

## EXPLORACION GEOFISICA DE RECURSOS NATURALES PROMISORIOS DEL SUROESTE DE LA COSTA PACIFICA COLOMBIANA

*Orlando Zuñiga E.*  
*Departamento de Física*  
*Luis E. Padilla*  
*Investigador Asociado*  
*Area de Geofísica Aplicada*  
*Departamento de Física*

---

### Resumen

El presente estudio se basó principalmente, en la exploración de recursos naturales promisorios: limolitas y arcillolitas limosas, gravas y arenas, y gas metano, existentes en la zona de investigación que cubre las cuencas de los ríos Rosario, Mejicano y Chagui en el Departamento de Nariño. Se utilizó el método geoelectrico con un dispositivo tipo Schlumberger. El procesamiento de datos geoelectricos se realizó por medio de un filtro tipo RESIX V2.0.

Los resultados obtenidos de la exploración, fueron muy satisfactorios, ya que permitieron describir y evaluar algunos recursos naturales promisorios de la zona de estudio.

### Introducción

El área de las ensenadas de Tumaco al norte de la ciudad del mismo nombre, donde desembocan los ríos Rosario, Mejicano y Chagui con 675 km<sup>2</sup> de cuencas ha sido poblada y aprovechada desde tiempos prehispánicos por pueblos pescadores y navegantes (2.500 A.C. según Castaño Uribe, 1989).

La zona costera entre Tumaco y Bocana del río Chagui hace parte del cinturón de manglar desarrollado entre California (USA) y la zona de Pumbes de Perú que al Norte y Sur quedan limitados por las aguas frías de las corrientes de California y de Humboldt, respectivamente.

En el área estudiada afloran predominantemente rocas sedimentarias, volcánicas y fluvivolcánicas. Las primeras constituyen el basamento de la zona e integran una secuencia arcillolítica de edad terciaria superior. A partir de este supuesto geológico de la zona, el presente estudio realizó una exploración geofísica con el propósito de evaluar recursos naturales promisorios tales como limolitas, gravas, arenas y gas metano.

La exploración geofísica se realizó utilizando un dispositivo tipo Schlumberger simétrico. Para el procesamiento de datos geoelectricos se utilizó un filtro digital lineal.

Los resultados obtenidos fueron muy satisfactorios y deben ser objeto de futuras exploraciones para la localización de recursos naturales potenciales.

### **Zona de Estudio. (Ubicación).**

La zona de investigación cubre la zona costanera en el extremo Suroeste de Colombia, al noreste de la ciudad de Tumaco entre la bahía que lleva su nombre y las cuencas de los ríos Rosario, Mejicano y Chagui en el Departamento de Nariño. (Ver figura 1).

Los detalles más sobresalientes de la zona estudiada corresponden a grandes bocadas de los ríos de marea ("Tidalrivers") cuyas aguas las vierten en la ensenada de Tumaco y presencia en el río Rosario de un antiguo delta, solevantado unos 50 mts., por encima del nivel actual del mar, conformando una extensa terraza aluvial con amplias zonas encharcadas o graduales. Hacia el norte los ríos Mejicano y Chagui discurren por terrenos cada vez más elevados, revelándose claramente este fenómeno por la presencia de costas rocosas y acantilados en inmediaciones las bocas del Río Chagui.

### **Geología.**

En el área estudiada afloran rocas sedimentarias, volcánicas y fluvivolcánicas. Las primeras constituyen el basamento de la zona e integran una secuencia arcillolítica, de edad terciario superior, sobre la que yacen discordantemente rocas volcánicas, aglomeraticas y tobaceas de edad terciario cuaternario, las que a su vez están recubiertas por formaciones deltaicas y



## Rocas de la Epoca Terciaria–Cuaternaria

El traspaso de terciario al cuaternario se caracteriza en el Suroccidente colombiano por ser la época durante el cual el vulcanismo alcanza su máximo desarrollo, fenómeno muy manifiesto de las cuencas interandinas de Nariño, y Cauca–Patía, y como caso único, en la Costa Pacífica del Departamento de Nariño, manifiesto atribuido a mecanismos de subducción de placas tectónicas (Murcia y James, 1982). Las denominadas **Capas Tuficas** de Nariño (Grosse, 1934) esparcidas sobre la zona costera de Tumaco, permiten litoestratigráficamente subdividirlas en dos subunidades.

