en Urraco pueblo, y que no aparecen, cartografiados.

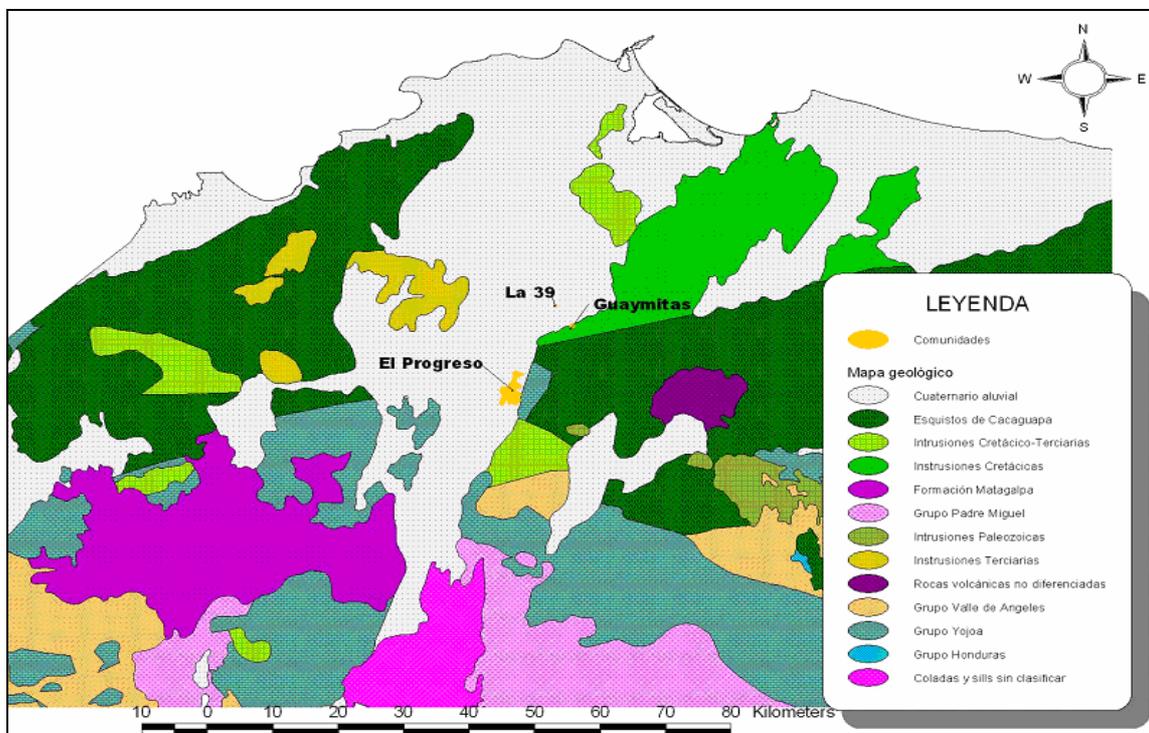


**Fig.13. Cuencas de drenaje estudiadas y materiales geológicos drenados.**

Materiales de la llanura aluvial

Estos materiales los forman los aportes transportados y depositados por los diferentes ríos que cubren todo el Valle de Sula; predominan los materiales finos, arcillas y limos, con algunas intercalaciones de materiales de mayor tamaño de grano.

Estos materiales aparecen con espesor muy variable, en función de la geometría deposicional y de la evolución fluvial. En algunos cortes, aparecen entre las facies de llanura de inundación (limo-arcillosas), intercalaciones de “lentejones” arenosos e incluso conglomeráticos (facies de relleno de canal, barras y depósitos de desbordamientos) .



**Fig.14. Geología del Valle de Sula**

La superposición de las diferentes facies, justifica la existencia de depósitos aluviales con importante presencia de gravas y arenas, que localmente en el Valle de Sula, alcanzan espesores de hasta 40 m. y que tienen una gran importancia como acuíferos.

#### **I.4. GEOMORFOLOGÍA**

Honduras es una región muy montañosa, con elevaciones de más de 1000 metros, y en algunos puntos se superan los 2000. Predominan las fuertes pendientes; un 60% de los suelos presentan pendientes mayores de 30%.

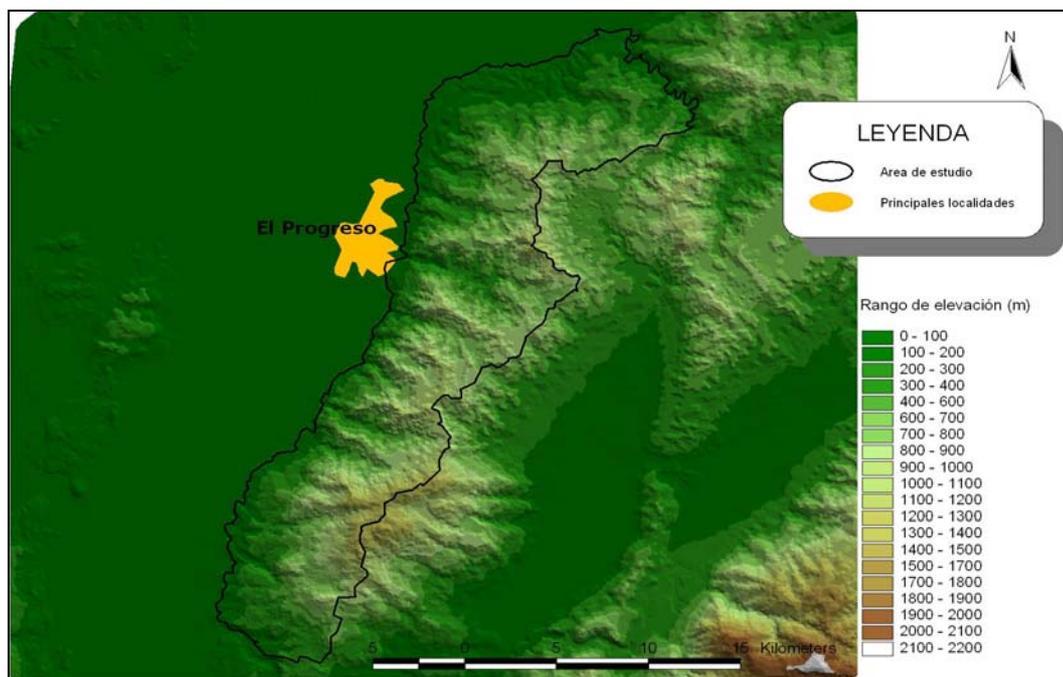
Desde el punto de vista fisiográfico, el país se puede dividir en varias regiones:

- Una región oeste que mezcla 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.

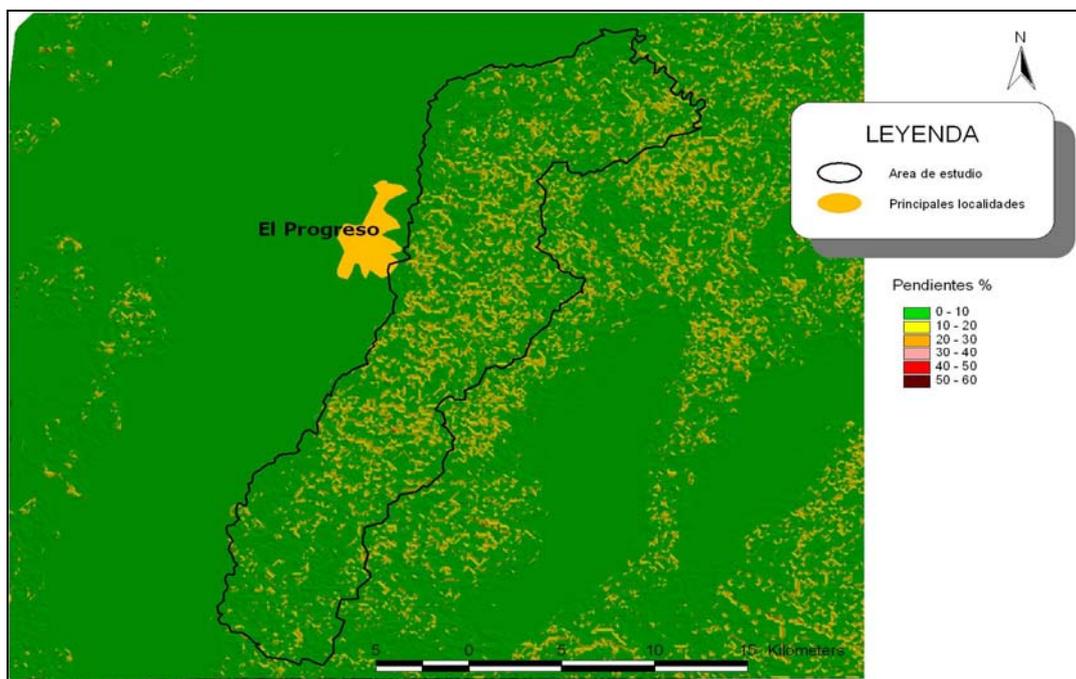
El Valle de Sula es el situado más al norte dentro de la región oeste, y forma un valle de fondo plano, que corresponde a la parte distal de las cuencas de los ríos Chamelecón y Ulúa. Los límites del valle están formados por cordilleras con elevaciones del orden de 500

a 1000 metros, y pendientes muy abruptas, lo que provoca una transición muy brusca del valle con las cordilleras. Uno de estos límites lo conforma la Sierra del Mico Quemado.

En la Cordillera de Mico Quemado, la altitud mínima se encuentra a 100m y la máxima a 1300 sobre el nivel del mar (figura15). Las pendientes fuertes en la parte más alta pueden llegar a un 30% (figura 16). Estas condiciones morfológicas, unidas a la deforestación y al uso inadecuado de la prácticas agrícolas, contribuyen a su mayor deterioro, haciéndola más vulnerable a los fenómenos naturales.



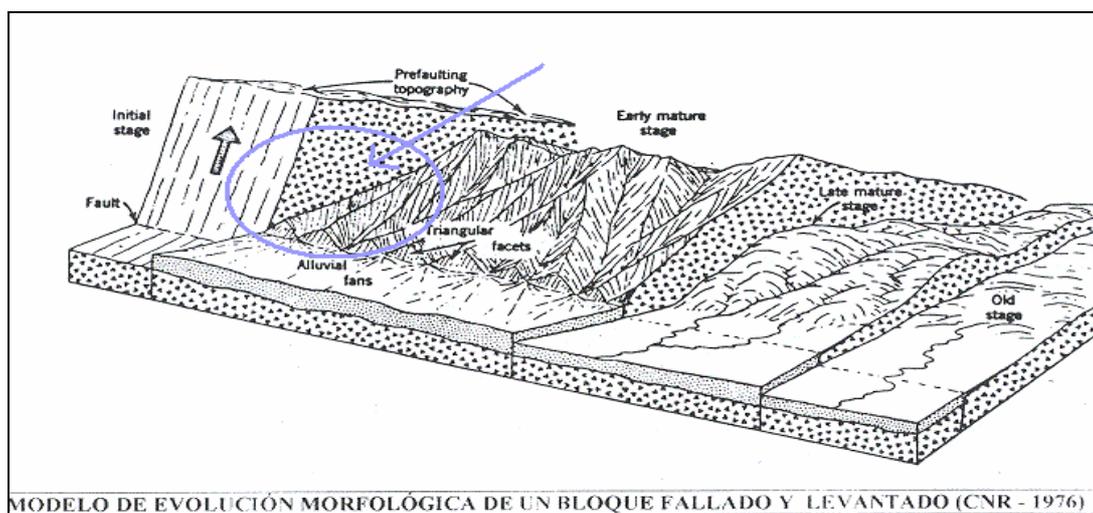
**Fig.15. Mapa de elevaciones**



**Fig.16. Mapa de pendientes**

Dentro del rango de evolución geomorfológica, las microcuencas de la Cordillera de Mico Quemado se encuentran en un estadio intermedio entre un perfil escarpado propiamente dicho y un perfil que ya ha sufrido erosiones y por tanto se muestra más suavizado. Debido a lo escarpado de la vertiente oeste de la Cordillera de Mico Quemado y el corto recorrido de los canales, es complicado reconocer en los perfiles longitudinales los estadios evolutivos o zonas fluviales convencionales.

En el esquema siguiente (figura 17) se puede ver señalado el estadio en el que se encuentran actualmente las cuencas; están en un estadio intermedio entre la primera fase de evolución en que hay una pendiente muy abrupta, y la segunda fase donde existen ya abanicos aluviales en la base de las cuencas y las pendientes se hacen menos escarpadas tomando formas triangulares.



**Fig.17. Modelo de evolución de vertientes**

Las cuencas altas o de recepción están emplazadas sobre materiales esquistoso-gneísicos, en la parte más septentrional de la Cordillera, formadas por una serie de canales que definen un conjunto de valles estrechos y profundos separados por elevaciones de hasta 900 m de altitud. En estos sectores se producen algunos deslizamientos superficiales favorecidos por la deforestación.

La zona media de las cuencas o zona de transporte es donde confluyen las pequeñas quebradas y vaguadas para formar los canales de mayor orden, presentando por lo general, pendientes más suaves y valles más amplios que las que se pueden ver en la zona alta de las cuencas. En la cordillera de Mico Quemado, esta zona media no se aprecia claramente, pues el tránsito a la parte baja de las cuencas apenas se percibe. Esta es una de sus características principales; el cambio brusco de pendiente de las zonas altas a la llanura aluvial.

La zona más baja de las cuencas es la zona mayoritaria de depósito, y se ubica en todo el extremo oeste de la cordillera (hay que recordar que sólo estudiamos el flanco occidental de la misma). En este último tramo, los ríos o quebradas y sus afluentes, conservan un patrón definido por cauces amplios con mayor acumulación de depósitos aluviales. Al ser el terreno más llano, la velocidad de flujo es más lenta, y no se formarán cauces rectos sino

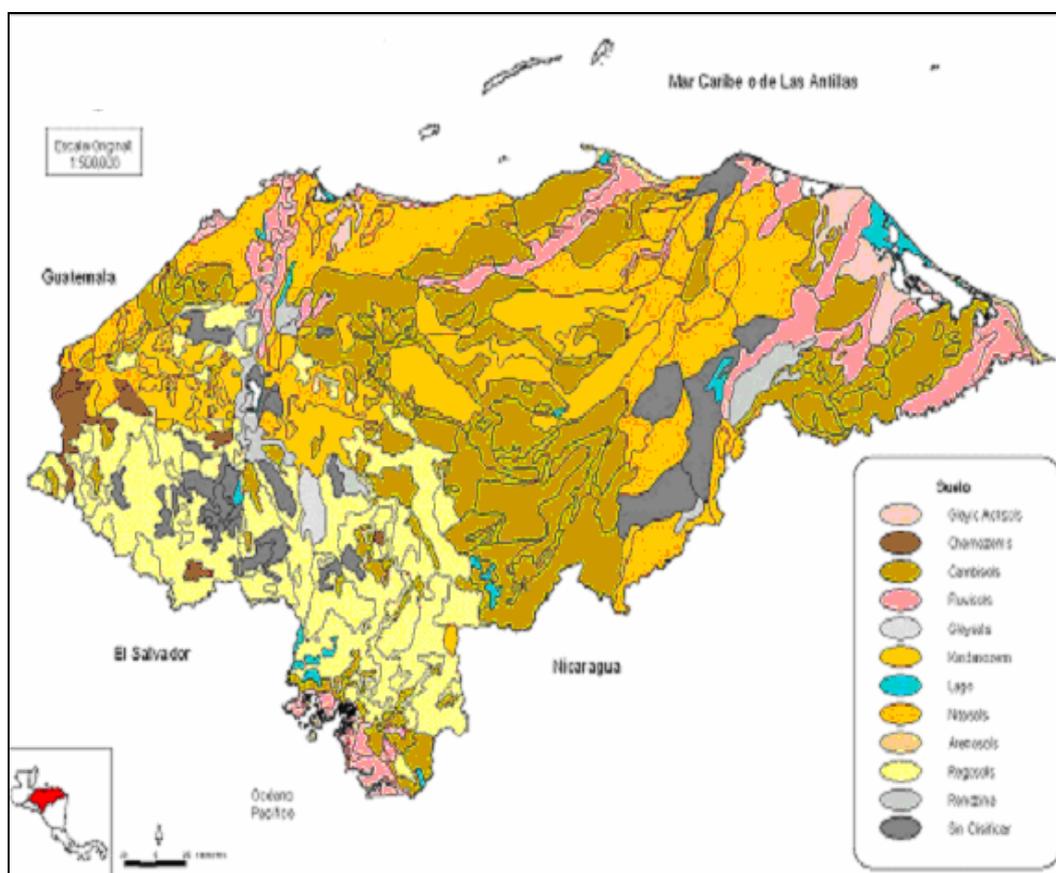
que tienden a la sinuosidad. En estas zonas, donde se concentra la mayor parte de la población, en épocas de lluvias la vulnerabilidad frente a inundaciones es máxima.

La gran cantidad de caudal sólido transportado por el río Ulúa en su tramo final, y como consecuencia de las frecuentes inundaciones (épocas de lluvias), deposita parte del material transportado en las zonas ribereñas, afectando a poblados. Esta situación se agrava debido a que toda la zona ribereña o "bosque de galería" ha sido casi totalmente eliminada y, los cultivos y poblados se extienden hasta el borde de los cauces.

## II.5. EDAFOLOGÍA

En la Cordillera predominan los suelos poco profundos, perfiles con dos horizontes edáficos (horizonte A y horizonte B), con una textura que va desde arcilloso a arcillo-limoso, siendo comunes las arcillas (caolinita, montmorillonita y vermiculita); el pH es ligeramente ácido debido a la lixiviación y a la elevada precipitación que existe en la zona, sobre todo de octubre a febrero. Son comunes los horizontes de tipo argilítico, de color rojo a gris oscuro, con presencia de óxidos e hidróxidos de hierro.

En la figura 18 se presenta una clasificación general de suelos, en base a un informe hecho por la **ESNACIFOR** en el año 2000 ("*Diagnóstico Inicial Base de los Recursos Hídricos, Situación de las Cuencas Hidrográficas y la Capacidad Técnica del Municipio para la Protección y Manejo Integrado de las Cuencas Hidrográficas del Municipio de El Progreso, Yoro*").



**Fig.18. Clasificación de los suelos de Honduras (Leforrest Millar, FAO, 2004).**

### III. HIDROLOGIA

#### III.1. EL SISTEMA HIDROLÓGICO

Dada la dificultad de aplicar el concepto de “*ciclo hidrológico*” a una parte de una cuenca de drenaje, se ha optado por asimilar el “ciclo” a un “*sistema hidrológico*” y los diversos componentes del “ciclo” (precipitación, escorrentía, infiltración, evapo-transpiración, etc) pueden agruparse en subsistemas. Para analizar el sistema, estos subsistemas se pueden estudiar separadamente y combinar los resultados con la interacción entre los diferentes subsistemas.

En la figura 19 se representa la totalidad de las fases del “*ciclo hidrológico*”, como un *sistema hidrológico*, dentro del cual se distinguen tres subsistemas:

- **Agua atmosférica:** Incluye los procesos de precipitación, evaporación, interceptación y transpiración.
- **Agua superficial:** Procesos de flujo superficial, escorrentía superficial, aportes de agua subsuperficial y subterránea, y escorrentía a otros ríos o al mar.
- **Agua subsuperficial:** Comprende los procesos de infiltración, recarga de acuíferos, flujo subsuperficial *s.s* y flujo de agua subterránea.

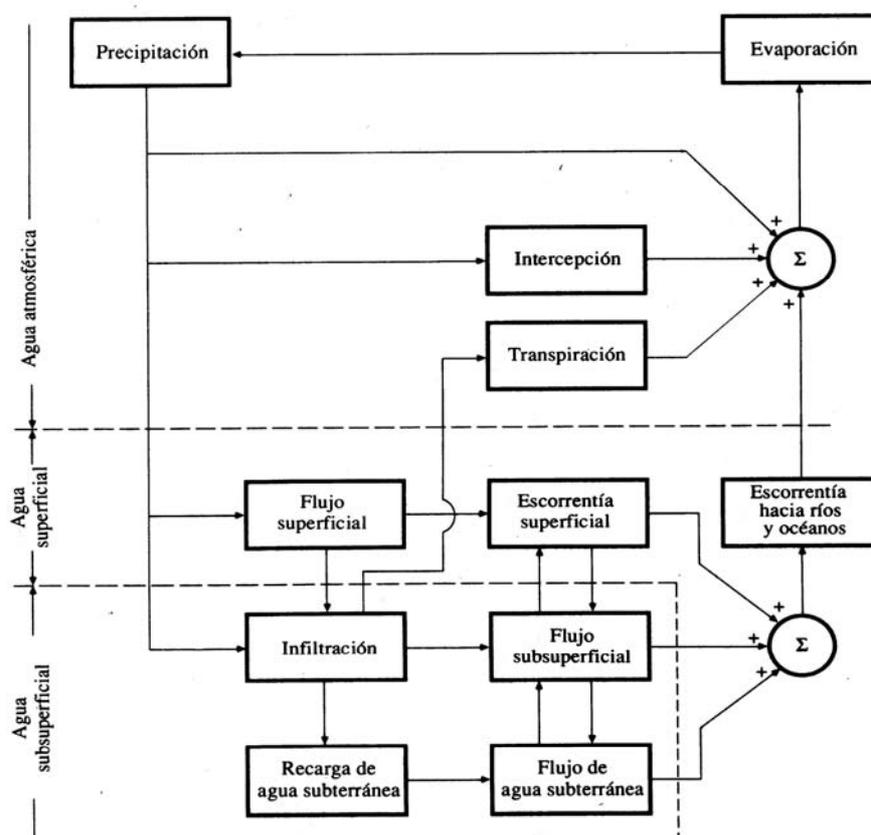
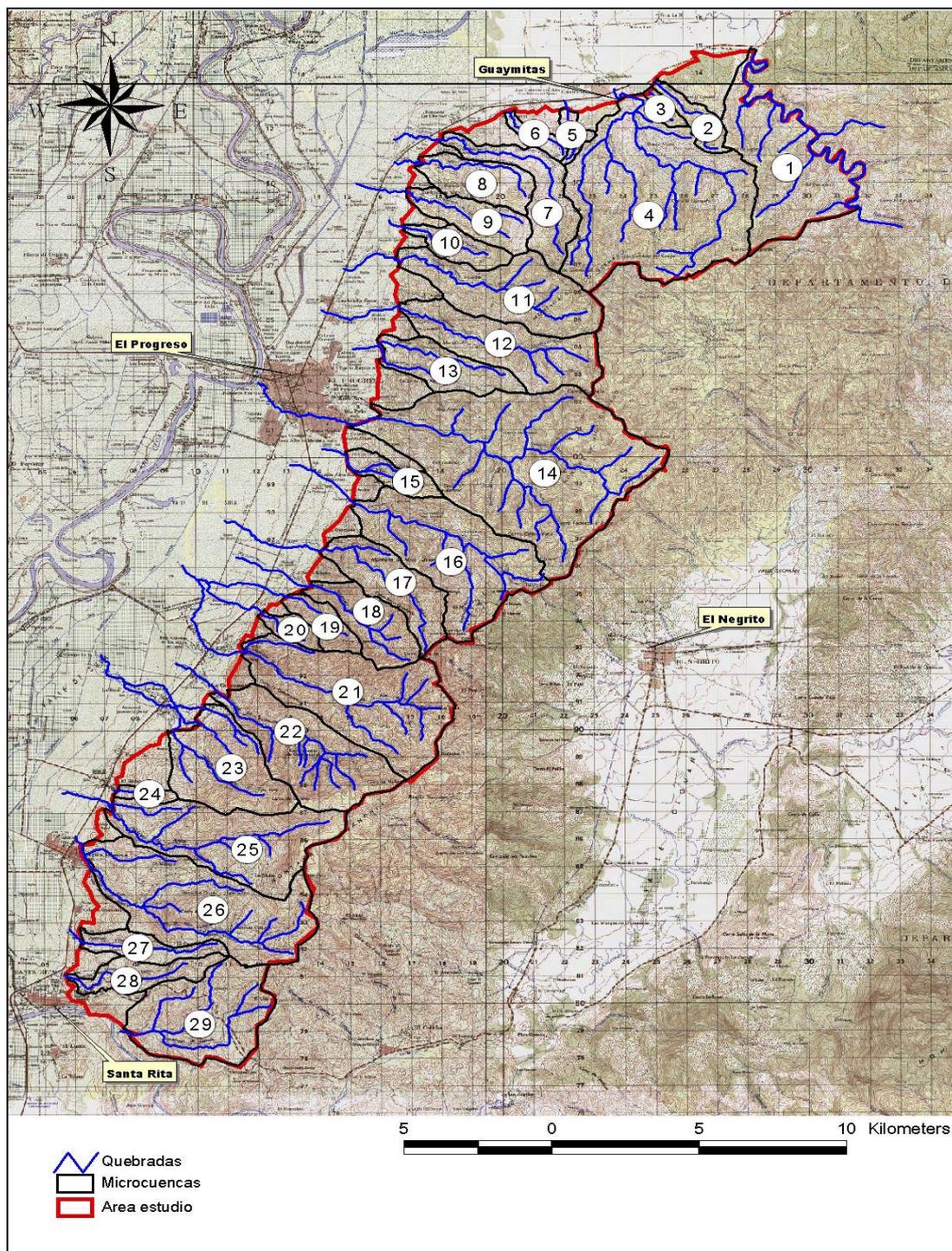


