

Fig. 4. Early Oligocene time. Deposition of La Pascua-Roblecito and of basal Naricual, including Areo shale.

cover it and swung around its low hills. Therefore, the ancient Orinoco must have flowed west of the El Baúl hills into the Maracaibo Basin.

*Early Oligocene time, fig. 4*

During the late Eocene the first orogenic movements in the Mérida Andes and a rejuvenation in the Cordillera de la Costa can be discerned. With the uplift of the Andes and the further rising of the Cordillera de la Costa, the Eocene sea regressed and only two embayments were left, one in the Falcón trough and the second along the south foot of the Cordillera de la Costa. In connection with the rising Cordillera de la Costa, this adjacent basin to the south was gradually subsiding so that thick sediments could accumulate. Later the early Oligocene sea slowly encroached on the land mass of the Guayana Shield. The La Pascua sandstones which grade laterally and vertically into the finely laminated Roblecito shales are the initial deposits of this transgressive sea. No loaded streams debouched into the northern Guárico embayment during deposition of the Roblecito shales. The extremely regular and fine bedding reflects a quiet sea. It seems that through the Barcelona gap the Roblecito sea had a connection with the Caribbean. One arm of the embayment covered the depression in front of the Cordillera de la Costa of Eastern Venezuela and continued eastwards to Trinidad.

Thus the El Baúl Swell still formed a barrier between the ancient Eastern Venezuela Basin and the low lands to the southeast of the rising Andes. As pointed out the ancient Orinoco did not cross the El Baúl Swell and did not flow into the Roblecito sea of northern Guárico.

In the place of the Andes of today there were low ridges building a barrier to the northwest. However, a depression between the plunging Andes and the western Cordillera de la Costa opened a channel for the Orinoco towards the eastern Falcón trough. This depression, which is controlled by the Boconó fault and is an outstanding tectonic feature of Central Venezuela, will be called the "Chivacoa gap". This

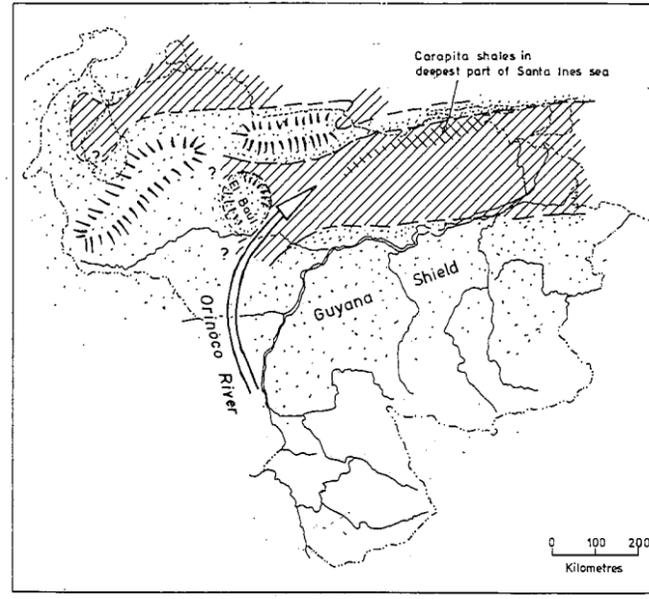


Fig. 5. At close of early Oligocene time and during Oligocene time in general. Beginning of Chaguaramas Oficina deposition.

gap is very obvious when flying from Barquisimeto to Caracas on the regular routes used by the airlines or when driving along the highway from Barquisimeto to Puerto Cabello.

*At Close of early Oligocene, fig. 5*

Continuous orogenic movements in the Andes and the Caribbean mountains increased erosion. Huge piedmont fans from the Andes closed the Chivacoa gap and pushed the Orinoco southeast towards the Guayana Shield and over the lowest part of the El Baúl Swell. The loaded Orinoco discharged now into the Eastern Venezuela Basin depositing "on coastal flats channel and bar sands, carbonaceous marine to brackish shale, lignites, and claystones" (HEDBERG, 1950: 1212), of the Chaguaramas, Periquito and Oficina Formations.