- **Unidad Lahares**, constituida por aglomerados con delgadas intercalaciones de arenas tubáceas y tubas.
- **Unidad Volcánica**, formada por lapilli–cenizas, tubas con algunos guijarros y en general cineritas.

## Depositos Cuaternarios

Con este nombre se designan los sedimentos transportados por diferentes medios desde la cordillera y depositados a lo largo de los ríos Rosario, Mejicano y Chagui. Dada la gran extensión de estos depósitos, principalmente en la cuenca del río Rosario, se introduce el término Grupo Rosario, el cual se subdivide en dos formaciones: Chapilar y Santa María.

### Formación Chapilar:

Se le asigna este nombre a una secuencia orgánica de color negruzco depositada en ambientes deltáicos de manglar con cielos aluviales y fluvicustres reductores, ocurrida hacia la zona de la actual cuenca del río Rosario y en la mínima proporción, hacia la parte baja del río Mejicano.

Los materiales de esta unidad corresponden a sedimentos constituidos por capas superpuestas de áreas sucias hasta orgánica, localmente arcillas orgánicas con turba, con estratificación convulta, troncos, tacones, hojas, semillas y frutos vegetales, con alto contenido de hierro, CO<sub>2</sub>, **gas metano**, y “ojos de aceite”.

### Formación Santa María:

Con este nombre se designa una secuencia fluvial volcánica de textura arenosa con intercalaciones delgadas de arcilla volcánica que afloran típicamente sobre el barranco de la ribera derecha del río Rosario en la

localidad de Santa María.

Hidrogeológicamente constituyen el aurífero libre más rico de la región, el cual permite dada la calidad del agua, explotarlo para el aprovechamiento humano.

### Geofísica

Para el presente estudio se utilizó el método eléctrico por corriente continua: geoelectrica. El fundamento de la prospección geoelectrica está basado en la posibilidad de determinar la resistividad de un subsuelo homogéneo e isotrópico, por medio del denominado método de los cuatro electrodos. Se crea un campo eléctrico en el suelo, a partir de dos electrodos (E1 y E2) colocados en la superficie. El potencial tiene una distribución característica de acuerdo a las particularidades del subsuelo. Si medimos la diferencia de potencial ( $\Delta V$ ) entre dos sondas S1 y S2, también colocadas como los electrodos en la superficie, y la intensidad de corriente  $I$  entre los electrodos E1 y E2, así como el factor geométrico del arreglo, podemos determinar la resistividad aparente del subsuelo  $\rho_s$ , en función de la distancia de separación entre los electrodos (ver figura 2).