Fig. 19. Dinámica y relaciones en un sistema hidrológico

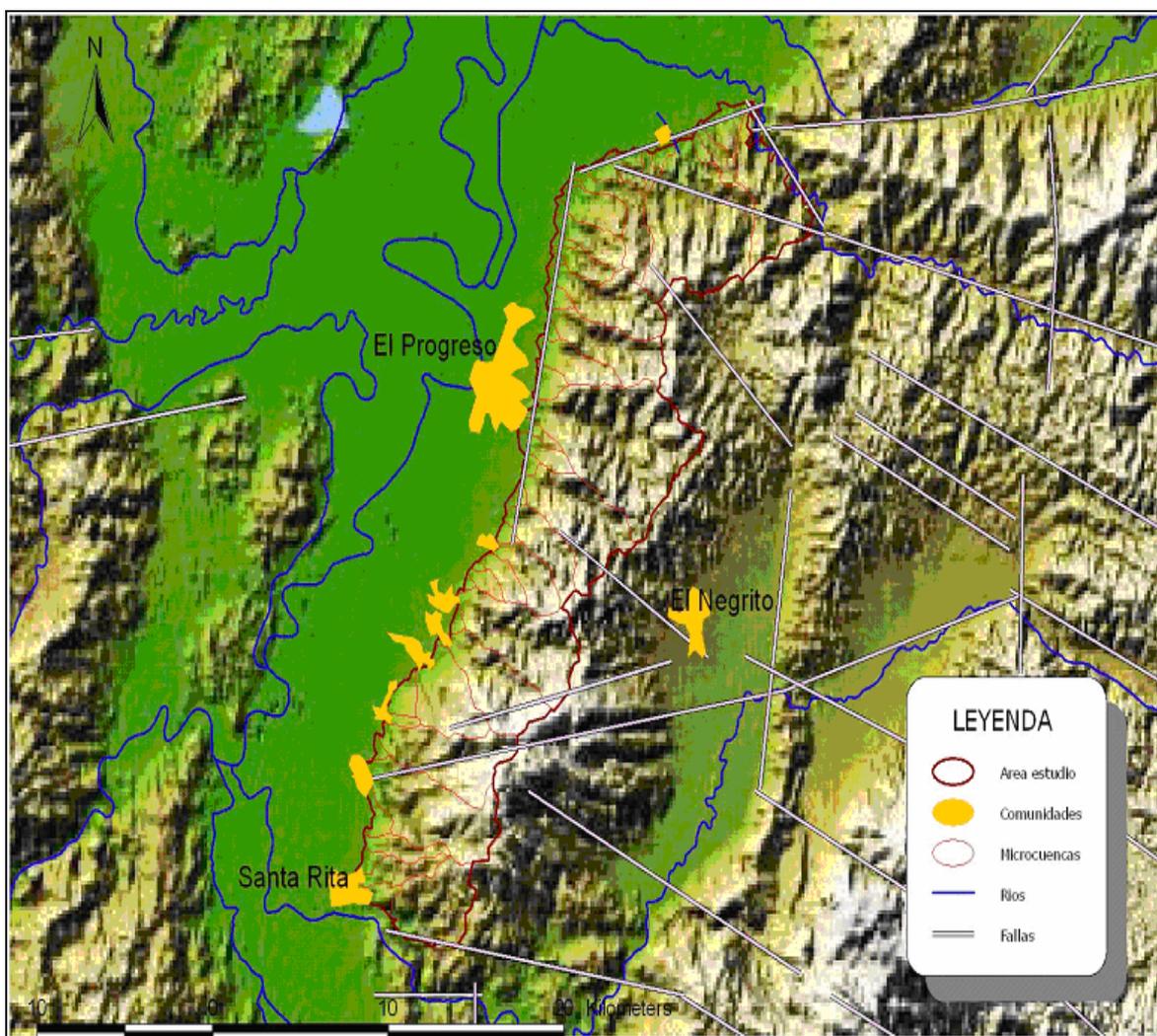
La descarga fluvial de las diferentes cuencas situadas en la vertiente occidental de la Cordillera, llega río Ulúa, que es el río principal y forma el eje del Valle de Sula de forma directa y rápida, a través de abundantes torrentes (“quebradas”), algunos de los cuales tienen cierta continuidad sobre la llanura aluvial principal. También, en épocas de lluvias, recibe la aportación importante de algunos canales fluviales de funcionamiento “intermitente”.



**Fig.20. Cuencas y redes fluviales en Mico Quemado**

En la figura 20 se representan las cuencas y redes fluviales estudiadas, así como la ubicación de las poblaciones cercanas más importantes. Están enumeradas en sentido creciente de norte a sur, empezando por la parte occidental del río Guaymón y terminando por la quebrada más meridional, la 29, correspondiente a la quebrada Capulín (cabe indicar que aquí son 29 las quebradas puesto que se tiene en cuenta el río Guaymón, que aunque no está en su totalidad, sí se ha creído conveniente presentar la parte que vierte al Valle de Sula).

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 21, mapa de fallas).



**Fig. 21. Mapa de lineaciones de fallas (NASA)**

### III.2. LA CUENCA DE DRENAJE

Una cuenca de drenaje se puede asimilar a un sistema geoambiental básico, con unas características geológicas, geomorfológicas, hidrológicas, edafológicas y de vegetación determinadas, que posee una entidad propia, tanto desde el punto de vista geológico como

hidrológico. Se puede estudiar como un sistema abierto cuya dinámica se puede expresar en términos de entradas y salidas, mediante la realización de balances de masa y energía.

### III.2.1. Unidades de la cuenca de drenaje

La Cordillera de Mico Quemado, como receptora y transmisora de recursos hídricos, es una de las regiones de Honduras más importantes por su potencial como zona abastecedora de agua. A su importancia hidrológica hay que añadir su importancia hidrogeológica a través de la descarga de algunos manantiales y pequeñas captaciones de agua (pozos y galerías) en la propia Cordillera, y el interés de los depósitos (abanicos aluviales) desarrollados en la transición Cordillera-Valle, como buenos acuíferos, aunque de extensión muy limitada.

El Río Ulúa, que es el canal de mayor orden, define la cuenca principal de la zona; constituye la segunda cuenca hidrográfica más grande del país con una extensión superficial de 21.414 km<sup>2</sup>. Equivalente al 19,04% de la superficie total del país.

Recibe el nombre de Río Ulúa a partir de la confluencia de los ríos Jicatuyo ( unión de los ríos Grande de Mejocote y el Higuito) y el Grande de Otoro (después de la afluencia del Gualcarque).



**Fig.22. Panorámica del Río Ulúa vista desde la Cordillera.**

Al llegar al Valle de Sula y al final de su recorrido, sirve de límite entre el municipio de El Progreso y los municipios de: Potrerillos, Pimienta, San Manuel, San Pedro Sula y

Choloma. La distancia que recorre el río en línea recta es de aproximadamente 63 km, dentro del término municipal de El Progreso, pero ésta se convierte en 126 km debido a la gran cantidad de sinuosidades que presenta.

La red hidrográfica de la cordillera se distribuye a lo largo del municipio de El Progreso, donde se aprovecha la mayor cantidad de agua que fluye por la vertiente oeste de estas montañas., y es compartida además por varios municipios como son El Negrito y Santa Rita.

Los afluentes nacen, entre 700 y 1200 m sobre el nivel del mar, y se precipitan en una pendiente de 7.74 % hasta alcanzar el valle, con unos 9 km de recorrido aproximadamente.

A lo largo de la vertiente occidental de la Sierra de Mico Quemado, se han delimitado y estudiado un conjunto de 28 pequeñas cuencas que actúan de colectores y emisores de los recursos hídricos procedentes de la Cordillera. De norte a sur, las cuencas estudiadas son las siguientes:

1. Quebrada La Colorada E	15. Río Camalote
2. Qda. La Colorada W	16. Qda. Monte Cristo
3. Qda. Guaymitas	17. Qda. Arena Blanca/Caliente
4. Qda. La Siberia	18. Qda. La Pita N
5. Qda. Delicias del Jute N	19. Qda. La Pita S
6. Qda. Chindongo	20. Qda. La Mina/El Jute Grande
7. Qda. Agua Blanca N	21. Qda. La Guacamaya
8. Qda. Yoro	22. Qda. La Zarrosa/Ruidosa
9. Qda. Tapiquiales	23. Qda. El Bálsamo
10. Qda. Camalote	24. Qda. Piedras de Afilas
11. Qda. Seca	25. Qda. Agua Blanca Sur
12. Qda. Corocol	26. Qda. Piletas
13. Río Pelo	27. Qda. Cacao
14. Qda. Pajuiles	28. Qda. Capulín

Hemos mantenido la nomenclatura local de *Quebrada*, que se define como una abertura estrecha y áspera entre montañas y por la que circula el agua permanentemente o no. Es el equivalente a *canal, cauce, barranco, etc.*

La cuenca de drenaje estudiada, está formado en total por las 28 “microcuencas” citadas, que se disponen transversalmente a la Cordillera, y son tributarias del Río Ulúa; el conjunto se representa en la figura siguiente (fig. 23).

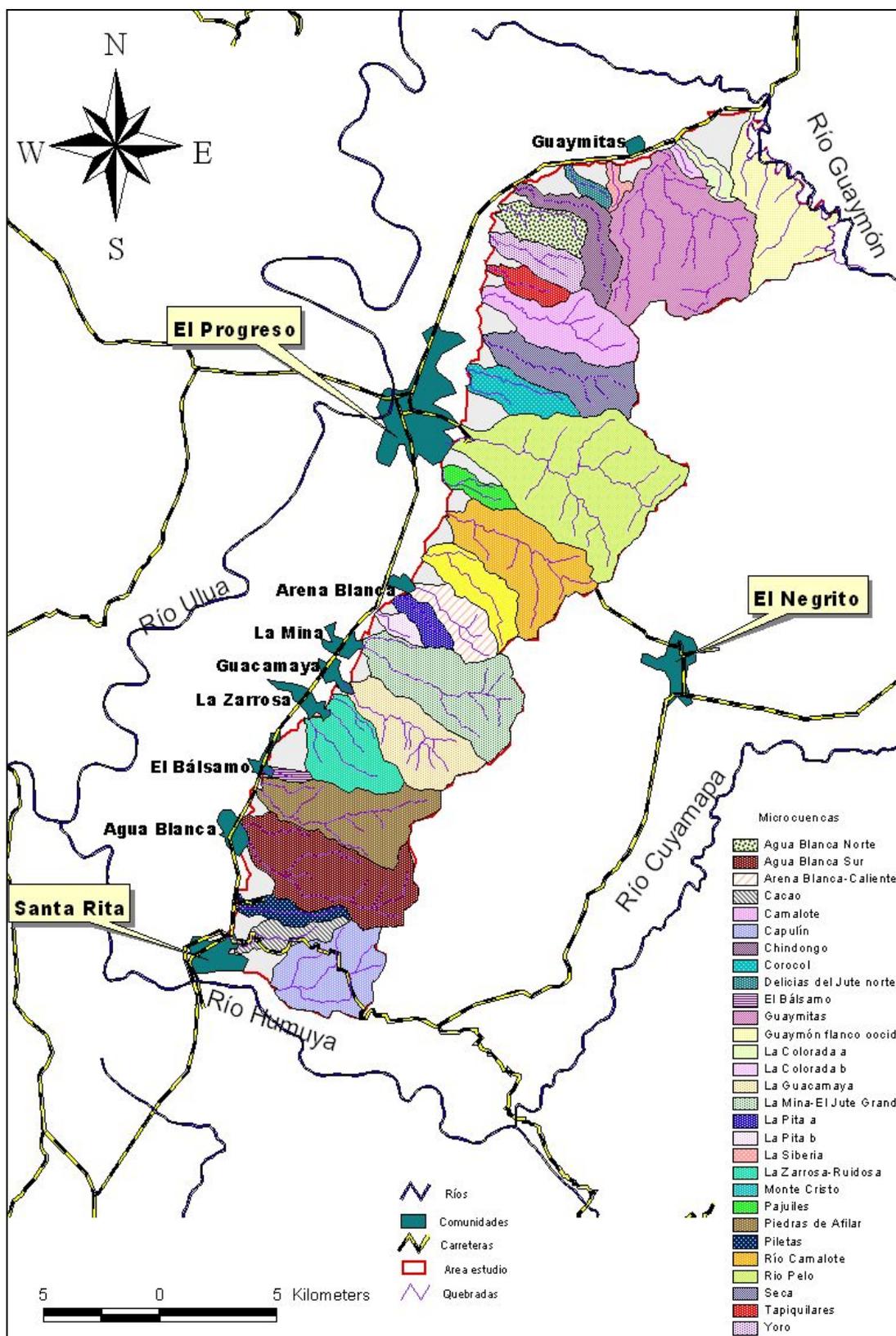
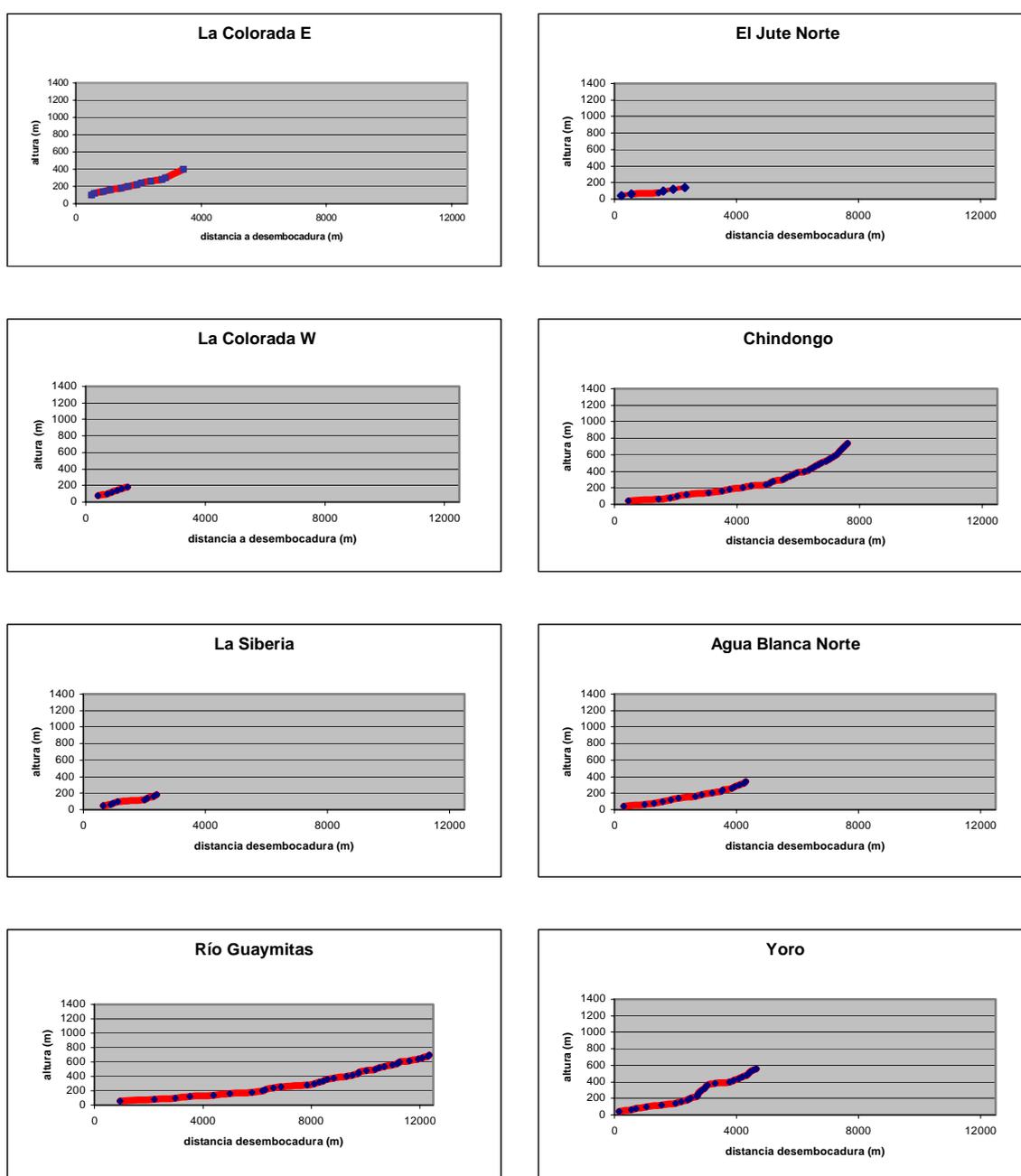


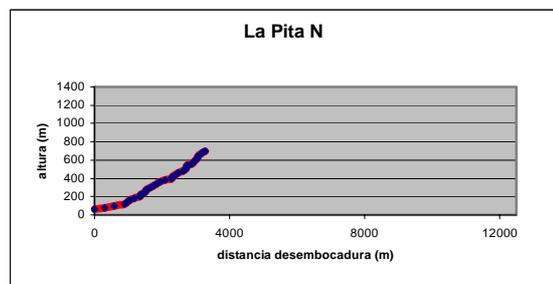
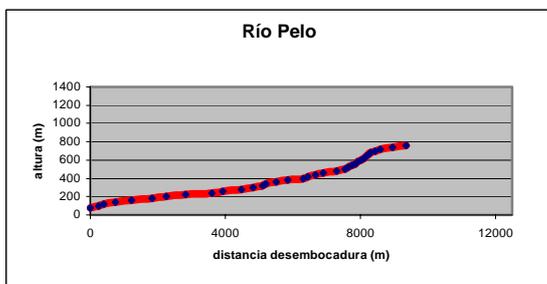
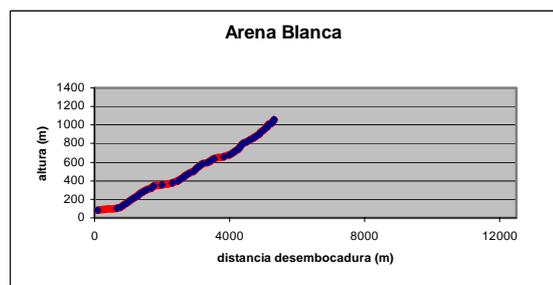
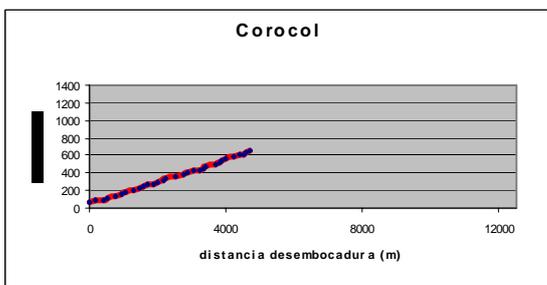
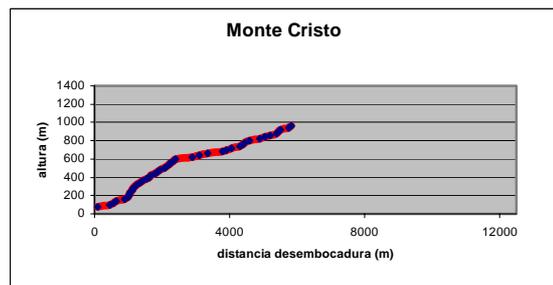
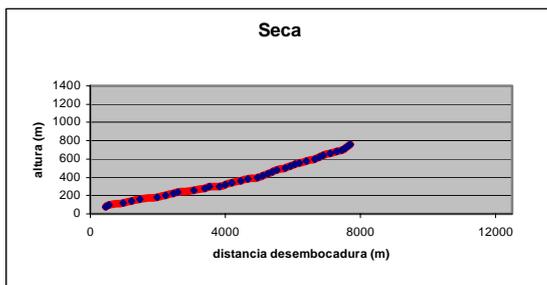
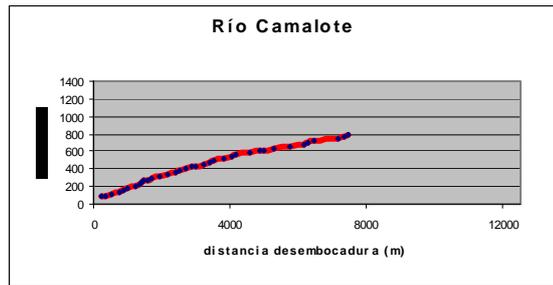
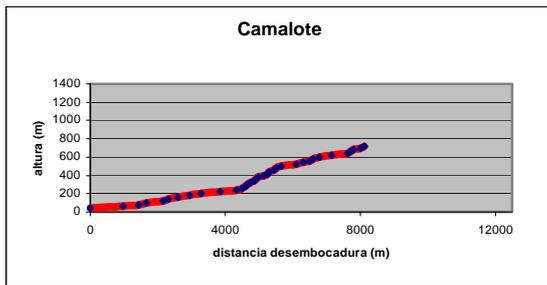
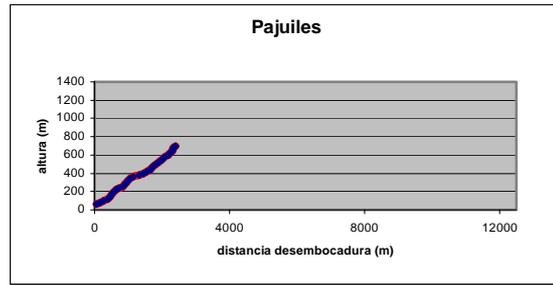
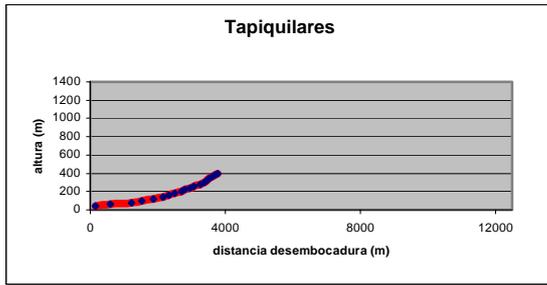
Fig.23. Sistema de Microcuencas