Along the southern foot of the Caribbean mountains of Northeastern Venezuela similar beds derived from the erosion of the mountains to the north were laid down during early Oligocene time alternating with typical coal swamp deposits (Naricual Formation). Later, the foraminiferal shales of the Carapita Formation were deposited in the central part of the Eastern Venezuela Basin.

R E F E R E N C E S

HEDBERG, H. D. (1950) "Geology of the Eastern Venezuela Basin (Anzoátegui - Monagas - Sucre - Eastern Guárico Portion)". *Bull. Geol. Soc. América*, 61:1173-1216.

MENCHER, E.; FICHTER, H. J.; RENZ, H. H.; WALLIS, W. E.; RENZ, H. H.; PATTERSON, J. M., & ROBIE, R. H. (1953) "Geology of Venezuela and its oil fields". *Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol.*, 37:690-777.

PATTERSON, J. M. & WILSON, J. G. (1953) "Oil fields of Mercedes región, Venezuela". *Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol.*, 37:2705-2733.

APLICACION DE LOS RESIDUOS DE REGRESION LINEAL EN LA EXPLORACION GEOQUIMICA

Por Henry O. Briceño M.

Instituto de Geoquímica  
Facultad de Ciencias  
Universidad Central de Venezuela  
Caracas 1051

(Recibido en mayo de 1979)

R E S U M E N

El análisis de datos geoquímicos en la exploración de yacimientos minerales no puede ser divorciado de la aplicación de técnicas estadísticas. Una de dichas técnicas, la regresión lineal, puede ser utilizada para minimizar los efectos que tienen los parámetros naturales en la producción de falsas anomalías. Al incluir en el modelo de regresión a todos aquellos parámetros naturales medibles, la única variable independiente no considerada será la mineralización, la cual, a su vez, causará una distribución no normal de los residuos de regresión. Los residuos de regresión, por lo tanto, constituyen valores de concentración "filtrados", dependientes solamente de los efectos de la mineralización; esto traerá como consecuencia, que los residuos serán mejores indicadores de zonas anómalas que los valores absolutos de concentración.

A B S T R A C T

When handling geochemical data for mineral exploration purposes, the statistical analysis can not be set aside. One of the statistical techniques, the linear regression, could be used to minimize the effect of natural parameters on the development of false anomalies. Once the regression model includes all the measurable natural parameters, the only independent variable not considered will be mineralization, which will cause a non normal distribution on the residuals after regression. Hence, the residual will be "filtered" values, only dependent on mineralization effects; this will make the residuals better indicators of mineralization than the absolute concentration values.

I N T R O D U C C I O N

La aplicación del análisis estadístico a datos geoquímicos constituye hoy día una práctica usual y necesaria. El volumen de datos generados en los estudios geoquímicos es en su mayoría muy grande para ser "asimilado" sin la ayuda de la computadora y el análisis estadístico. Esto sin menoscabo de la importancia del razonamiento del geoquímico investigador. Los métodos estadísticos utilizados son muy variados y la selección depende de las necesidades y pericia de dicho investigador. El problema usual surge de la "interpretación" que se le dé a los parámetros estadísticos obtenidos. El balance entre la teoría matemática y el significado físico de los parámetros está en manos de quien realiza la investigación.

Entre los variados métodos estadísticos aplicables a datos geoquímicos está el de regresión lineal múltiple, objeto del presente trabajo. Matemáticamente, una ecuación de regresión lineal múltiple puede ser expresada como:

$$Y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + \dots + b_m X_m + e \quad (1)$$

donde Y es la variable dependiente, las  $X_i$  son las variables independientes, los  $b_i$  son los parámetros de regresión y "e" el residuo o error. Es de hacer notar que esta ecuación asume una distribución normal del residuo "e" alrededor de los valores de dicha regresión (DAVIS, 1973: 199, 200), como se observa en la Fig. 1.