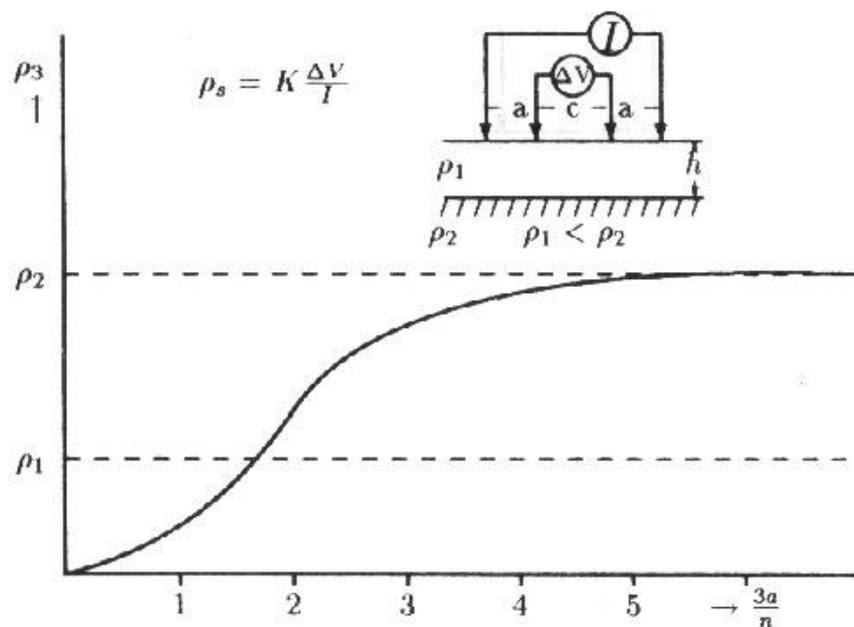


Figura 2

Es tarea de la interpretación geofísica, a partir de la curva de resistividad aparente, medida en la superficie, encontrar la curva de resistividad real del medio en función de la profundidad. Para lograr esta interpretación, se compara la curva de sondeo teórico (resistividad teórica) correspondiente a un modelo geológico conocido del subsuelo, con la curva de resistividad de campo (resistividad experimental).

Para calcular la resistividad teórica partimos de un modelo físico matemático del subsuelo con resistividades  $\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_n$  y espesores  $h_1, h_2, \dots, h_n$  (ver figura 3).

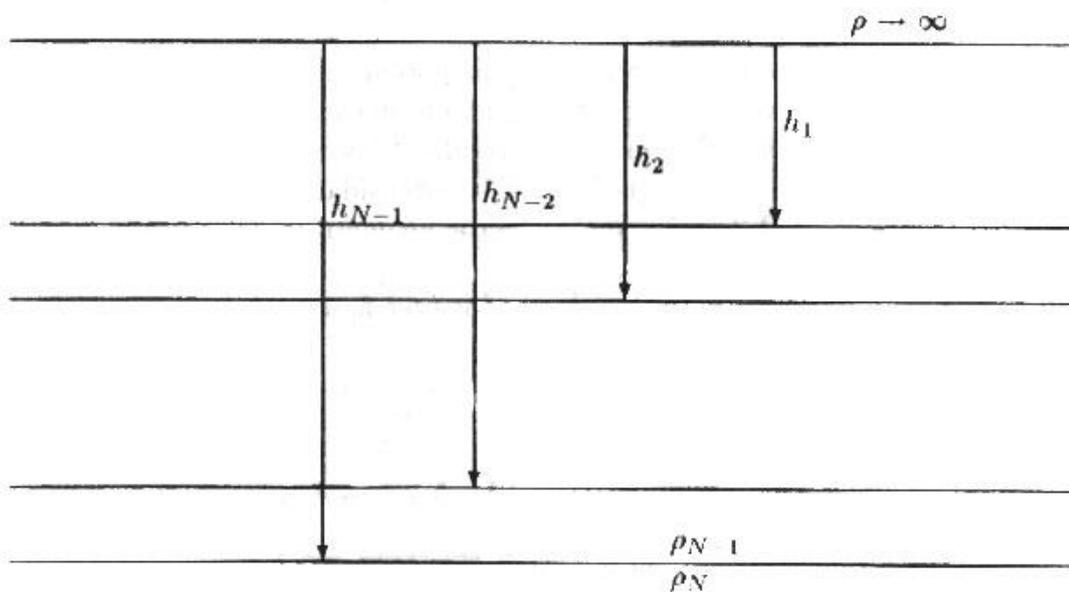


Figura 3

Según la ecuación de Laplace para el potencial eléctrico  $\nabla^2 V = 0$  y de acuerdo a las condiciones de fronteras para N capas, el potencial en la primera capa es de la forma:

$$V(r, z) = \frac{J\rho_1}{4\pi} \int_0^\infty (e^{-2\lambda z} + \psi(\lambda))(e^{-\lambda z} + e^{\lambda z})J_0(\lambda r)d\lambda$$

Para el cálculo de la integral expresamos la función núcleo  $\psi(\lambda)$  en función de polinomios:

$$\psi(\lambda) = \frac{P_N(V)}{Q_N(V)}$$

Y el potencial toma las formas: (Sebulke, 1977).