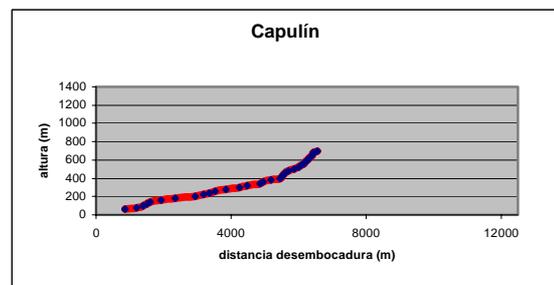
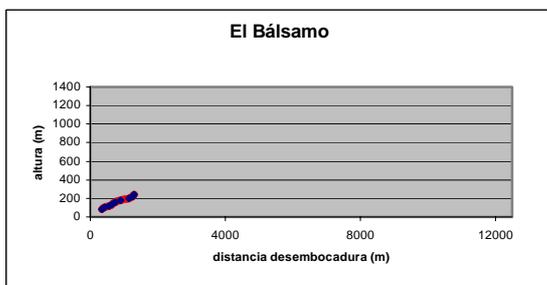
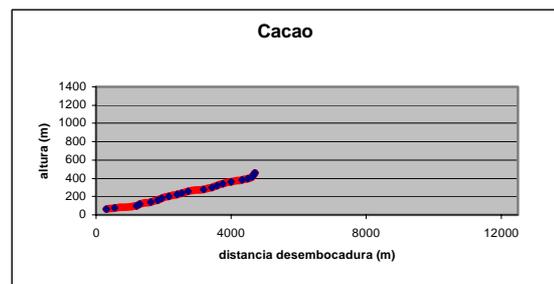
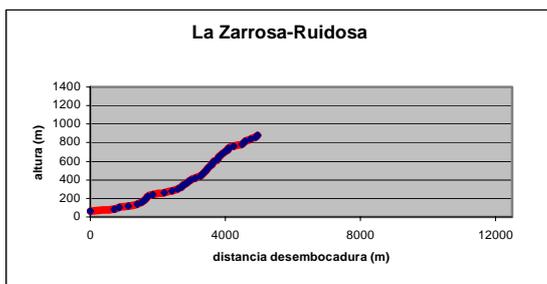
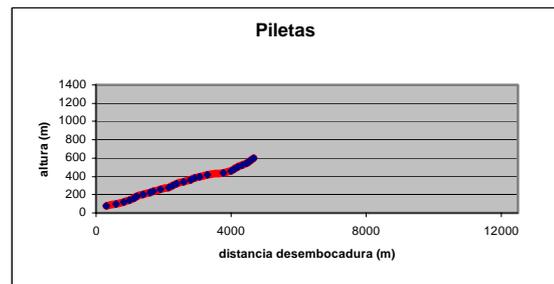
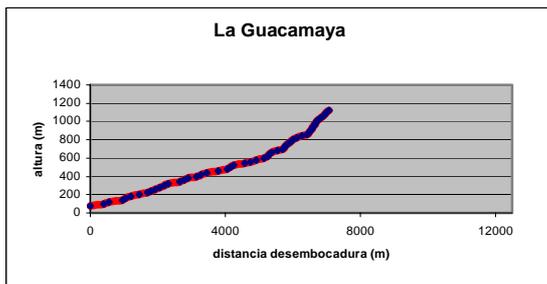
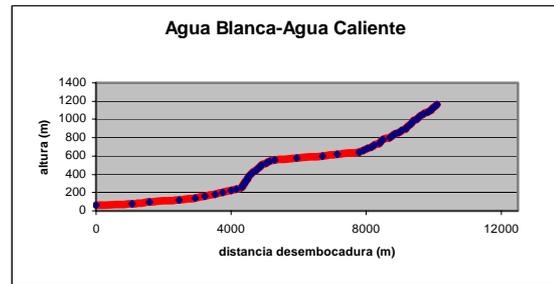
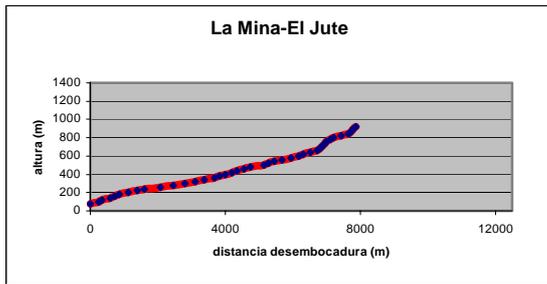
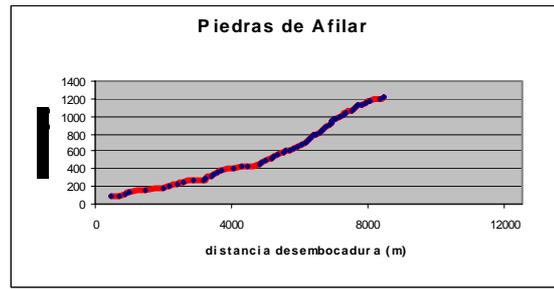
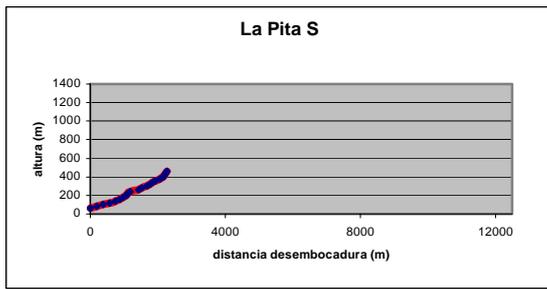
### III.2.2. Perfiles longitudinales de los cauces o quebradas.

Se han realizado los perfiles longitudinales correspondientes a los canales principales de cada una de las microcuencas estudiadas y cuya representación esquemática se presenta a continuación (fig.24) .

En todos los casos, es posible reconocer dos tramos bien definidos: uno, superior, que aparece sobre la altitud de 400 m., que se caracteriza por su mayor ruptura de pendiente y que representa la evolución de la vertiente occidental de la Sierra; y otro, inferior, de pendiente menor y más uniforme.







### II.2.3. Medida de caudales

Dada la ausencia de datos sobre caudales circulantes y para poder efectuar posteriormente las estimaciones de las diferentes fases del “ciclo hidrológico”, hemos tenido que realizar una campaña de toma de datos para la obtención de caudales en cada “microcuenca”; en algunos casos, fundamentalmente en las zonas de cabecera ha sido imposible realizar mediciones, como consecuencia de la ausencia de escorrentía. Paralelamente se ha efectuado la determinación de parámetros físico-químicos del agua.

Los datos de caudales ( $m^3/s$ ) representados en la tabla de la figura 25, corresponden a las medidas efectuadas en zonas de cabecera, aunque la época de toma de datos con la consiguiente escasez o casi ausencia de caudales, no fue la más propicia.

Parte ALTA cuencas	Veloc.(l/seg)	Sección (m2)	Caudal (m3/s)
La Siberia			
Camalote			
Seca	0.29	0.28	0.081
Agua Blanca S	0.05	0.28	
Piedras de Afilar	0.03		
La Guacamaya	20-25		
La Guacamaya	1.7		
La Guacamaya	1.8		
Yoro	0.14		
Tapiquilares	1.8		
Chindongo	0.2		
Corocol			
Agua Blanca S	1.76		
La Zarrosa	0.9		
Monte Cristo			

Fig. 25. Caudales en zonas de cabecera

En la tabla de la figura 26, se representan los datos correspondientes a los caudales medidos en las zonas de desembocadura, antes de confluir con el canal principal. En la figura 27 se representan de forma gráfica, los caudales de salida de las microcuencas.

Del total de las “quebradas” medidas, el 42% lo constituyen cursos de agua permanentes y el 58% son fuentes temporales o de invierno.

. De los valores medidos en la parte baja, los caudales más elevados se corresponden con la quebrada Seca y el río Guaymitas, con valores de  $0.83$  y  $0.71 m^3 / seg.$  respectivamente

Parte BAJA cuencas	Veloc.(l/seg)	Sección (m <sup>2</sup> )	Caudal (m <sup>3</sup> /s)
1. La Colorada	0.625	0.081	0.05
2. La Siberia	0.746	0.208	0.15
3. Guaymitas	0.747	0.96	0.71
4. Jute norte	no se pudo medir		
5. Chindongo	no se pudo medir		
6. Agua Blanca N	0.235	0.032	0.007
7. Yoro	0.29	0.048	0.01
8. Tapiquiales	no se pudo medir		
9. Camalote	0.3	0.234	0.07
10. Seca	3.22	0.26	0.83
11. Corocol	Seca		
12. Pelo	0.623	0.457	0.28
13. Pajuiles	no se pudo medir		
14. Camalote	0.576	0.576	0.33
15. Monte Cristo	0.662	0.28	0.18
16. Arena Blanca	0.306	0.192	0.05
17. La Pita N	Seca		
18. La Pita S	Seca		
18. La Mina	0.625	0.523	0.32
19. La Guacamaya	0.484	0.316	0.15
20. La Zarrosa	Seca		
21. El Bálsamo	Seca		
22. Piedras de Afilar	0.777	0.78	0.6
23. Agua Blanca S	0.873	0.498	0.43
24. Piletas	Seca		
25. Cacao	Seca		
26. Capulín	Seca		

Fig. 26. Caudales en zonas de desembocadura

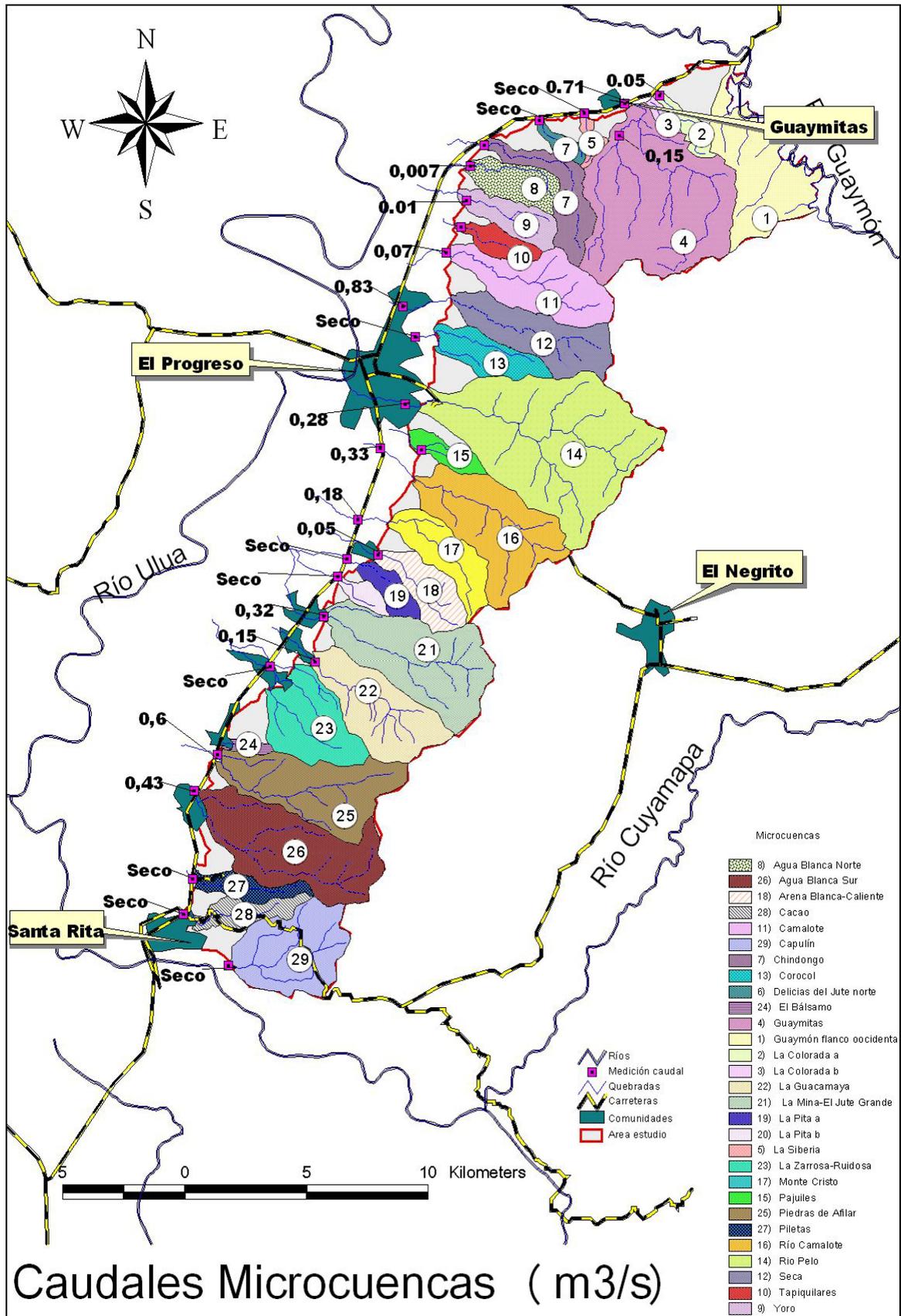


Fig.27. Caudales de salida de las microcuencas.

**Ejemplo de algunas determinaciones efectuadas en la zona de desembocadura:**



Quebrada La Colorada



Quebrada La Guacamaya



Quebrada Chindongo



Quebrada Monte Cristo

**Situaciones en zonas de cabecera:**



Quebrada Pelo



Quebrada Capulín

**Fig. 28. Fotografías de algunas de las determinaciones efectuadas en el campo.**

### III.3. GEOMETRÍA DE LA CUENCA: PARÁMETROS

El cálculo y el análisis de los diferentes parámetros, relacionados con la geometría de la cuenca de drenaje (área, longitud y perímetro), además de permitir su caracterización y su comportamiento hidrológico, sirve para expresar su forma y facilitar la correlación con otras cuencas, a partir de unos índices característicos (Strahler, 1957 y Morisawa, 1958).

Dado el carácter aplicado de nuestro estudio, sólo se han estudiado en detalle las 28 microcuencas, que constituyen la vertiente occidental de la Sierra de Mico Quemado, y por tanto la divisoria oriental de la cuenca de drenaje del Río Ulua.

Los principales parámetros que se utilizan para caracterizar la geometría de una cuenca, son:

#### III.3.1. Área de drenaje ( A ).

Se obtiene planimetrando la superficie correspondiente a la cuenca. En nuestro caso el valor obtenido es de **300,48 Km<sup>2</sup>**, que corresponde al total de la superficie de las “microcuencas” estudiadas y que se recogen en la tabla de la figura 29.

Este parámetro además de proporcionarnos el valor máximo de la superficie potencial de aporte de masa (partículas sólidas y en dilución), permite la estimación del caudal medio en cualquier punto de la red de drenaje a partir de la medida de caudal en el nivel de base y el área de la cuenca situada por encima de ese punto. La relación entre la superficie de la cuenca y el caudal responde a una función (Strahler, 1979) :

$$Q = A^b a$$

(Q = caudal ; A = superficie de la cuenca ; b = exponente de valor próximo a la unidad ; a = constante numérica)

La relación entre el caudal y la superficie de la cuenca permite calcular el “módulo específico”, parámetro utilizado en el análisis de la escorrentía superficial.

#### III.3.2. Perímetro de la cuenca ( P ).

Es la longitud medida de la proyección horizontal de las divisorias de las cuencas. Su cálculo permite determinar algunos de los índices usados para definir la forma de las cuencas. En nuestro caso el valor es de 131,12 km. En la tabla de la figura 29 se representan los valores de todas las microcuencas

#### III.3.3. Longitud de la cuenca ( L ).

Es la distancia medida a lo largo del canal principal desde la desembocadura de la cuenca hasta el punto más lejano de la divisoria de cuencas. Es un parámetro interesante para poder calcular diferentes índices morfométricos, como indicador de relieve (“índice de relieve”, Shumm, 1956) y desde un punto de vista hidrológico. Los valores obtenidos para cada una de las microcuencas, se representan en la figura 29.

ID	Microcuenca	Area (km <sup>2</sup> )	Perímetro (km)	L (km)
Mc-01	Guaymón flanco oocid.	14.97	28.54	-
Mc-02	La Colorada E	2.36	8.91	4.38
Mc-03	La Colorada W	0.91	4.53	1.97
Mc-04	Guaymitas	31.13	26.22	12.48
Mc-05	La Siberia	1.15	6.09	2.23
Mc-06	Delicias del Jute norte	1.36	6.16	2.93
Mc-07	Chindongo	6.95	17.35	8.43
Mc-08	Agua Blanca Norte	5.22	10.78	5.34
Mc-09	Yoro	4.87	11.05	5.40
Mc-10	Tapiquilares	3.02	9.04	4.01
Mc-11	Camalote	12.09	17.76	8.70
Mc-12	Seca	11.11	17.93	8.12
Mc-13	Corocol	5.66	12.48	5.52
Mc-14	Rio Pelo	37.30	29.68	13.58
Mc-15	Pajuiles	2.65	8.41	2.91
Mc-16	Río Camalote	17.13	20.86	7.51
Mc-17	Monte Cristo	7.42	14.31	6.45
Mc-18	Arena Blanca-Caliente	6.01	11.86	5.06
Mc-19	La Pita N	2.72	7.89	3.48
Mc-20	La Pita S	1.58	5.98	2.82
Mc-21	La Mina-El Jute Grande	19.03	20.60	8.86
Mc-22	La Guacamaya	13.12	17.64	6.81
Mc-23	La Zarrosa-Ruidosa	10.76	14.53	5.24
Mc-24	El Bálsamo	0.90	4.83	2.00
Mc-25	Piedras de Afilas	15.76	20.86	8.79
Mc-26	Agua Blanca Sur	19.90	23.08	10.54
Mc-27	Piletas	3.30	11.83	5.28
Mc-28	Cacao	3.95	12.92	6.14
Mc-29	Capulín	13.18	16.01	6.41
<b>Total</b>		300.48	131.12	

**Fig. 29. Valores bases de los parámetros de las cuencas.**

### III.3.4. Relación de elongación (Re)

Schumm (1956), la definió como la relación que existe entre el diámetro de un círculo de la misma superficie que la cuenca considerada (A) y la longitud de ésta (L). Para un círculo ésta relación correspondería a la unidad, y disminuye a medida que la elongación aumenta. Es uno de los índices más utilizados para caracterizar el comportamiento hidrológico de una cuenca.

$$Re = 2\sqrt{A} / \pi L$$

Los valores obtenidos de **Re** (tabla de la figura 30), oscilan para las diferentes microcuencas, entre **0,39** y **0,89**. El valor más elevado (0,89) corresponde a la cuenca de Guaymitas, indicando una escasa relación de elongación; el valor mínimo (0,39) de la cuenca de Chindongo indica una elongación alta de la cuenca; el resto de las cuencas presenta valores de elongación media.

### III.3.5. Relación de circularidad ( $R_c$ )

Propuesta por Miller (1953), es la relación que existe entre la superficie de la cuenca (A) y la superficie del círculo de igual perímetro (P). Para un círculo  $R_c = 1$ , al aumentar la elongación iría disminuyendo este valor.

$$R_c = 4\pi A/P^2$$

El valor de éste índice para las diferentes microcuencas (fig.30), oscila entre **0,29** y **0,64** lo que indica una forma relativamente elongada de las cuencas y en consonancia con el valor alcanzado por el índice de relación de elongación.

### III.3.6. Factor de forma (F)

Horton (1932) lo definió como la relación entre el área de la cuenca (A) y la longitud de la misma al cuadrado, ( $F = A / L^2$ ).

El valor teórico de  $F = 0,78$ , corresponde a una forma circular, valores inferiores corresponden a cuencas más elongadas.

Los valores obtenidos (figura 30) oscilan entre **0,09** y **0,39**. El valor más bajo (0.09) corresponde a la cuenca de Chindongo, y el valor más elevado (0.39) a la Zarrosa-Ruidosa.

### III.3.7. Índice de Gravelius o de Compacidad (k)

Indica una aproximación a la forma de la cuenca de drenaje y considera la relación entre el perímetro de la cuenca considerada y el de un círculo con la misma superficie.

Si la forma de la cuenca fuera circular el índice sería la unidad.

$$k = 0,28 P/\sqrt{A}$$

(P = perímetro de la cuenca y A = superficie de la cuenca)

Los valores obtenidos para las diferentes microcuencas, oscilan entre **1,23** y **1,84** y se recogen en la figura 30. La mayor parte de ellas presenta valores cercanos a **1,4**, lo que indica perímetros poco recortados (cuencas con perímetros “suaves”) y de media a alta compacidad

ID	Microcuenca	Re	Rc	F	k
Mc-02	La Colorada E	0,490	0,37	0,12	1,62
Mc-03	La Colorada W	0,574	0,56	0,23	1,33
Mc-04	Guaymitas	0,897	0,57	0,20	1,32
Mc-05	La Siberia	0,563	0,39	0,23	1,59
Mc-06	Delicias del Jute norte	0,528	0,45	0,16	1,48
Mc-07	Chindongo	0,398	0,29	0,10	1,84
Mc-08	Agua Blanca Norte	0,687	0,56	0,18	1,32
Mc-09	Yoro	0,554	0,50	0,17	1,40
Mc-10	Tapiquilares	0,531	0,46	0,19	1,46
Mc-11	Camalote	0,554	0,48	0,16	1,43
Mc-12	Seca	0,533	0,43	0,17	1,51
Mc-13	Corocol	0,511	0,46	0,19	1,47
Mc-14	Rio Pelo	0,716	0,53	0,20	1,36
Mc-15	Pajuiles	0,538	0,47	0,31	1,45
Mc-16	Río Camalote	0,665	0,49	0,30	1,41
Mc-17	Monte Cristo	0,596	0,46	0,18	1,47
Mc-18	Arena Blanca-Caliente	0,631	0,54	0,23	1,35
Mc-19	La Pita N	0,565	0,55	0,22	1,34
Mc-20	La Pita S	0,562	0,56	0,20	1,33
Mc-21	La Mina-El Jute Grande	0,679	0,56	0,24	1,32
Mc-22	La Guacamaya	0,611	0,53	0,28	1,36
Mc-23	La Zarrosa-Ruidosa	0,766	0,64	0,39	1,24
Mc-24	El Bálsamo	0,533	0,48	0,22	1,43
Mc-25	Piedras de Afilas	0,577	0,46	0,20	1,47
Mc-26	Agua Blanca Sur	0,670	0,47	0,18	1,45
Mc-27	Piletas	0,435	0,30	0,12	1,82
Mc-28	Cacao	0,420	0,30	0,10	1,82
Mc-29	Capulín	0,809	0,65	0,32	1,23

**Fig. 30. Parámetros de geometría de cuencas**

### III.3.8. Comentarios a los resultados obtenidos.

Se han calculado cuatro índices, para las diferentes cuencas, con significado análogo, sin preferencia en los resultados obtenidos ya que somos conscientes de que los valores obtenidos son aproximaciones de la realidad y sirven para correlacionar. No obstante, en todos los casos existe una correlación positiva entre los índices de elongación, compacidad y circularidad (Morisawa, 1958).

En su mayoría, excepto en los máximos y mínimos ya citados, corresponden a cuencas con geometrías elongadas, perímetros relativamente suaves y de moderada a alta compacidad. En todos los casos la geometría es congruente con las directrices tectónicas y el comportamiento diferencial de los distintos materiales geológicos drenados.

### **III.4. RELIEVE DE LA CUENCA: PARÁMETROS**

El tratamiento de los factores de relieve y su cuantificación son la base del análisis morfométrico de una cuenca de drenaje. Los parámetros obtenidos permiten la caracterización del modelo de cuenca y una correlación con la energía potencial y el funcionamiento hidrológico de la misma. Para caracterizar el relieve de una cuenca de drenaje se utilizan diferentes indicadores : pendiente media de la cuenca, altitud máxima, media y mínima, altitud media, etc. Los valores obtenidos se recogen en la tabla de la figura 31.