Dicha distribución normal es cierta única y exclusivamente en el caso de que el modelo de regresión sea realmente representativo del fenómeno analizado; en otras palabras, cuando todas y cada una de las  $X_i$  sean incorporadas en el modelo.

Generalmente esta consideración de todas las variables independientes es poco menos que imposible; sin embargo, se pueden seleccionar aquellas variables efectivamente significativas, obviando otras cuya influencia sobre la variable dependiente no sea determinante. De esta forma el subíndice "m" en la ecuación 1 sería un número finito, y lo que es más importante, asequible en cuanto a tiempo, esfuerzo y costo para el proyecto a desarrollar.

En nuestro caso de prospección geoquímica, en el cual

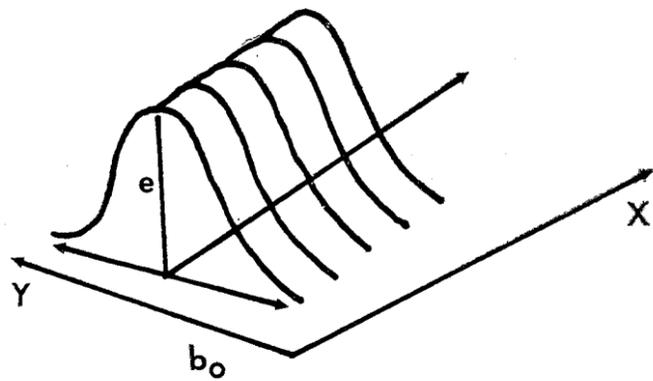


Fig. 1. Distribución de los residuos a lo largo de la línea de regresión.

afrontamos fenómenos naturales, la situación se torna crítica, el subíndice "m" es generalmente grande. Dicho en otras palabras, existen muchos parámetros geoquímicos ( $X_i$ ), los cuales influyen sobre la concentración y distribución de un determinado elemento o compuesto químico buscado (Y).

Es necesario comprender a cabalidad los fenómenos de distribución primaria y secundaria bajo un enfoque geoquímico para la selección de las variables a utilizar en el modelo de regresión. Una vez seleccionadas dichas variables independientes y estructurado el modelo de regresión, la única variable independiente importante no considerada será la mineralización. Esto traerá como consecuencia una distribución no normal del residuo "e". Aquellos valores anómalos en la distribución de "e" serán un reflejo de la influencia de la mineralización, y por tanto nuestra atención debe ser enfocada sobre dichos residuos.

#### SIGNIFICADO FÍSICO DE LOS RESIDUOS DE REGRESION

Se entiende por residuo de regresión en el presente trabajo a la diferencia entre el valor observado de la variable dependiente ( $Y_o$ ) y el valor calculado para dicha variable ( $Y_r$ ), de acuerdo a la ecuación de regresión:

$$Y_r = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + \dots + b_m X_m \quad (2)$$

es decir,

$$e = Y_o - Y_r \quad (3)$$

El residuo "e" así calculado no estará afectado (matemáticamente) por las variaciones de las  $X_i$  utilizadas en la ecuación (2); en otras palabras, será un índice de la influencia de las otras variables independientes no consideradas en el modelo.

Gráficamente podemos visualizar los residuos y su significado matemático haciendo uso de la Fig. 2. Aquellos valores que coinciden con la línea de regresión (punto 3) presentarán  $e = 0$ , ya que el valor observado coincide con el predicho por la regresión. Los valores que se encuentran por encima y por debajo de la línea de regresión tendrán residuos positivos y negativos respectivamente. Es importante señalar que el punto  $Y_{10}$  a pesar de ser menor que el punto  $Y_{20}$ , es más significativo, ya que su residuo  $e_1$  es mayor que