$$V(r, z) = \frac{J\rho_1}{4\pi} \left( \int_0^\infty \frac{P_N(V)}{Q_N(V)} J_0(\lambda r) d\lambda + \frac{1}{r} + \frac{1}{(r^2 + 4z^2)^{1/2}} \right)$$

donde la función de polinomios se puede expresar como:

$$\frac{P_N(V)}{Q_N(V)} = \sum_{p=1}^{\infty} B(p)V^{p-1}$$

Para cada geometría utilizada en el campo, se obtiene finalmente, la resistividad teórica:  $\rho_T$

$$\rho_T = K \frac{\Delta V_T}{I}$$

Por medio de programa iterativo se puede ajustar y comparar con  $\rho_s$ , la resistividad de campo, y encontrar finalmente la solución geológica del subsuelo.

## Datos y Resultados

### Equipo:

Se utilizó un georesistímetro tipo Hydrosystem-TRIO digital de corriente continua y 500 vatios de potencia, con carretes que permiten espacios interelectrónicos de corriente  $L/2 = 500$  mts., empleando el dispositivo schlumberger simétrico.

## Cuenca del Río Rosario

### Ensayos Geoeléctricos

En total se tomaron diez y nueve (19) sondeos eléctricos verticales (SEV). Un sondeo típico en esta cuenca es el de la localidad de corriente grande con los siguientes resultados:

PROFUNDIDAD (mts)	RESISTIVIDAD (ohm-mts)	CORRELACION LITOLOGICA
0.0 - 2.0	70	Arenas saturadas
2.0 - 25.0	25	Lodo de pantano y material orgánico
> 25.0	50	Aglomerado

Resultados que indican la presencia de material orgánico con abundante hierro, sulfuros y gas metano para profundidades entre 2.0 y 25 mts.

### Mapas de Lineas Iso-Resistivas

Dada la variabilidad de los valores de la resistividad aparente existente en el subsuelo, se construyeron mapas de líneas de isoresistividad desde 1.5 mts. hasta 20 mts. de profundidad.

La figura 4 indica la presencia de conglomerados y arenas fluvio volcánicas de la formación Santa María, en las localidades de isla Grande y Santa María. En las localidades de El Coco, San Francisco y Corriente Grande se destaca la presencia de tocones, lodo y material orgánico de la formación chapilar.

### Recursos Naturales Promisorios: Gas Metano

Algunas manifestaciones de gas metano se encontraron en los sedimentos orgánicos de la formación chapilar, la cual aflora en las laderas de los ríos, especialmente en el Río Rosario. Esta unidad al estar cubierta por los sedimentos de la formación Santa María, que le sirve de "Tapón", puede servir potencialmente para el aprovechamiento de este recurso energético. La exploración ulterior debe orientarse a la localización de depósitos para iluminación y otros usos.

No se descarta la presencia de sulfuros en forma de lentes o diseminados dentro de esta formación. En momentos de marea baja es común observar sobre las playas, depósitos de arenas negras con metales pesados, tales como magnetita, pirita, ilmerita, rutilo, zircón.

La formación Santa María presenta capas con espesores iguales o mayores a 1 mt., compuestas casi exclusivamente por arena volcánica o lapilli, material que agregado y mezclado con suelos muy arcillosos pesados puede

mejorar su permeabilidad y en general su fertilidad, dicho tratamiento se recomienda por ejemplo para la recuperación de las zonas de guandal.