#### **III.4.1. Pendiente de las cuencas ( s )**

Se ha calculado mediante la media ponderada de las superficies que presentan un valor constante ( $s = \Delta H / L$ ), y refleja el cambio de elevación desde el punto más elevado al punto más bajo, en relación con la longitud. Los valores correspondientes de cada una de ellas aparecen en la tabla de la figura 31. El valor máximo (30,48 %) corresponde a Pajuiles y el mínimo (3,75 %) a Delicias del Jute Norte.

#### **III.4.2. Altura máxima de las cuencas ( H )**

La máxima altura, con un valor de 1220 m, corresponde a la cuenca de Piedras de Afilar, ubicada en la zona suroccidental de la Cordillera.

#### **III.4.3. Altura mínima de las cuencas ( h )**

Los valores mínimos de altura registrados en las cuencas han sido tomados en los puntos más bajos de la Cordillera, mediante límites en todo el borde de la misma. Este valor mínimo es de 40 m, y le corresponde a varias cuencas (Delicias del Jute Norte, Chindongo, Agua Blanca Norte, Yoro, Tapiquiales y Camalote), todas ellas situadas en la zona noroccidental de la Cordillera.

#### **III.4.4. Diferencia absoluta de alturas o Desnivel absoluto ( D = H – h )**

A partir de las ideas de Schumm (1956) se utiliza como una expresión del relieve global de la cuenca y se calcula por diferencia de cotas entre el punto más elevado de la divisoria de aguas y el del nivel de base de la cuenca. la máxima diferencia corresponde a Piedras de Afilar (1.140 m.) y el valor mínimo a Piletas (80 m.), los valores se recogen en la figura 31.

#### **III.4.5. Altura media a partir de D (h<sub>md</sub>)**

Corresponde al valor medio de la altura correspondiente al desnivel absoluto o diferencia absoluta de alturas (D) y toma el valor máximo en Piedras de Afilar (570 m.), y el mínimo aparece en Piletas (40 m.).

### III.4.6. Relación de relieve ( RI )

Definida por Schumm (1956) como la relación que existe entre la diferencia absoluta de alturas (D) y la longitud de la cuenca (L). Además de ser un indicador de relieve se ha demostrado la correlación positiva entre este valor y la tasa de producción de masa de partículas por unidad de superficie de la cuenca. En nuestro caso (fig.31) toma un valor máximo en Pajuiles (0,22) y mínimo en Piletas (0,015).

Microcuenca	s (%)	Grados (°)	H (m)	h (m)	D (m)	h (md)	RI
La Colorada E	7,75	4,4	400	100	300	150	0,069
La Colorada W	7,09	4,1	180	80	100	50	0,051
Río Guaymitas	5,45	3,1	700	60	640	320	0,051
La Siberia	6,44	3,7	180	50	130	65	0,058
Delicias del Jute norte	3,75	2,1	140	40	100	50	0,034
Chindongo	9,04	5,2	740	40	700	350	0,083
Agua Blanca Norte	6,58	3,8	340	40	300	150	0,056
Yoro	11,30	6,4	560	40	520	260	0,096
Tapiquilares	11,32	6,5	400	40	360	180	0,090
Camalote	8,38	4,8	720	40	680	340	0,078
Seca	9,07	5,2	760	80	680	340	0,084
Corocol	13,19	7,5	660	60	600	300	0,109
Río Pelo	5,14	2,9	760	80	680	340	0,050
Pajuiles	30,48	16,9	700	60	640	320	0,220
Río Camalote	9,32	5,3	780	80	700	350	0,093
Monte Cristo	14,33	8,2	960	80	880	440	0,136
Arena Blanca	20,72	11,7	1060	80	980	490	0,194
La Pita N	23,70	13,3	700	60	640	320	0,184
La Pita S	19,70	11,1	460	60	400	200	0,142
La Mina	10,53	6,0	920	80	840	420	0,095
La Guacamaya	16,56	9,4	1120	80	1040	520	0,153
La Zarrosa	20,30	11,5	880	60	820	410	0,156
El Bálsamo	13,45	7,7	240	80	160	80	0,080
Piedras de Afilar	13,85	7,9	1220	80	1140	570	0,130
Agua Blanca Sur	11,34	6,5	1160	60	1100	550	0,104
Piletas	11,13	6,4	600	80	80	40	0,015
Cacao	8,53	4,9	460	60	400	200	0,065
Capulín	10,51	6,0	700	60	640	320	0,100

**Fig.31. Parámetros de relieve de la cuenca**

### III.4.7. Comentarios a los resultados obtenidos.

La máxima pendiente corresponde al canal de Pajuiles (30,48 %) lo que indica un alto potencial de capacidad erosiva y un tiempo de respuesta a las precipitaciones, muy rápido. La forma de los perfiles longitudinales, anteriormente citados (apartado III.2), con un punto de inflexión generalizado sobre los 400 m. de altitud, permite el reconocimiento de dos ramas en las curvas, sin embargo no se puede detectar el carácter cóncavo o convexo de los tramos, lo que indica en principio un estado de evolución medio.

### III.5. COMPOSICIÓN DE LAS CUENCAS DE DRENAJE

Para poder caracterizar morfométricamente una cuenca de drenaje se necesita, además de considerar la geometría y relieve de la misma (expresados mediante parámetros e indicadores), el estudio de la red de drenaje constituida por todos los canales que la integran y que según su número, longitud, forma, densidad, etc., van a permitir conocer el tipo de comportamiento fluvial.

El análisis de la composición de estas redes de drenaje (elementos lineales y superficiales), junto con los factores climáticos y geológicos, dan la posibilidad de conocer cómo se distribuyen los caudales, velocidad con que se desplaza el agua, capacidad de erosión y de transporte de materiales, e incluso la evolución geoquímica de las aguas superficiales.

Para cada microcuenca se han identificado, cartografiado y medido los elementos lineales (número y longitud de canales de todos los órdenes) y los superficiales (área de canales de cada orden y relaciones) y la densidad de drenaje.

#### III.5.1. Parámetros lineales

##### III.5.1.1. Orden de canales

Siguiendo los métodos de Horton (1945) y Strahler (1952), en cada red fluvial hay siempre una jerarquía de canales. Los canales de orden mínimo de la red serán de **primer orden**, y son los que recogen la escorrentía difusa (laminar no concentrada), los de **segundo orden** son los resultantes de la unión de dos o más segmentos de primer orden, los cauces de **tercer orden** resultan de la unión de dos o más cauces de segundo orden, y así sucesivamente.

De acuerdo con la primera de las leyes de composición de la red de drenaje de Horton (“*Ley de número de canales*”), el número de canales de distinto orden en una cuenca de drenaje tiende a una progresión geométrica inversa cuyo primer término es la unidad y la razón la **Relación de bifurcación**.

Si conocemos el orden de un cauce, y el número de segmentos que hay, podemos determinar la relación de bifurcación o proporción que hay entre el n° de segmentos de un orden y el n° de segmentos de orden inmediatamente superior.

$$Rb = No/(Nos)$$

**Rb**= *Relación de bifurcación*

**No**= *Número de segmentos de un determinado orden*

**Nos**= *Número de segmentos de orden superior*

Los valores obtenidos para estos parámetros se recogen en la figura 32. En las cuencas estudiadas, solo el río Guaymitas llega a tener un cauce de orden 4; en la mayoría de las demás, el de orden mayor es de 2, y solo la antes mencionada Guaymitas, en Corocol, río Pelo, río Camalote, Arena Blanca, La Guacamaya, La Zarrosa y Piedras de Afilas tienen un orden de 3.

Según Strahler (1979) el rango de variación de la relación de bifurcación media para una cuenca extensa, homogénea y sin gran complejidad geológica varía entre 3 y 5. En nuestro caso, cuencas muy pequeñas y de gran diversidad geológica, los valores de **Rb** oscilan entre 2,5 y 5.5, con algunas excepciones de valores mayores y que corresponden a cuencas pequeñas de gran elongación.

<b>Quebrada</b>	<b>Orden</b>	<b>N° segmentos</b>	<b>Rb</b>	<b>Rb media</b>
<b>La Colorada E</b>	<b>1</b>	5	5	5
	<b>2</b>	1		
<b>La Colorada W</b>	<b>1</b>	2	2	2
	<b>2</b>	1		
<b>Guaymitas</b>	<b>1</b>	12	3	3.5
	<b>2</b>	4		
	<b>3</b>	2	2	
	<b>4</b>	1	2	
<b>La Siberia</b>	<b>1</b>	3	3	3
	<b>2</b>	1		
<b>Delicias del Jute N</b>	<b>1</b>	5	5	5
	<b>2</b>	1		
<b>Chindongo</b>	<b>1</b>	9	9	9
	<b>2</b>	1		
<b>Agua Blanca N</b>	<b>1</b>	6	6	6
	<b>2</b>	1		
<b>Yoro</b>	<b>1</b>	2	2	2
	<b>2</b>	1		
<b>Tapiquilares</b>	<b>1</b>	3	3	3
	<b>2</b>	1		
<b>Camalote</b>	<b>1</b>	4	4	4
	<b>2</b>	1		
<b>Seca</b>	<b>1</b>	3	3	3
	<b>2</b>	1		
<b>Corocol</b>	<b>1</b>	6	3	2.5
	<b>2</b>	2		
	<b>3</b>	1	2	
<b>Río Pelo</b>	<b>1</b>	12	6	4
	<b>2</b>	2		
	<b>3</b>	1	2	
<b>Pajuiles</b>	<b>1</b>	2	2	2
	<b>2</b>	1		
<b>Río Camalote</b>	<b>1</b>	9	4.5	3.25
	<b>2</b>	2		
	<b>3</b>	1	2	
<b>Monte Cristo</b>	<b>1</b>	2	2	2
	<b>2</b>	1		
<b>Arena Blanca</b>	<b>1</b>	2	1	1.5
	<b>2</b>	2		
	<b>3</b>	1	2	
<b>La Pita N</b>	<b>1</b>	3	3	3
	<b>2</b>	1		

La Pita S	1	2	2	2
	2	1		
La Mina-El Jute	1	6	6	6
	2	1		
La Guacamaya	1	8	4	3
	2	2		
	3	1	2	
La Zarrosa	1	4	1.33	2.165
	2	3		
	3	1	3	
El Bálsamo	1	2	2	2
	2	1		
Piedras de Aflar	1	5	2.5	2.25
	2	2		
	3	1	2	
Agua Blanca S	1	7	7	7
	2	1		
Piletas	1	4	4	4
	2	1		
Cacao	1	5	5	5
	2	1		
Capulín	1	4	4	4
	2	1		

**Fig.32. Orden de canales y relación de bifurcación.**

### III.5.1.2. Longitud de canales ( Lc )

La **longitud de los canales** (distancia desde su origen hasta su confluencia o desembocadura) medida sobre mapa topográfico y/o fotografía aérea, permite calcular la “*longitud media*” de los canales de cada orden.

La longitud de los canales de cada orden es un factor dimensional, que revela las características del tamaño de los componentes de la textura del drenaje y su contribución a las superficies de cada cuenca.

Horton (1945), postuló que la relación de longitudes ( $R_l = L_u / L_{u-1}$ ) tiende a ser constante a través de los ordenes sucesivos. Se conoce como la “*ley de longitud de canales*” que dice que la longitud de los canales de ordenes sucesivos tienden a una progresión geométrica, cuyo primer término es la longitud de segmentos de primer orden:

$$L_u = L_1 R_l^{u-1}$$

En las quebradas de la Cordillera de Mico Quemado, las que presentan mayor longitud son el río Pelo con 13.24 km, y el río Guaymitas, con 11.75 km de longitud. El resto de quebradas están por debajo (ver tabla de valores en la figura 33).

Microcuenca	Lc (km)	D (1/km)
La Colorada E	3,87	1,81
La Colorada W	1,41	1,87
Río Guaymitas	11,75	1,24
La Siberia	2,02	2,05
Delicias del Jute norte	2,67	4,96
Chindongo	7,74	1,23
Agua Blanca Norte	4,56	1,10
Yoro	4,6	1,23
Tapiquilares	3,18	1,30
Camalote	8,11	0,98
Seca	7,5	0,98
Corocol	4,55	2,29
Río Pelo	13,24	0,93
Pajuiles	2,1	1,88
Río Camalote	7,51	1,07
Monte Cristo	6,14	1,11
Arena Blanca	4,73	1,12
La Pita N	2,7	1,01
La Pita S	2,03	1,72
La Mina	7,98	0,95
La Guacamaya	6,28	1,16
La Zarrosa	4,04	1,48
El Bálsamo	1,19	2,40
Piedras de Afilas	8,23	1,10
Agua Blanca Sur	9,7	1,10
Piletas	4,67	1,70
Cacao	4,69	1,85
Capulín	6,09	1,06

**Figura 33. Valores de parámetros lineales y superficiales de las cuencas.**

### III.5.2. Parámetros superficiales

En éste apartado se incluyen los elementos de carácter superficial de la cuenca de drenaje como son las áreas drenadas por los canales y las distintas relaciones según el orden, número y longitud de los mismos. En este caso sólo se ha calculado la densidad de las distintas redes de drenaje, por considerarla el parámetro más característico (fig.33).

#### III.5.2.1. Densidad de la red de drenaje ( D )

Es el parámetro, quizás, más indicativo de una cuenca ya que representa la relación de la longitud de canales por unidad de superficie. Se expresa, como :

$$D = \Sigma Lu / Au$$

(siendo Lu: longitud de cada canal de orden u y Au: Superficie de la cuenca)

La densidad de drenaje de una cuenca está controlada por la interacción de varios factores: clima, geología (litología y estructura), relieve, vegetación y potencial edáfico; incluso se ve afectada por la ocupación humana y los usos del territorio. De acuerdo con la importancia decisiva del clima, la litología y la vegetación, se pueden diferenciar distintos tipos de “textura” de la red de drenaje (Smith, 1950; Strahler, 1957 y 1979; Morisawa, 1985). Los valores obtenidos para cada cuenca de drenaje se representan en la figura 33.

### III.5.3. Comentarios a los resultados obtenidos.

El **orden** máximo de canales lo presenta el río Guaymitas ( 4° ) los ríos Pelo, Camalote, Arena Blanca, La Guacamaya, La Zarrosa y Piedras de Afilar tienen un orden de 3 y el resto es de orden 2.

La variación de la **relación de bifurcación (Rb)** oscila entre 2,5-5,5, debido a la gran complejidad geológica (diversidad de materiales de distinto comportamiento) y a la escasa dimensión de las cuencas, en general muy elongadas.

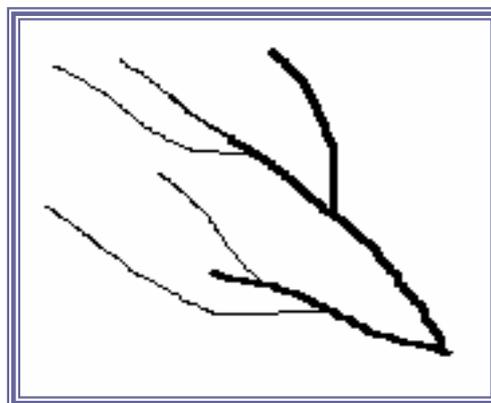
La **longitud del canal** principal es una de las características más importantes de una cuenca de drenaje, en relación con su comportamiento hidrológico y con los otros parámetros lineales y superficiales. En nuestro caso, todos los canales de las cuencas estudiadas presentan longitudes inferiores a 10 km., sólo los ríos Pelo (13,24 Km.) y Guaymitas (11,75 km.) exceden la longitud indicada.

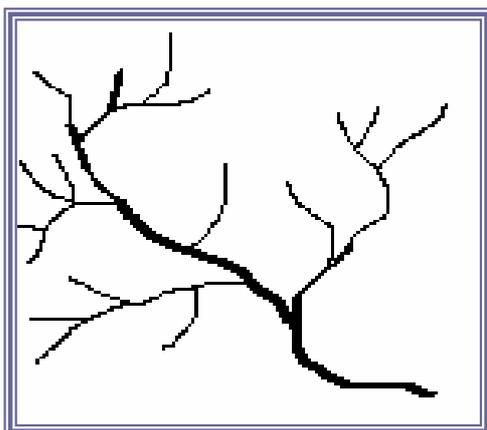
La relación entre la longitud de cada canal y la de la línea recta que une su origen y confluencia, proporciona indicaciones sobre la **sinuosidad** ( $s = 1$ , recto y  $s = 2$ , transición a ligeramente sinuoso) de cada cauce principal. Los valores obtenidos, varían entre 1,1 y 1,2, lo que indica su carácter rectilíneo e inicio de transición a bajas sinuosidades..

La **densidad de drenaje**, presenta en casi todos los casos valores muy diversos según litologías drenadas, oscilando en su mayor parte entre valores bajos ( 1- 2 ) y sólo en tres cuencas aparecen valores superiores( 2-4,9 ). Las texturas son características de cuencas bajo clima húmedo y cálido, con gran desarrollo de cobertura vegetal y sobre litologías competentes de baja permeabilidad.

En general, la forma de las microcuencas es elongada, con sistemas de drenaje principalmente **paralelos**: La Colorada (E y W), La Siberia, Delicias del Jute Norte, Chindongo, Agua Blanca Norte, Yoro, Tapiquiales, Seca, Corocol, Pajuiles, Monte Cristo, La Pita (N y S), El Bálsamo, La Zarrosa/Ruidosa, Piletas y Cacao.

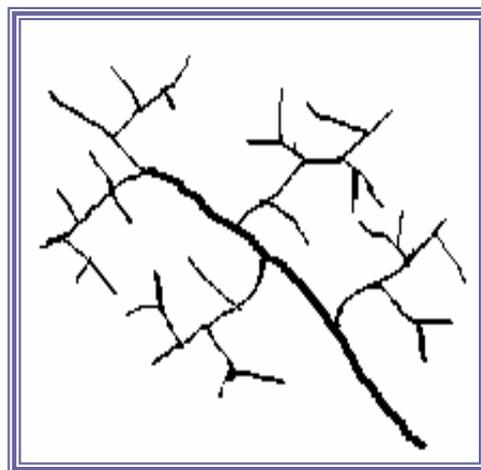
La morfología más rectilínea predomina en los canales de orden 1, o de orden superior encajados en lechos rocosos competentes..





Los canales más cercanos a formas de transición a sistemas **dendríticos** son: Guaymitas, Qda. Camalote, río Camalote, Arena Blanca/Caliente, La Mina/El Jute Grande, La Guacamaya, Agua Blanca sur, Piedras de Afilar y Capulín. Se forman normalmente cuando hay sedimentos erosionables (menos competentes) y sobre fondos más planos. Son formas de transición a sinuosas, típicas de cauces de orden 3 o superior, que discurren por materiales menos resistentes, y se dan en zonas de litología uniforme.

El río Pelo es el único que presenta una morfología más **enrejada**, es decir, tiende a desarrollar cauces en forma de cuadrícula, disponiéndose los canales en ángulo recto con respecto al canal de orden mayor, lo cual implica la existencia de un fuerte control estructural sobre sus cauces debido a la litología (esquistos Cacaguapa). Este tipo de morfología suele ir ligado a la presencia de cauces subsecuentes y consecuentes, es decir, los primeros discurren a favor de zonas de debilidad (fracturas...), y los segundos son los que discurren perpendicularmente a las principales alineaciones montañosas.



En el caso de algunas quebradas tales como Camalote, Seca o La Mina/Jute Grande, el sistema de drenaje sufre un cambio a lo largo de las mismas. En su parte alta poseen un sistema dendrítico que se hace paralelo a medida que se acerca a la desembocadura de la cuenca. Esta condición se da a causa de un cambio litológico además de un cambio de pendiente, factores de los que se ha hablado anteriormente. A medida que se pierde velocidad de flujo el sistema de drenaje se hace más paralelo al cauce principal.

### III.6.- CARACTERÍSTICAS FÍSICO- QUÍMICAS DE LAS AGUAS SUPERFICIALES

El agua disponible como recurso, ha pasado por las distintas fases del “ciclo hidrológico” y por tanto mostrará una mineralización primaria según la dinámica del mismo. A partir del momento de contacto con los materiales de la superficie terrestre, se inician los procesos de adquisición de las sales solubles contenidas en las distintas litofacies de las cuencas.

Al incidir el agua sobre los materiales que afloran en superficie y distribuirse por los canales de la red de drenaje (escorrentía superficial), la rápida circulación y el escaso tiempo de contacto con los materiales que afloran apenas permite iniciar las primeras etapas de equilibrio físico-químico del sistema agua-roca y adquirir una mineralización alta, como consecuencia de la adquisición de las sales solubles presentes en los materiales drenados.

Durante la infiltración y posterior almacenamiento en los acuíferos, las velocidades de flujo son mínimas y el tiempo de contacto alto lo que determina que el agua subterránea alcance fases elevadas de mineralización, e incluso llegar al equilibrio final; por ello las aguas subterráneas presentan, siempre, mayor mineralización que las superficiales.

El caudal de agua que llevan los ríos, escorrentía total, es la suma de las aportaciones de origen superficial (escorrentía directa) y de origen subterráneo (escorrentía subterránea). Por ello, la composición del agua fluvial refleja en cada momento el predominio de una u otra escorrentía. En épocas de estiaje (ausencia de precipitaciones) y por tanto menor caudal, la mineralización es mayor al ser el caudal base de los ríos mayoritariamente de origen subterráneo.

El sustrato de la distintas microcuencas estudiadas está formado ,mayoritariamente, por rocas metamórficas (esquistos, filitas, gneises, etc), rocas ígneas (granitos, granodioritas, basaltos, andesitas, etc) y materiales sedimentarios fundamentalmente siliciclásticos y en menor medida carbonatados (Grupo Valle de Ángeles), que aportan a las aguas drenadas cantidades mínimas de sales solubles y por lo tanto escasa mineralización.

Simultáneamente y en los mismos puntos de medida de caudales, se realizaron medidas “in situ” ( en cabecera y desembocadura) de temperatura, conductividad y pH del agua. Los valores obtenidos se presentan en las tablas siguientes de las figuras 34 y 35.