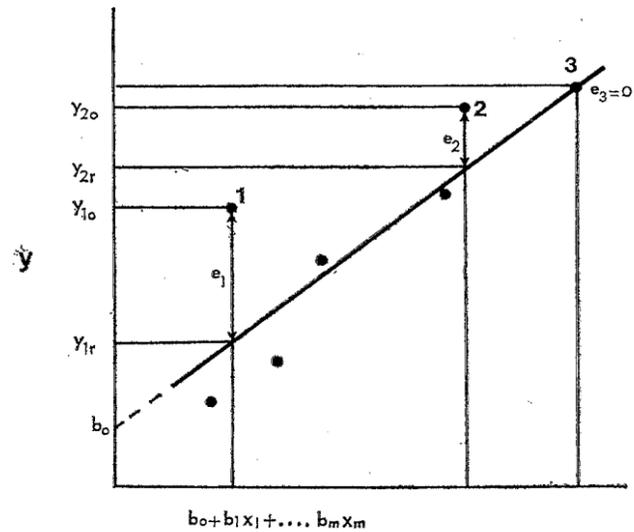


Fig. 2. Significado de los residuos de regresión.

$e_2$ . Esto nos indica que existe una (o varias) variable independiente, la cual no ha sido considerada en el modelo y la cual influye con mayor intensidad en el punto 1.

#### LOS RESIDUOS DE REGRESION EN LA PROSPECCION

Veamos mediante un ejemplo sencillo el significado físico de los residuos y su importancia en la exploración de yacimientos minerales. Supongamos que hemos determinado la concentración de cobre en muestras de suelo de una determinada área en la búsqueda de mineralizaciones de este metal. Se realizaron treinta determinaciones, mostrándose los resultados en la Tabla 1. A los valores obtenidos se les determinó el promedio de concentración (61. ppm. Cu), la desviación típica (38. ppm. Cu) y el umbral (99. ppm. Cu). En la Fig. 3 se muestra un mapa de distribución de cobre en los suelos de la zona estudiada. Las áreas anómalas o blancos exploratorios han sido delimitados como aquellas áreas donde la concentración de cobre es mayor que el promedio (Cu) más una desviación típica (s). Es de hacer notar que la definición del umbral (valor por encima del cual las concentraciones son anómalas) como  $\bar{Cu} + s$  es arbitraria. Algunos autores preferirían  $\bar{Cu} + 2s$  y otros sugerirían la determinación previa de las poblaciones estadísticas presentes y la definición de umbrales para cada una de ellas (SINCLAIR, 1974). Independientemente de esta consideración el área estudiada se nos presentaría subdividida en "subáreas normales" y "subáreas anómalas" (Fig. 3).

Ahora bien, si sólo consideramos este análisis sencillo como concluyente en la determinación de blancos exploratorios, cabe la posibilidad de que los valores de concentración de cobre no sólo sean controlados por las deseadas mineralizaciones. Existen otros parámetros, los cuales son de capital importancia en la acumulación de un determinado elemento químico en un ambiente geoquímico específico: entre otros, para nuestro caso de suelos, el tipo de roca meteorizada, pH, Eh, contenido de óxidos e hidróxidos de hierro y manganeso, concentración y tipo de arcillas, régimen climático, etc. Es por tanto imperativo considerar estas va-

riables independientes y determinar su influencia sobre los contenidos de cobre en los suelos. De esta forma podremos discriminar entre muestras anómalas por estar asociadas a mineralizaciones, y muestras "anómalas" por la influencia de otros factores.

Supongamos ahora que además de la concentración de cobre y las coordenadas geográficas hemos determinado la concentración de hidróxido de hierro en las muestras de suelo (Tabla 1). Si calculamos la ecuación de regresión para los valores de cobre en función del contenido de hidróxido de hierro, obtendremos:

$$\text{Conc. Cu} = 3,38 + 8,75 (\% \text{ hidr. Fe})$$

para la cual el coeficiente de correlación  $r = 0,84$ .