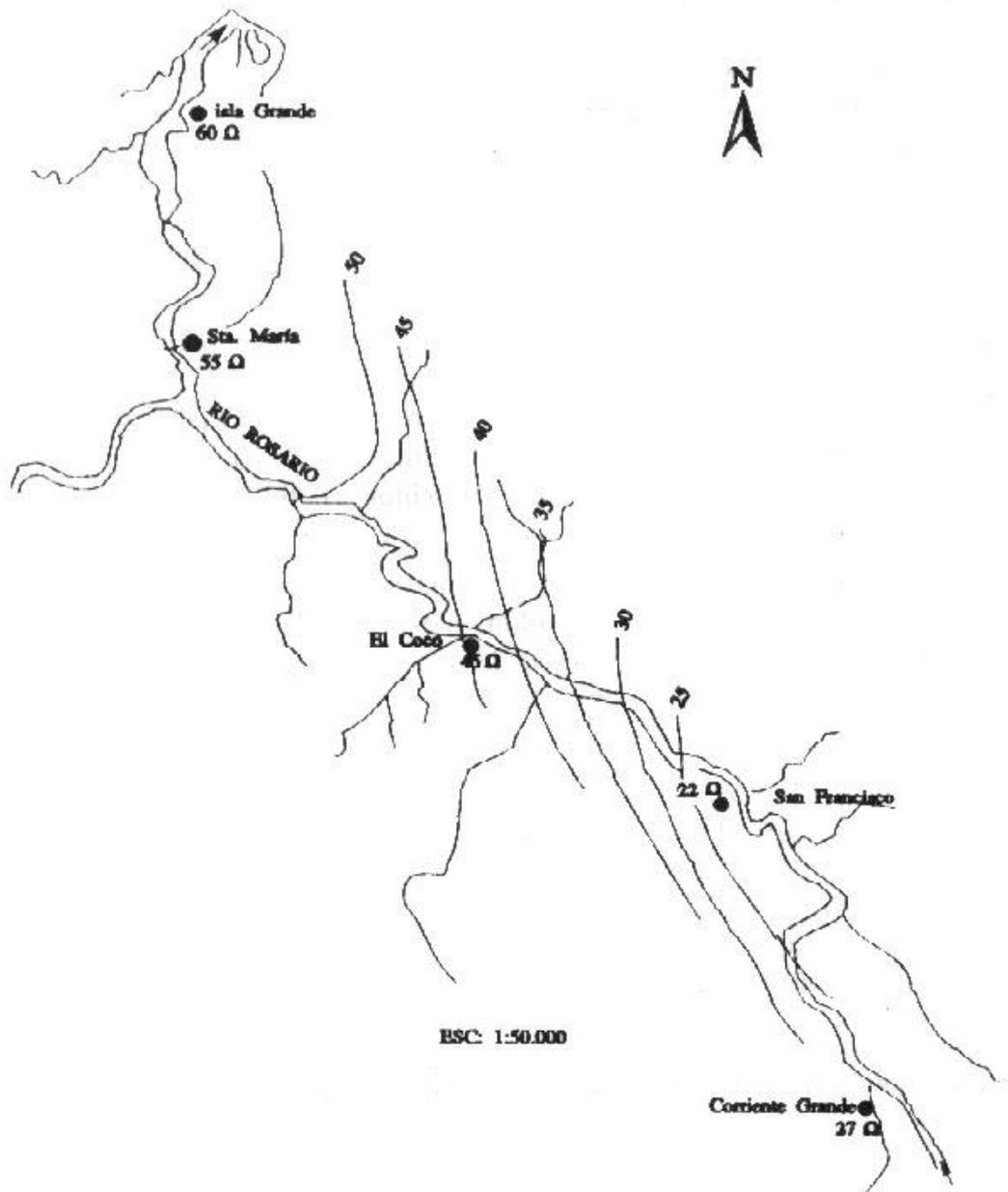


Figura 4

Mapa de líneas Iso-resistivas a 5 m. de profundidad. Cuenca Río Rosario

## Cuenca del Río Mejicano

### Ensayos Geoeléctricos

En esta cuenca se tomaron en total doce (12) sondeos eléctricos verticales (SEV). Un sondeo típico de esta cuenca en la localidad de Santa Rosa arrojó los siguientes resultados:

PROFUNDIDAD (mts)	RESISTIVIDAD (ohm-mt)	CORRELACION LITOLOGICA
0.0 - 1.0	60	Suelo de arcilla y grava
1.0 - 6.0	23	Arcillas y gravas
6.0 - 50.0	15	Aglomerado muy meteorizado
50.0 - 70.0	50	Aglomerado Fresco
> 70.0	7	Arcillolitas (terciario)

Resultados que permiten aclarar como el material más superficial retrabajado, constituye una capa de 400 ohm-m y 2 mts. de espesor; a mayor profundidad la matriz arcillo-limosa es predominante, razón por la cual su resistividad decrece hasta 10 ohm-mt. Este conjunto reposa sobre aglomerado.