Parte ALTA cuencas	Tipo	Localización (paraje)	X	Y	Z	Tª(Cº)	Ph	Conductividad
La Siberia	manantial	La Jopona	422208	1707125	841	24.4	7.7	56
La Siberia	manantial	La Jopona	422212	1707085	849	26.5	8.7	128
La Siberia	manantial	La Jopona	422214	1707087	847	24.7	8	90
Camalote	manantial	Las Crucitas	422488	1706186	907	22.8	7.4	42
Seca	quebrada	Las Crucitas	422304	1705058	686.5	22.9	8	147
Agua Blanca S	manantial	El Milagro	408531	1684253	245	26.9	7.2	422
Piedras de Afilas	manantial	Guanchías	410835	1684876	670	22	7.1	399
La Guacamaya	quebrada	La Guacamaya	411557	1690555	193	24.6	8.8	284
La Guacamaya	quebrada	La Guacamaya	412339	1689981	334	24	8.4	290
La Guacamaya	quebrada	La Guacamaya	412339	1689981	334	24	8.5	250
La Guacamaya	manantial	La Guacamaya	412367	1689956	339	23.5	7.7	296
Yoro	quebrada	Yoro	417911	1709813	112	24.8	8.6	466
Tapiquiales	quebrada	Tapiquiales	419135	1707531	313	23.6	8.3	167
Tapiquiales	manantial		419293	1707531	313	24.6	8.1	70
Chindongo	manantial	Chindongo	422021	1707261	812	21.2	5.3	29
Corocol	manantial	Corocol	419085	1702714	636	22.1	8.1	285
Agua Blanca S	quebrada	Cacao	411425	1683122	663			
Agua Blanca S	manantial	Cacao	411422	1683275	705	23.7	7.6	508
Agua Blanca S	manantial	Guanchías	413263	1682581	889	21.7	7.7	429
La Zarrosa	manantial	Espino Flaco	409247	1689469	156	24	7.8	375
Monte Cristo	quebrada	Monte Cristo	416993	1694741	654	22.1	8.5	66

**Fig.34. Parámetros físico-químicos, obtenidos en la cabecera de las cuencas.**

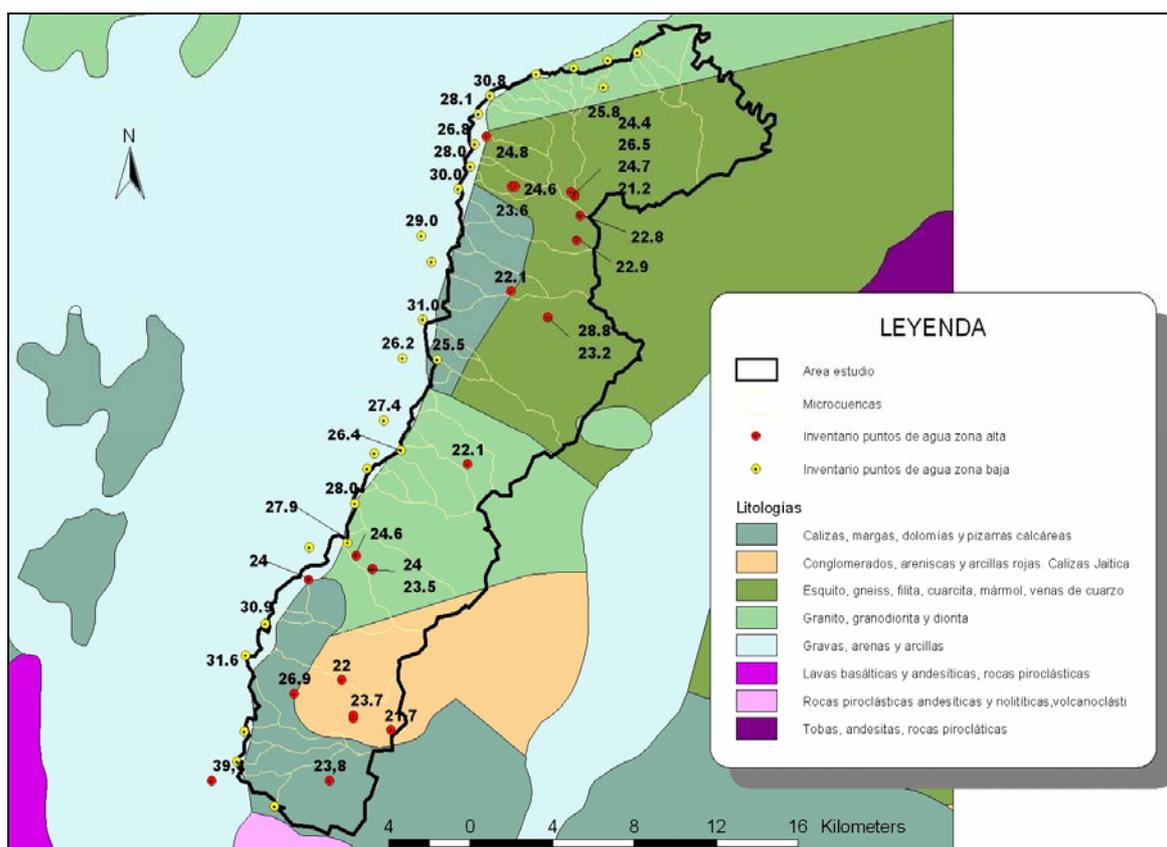
Parte BAJA cuencas	Tipo	X	Y	Z	Tª(Cº)	Ph	Conductividad	Veloc.(l/seg)	Sección (m2)	Caudal (m3/s)
1. La Colorada	quebrada	425251	1713651	148	28.5	6.1	215	0.625	0.081	0.05
2. La Siberia	quebrada	422168	1712943	45	25.8	6.8	183	0.746	0.208	0.15
3. Guaymitas	río	423817	1713311	48	29.8	7.1	208	0.747	0.96	0.71
4. Jute norte	quebrada	420325	1712670	39	No se pudo medir. Agua empantanada					
5. Chindongo	quebrada	418066	1711678	37	30.8	7.2	301	no se pudo medir		
6. Agua Blanca N	quebrada	417512	1710840	39	28.1	6	188	0.235	0.032	0.007
7. Yoro	quebrada	417342	1709462	66	26.8	6.8	228	0.29	0.048	0.01
8. Tapiquiales	quebrada	417122	1708426	48	28	7.1	269	no se pudo medir		
9. Camalote	quebrada	416525	1707396	43	30	7.4	274	0.3	0.234	0.07
10. Seca	quebrada	414729	1705267	56	29	6.1	340	3.22	0.26	0.83
11. Corocol	quebrada	415228	1704057	75	seca					
12. Pelo	río	414814	1701404	68	31	7.6	298	0.623	0.457	0.28
13. PajUILes	quebrada	415503	1699594	125	25.5	7.3	300	no se pudo medir		
14. Camalote	río	413820	1699651	46	26.2	7.2	183	0.576	0.576	0.33
15. Monte Cristo	quebrada	412897	1696818	56	27.4	7.6	195	0.662	0.28	0.18
16. Arena Blanca	quebrada	413728	1695405	136	26.4	7	222	0.306	0.192	0.05
17. La Pita N	quebrada	412425	1695253	58	seca					
18. La Pita S	quebrada	412073	1694540	60						
18. La Mina	quebrada	411499	1692963	199	28	7.3	293	0.625	0.523	0.32
19. La Guacamaya	quebrada	411122	1691145	89	27.9	7.4	275	0.484	0.316	0.15
20. La Zarrosa	quebrada	409275	1690962	52	seca					
21. El Bálsamo	quebrada	407316	1687963	66	seca					
22. Piedras de Afilar	quebrada	407111	1687468	70	30.9	7.3	243	0.777	0.78	0.6
23. Agua Blanca S	quebrada	406181	1686012	68	31.6	7.1	284	0.873	0.498	0.43
24. Piletas	quebrada	406110	1682525	79	seca					
25. Cacao	quebrada	405727	1681136	64	seca					
26. Capulín	quebrada	407560	1679100	73	seca					

**Fig.35. Parámetros físico-químicos, obtenidos en la desembocadura de las cuencas**

### III.6.1. Temperatura

Fundamental en el desarrollo de la solubilidad de los gases y de las sales, así como en las reacciones biológicas. Una temperatura elevada implica la aceleración de “putrefacción” y por tanto un aumento de la demanda de oxígeno.

Las temperaturas de los ríos considerados (figs. 34 y 35 ) muestran valores en un intervalo bien definido entre los 22 y 26 °C en la zona de cabecera y entre 25 y 30 °C en las zonas de desembocadura. En la figura 36 se representa un mapa de distribución de temperaturas.



**Fig. 36. Mapa de Temperaturas**

### III.6.2. Conductividad :

La conductividad eléctrica del agua es la cantidad de electricidad que el agua puede conducir expresada en magnitudes químicas. La conductividad en medios líquidos está relacionada con la presencia de sales en solución. Los iones cargados positiva y negativamente son los que conducen la corriente, y la cantidad conducida dependerá del número de iones presentes y de su movilidad. En la mayoría de las soluciones acuosas, cuanto mayor sea la cantidad de sales disueltas, mayor será la conductividad, este efecto continúa hasta que la solución está tan llena de iones que se restringe la libertad de movimiento y la conductividad puede disminuir en lugar de aumentar, dándose casos de dos diferentes concentraciones con la misma conductividad.

Al indicar la concentración de sólidos disueltos, es un valor muy útil para determinar cambios a corto plazo en la calidad de las aguas y permite estudiar la evolución geoquímica a lo largo del curso de un río. La conductividad aumenta con el contenido de iones disueltos, por lo que representa una medida indirecta de la mineralización de un agua, se mide en microsiemens/cm ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) o en microohmios/cm ( $\mu\Omega/\text{cm}$ ). Para aguas naturales varía, entre 200-2000 ( $\mu\Omega/\text{cm}$ ) a 18°C. La conductividad aumenta con la temperatura, por eso se debe determinar a una temperatura de referencia (18°C ó 25°C). Un aumento en la temperatura, disminuye la viscosidad del agua y permite que los iones se muevan más rápidamente, conduciendo más electricidad. Este efecto de la temperatura es

diferente para cada ion, pero en general para soluciones acuosas diluidas, la conductividad varía de 1 a 4 % por cada ° C.

En las figuras 34 y 35 se han recogido los valores de conductividad de los ríos estudiados, y en el mapa de la figura 37 se representa la distribución de valores de conductividad. Los valores más elevados que aparecen, corresponden a muestras de aguas subterráneas (manantiales), mientras que los más bajos son de aguas superficiales. En general, todos los valores encontrados representan una medida de mineralización media-baja.

El agua presenta una mineralización moderada a débil, acorde con las escasas sales solubles que ceden las litofacies que drenan. Además, dada la época de las determinaciones efectuadas, fuera de la estación de lluvias, los valores obtenidos corresponderían a una época, en las que el caudal es mínimo y en su mayor parte de origen subterráneo.

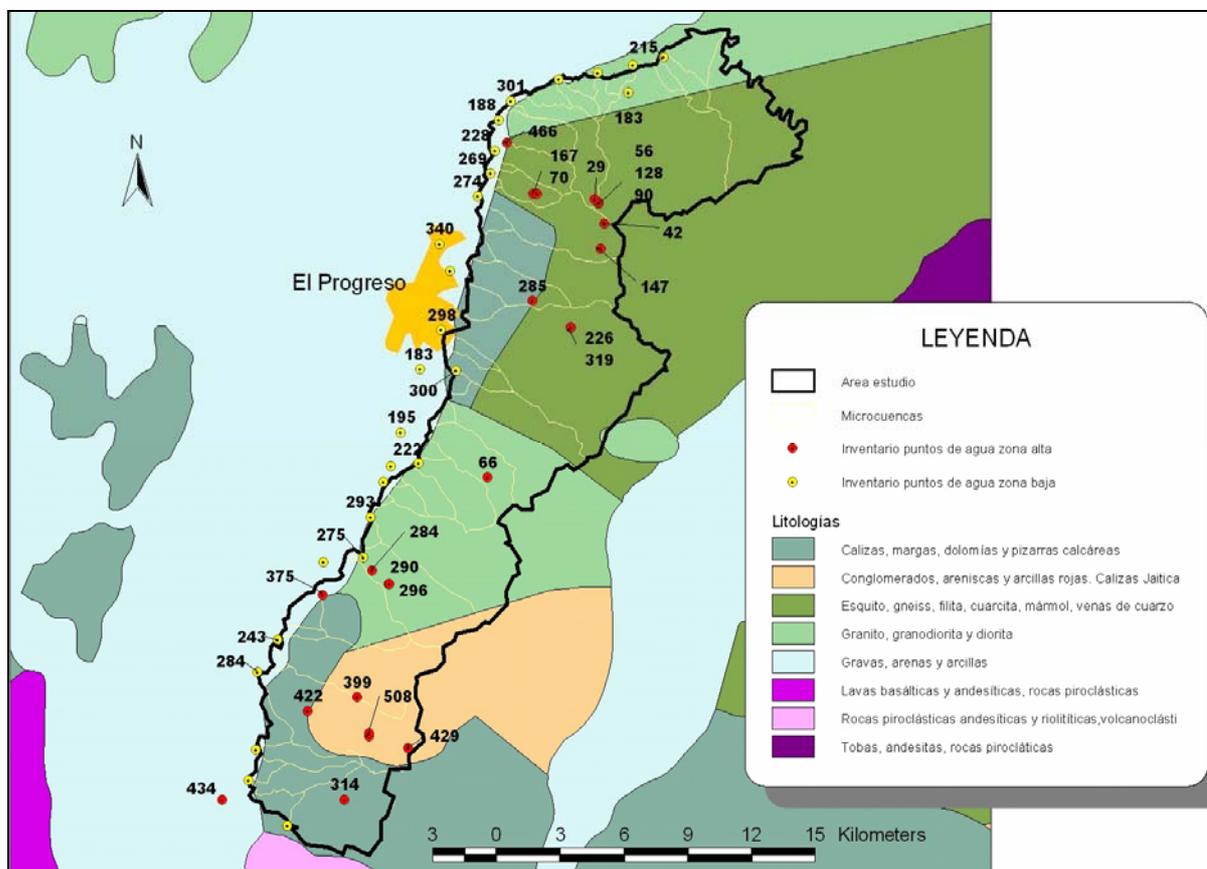


Fig.37. Mapa de conductividades

### III.6.3. pH

El pH demuestra si una sustancia es ácida (pH 1-6), neutra (pH 7) o básica (pH 8-14). El número de átomos de hidrógeno en la sustancia es lo que lo determina. Cuanto más átomos de hidrógeno una sustancia contenga, más bajo es el pH. Una sustancia que contiene muchos átomos del hidrógeno es ácida.

El origen del pH en las aguas puede ser natural (ácido carbónico disuelto, ácidos orgánicos y aporte de sulfuros) o artificial, por aportes de aguas ácidas o básicas, procedentes de distintas actividades humanas. El pH crece el 8% por cada °C al crecer la temperatura y por tanto hay que darlo referido a una temperatura determinada (18°C ó 25°C). Los valores en aguas naturales oscilan entre 6,5-8 y más raramente entre 5,5-8,5.

En la tabla de las figuras 34 y 35, se representan los valores de pH y en el mapa de la figura 38, la distribución de valores. A pesar de las fluctuaciones que presentan los datos analizados, todos los valores están en el intervalo óptimo entre 6,5 y 8,5 para el desarrollo de la flora y fauna acuática y aunque superan ligeramente, con carácter puntual, los valores estrictos de potabilidad (7-8,5) están en los tolerables.

El pH está controlado por los componentes químicos (adquisición natural o contaminación) en el agua, el pH es un indicador importante de cambios químicos en la composición de las aguas. El pH se reporta en "unidades logarítmicas; cada número representa un cambio de 10 veces su valor en la acidez/rango normal del agua. El agua con un pH de 5, es diez veces más ácida que el agua que tiene un pH de 6. Los pH más elevados corresponden a las medidas efectuadas en las quebradas de Monte Cristo y río Pelo, con valores de 7.6, en las zonas de desembocadura.

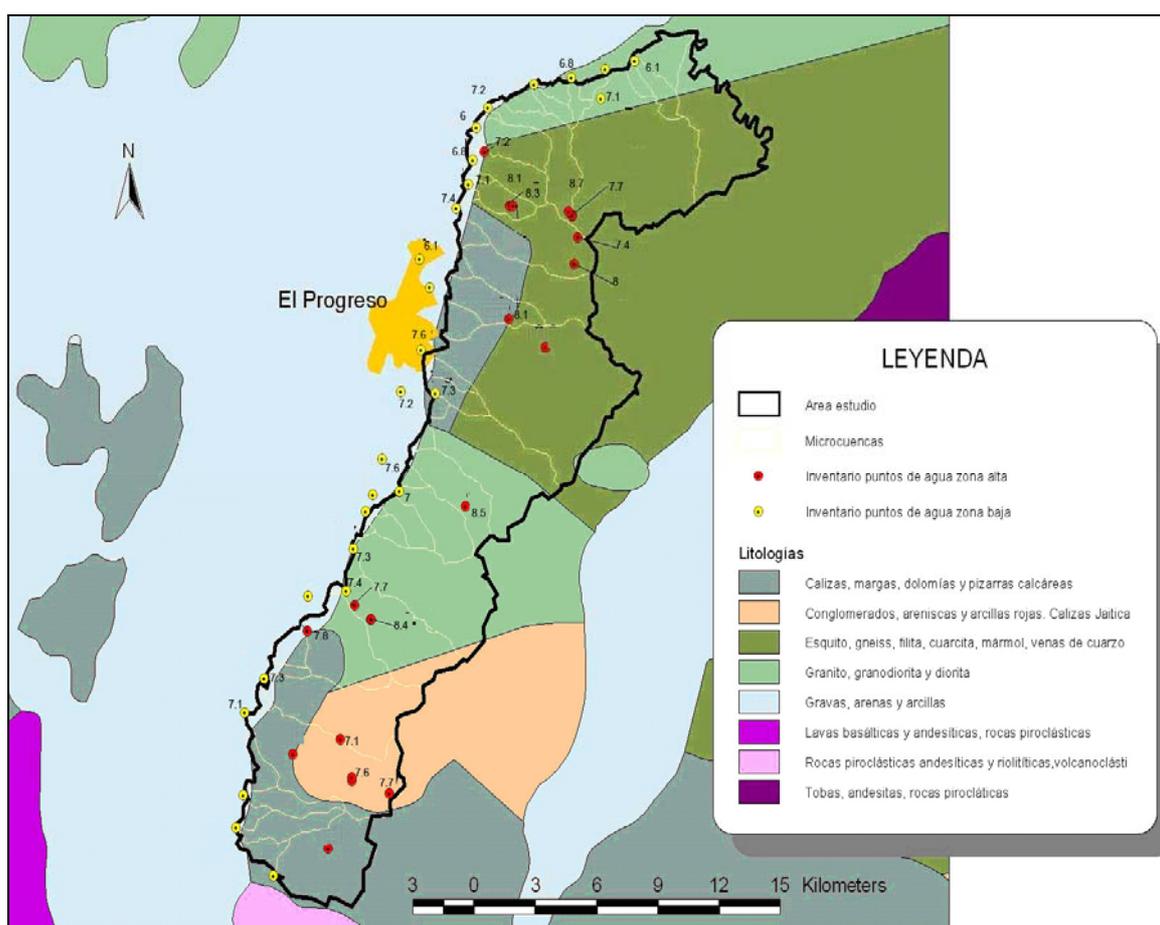
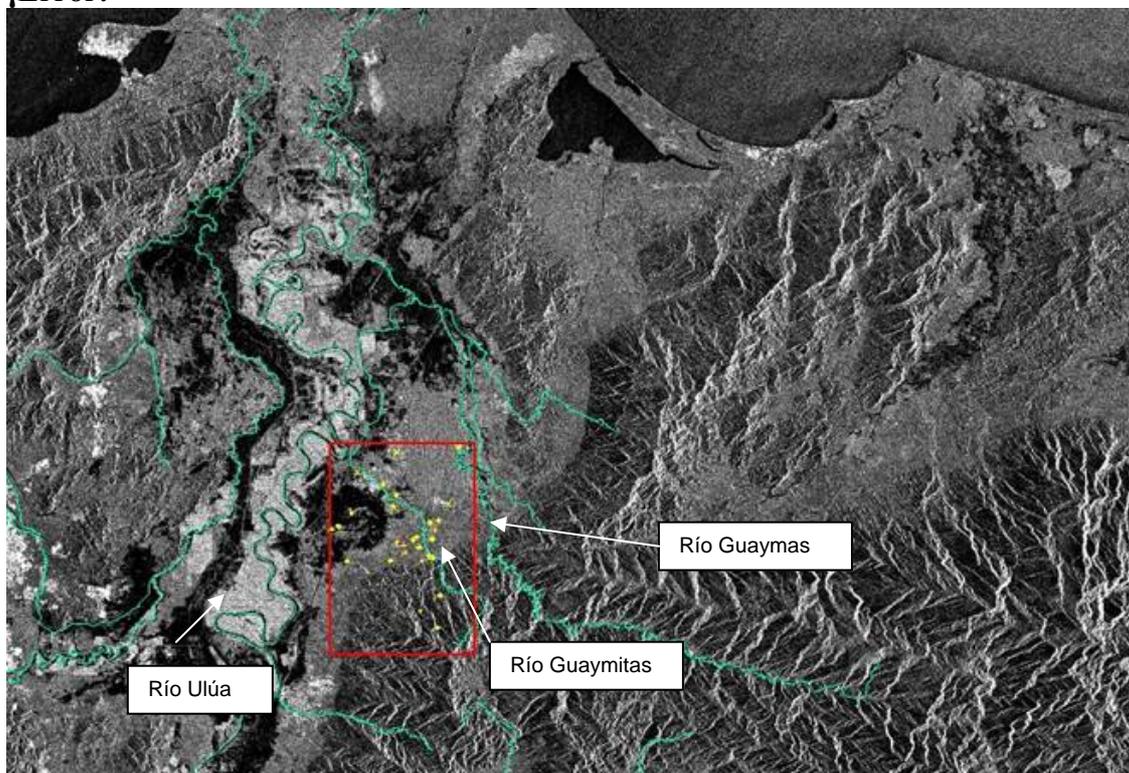


Fig.38. Mapa de pH

#### IV. HIDROGEOLOGÍA

Para este apartado del estudio, la investigación se ha centrado en el “Sistema Acuífero” ubicado en los alrededores de Guaymitas, en el municipio de El Progreso (Honduras). Corresponde a los depósitos aluviales que rellenan la depresión del valle de Guaymitas, en el borde noroccidental de la Cordillera del Mico Quemado (fig.39). El conjunto de poblaciones ubicadas en y al pie de la Cordillera se abastecen de las aguas de escorrentía procedentes de la misma. En épocas de estiaje, la reducción drástica de caudales superficiales ocasiona grandes dificultades para cubrir las demandas mínimas de agua de los habitantes de la zona.

¡Error!



**Figura 39. Situación del “Sistema acuífero aluvial” con indicación (puntos amarillos) de los puntos de agua inventariados (modificado de la cartografía digital cedida por la Comisión Ejecutiva del Valle de Sula –CEVS-).**

Bajo estas circunstancias, la única posibilidad de aumentar la dotación de agua para cubrir las necesidades mínimas existentes, es utilizar las aguas subterráneas. En consecuencia, se ha realizado un estudio del acuífero infrayacente a dichas comunidades, que incluye un inventario de puntos de agua, con medida de niveles piezométricos y toma de muestras de agua para determinar su “calidad”; una estimación de los parámetros hidrogeológicos para diferentes zonas del acuífero, y además se ha realizado una campaña de prospección eléctrica con el fin de conocer la geometría del acuífero.