El valor del coeficiente (0,84) nos indica una estrecha relación entre los valores medidos de cobre y la concentración de hidróxidos de hierro; en otras palabras, podemos postular cierto "control" del cobre por el hierro, quizás debido a fenómenos de adsorción del cobre en la superficie de los hidróxidos.

Para discriminar aquellas muestras en las cuales los contenidos de cobre provienen de otros factores ajenos a la presencia de hidróxidos de hierro (tal como mineralización), podemos hacer uso de los residuos de regresión, es decir, la diferencia entre los valores observados y los valores predichos para el cobre ( $Cu_o - Cu_r$ ). En la Tabla I se muestran los residuos para cada muestra.

Con estos valores de "e" se ha construido un mapa (Fig. 4), en el cual se han delimitado las áreas anómalas usando el mismo criterio estadístico aplicado a los valores observados ( $\text{umbral} = \bar{e} + s$ ) en la Fig. 3. Los valores obtenidos son, -22 ppm Cu para el promedio, +28 ppm Cu para la desviación típica y +.6 ppm Cu para el umbral.

Es de hacer notar que los valores de "e" pueden ser tanto positivos como negativos; en el primer caso —valores de "e" positivos— indican la existencia de un exceso de Cu por encima de aquel que puede ser explicado por fijación en los hidróxidos de hierro (puntos por encima de la línea de regresión en la Fig. 2); en el segundo caso —valores negativos— sugieren que el contenido de Cu es deficiente aun para lo que podría haber sido fijado para los hidróxidos de hierro (puntos por debajo de la línea de regresión en la Fig. 2).

La comparación entre ambos mapas (Figs. 3 y 4) es significativa y requiere cierta discusión. En el mapa de concentraciones de cobre en los suelos (Fig. 3) se ha delimitado una sola anomalía alrededor de cinco muestras de alta concentración. En el mapa de residuos (Fig. 4) aparecen tres zonas anómalas con sólo dos muestras anómalas comunes a ambos mapas (muestras 4 y 21). Si se fuese a realizar un plan de perforaciones exploratorias en base al mapa de la Fig. 3 quizás no lograríamos dar con la mineralización, ya que estaríamos perforando una "falsa anomalía", producida por la fijación en los suelos del cobre por los hidróxidos de hierro.

Este análisis estadístico de las correlaciones entre la variable dependiente (Con. Cu) y la variable independiente (% hid. Fe) puede y debe ser extendido, de ser posible, a las otras variables independientes antes mencionadas y otras que se consideren de importancia. Esto nos llevaría a estructurar una ecuación de regresión de la forma:

$$\text{Con. Cu} = b_0 + b_1 \% \text{ hid. Fe} + b_2 \cdot \text{pH} + \dots + b_m \cdot X_m$$

Finalmente, los valores de "e" una vez lograda esta ecuación no estarán afectados por los parámetros determinados (% hid., Fe, pH...) y sólo dependerán de la única variable independiente no considerada, en nuestro caso, la mineralización. Esta consideración nos lleva a indicar que los valores de "e" en un mapa (Fig. 4) serán más significativos que los datos sin tratamiento previo de la Fig. 3.

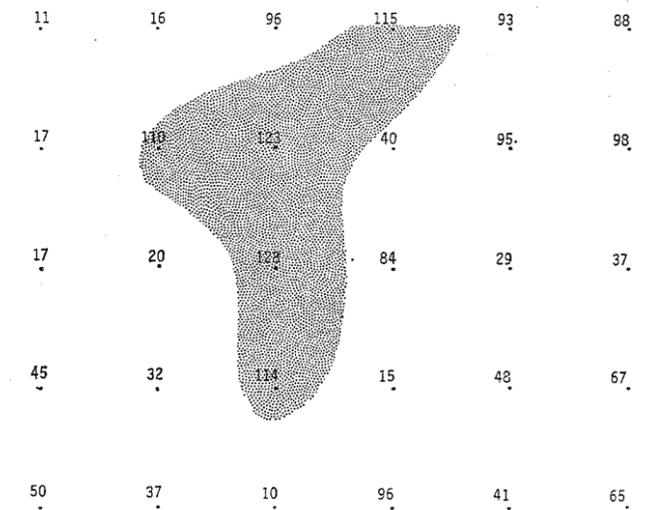


Fig. 3. Mapa de concentraciones de cobre en muestras de suelo (ppm).