### Mapas de Lineas Iso-Resistivas

Este mapa regional (Figura 5) indica la presencia de un horizonte de gravas y arenas con matriz predominante arcillosa con resistividad 20 ohm mts. en la localidad de Santa Rosa.

### Recursos Naturales Promisorios: Gravas y Arenas

Gravas limpias y algo de arenas sucias se han depositado en el curso del Río Mejicano, parte alta y se han explotado parcialmente para construcción. Estas gravas son producto de la disgregación, por meteorización, de la matriz del material aglomerático de la unidad de lahares, liberando cantos y guijarros frescos y redondeados principalmente de basaltos y diabasas, con diámetro promedio de 10 cms.

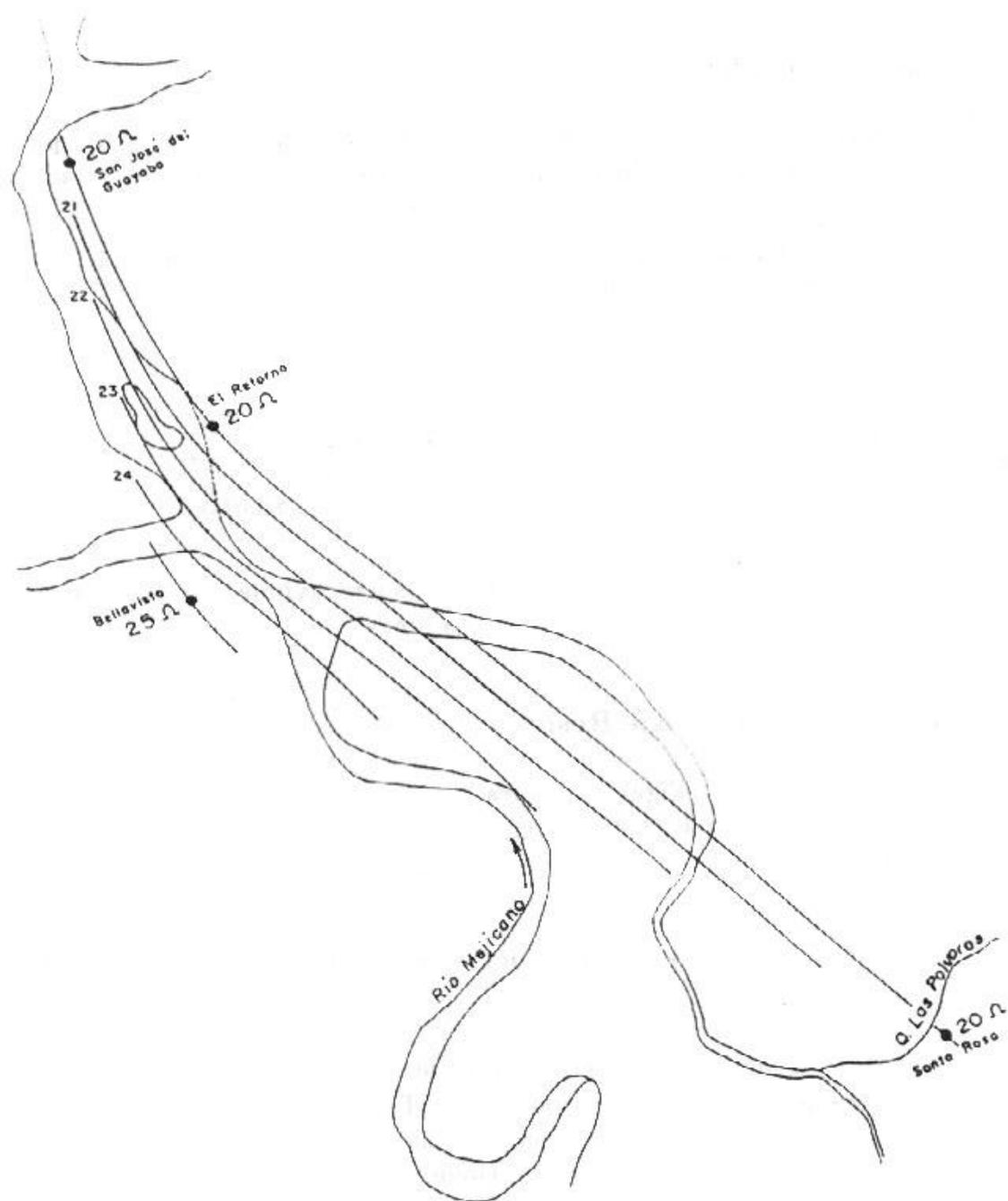


Figura 5

Mapa de Líneas Iso-Resistivas a 5m. de Profundidad. Cuenca Río Mejicano

## Cuenca del Río Chagui

### Ensayos Geoeléctricos

Se tomaron en total seis (6) sondeos eléctricos verticales. Un sondeo típico de esta cuenca en la localidad de La Sirena arrojó los siguientes resultados:

PROFUNDIDAD (mts)	RESISTIVIDAD (ohm-mt)	CORRELACION LITOLOGICA
0.0 - 1.0	50	Suelo arcilloso con agua lluvia
1.0 - 6.0	15	Suelo Arcilloso
6.0 - 15.0	9	Arcillolita (terciaria)