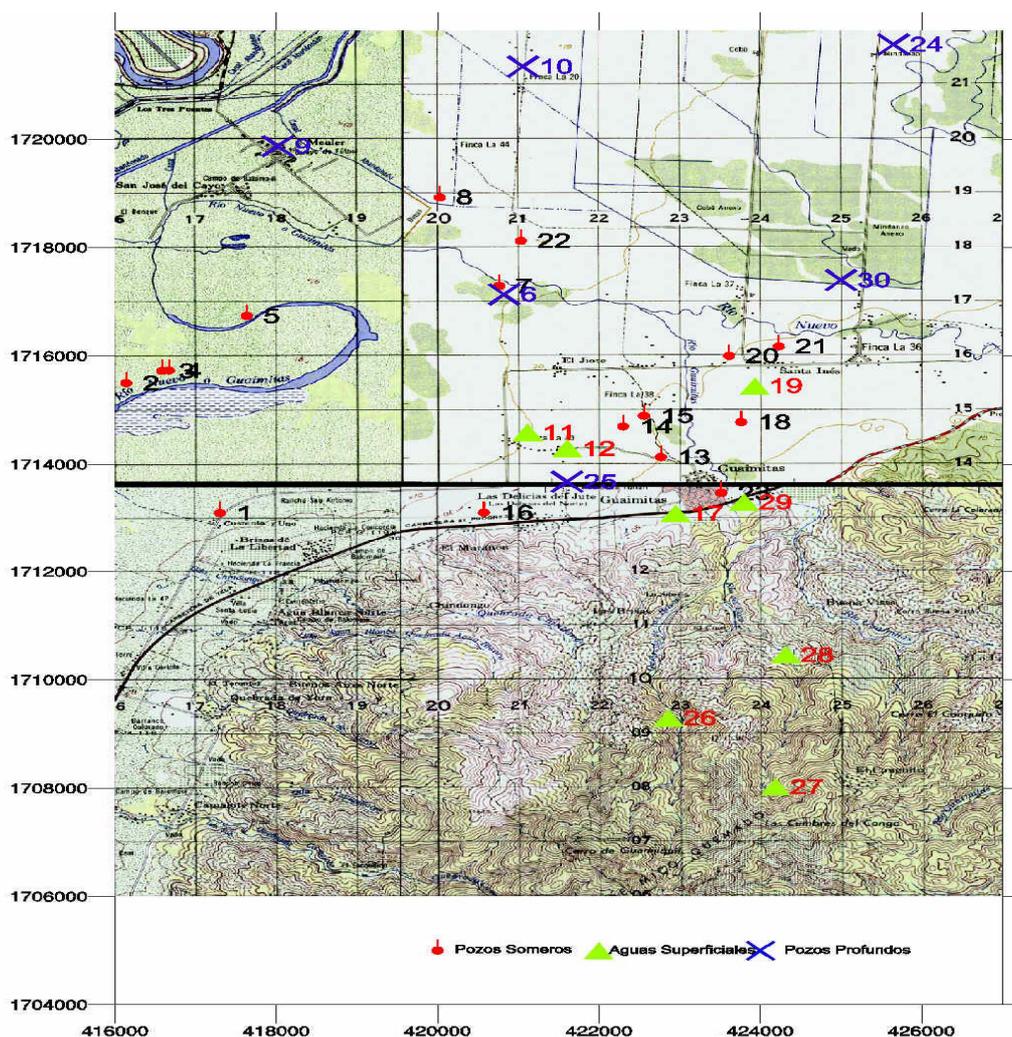
El resultado de estos estudios permitió, en principio, seleccionar algunas zonas como las más favorables para la realización de sondeos de cara al abastecimiento de aguas a las comunidades de los alrededores. Con posterioridad se han efectuado tres sondeos, que se describen más adelante. Las investigaciones realizadas permiten, además, aportar los datos necesarios y la experiencia para la construcción de nuevas captaciones en la zona.

#### IV.1. INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA Y PROSPECCIÓN REALIZADA

El inventario de puntos de agua realizado, se centra en Guaymitas y sus alrededores. Para su elaboración, 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 manantiales de la zona..

##### IV.1.1. Realización del inventario y datos obtenidos

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), tomándose muestras de agua de cada punto, para su posterior análisis. Se han diferenciado: puntos de agua superficiales (fuentes, surgencias), pozos someros (< 40 m. de profundidad) y pozos profundos (> 40 m.). En la figura 40 se muestra la localización de los puntos inventariados.



**Figura 40. Localización de los puntos inventariados.**

En la tabla de la figura 41, se recogen los valores de los diferentes parámetros medidos, en los distintos puntos inventariados. En lo referente a determinaciones de pH, los valores obtenidos no son muy fiables, por problemas de ajuste del aparato,

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 41. Valores de los parámetros inventariados**

#### IV.1.2. Piezometría

A partir de los datos piezométricos obtenidos en manantiales y pozos (entubados y abiertos), se ha intentado confeccionar un mapa piezométrico, aún siendo conscientes de que debido a los desniveles mínimos de la zona, los valores representados (por limitaciones de la topografía disponible (1/50.000) y del material utilizado) son sólo indicativos. En el mapa de la figura 42 se representan las isopiezas, con equidistancia de 10 m. en la zona de borde de la Cordillera y de 5 m. en la llanura aluvial.

Con independencia de la exactitud del trazado de las isopiezas, el resultado muestra una red con paralelismo entre las isolíneas y aumento de espaciado (disminución de gradiente hidráulico) hacia la zona central de la llanura aluvial. El flujo muestra una dirección preferente SE-NO, más o menos perpendicular a la dirección principal del río Ulúa.

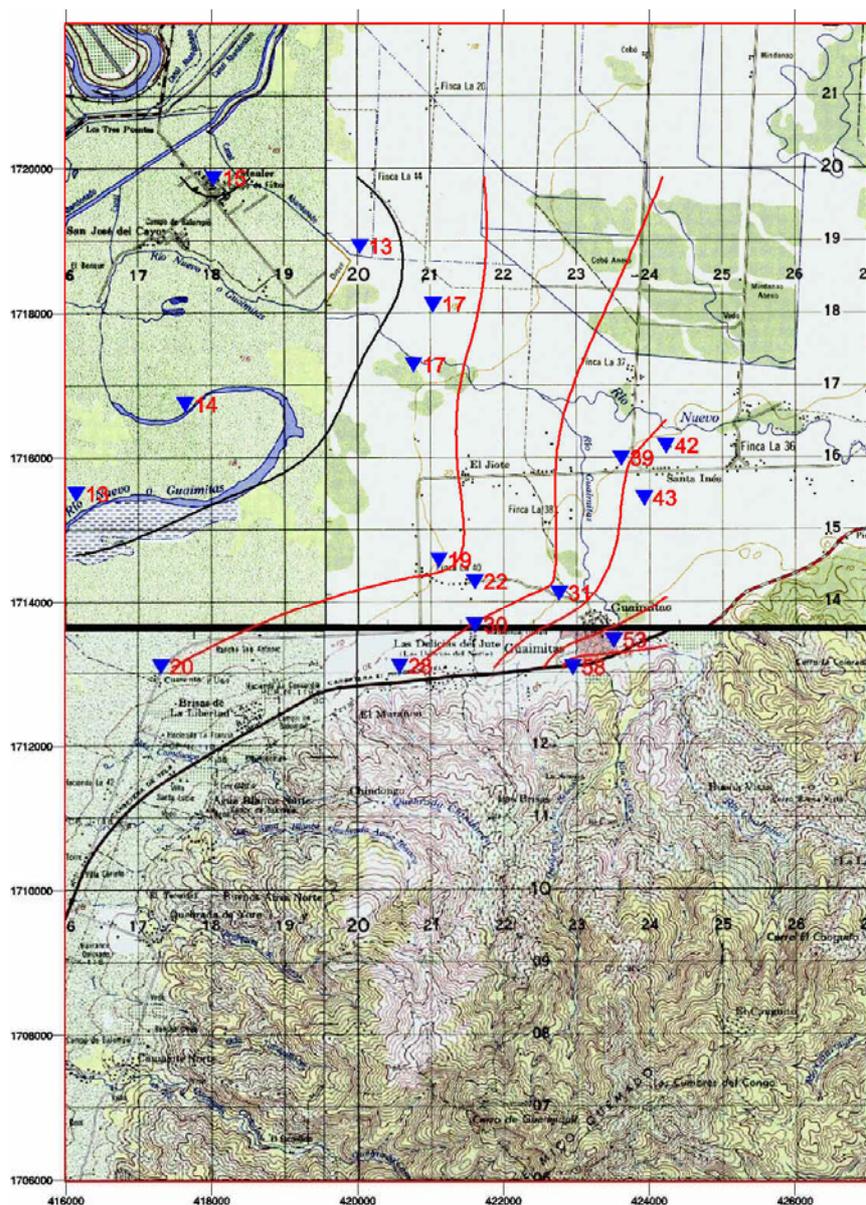


Figura 42. Piezometría de la zona estudiada.

#### IV.1.3.- Características físico-químicas del agua

Las aguas que circulan por el subsuelo adquieren una determinada composición química, consecuencia de la acción disolutiva que ejercen, en su almacenamiento y recorrido, sobre las sales solubles contenidas en las rocas que forman el acuífero. Esta acción y los porcentajes adquiridos están en relación directa con el contenido en sales solubles de los materiales por los que circulan y con las condiciones físico-químicas existentes.

Los procesos de solubilización de sales, se realizan mediante los mecanismos de “disolución” y de “ataque químico”( hidratación, hidrólisis, oxidación-reducción y procesos biológicos). En general los factores que controlan la solubilidad de las sales, son:

- Litológicos: Composición, Granulometría y geometría de contacto roca-agua.
- Agua: pH, potencial Redox, déficit de saturación y presión de gases disueltos.
- Sistema roca-agua: Velocidad y gradiente, longitud y tiempo de contacto, cambio iónico, difusión y adsorción.
- Ambientales: Temperatura, presión y actividad biológica.

Los iones más frecuentes en las aguas, se corresponden con los elementos solubles más abundantes en las rocas de la corteza terrestre. En la composición “natural de un agua subterránea, los iones más frecuentes son:

- **Aniones:** Bicarbonatos ( $\text{HCO}_3^-$ ) y Carbonatos ( $\text{CO}_3^{2-}$ ), Cloruros ( $\text{Cl}^-$ ) y Sulfatos ( $\text{SO}_4^{2-}$ ).
- **Cationes:** Calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ), Magnesio ( $\text{Mg}^{2+}$ ) Sodio ( $\text{Na}^+$ ), y Potasio (K).

También aparecen otros elementos en proporciones menores (< 1% del contenido iónico total) como: Nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ), hierro ( $\text{Fe}^{++}$ ), Nitritos ( $\text{NO}_2^-$ ), Flúor ( $\text{F}^-$ ), Amoníaco ( $\text{NH}_4^+$ ), Estroncio ( $\text{Sr}^{++}$ ), etc, en todos los casos las concentraciones de estos elementos “menores” son inferiores a 10 mg/l.

Pueden estar presentes otros elementos, los denominados “traza”: Arsénico (As), Antimonio (Sb), Cromo (Cr), Plomo (Pb), Cadmio (Cd), Cobre(Cu), Zinc (Zn), Bario (Ba), etc., que en condiciones “naturales” (sin contaminación) aparecen en concentraciones inferiores a 0.0001 mg/l.

#### IV.1.3.1. Determinaciones realizadas y resultados

La toma de muestras de agua se llevó a cabo en las fechas de 5-6 de Diciembre de 2004 y 9-10 de Enero de 2005. Se han recogido muestras de agua para su análisis posterior de 12 puntos de agua, entre los que están representados manantiales, pozos someros y profundos.

Se han realizado los siguientes tipos de análisis, los resultados de los cuales se muestran en la figura 43:

- Determinaciones Físicas: pH, CE, Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) y Total de Sólidos Disueltos (TSD).
- Determinaciones Químicas: Cationes (Ca, Mg, Na, K), Aniones ( $\text{HCO}_3$ , Cl,  $\text{SO}_4$ , 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.

	P26 Represa La40	P28 Guaymitas	P6 La39 Agua Pozo	P25 Teofilo Pozo	P13 Pozo Efraim	P23 Vivero pozo	P17 Nacimie nto	P11 La40	P19 Naranjo s	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
<b>Cationes (mg/l)</b>												
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
<b>Aniones (mg/l)</b>												
Bicarbonatos (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	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 <sup>-</sup> )	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 <sub>4</sub> <sup>-</sup> )	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
<b>Microelementos</b>												
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

**Figura 43. Resultados de los análisis químicos realizados\*.**

\*Los análisis se realizaron en la FHIA ( Fundación Hondureña de Investigación Agrícola) . La recogida de las muestras se ha efectuado siguiendo las recomendaciones dadas por el citado organismo encargado de analizarlas .

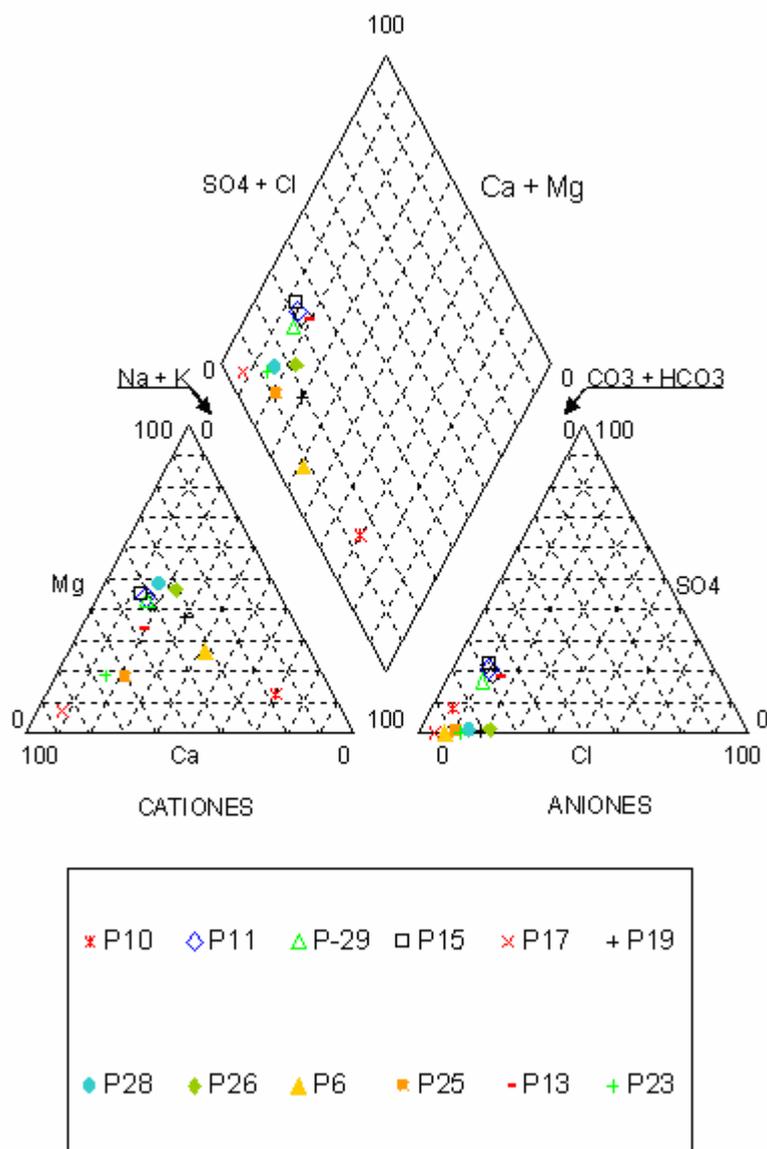
Se ha de resaltar que a pesar de no detectar plaguicidas en las muestras analizadas, se han encontrado trazas por debajo del limite de cuantificación de Clorpirifos (0.001 ppm) y de Carbaril (carbamatos) (0.5 ppm).

#### IV.1.3.2.- Representación y discusión de los resultados obtenidos

Para poder caracterizar la calidad de las aguas y su correlación , se han utilizado sistemas de representación de análisis de aguas (Piper y Schoeller – Berkaloff), que permiten representar conjuntamente varias muestras y por tanto destacar sus afinidades o diferencias.

Los diagramas de *Piper* (figura 44) permiten representar las distintas relaciones entre los iones más frecuentes, expresadas en porcentajes. La comparación de aguas de distintas muestras sirve para determinar mezclas de aguas, precipitaciones, disoluciones, modificaciones, etc.

Guayrnitas, El Progreso, Honduras. Enero 2005



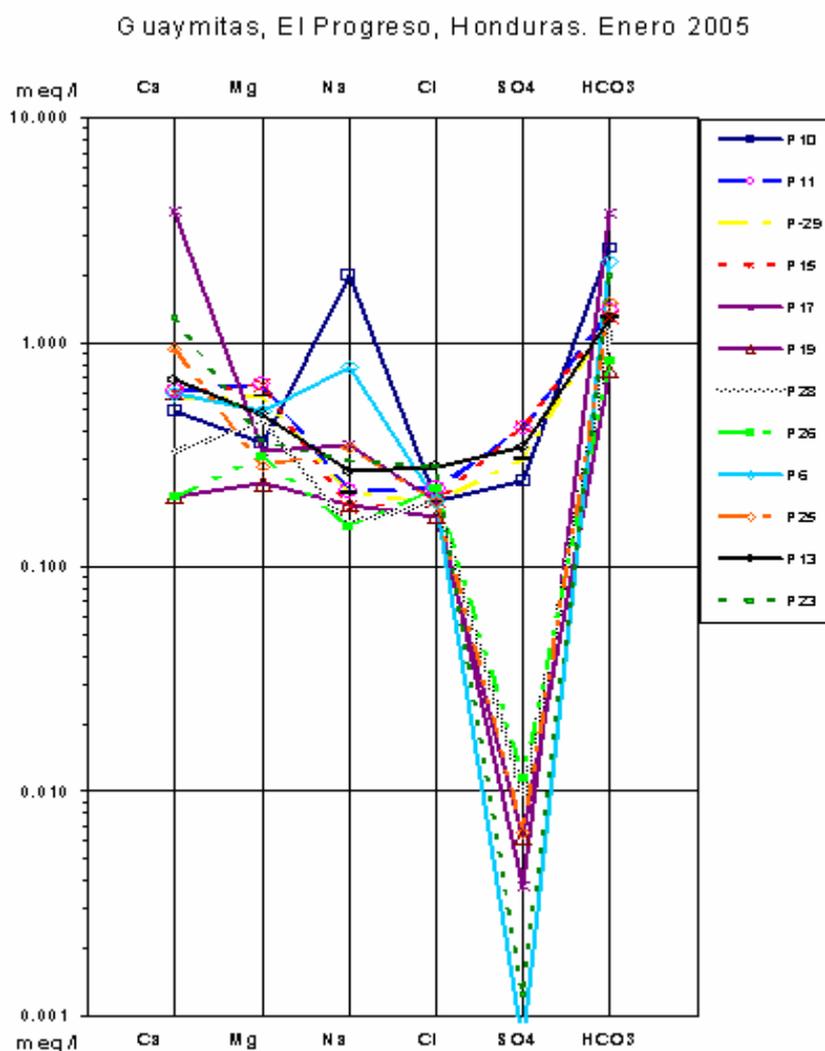
**Figura 44. Diagrama de Piper.**

El anión mayoritario, que caracteriza a todas las aguas es el resultado de la suma de bicarbonatos y carbonatos ( $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$ ); el contenido en  $\text{SO}_4^{2-}$  presenta dos distribuciones, una agrupada hacia el 20 % (P-29, P-15, P-13 y P-11) y otra con el resto de muestras que presenta porcentajes mínimos. Desde el punto de vista de clasificación, todas las muestras corresponden al tipo de **aguas bicarbonatadas**.

Entre los cationes hay mayor dispersión en contenidos; aparecen dos agrupaciones: las muestras P-29, P-15, P-13 y P-19, y las muestras P-17, P-23 y P-25, el resto varía en los distintos porcentajes. La caracterización y clasificación de las muestras es la siguiente:

MUESTRAS	CONTENIDO ANIÓNICO	CONTENIDO CATIÓNICO
P-29, P-15, P-28, P-11, P-19	<b>Bicarbonatadas</b>	<b>magnésico-cálcicas</b>
P-17, P-23 y P-25	“	<b>cálcicas</b>
P-13	“	<b>cálcico-magnésicas</b>
P-6	“	<b>sódico-cálcicas</b>
P-10	“	<b>sódicas</b>

El diagrama de *Schoeller – Berkaloff* (figura 45) es una representación en barras verticales de las concentraciones absolutas, expresadas en meq/l, de los iones mayoritarios en las aguas. La curva que se obtiene uniendo los valores de los iones considerados caracteriza cada muestra de agua. Tiene la ventaja de la fácil observación de valores máximos y mínimos y por tanto separar tipos de aguas con distinta mineralización.



**Fig.45. Diagrama de Schoeller – Berkaloff.**

Se destaca la afinidad de varias familias de aguas correspondientes a las muestras recogidas en los distintos puntos de agua inventariados:

- P-29, P-15, P-11 y P-13, son aguas de tipo hidrocarbonatado cálcico-magnésicas.
- P-26, P-28 y P-19, similares a las anteriores pero de carácter magnésico-cálcico.
- P-13, P-25, P-39 y P-10, son aguas de composición similar, pero que presentan la característica específica de una relación inversa entre el ión  $\text{Ca}^{2+}$ , y el ión  $\text{Na}^+$ .

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.

#### **IV.1.4.- Datos obtenidos por prospección geofísica (SEVs). Interpretación.**

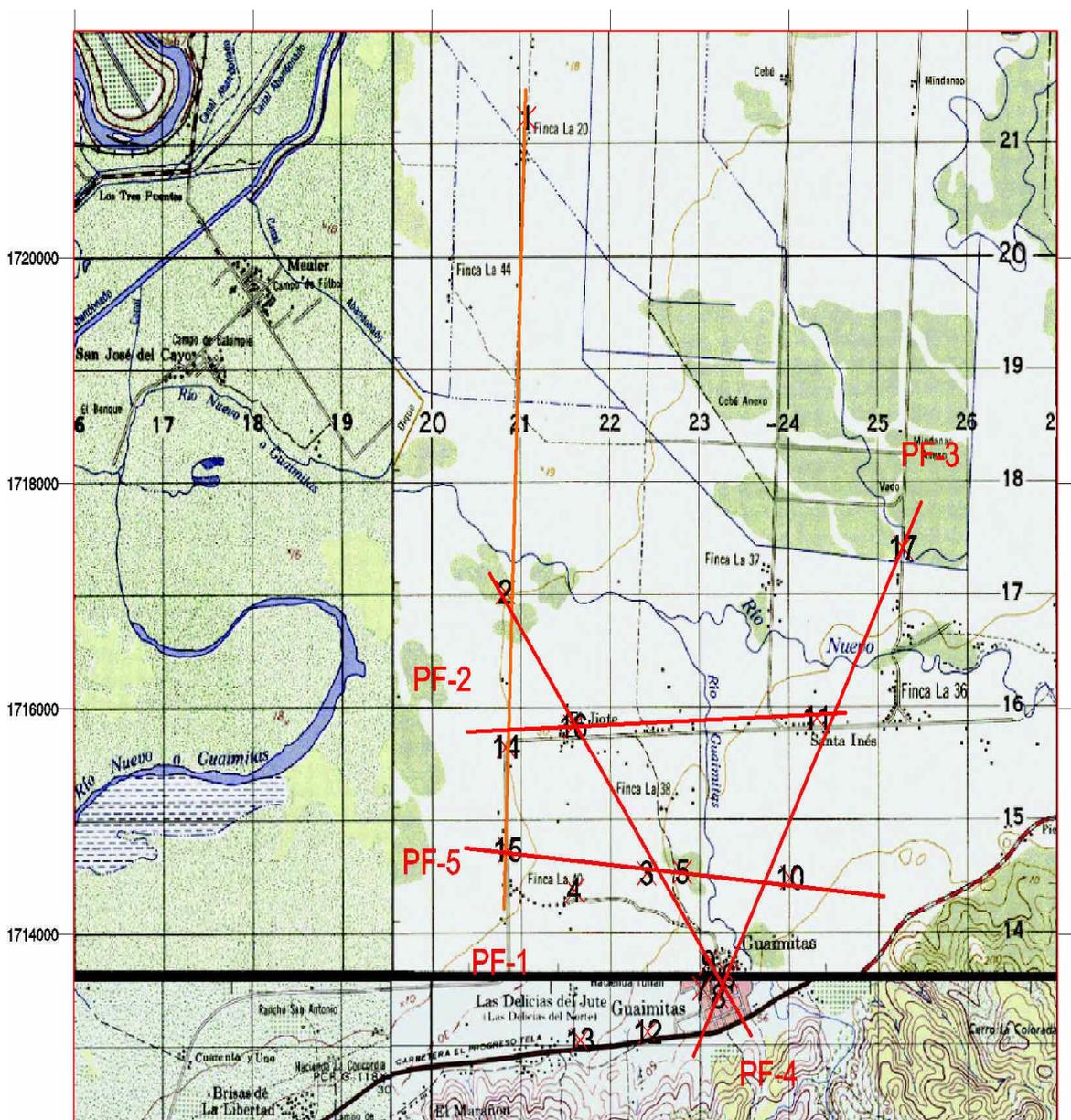
Con el fin de determinar las características geológicas e hidrogeológicas del sistema aluvial estudiado, así como el realizar un estudio más detallado del mismo que nos facilite la identificación de las distintas geometrías y características físicas de los acuíferos que lo componen, se planificó y llevó a cabo una campaña de investigación geofísica, aplicando el método de **Resistividades Eléctricas**, en su modalidad de Sondeos Eléctricos Verticales (SEVs).