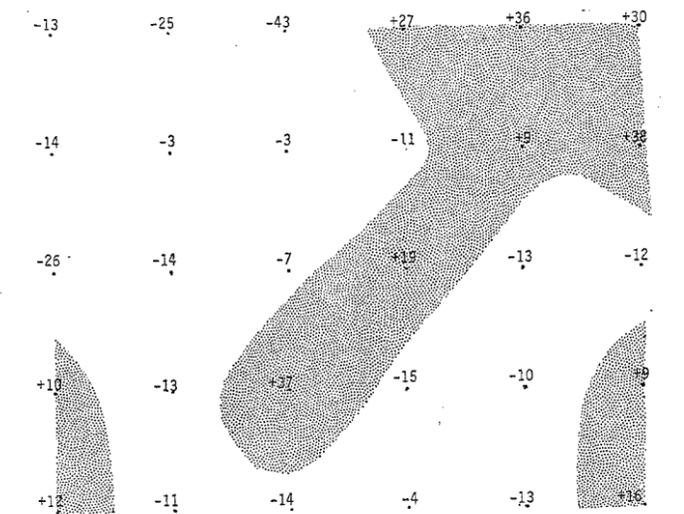


Fig. 4. Mapa de residuos de regresión (ppm).

#### CONCLUSIONES

Generalmente los trabajos de prospección geoquímica incluyen la determinación de una serie de variables geoquímicas, tales como composición química, pH, temperatura, Eh, % de humedad, etc.; asimismo, se construyen mapas en los cuales se muestra para cada localidad geográfica el valor de una determinada variable medida, por lo general la concentración de un elemento químico específico. Usual-

mente se determinan fondos, umbrales y anomalías a estos datos sin un previo tratamiento estadístico (Fig. 3). En el presente trabajo se sugiere un estudio preliminar (correlaciones lineales múltiples) de los datos geoquímicos, con antelación a la determinación de las llamadas anomalías. Este estudio preliminar es tendiente a la determinación de un modelo de regresión a partir del cual se obtengan aquellos valores no afectados por parámetros diferentes a la mineralización y, por ende, realmente significativos para la localización de zonas geoquímicamente anómalas. De la misma forma, se sugiere la determinación de tantas variables como sea posible en las muestras estudiadas para el logro de un modelo más adaptado a la realidad geoquímica.

Los residuos producidos por la regresión constituyen un valioso índice para la delimitación de zonas anómalas durante las labores de prospección, así como también contribuyen a dilucidar las interrelaciones existentes entre la propiedad o parámetros geoquímicos determinados.

#### BIBLIOGRAFIA

- DAVIS, JOHN C. (1973) *Statistics and Data Analysis in Geology*, John Wiley & Sons, Inc. New York, 550 p.
- SINCLAIR, A. J. (1974) "Selection of threshold values in Geochemical Data using probability graphs". *Jour. Geochem. Explor.*, 3:129-149.