15.0 - 30.0	12	Arcillolita limosa (terciaria)
> 30.0	7	Arcillolita (terciaria)

Resultados que indican la presencia de suelos y rocas impermeables, además de la presencia de arcillolita y arcillolita limosa.

### Mapas de Líneas Iso-Resistivas

Este mapa regional (Figura 6) indica la presencia de suelos y rocas arcillosas, así como de arcillolitas con resistividades del orden de 9-12 ohm-mts. a profundidad de 8 mts. posible de ser explotadas.

### Recursos Naturales promisorios: Limolitas y Arcillolitas Limosas

Se refieren a materiales de grano fino que constituyen las capas sedimentarias laminadas de la formación Guapi (Tmg), las cuales tienen grandes posibilidades de ser utilizadas como ladrillo, ya que poseen resistencia del orden de 1-20 kgr/cm<sup>2</sup> (Socrates, Gomez, 1986), a pesar de lo cual son "rocas blandas", pudiéndose cortar fácilmente, sin necesidad de remoldear: al meteorizar, las arcillolitas grises se transforman en arcillas blandas plásticas a muy plásticas, de color habano o blanquezo, similar al caolin, las cuales pueden ser ensayadas para alfarería de calidad; las mejores reservas se encuentran expuestas en las cuencas de los ríos Chagui y Mejicano.