En la realización de dicha campaña (17-21 Enero de 2005) se realizaron 17 perfiles 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 (Fig. 46) se ha realizado desde prácticamente el contacto entre el sistema 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.

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 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 propiedades más favorables para su consideración como acuífero, y diferenciarlas de las restantes formaciones o capas que no presentan estas características y funcionarían como acuitardos o como niveles impermeables.



**Figura 46.** Mapa y esquema de la localización de los diferentes SEV's y perfiles realizados.

En las figuras 47, 48, 49 y 50, se representan algunos de los perfiles obtenidos y su interpretación.



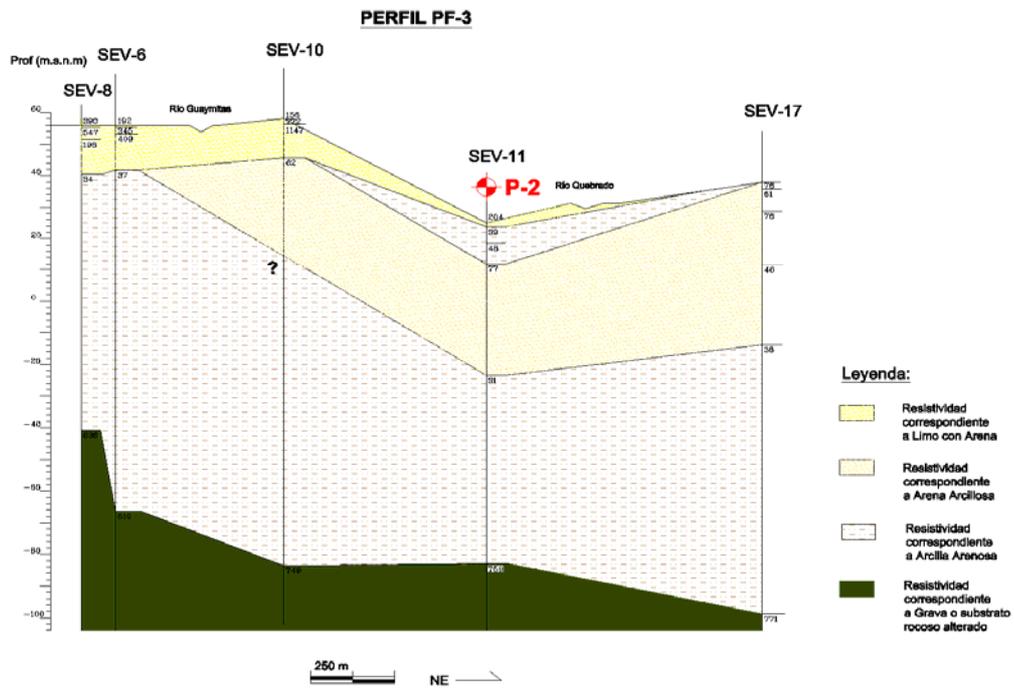


Fig.49.- Perfil PF-3

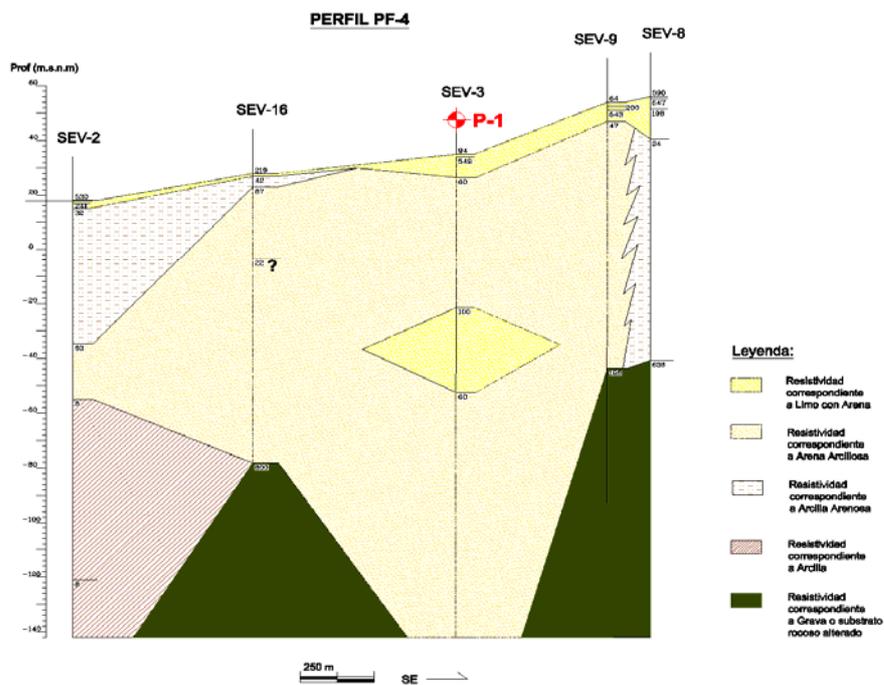


Fig.50.- Perfil PF-4

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.

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 se 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.

#### IV.1.5.- Evaluación y resultados

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, finamente estratificado, 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 antrópicos 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 **piezometría**, no destaca variaciones importantes, que indiquen niveles no conectados hidráulicamente. Las isopiezas resultantes son bastante paralelas entre sí. El flujo muestra una dirección SE-NO, perpendicular a la dirección del eje principal de drenaje, 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 las **temperaturas** medidas, 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 la temperatura del agua del acuífero.

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 de la Formación Cacaguapa, que forman la mayor parte de la Cordillera.

Una vez en el aluvial, estas aguas evolucionan al tipo de *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.

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 (ver tabla anterior de la página 65). Aunque es un modelo muy genérico y las profundidades son datos estimados (media de las obtenidas en los diferentes perfiles), la zona con resistividades de  $80 - 100 \Omega \cdot m$ , correspondiente a niveles arenosos, coincide con la zona identificada según la piezometría como más transmisiva.

Los **parámetros hidráulicos** (fig.51) deducidos a partir de los ensayos realizados, muestran valores bastante similares, a excepción del pozo P25, que destaca por tener transmisividades ( $2000 \text{ m}^2/\text{día}$ ) y permeabilidades ( $100 \text{ m}^2/\text{día}$ ) muy 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.

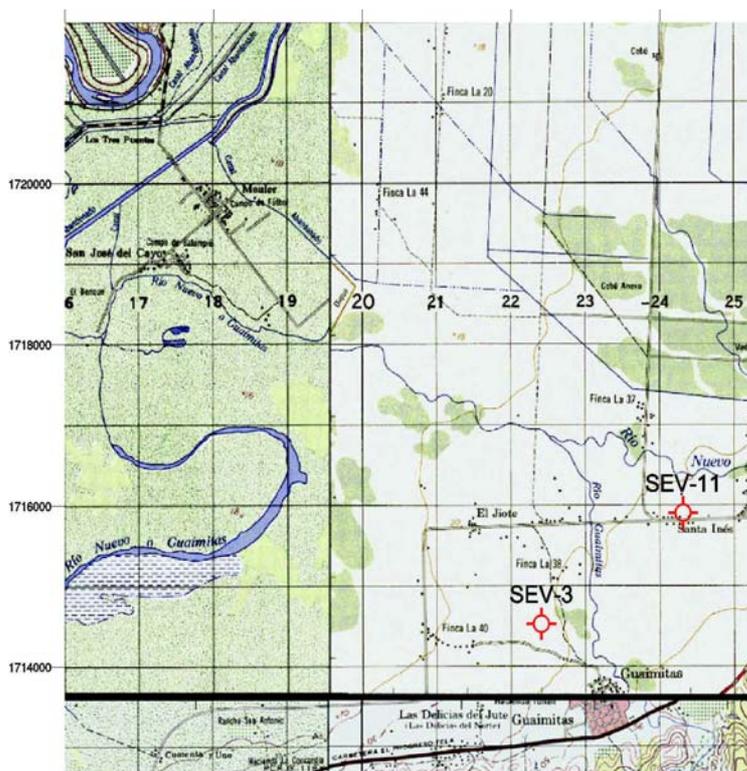
El resto de puntos analizados se mueve entre valores cercanos a 100 de transmisividad y entre 5 y 9 de permeabilidad, que indicaría que están explotando niveles con similares características litológicas.

POZO	PROFUNDIDAD (m)	LONGITUD DE REJILLA (m)	T ( $\text{m}^2/\text{d}$ ) (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 $10^{-4}$

**Fig.51.- Valores estimados de parámetros hidráulicos**

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 **P1** (colonia “La Esperanza”), corresponde a la zona donde se realizó el SEV-3, y el punto **P2** (“Raúl Chinchilla”) a la zona donde se realizó el SEV-11. Estos puntos se han escogido únicamente con criterios hidrogeológicos, si bien tendrá que valorarse su idoneidad desde otros puntos de vista.

En la figura 52, se representa la situación de los dos puntos escogidos para realizar los sondeos y desarrollar los pozos para abastecimiento de la zona.



**Figura 52.- Localización de los puntos seleccionados para perforación**

## IV.2.- SONDEOS Y POZOS REALIZADOS: RESULTADOS

### IV.2.1.- Sondeos

Con el propósito de asegurar la cantidad y calidad de la nueva captación de agua potable, se decidió perforar dos sondeos de exploración en las zonas seleccionadas. Una vez realizados los ensayos de bombeo y establecida la potabilidad del agua, uno de ellos será equipado como pozo de bombeo.

La situación (UTM) de los nuevos pozos de exploración es la siguiente:

- Pozo 1. Colonia “La Esperanza “ (SEV-3)

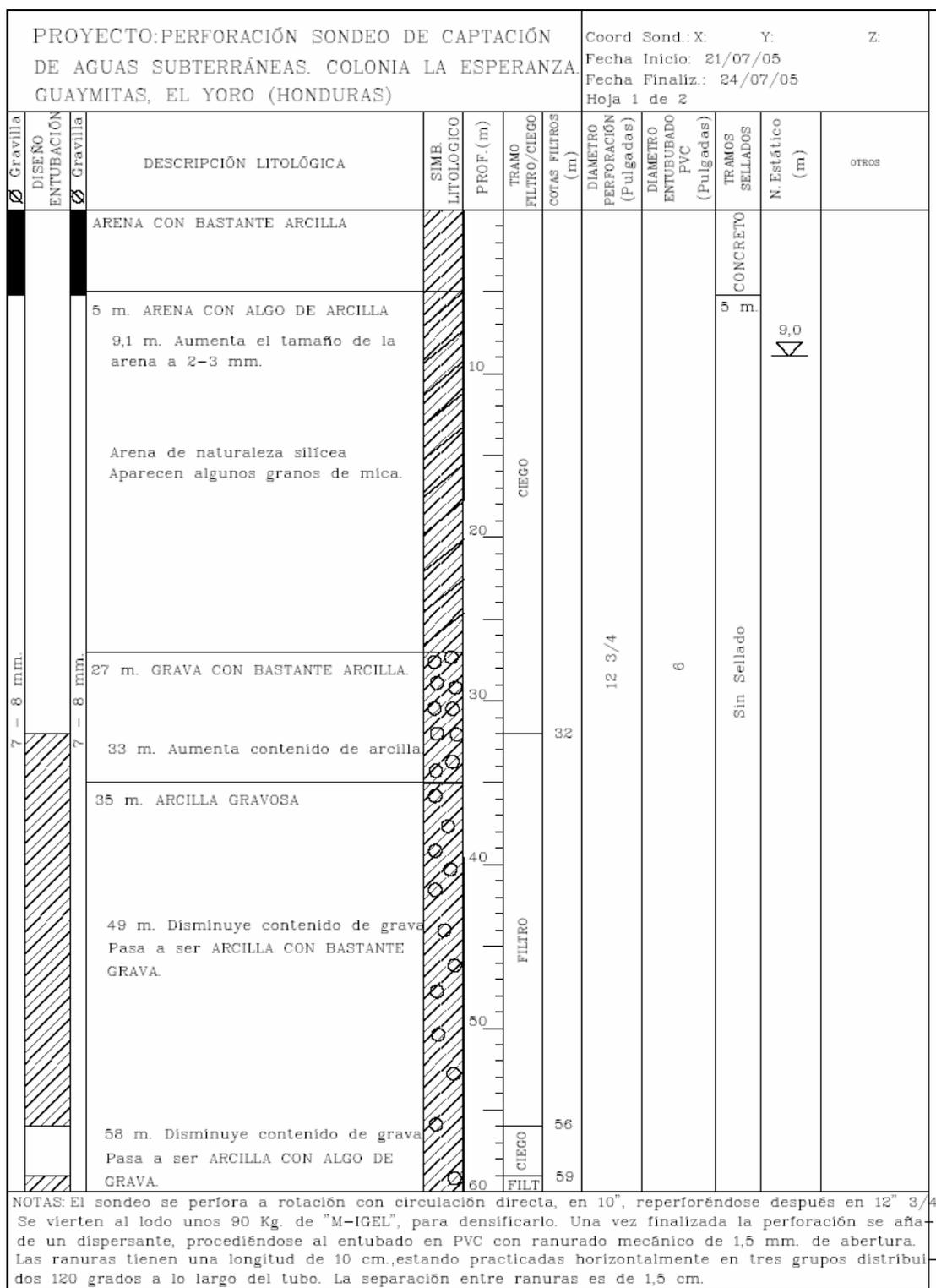
$$X = 422736; Y = 1713954; Z = 46 \text{ m.}$$

- Pozo 2. Antigua propiedad “Raúl Chinchilla” (SEV-11)

$$X = 422796; Y = 1714555; Z = 43 \text{ m.}$$

El método de perforación seleccionado, fue el de rotación o “Rotary”, con circulación directa de fangos.

La columna del sondeo y las características del **pozo de la Colonia : “La Esperanza”**, se representan en las figuras 53 y 54.





profundidad	77	metros
Diámetro de Perforación	12" 3/4	pulgadas
Diámetro de entubación	6"	pulgadas
Entubación	0-32 m	Sin rejilla
	32-56 m	Rejilla ranurada
	56-59 m	Sin rejilla
	59-63,8 m	Rejilla ranurada
	63,8-65 m	Sin rejilla
	65-77 m	Rejilla ranurada
Diámetro del paquete de gravas (filtro de gravas)	< 10	milímetros
Sello de hormigón sanitario	0-5	metros

**Fig.54.- Características del pozo 1: Colonia : “La Esperanza”.**

Las características del pozo y la columna del sondeo de la antigua propiedad de “Raúl Chinchilla”, se representan en las figuras 55 y 56.

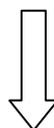
Profundidad de perforación	200	pies
Diámetro de Perforación	12" 3/4	pulgadas
Diámetro de entubación	8"	pulgadas
Entubación	0-35 pies	Sin rejilla
	35-100 pies	Rejilla ranurada
	100-120 pies	Sin rejilla
	120-200 pies	Grava sin entubación
Diámetro del paquete de gravas (filtro de gravas)	< 10	milímetros
Sello de hormigón sanitario	0-10	pies

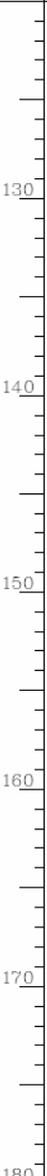
**Fig.55.- Características del pozo 2: Propiedad “Raúl Chinchilla”.**

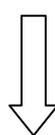


DISEÑO ENTUBACIÓN Ø Gravilla		DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA	SIMB. LITOLÓGICO	PROF. (Piés)	TRAMO FILTRO/CIEGO	COTAS FILTROS (Piés)	DIAMETRO PERFORACIÓN (Pulgadas)	DIAMETRO ENTUBUB(Ext) PVC (Pulgadas)	TRAMOS SELLADOS	N. Estático (Piés)	OTROS	
DISEÑO ENTUBACIÓN Ø Gravilla												
2 - 6 mm. 2 - 6 mm.		60' GRAVA CON ARENA Y ARCILLA. 60' Aumenta el contenido de arcilla			CIEGO	66	12 3/4	8	Sin Sellado		Cámara Asp. Bomba	
		65' Aumenta aun más el contenido de arcilla										
		71' ARCILLA.										
		73' GRAVA CON ARENA Y ARCILLA.										
		75' ARENA CON GRAVA.										
		90' GRAVA CON ARENA Y ARCILLA.										
		92' ARCILLA.										
		95' GRAVA CON ARENA Y ARCILLA.										
		99' Aumenta el contenido de arcilla										
		FIN ENTUBACIÓN										

NOTAS: En la base de la entubación deberá instalarse un tapón de cemento con forma cónica, con su vértice hacia abajo, para evitar la entrada de agua con finos que pueden deteriorar la bomba. La luz de la rejilla en la entubación deberá ser de un 15 % aproximadamente. El Empaque de Gravas se realizará engravillando todo el sondeo con gravilla silíceo de 2-6 mm. de



Ø Gravilla DISEÑO ENTUBACIÓN Ø Gravilla		DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA	SIMB. LITOLÓGICO	PROF. (Piés)	TRAMO FILTRO/CIEGO	COTAS FILTROS (Piés)	DIAMETRO PERFORACIÓN (Pulgadas)	DIAMETRO ENTUB(Ext) PVC (Pulgadas)	TRAMOS SELLADOS	N. Estático (Piés)	OTROS
SIN ENTUBAR		120' ARCILLA CON ALGO DE ARENA.					12 3/4				
diámetro medio, hasta unos 10 piés (cota de sellado). Se instalará un tubo de PVC de 2" para rellenar el empaque de gravas cuando sea necesario.											



Ø Gravilla DISEÑO ENTUBACIÓN Ø Gravilla		DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA	SIMB. LITOLÓGICO	PROF. (Pies)	TRAMO FILTRO/ CIEGO	COTAS FILTROS (Pies)	DIAMETRO PERFORACIÓN (Pulgadas)	DIAMETRO ENTUBUB(Ext) PVC (Pulgadas)	TRAMOS SELLADOS	N. Estático (Pies)	OTROS
SIN ENTUBEAR		180' ARCILLA CON ALGO DE ARENA.	[Hatched Pattern]	190			12 3/4				
		FIN SONDEO		200							
				210							
				220							
				230							
				240							

**Fig.56.- Columna del sondeo 2: Propiedad “Raúl Chinchilla”.**

#### IV.2.2.- Pozos y ensayos de bombeo

Una vez que el sondeo ha sido perforado, se desarrolla el pozo con aire comprimido, para eliminar restos del lodo de perforación y limpieza de los sedimentos más finos, hasta que el agua no presenta turbidez.

Para establecer el caudal de bombeo de explotación y conocer los parámetros hidráulicos del acuífero, se realizan ensayos de bombeo a caudal constante en ambos pozos.

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 el 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** ( $T$ ) 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 a lo descrito anteriormente para la curva de descensos, 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:

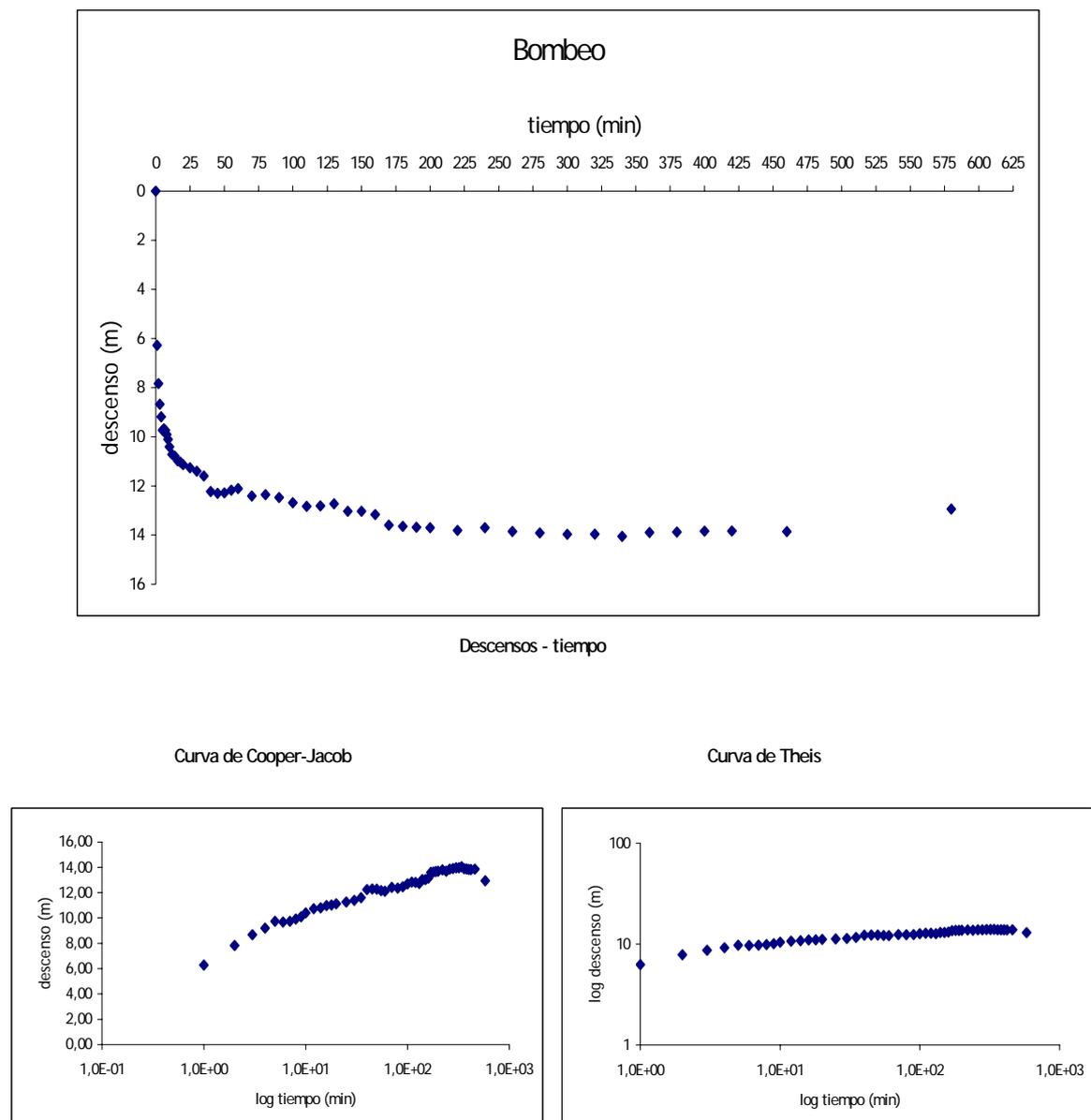
$$T = 0,183 \frac{Q}{m},$$

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.

Los datos del ensayo realizado en el sondeo 1 de exploración en la Colonia “La Esperanza”, se recogen en la tabla de la figura 57 y las curvas características del pozo en la figura 58.

ENSAYO DE BOMBEO						
Lugar:		Colonia La Esperanza (Guaymitas)				
Tipología:	Bombeo	Ensayo:	Constante	Fecha:	30/07/2005	
Características del punto de medición			Bomba			
Tipología:	Perforado		Potencia:	5 H.P.		
Profundidad:	77m		Corriente:	monofasica		
Diámetro:	6"		Profundidad aspiración:	32 m		
Entubación:	4"		Caudal (l/s): 1.57			
Ubicación, UTM	x = 422736		Régimen:	Constante		
	y = 17113954		A	B	C	
	z = 46					
	N.E. (m):	9,47 m	Corrección medición:			13 cm
t(min)	s (m)	s (m) corregido	t(min)	s (m)	s (m) corregido	
0	9,470	0,00	90	21,940	12,47	
1	15,750	6,28	100	22,150	12,68	
2	17,300	7,83	110	22,300	12,83	
3	18,150	8,68	120	22,280	12,81	
4	18,660	9,19	130	22,200	12,73	
5	19,200	9,73	140	22,500	13,03	
6	19,150	9,68	150	22,500	13,03	
7	19,200	9,73	160	22,630	13,16	
8	19,380	9,91	170	23,070	13,60	
9	19,570	10,10	180	23,120	13,65	
10	19,880	10,41	190	23,150	13,68	
12	20,190	10,72	200	23,170	13,70	
14	20,260	10,79	220	23,280	13,81	
16	20,450	10,98	240	23,170	13,70	
18	20,500	11,03	260	23,320	13,85	
20	20,600	11,13	280	23,380	13,91	
25	20,730	11,26	300	23,440	13,97	
30	20,870	11,40	320	23,430	13,96	
35	21,070	11,60	340	23,520	14,05	
40	21,700	12,23	360	23,370	13,90	
45	21,770	12,30	380	23,350	13,88	
50	21,750	12,28	400	23,310	13,84	
55	21,640	12,17	420	23,300	13,83	
60	21,580	12,11	460	23,330	13,86	
70	21,880	12,41	580	22,410	12,94	
80	21,830	12,36				

**Fig. 57.- Resultados del Ensayo de Bombeo del sondeo 1 de exploración en la Colonia “La Esperanza”**



**Fig. 58.- Curvas características del pozo 1. Colonia de “La Esperanza”.**

A partir de los resultados del ensayo de bombeo podemos establecer los parámetros hidráulicos, principalmente Transmisividad (T) y Permeabilidad (k). Los resultados obtenidos son los siguientes:

<b>Pozo 1. Colonia “La Esperanza”</b>	<b>T ≈ 10 m<sup>2</sup>/día</b>	<b>k ≈ 0.25 m/día</b>
---------------------------------------	---------------------------------	-----------------------

Los datos del ensayo realizado en el sondeo 2 de exploración en la antigua propiedad de “Raúl Chinchilla”, se recogen en la tabla de la figura 59 y las curvas características del pozo en la figura 60.

ENSAYO DE BOMBEO									
Lugar:		Antigua propiedad de R. Chinchilla			Croquis				
Tipología:	Ensayo:		Bombeo		Fecha:	27/10/2005			
Características del punto de medición			Bomba						
Tipología:	perforado		Potencia:		10 C.V.				
Profundidad:	120 pies		Corriente:		Monofásica				
Diámetro:	8"		Profundidad aspiración:		80 pies				
Entubación:	3"		Caudal (l/s):		9.5				
Ubicación, UTM	x = 422796		Régimen:		Constante				
	y = 1714555		A		B		C		
	z = 43		Corrección medición: 0,56						
N.E. (m):		7,70 m							
t (min)	s (m)	s (m) corregido	t (min)	s (m)	s (m) corregido	t (min)	s (m)	s (m) corregido	
0	7,70	0,00	50	8,100	0,40	600	8,20	0,50	
1	7,96	0,26	60	8,150	0,45	660	8,15	0,45	
2	8,00	0,30	70	8,150	0,45	720	8,20	0,50	
3	8,00	0,30	80	8,150	0,45	780	8,20	0,50	
4	7,99	0,29	90	8,150	0,45	840	8,20	0,50	
5	8,00	0,30	100	8,150	0,45	900	8,20	0,50	
6	8,00	0,30	110	8,150	0,45	960	8,20	0,50	
7	8,00	0,30	120	8,150	0,45	1020	8,15	0,45	
8	8,00	0,30	135	8,200	0,50	1080	8,15	0,45	
9	8,10	0,40	150	8,200	0,50	1140	8,20	0,50	
10	8,10	0,40	165	8,150	0,45	1200	8,15	0,45	
12	8,10	0,40	180	8,150	0,45				
14	8,10	0,40	210	8,150	0,45				
16	8,10	0,40	240	8,200	0,50				
18	8,10	0,40	270	8,150	0,45				
20	8,10	0,40	300	8,200	0,50				
25	8,10	0,40	330	8,250	0,55				
30	8,10	0,40	360	8,150	0,45				
35	8,10	0,40	420	8,150	0,45				
40	8,10	0,40	480	8,200	0,50				
45	8,10	0,40	540	8,150	0,45				

Fig.59.- Resultados del Ensayo de Bombeo del sondeo 2 de exploración, en la antigua propiedad de “Raúl Chinchilla”.

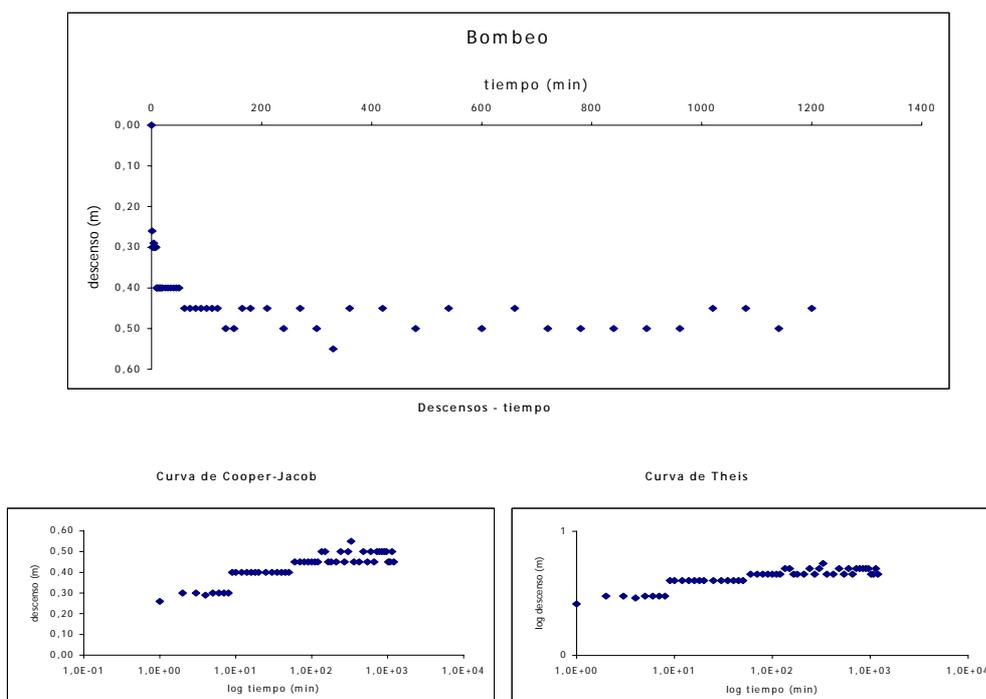


Fig.60.- Curvas características del pozo 2, “Raúl Chinchilla”.

•A partir de los resultados del ensayo de bombeo (figuras 59 y 60), podemos establecer los parámetros hidráulicos: **Transmisividad (T)** y **Permeabilidad (k)**, cuyos valores son:

<b>Pozo 2. “Raúl Chinchilla”</b>	<b>T ≈ 200 m<sup>2</sup>/día</b>	<b>k ≈ 10 m/día</b>
----------------------------------	----------------------------------	---------------------

#### IV.2.3.- Características químicas de las aguas. Potabilidad

Durante la realización de los Ensayos de Bombeo, se tomaron muestras de agua, que fueron llevadas a analizar en un laboratorio especializado para poder establecer la calidad química del agua y su potabilidad. Los parámetros analizados satisfacen los “standard” de Honduras para el agua potable, excepto el hierro (muestra del pozo de la colonia de “La Esperanza”) que está en el límite superior. Durante todo el tiempo de realización de los ensayos se tomaron muestras y se analizaron la C.E. y el pH. El valor de estos parámetros fue constante durante la realización del ensayo, indicando que la calidad del agua no varía con el tiempo en la zona cercana a la perforación.

Los resultados de los análisis efectuados, son los siguientes:

#### Pozo I (Colonia “La Esperanza”):

<u>Características</u>	<u>Resultados</u>	<u>Standard</u>
<u>Físicas</u>		
pH	6.60	6.5-8.5
C.E.	231 µs/cm	400 µs/cm
<u>Características Químicas</u>		
Alcalinidad	110.29 mg/l	
Cloro	13.85 mg/l	25-250 mg/l
Dureza Total	105.54 mg/l	400 mg/l Ca CO <sub>3</sub>
Calcio	14.32 mg/l	100 mg/l Ca CO <sub>3</sub>
Magnesio	5.80 mg/l	30 mg/l Ca CO <sub>3</sub>
Sulfato	17.52 mg/l	25-250 mg/l
Cobre	0.015 mg/l	1.0-2.0 mg/l
Sodio	15.18 mg/l	25-200 mg/l
Potasio	1.22 mg/l	10 mg/l max
Zinc	0.020 mg/l	3.0 mg/l max
Total sólidos disueltos	147.84 mg/l	1000 mg/l max
Hierro	0.320 mg/l	0.3 mg/l max
Manganeso	0.028 mg/l	0.01-0.5 mg/l max

**Pozo 2. “Raúl Chinchilla”:**

<u>Características</u>	<u>Resultados</u>	<u>Standard</u>
<b><u>Físicas</u></b>		
pH	6.00	6.5-8.5
C.E.	209 $\mu\text{s}/\text{cm}$	400 $\mu\text{s}/\text{cm}$
<b><u>Características Químicas</u></b>		
Alcalinidad	82.82 mg/l	
Cloro	18.66 mg/l	25-250 mg/l
Dureza Total	118.32 mg/l	400 mg/l Ca CO <sub>3</sub>
Calcio	17.98mg/l	100 mg/l Ca CO <sub>3</sub>
Magnesio	7.02 mg/l	30 mg/l Ca CO <sub>3</sub>
Sulfato	15.50 mg/l	25-250 mg/l
Cobre	0.010 mg/l	1.0-2.0 mg/l
Sodio	6.22 mg/l	25-200 mg/l
Potasio	1.02 mg/l	10 mg/l max
Zinc	0.010 mg/l	3.0 mg/l max
Total sólidos disueltos	133.76 mg/l	1000 mg/l max
Hierro	0.022 mg/l	0.3 mg/l max
Manganeso	0.000 mg/l	0.01-0.5 mg/l max

**IV.2.4.- Pozo de abastecimiento**

Este proyecto no pretende reemplazar el sistema actual de suministro de agua, sino complementarlo, esto significa que el nuevo pozo de bombeo no está diseñado para abastecer a toda la población, sino sólo a una parte de la misma.

El sondeo de exploración situado en la antigua propiedad de D. **Raúl Chinchilla** es el más adecuado, para satisfacer el caudal necesario, en cantidad y calidad, y por lo tanto se decidió equiparlo como **Pozo de Bombeo**.

Teniendo en cuenta las necesidades de la población, se estableció que sería necesario un caudal mínimo de 6 litros/segundo para poder complementar dichas necesidades.

<b>Necesidades de la población de Guaymitas</b>		
Población	4.000	habitantes
Consumo por persona	100	litros por día
Consumo por día	400	m <sup>3</sup>
<b>Caudal de bombeo calculado</b>		
Caudal	6	l/s
Caudal	518	m <sup>3</sup> /day

## V. CONCLUSIONES

- Se ha realizado una síntesis geológica de los materiales de la zona, en vistas a su caracterización y comportamiento hidrogeológico, con especial énfasis en la identificación de las formaciones superficiales que puedan constituir acuíferos, que aunque de dimensiones limitadas son las más accesibles para la obtención de agua potable de forma inmediata y económica.
- Se han estudiado las 28 microcuencas de drenaje, correspondientes a la vertiente occidental de la Sierra de Mico quemado, que vierten sus aguas al Valle de Sula (río Ulua). Los resultados obtenidos son:

El análisis de los 28 **perfiles longitudinales**, correspondientes a los canales principales de las microcuencas estudiadas, permite reconocer dos tramos bien definidos: uno, superior, que aparece sobre la altitud de 400 m., que se caracteriza por su mayor ruptura de pendiente y que representa la evolución de la vertiente occidental de la Sierra; y otro, inferior, de pendiente menor y más uniforme.

Se han medido los **caudales**, tanto en cabecera como en desembocadura, en cada “microcuenca” y simultáneamente se han efectuado la determinación de parámetros físico-químicos del agua (temperatura, conductividad y pH). A destacar que dada la época de medida (alejada de la de lluvias), los caudales máximos en la salida de las cuencas corresponden a los canales de la Seca ( $0.83 \text{ m}^3 / \text{seg}$ ) y Guaymitas ( $0,71 \text{ m}^3 / \text{seg}$ ).

- Se han calculado cuatro **índices de geometría de las cuencas**, con significado análogo. En todos los casos existe una correlación positiva entre los índices de elongación, compacidad y circularidad (Morisawa, 1958). En general son cuencas con geometrías elongadas, perímetros relativamente suaves y de moderada a alta compacidad. En todos los casos la geometría es congruente con las directrices tectónicas y el comportamiento diferencial de los distintos materiales geológicos drenados.
- Los parámetros de **relieve de las cuencas**, indican la **máxima pendiente para la cuenca de Pajuiles**, la de más alto potencial erosivo y un tiempo de respuesta a las precipitaciones, muy rápido. En general presentan un estado evolutivo medio.
- En lo referente a la **composición de las redes de drenaje**:

El canal de **orden** máximo corresponde al río Guaymitas ( 4° ) los ríos Pelo, Camalote, Arena Blanca, La Guacamaya, La Zarrosa y Piedras de Afilas tienen un orden de 3 y el resto es de orden 2. La **relación de bifurcación (Rb)** oscila entre 2,5-5,5, debido a la gran complejidad geológica (diversidad de materiales de distinto comportamiento) y a la escasa dimensión de las cuencas, en general muy elongadas.

La **longitud de los canales**, característica muy importante en relación con su comportamiento hidrológico y con los otros parámetros lineales y superficiales. En

nuestro caso, todos los canales de las cuencas estudiadas presentan longitudes inferiores a 10 km., sólo los ríos Pelo (13,24 Km.) y Guaymitas (11,75 km.) exceden la longitud indicada.

Los valores obtenidos para el índice de **sinuosidad**, varían entre 1,1 y 1,2, lo que indica su carácter rectilíneo e inicio de transición a bajas sinuosidades, en las zonas inferiores de las cuencas.

La **densidad de drenaje**, presenta en casi todos los casos valores muy diversos según litologías drenadas, oscilando en su mayor parte entre valores bajos ( 1- 2 ) y sólo en tres cuencas aparecen valores superiores( 2-4,9 ). Las texturas son características de cuencas bajo clima húmedo y cálido, con gran desarrollo de cobertera vegetal y sobre litologías competentes de baja permeabilidad

- Los datos referentes a **características físico-químicas** de las aguas superficiales, indican una mineralización de moderada a débil, acorde con las escasas sales solubles que ceden las litofacies que drenan. Además, dada la época de las determinaciones efectuadas, fuera de la estación de lluvias, los valores obtenidos corresponderían a una época, en las que el caudal es mínimo y en su mayor parte de origen subterráneo.
- Se ha realizado un **inventario de puntos de agua**, centrado en el Sistema Aluvial de la región de Guaymitasç. A partir de los datos piezométricos obtenidos en manantiales y pozos (entubados y abiertos), se ha confeccionado un **mapa piezométrico**, que muestra una red con paralelismo entre las isolíneas y aumento de espaciado (disminución de gradiente hidráulico) hacia la zona central de la llanura aluvial. El flujo muestra una dirección preferente SE-NO, más o menos perpendicular a la dirección principal del río Ulúa.
- La **composición química de las aguas**, corresponde al tipo de *Aguas bicarbonatadas*, predominando los subtipos de *cálcicas y magnésico cálcicas*; en la zona central del sistema aluvial, con predominio de arcillas, pasan a *bicarbonatadas sódicas*. Todas las aguas analizadas de la zona, son **potables** con respecto a su contenido físico – químico, excepto la de un pozo, que presenta valores de arsénico superiores a los permitidos por la normativa hondureña. Algunas muestras de manantiales y las de un pozo somero, han mostrado contaminación bacteriológica, tanto total como fecal
- 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. Aunque es un modelo muy genérico y las profundidades son datos estimados, la zona con resistividades de 80 – 100  $\Omega\cdot m$  , correspondiente a niveles arenosos, coincide con la zona identificada según la piezometría, como más transmisiva.
- El Acuífero Aluvial del Valle de Sula, y más concretamente la zona correspondiente a la aldea de Guaymitas y alrededores, corresponde a un **acuífero multicapa**, de porosidad intergranular. La disposición alternante de los materiales (arenas y arcillas), provoca que existan capas de alta permeabilidad rodeadas por

otras capas de baja permeabilidad, y por tanto se comporten como **acuíferos confinados o semiconfinados**.

- A partir del inventario realizado , se han seleccionado dos puntos como los más favorables a la hora de perforar pozos de abastecimiento para la comunidad de Guaymitas, el punto **P-1** (colonia “La Esperanza”) y el punto **P-2** (“Raúl Chinchilla”), de 24 m. y 60 m. de profundidad, respectivamente. El método de perforación seleccionado, fue el de rotación con circulación directa de fangos.
- En el **sondeo P-1** el ensayo de bombeo a caudal constante realizado, presenta unos parámetros de **Transmisividad** de 10 m<sup>2</sup>/día y una **Permeabilidad** de 0.25 m/día. Los parámetros físico-químicos del agua, satisfacen las normas de **potabilidad** de Honduras, excepto en el contenido en hierro que está en el límite de admisión. El valor constante de temperatura, conductividad y pH, indican que la calidad del agua no varía con el tiempo, en la zona cercana a la perforación.
- El ensayo de bombeo realizado a caudal constante en el **sondeo P-2** permitió establecer los parámetros hidráulicos de **Transmisividad**  $\approx$  200 m<sup>2</sup>/día y de Permeabilidad  $\approx$  10 m/día. Los parámetros físico-químicos analizados, cumplen los “standard” de Honduras para el agua potable
- El sondeo de exploración P-2 se elige por su rendimiento y características como el más adecuado, para satisfacer el caudal necesario, en cantidad y calidad, y por lo tanto se decidió equiparlo como **Pozo de Bombeo**. Teniendo en cuenta las necesidades de la población, se estableció que sería necesario un caudal mínimo de 6 litros/segundo para poder complementar los escasos recursos hídricos existentes.
- Este proyecto ha proporcionado la información hidrogeológica básica, para la realización de las obras necesarias encaminadas a garantizar el abastecimiento de agua potable a las comunidades de la zona de Guaymitas.
- Con este trabajo, realizado dentro de la ONG “Geólogos del Mundo”, se intenta sensibilizar y fomentar la inquietud institucional con respecto a la gestión de los recursos hídricos, para lograr la implantación de acciones y la creación de políticas hacia una gestión integral de los recursos naturales.

## VI.- BIBLIOGRAFÍA

- AFE-COHDEFOR (Administración Forestal del Estado, Corporación Hondureña de Desarrollo Forestal). Informe.
- Aparicio Mijares, F. J. (2001). **“Fundamentos de Hidrología de Superficie”**. Ed. Limusa. México.
- 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”**.
- C.A.T.I.E. (2003). **“Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio de El Progreso, Yoro”**. Honduras.
- Chow, V. T. (1964). **“Handbook of Applied Hydrology”**. Ed. McGraw-Hill Book Company. New York.
- Custodio, E., Llamas. M. R.( 2001). **“Hidrología Subterránea”**. 2ª edición. Ed. Omega, Barcelona.
- ESNACIFOR (Escuela Nacional de Ciencias Forestales), Municipalidad de El Progreso, USAID (Agencia de Estados Unidos para el Desarrollo Internacional). (2000). **“Diagnóstico Inicial Base de los Recursos Hídricos, Situación de las Cuencas Hidrográficas y la Capacidad Técnica del Municipio para la Protección y Manejo Integrado de las Cuencas Hidrográficas del Municipio de El Progreso, Yoro”**. Siguatepeque, Honduras.
- Geólogos del Mundo (2005). **“Estudio Hidrogeológico del Valle de Jamastrán. Danlí (Honduras)”**.
- Geólogos del Mundo (2005). **“Proyecto Guaymas. Honduras”**.
- Horton, R. E. ( 1932). **“Drainage Basin Characteristics”**. Am. Geophys. Union Trans.
- Horton, R. E. (1945). **“Erosional Development of Streams and their Drainage Basins”**.
- Luis Suárez & Manuel Regueiro (Ed.) (1997). **“Guía Ciudadana de los Riesgos Geológicos”**. I.C.O.G. e Instituto Americano de Geólogos Profesionales (A.I.P.G.) Madrid.
- Instituto Tecnológico Geominero de España (I.T.G.E.) y el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (C.E.D.E.X.), (2000). **“Mitigación de Desastres Naturales en Centroamérica”**. Ediciones A.E.C.I.. Madrid.

- Jiménez Sánchez, M. (1994). **“Geomorfología de la Cuenca Alta del Río Nalón”**. Tesis Doctoral, Universidad de Oviedo.
- López Cadenas, F. y Mintegui Aguirre, J. A. (1986). **“Hidrología de Superficie”**. Tomo I. Ed. Fundación Conde del Valle de Salazar.
- Millar, Leforrest. (2004). **Mapa de Suelos de Honduras**. FAO.
- Millar, V. C. (1953). **“A Quantitative Geomorphic Study of Drainage Basin Characteristics in the Clinch Mountain Area”**. Office Naval Research Project NR. Columbia University.
- Morisawa, M. (1958 ). **“Measurement of drainage-basin outline form”**. Journal of Geology, 66 (4) 587-591.
- Morisawa, M. (1985 ). **“Rivers. Form and Process”**. Ed. Longman London
- Municipalidad de El Progreso y C.A.T.I.E. (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza), (2003). **“Proyecto Mitigación de Desastres Naturales (PMDN). Análisis de Vulnerabilidad. Planificación Preventiva y Plan de Capacitación a Nivel Municipal”**. Financiado por: Asociación de Municipios de Honduras, Comisión permanente de Contingencias, Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente, Secretaría de Finanzas y Banco Mundial. Honduras.
- Rogers, R. D. (1992). **“Geology of the Valle de Jamastrán Quadrangle, Honduras”**. Informe del Instituto Geográfico Nacional, Tegucigalpa, Honduras.
- SERNA (Secretaría de Recursos Naturales), GEOMINH (Dirección General de Minas e Hidrocarburos) - BRGM. (1987-1992). Mapa Metalogénico y Catálogo de Minas y Ocurrencias Minerales, Inventario Minero Nacional II Fase. Tegucigalpa, Honduras.
- Shumm, S. A. (1956). **“Evolution of Drainage Systems and Slopes in Badlands at Perth Amboy, New Jersey”**. Ed. Bull. Geol. Amer.
- Signanini, Patricio & Gasparri, Lorenzo, (2003). **“Studio di un Acquifero Alluvionale in Area Tropicale, San Pedro Sula (Honduras)”**. Roma.
- S.I.N.I.A. (Sistema Nacional de Información Ambiental) **“Proyecto de Mitigación de Desastres Naturales”**
- Strahler, A. N. (1952). **“Hypsometric (area-altitude) Analysis of Erosional Topography”**. Ed. Bull. Geol. Soc. Amer.
- Strahler, A. N. (1957). **“Quantitative Analysis of Watershed Geomorphology”**. Ed. Trans. Amer. Geophysical Union.
- Strahler, A. N. (1979). **“Geografía Física”**. Ed. Omega.

- University of Texas – Institute of Geophysics, (2001). **“Control on Chortis Block Landform Evolution”**. *On Line*.
- U.S.G.S. (2004). Informe: “Map Showing Geology, Oil and Gas Fields, and Geologic Provinces of the Caribbean Region”.