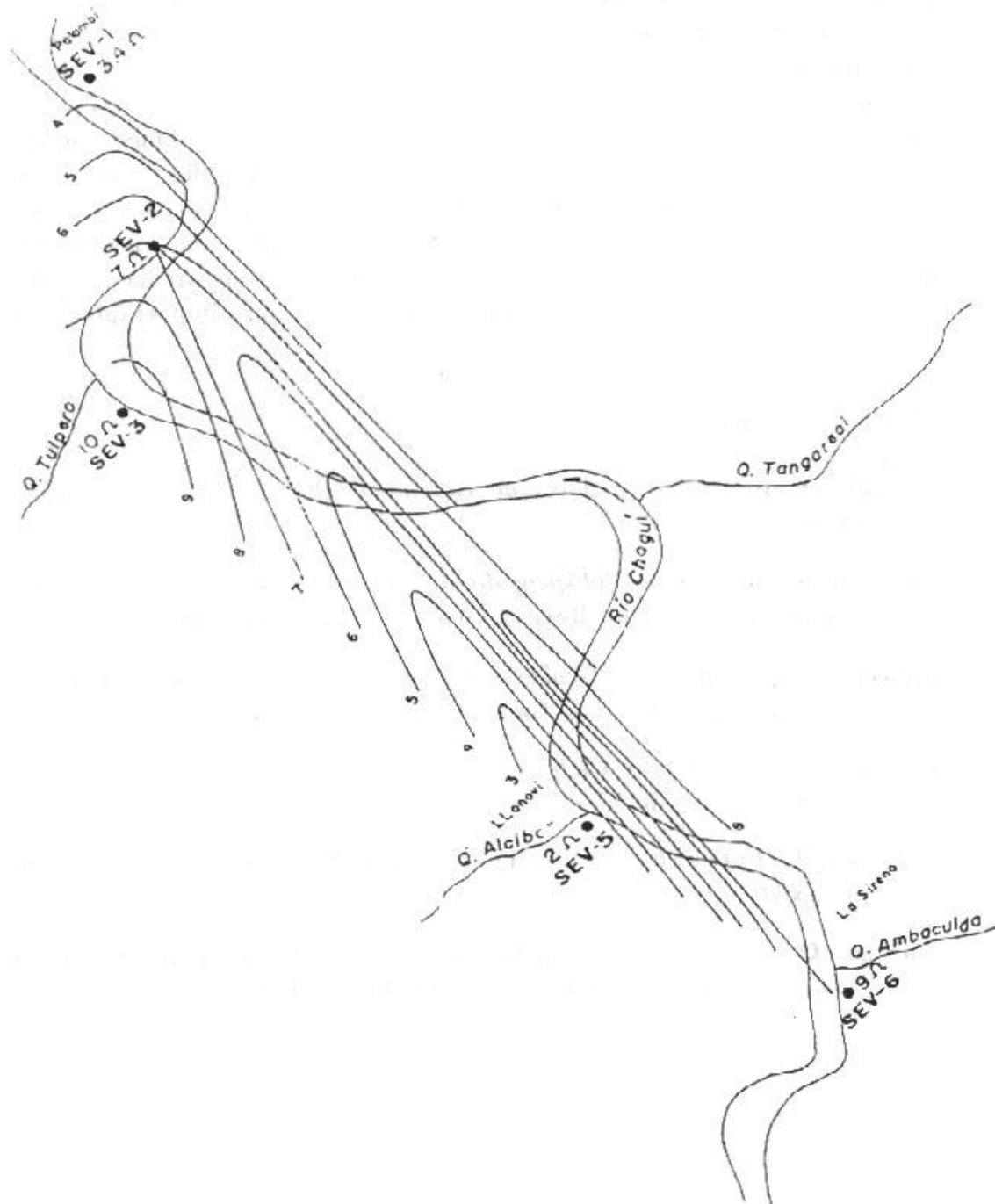


Figura 6

Mapa de Líneas Iso Resistivas a 8 m. de Profundidad. Cuenca Río Chagui

En la zona de estudio afloran arcillas amarillentas y amarillo rojizas, las cuales constituyen los suelos residuales a partir de las rocas volcánicas de la unidad Lahares (Tpv), las cuales cubren grandes extensiones en las cuencas de los ríos Rosario, Mejicano y Chagui. Estas arcillas son altamente plásticas y, mezcladas con materiales limo-arenosos, que también afloran en esta unidad, pueden usarse para la fabricación de ladrillo y teja. Los limos arcillosos se caracterizan por tener color gris a gris azulado, homogénea lo que, muy probablemente, los hace importantes para usarlos en la fabricación de ladrillo común y productos cerámicos de arcilla natural, cocidos. El material es poroso lo que lo hace mucho más importante para su uso en arte alfarero.

## Bibliografía

- Castaño Uribe, C.** *Manglares de Colombia*. Revista Banco de Occidente, 1989.
- Murcia, A.** *Rangos Morfológicos de la tectonicacuaternaria en el Suroccidente de Colombia*. Revista Geología Norandina, 1981.
- Grosse, D.** *Acerca de la Geología del Sur de Colombia*. Rev. Estudio Geológico en Colombia. Tomo III. p. 184-187, 1935.
- Padilla, L. F.** *Carácter Cíclico del Terciario del Valle del Cauca*. III. Congreso Colombiano de Geología, Bogotá, 1978.
- Sebulke, J.** *Entwicklung emer Widerstand Methdik pur geo- clektrischen prospektion*, Tuberin, 1973.
- Zuñiga, O.** *Hydrologische Und Geophysikalische Erforschung des Cauca Tales*, Zeitschrift - International, TV Berlin, 1991.