TABLA 1

Muestra	Cu <sub>o</sub> ppm Cu	% hid. Fe	Cu <sub>r</sub> ppm Cu	Cu <sub>o</sub> - Cu <sub>r</sub>
1	11	2,4	24	-13
2	16	4,3	41	-25
3	96	15,5	139	-43
4	115	9,7	88	+27
5	93	6,1	57	+36
6	88	6,2	58	+30
7	17	3,2	31	-14
8	110	12,5	113	-3
9	123	14,0	126	-3
10	40	5,5	51	-11
11	95	9,4	86	+9
12	98	6,5	60	+38
13	17	4,5	43	-26
14	20	3,5	34	-14
15	128	15,0	135	-7
16	84	7,0	65	+19
17	29	4,5	42	-13
18	37	5,2	49	-12
19	45	3,6	35	+10
20	32	4,7	45	-13
21	114	8,4	77	+37
22	15	3,0	30	-15
23	48	6,2	58	-10
24	67	6,3	58	+9
25	50	4,0	38	+12
26	37	5,1	48	-11
27	10	2,4	24	-14
28	96	11,0	100	-4
29	41	5,8	54	-13
30	65	5,2	49	+16

Cu<sub>o</sub> = ppm de Cu observada. % hid. Fe = % hidróxido de Fe  
 Cu<sub>r</sub> = ppm de Cu según regresión.  
 Cu = 61; s = 38; umbral = 99.

## LAS FUENTES TERMALES DE CHICHIRIVICHE, DISTRITO FEDERAL

Por Franco Urbani P.

Escuela de Geología y Minas, UCV.  
Apartado 47.351, Caracas 1041-A

(Recibido en septiembre de 1979)

#### RESUMEN

Se presenta una descripción de las manifestaciones geotérmicas del río Chichiriviche, Distrito Federal. Una fuente es natural y otra emana a través de una perforación. La temperatura máxima medida es de 73°C. Los geotermómetros geoquímicos señalan las siguientes temperaturas: SiO<sub>2</sub> = 100°C, Na-K-Ca = 190°C. Estas fuentes pueden ser apropiadas para el desarrollo de balnearios termales.

#### ABSTRACT

This is a descriptive note on the geothermal phenomena of the Chichiriviche river, D.F. One is a natural hot spring and the other is an abandoned drill hole from which the water flows. The maximum measured temperature is 73°C. The results of the geochemical geothermometers are: SiO<sub>2</sub> = 100°C and Na-K-Ca = 190°C. These springs are suitable for establishing a public bathing place.

#### INTRODUCCION

Las fuentes de Chichiriviche son de las menos conocidas en la Cordillera de la Costa. Están ubicadas al sur del caserío de Chichiriviche, a su vez situado a unos 18 km al oeste de Arrecife, Dpto. Vargas, Distrito Federal (Fig. 1). Aparecen a una distancia de 1,3 a 2 km de la costa.

Para llegar a las fuentes, se pasa el pequeño pueblo vacacional ubicado a la orilla de la playa, continuando al sur por la carretera que conduce a la Colonia Tovar.

En la actualidad existen dos manifestaciones termales, la que llamaremos *fuentes natural* (Fig. 1), y otra que es la emisión de agua caliente a través del tubo de una *perforación*, efectuada aguas arriba de la anterior (Figs. 1 y 2).

Las fuentes aparecen en una zona de augengneises muy fracturados, delimitados por fallas de gran extensión (Fig. 1). La geología de esta zona fue presentada en forma regional por WHERMANN (1969, 1971, 1972) y más recientemente con motivo de un proyecto de aprovechamiento de las aguas del río Chichiriviche, fue levantada por GALLOVICH (1976) y posteriormente toda la cuenca del río Chichiriviche fue estudiada por MENDOZA (1978). La descripción de los augengneises puede ser consultada en MENDOZA (1978:78-s).

Con la información a nuestra disposición parece que el primer autor en citar estas fuentes termales es Aristides Rojas en 1872 (ROJAS, 1872 y reimpressiones posteriores 1873:191, 1912: 258 y 1970:27), y nos dice lo siguiente (1873:191):

"Al O. del puerto de La Guaira se encuentra la fuente termal de Chichiriviche, nace de la formación de gneiss, en la cordillera de la costa, y desemboca en el río Chichiriviche. Son muy calientes é hidro-sulfurosas; pero nadie ha observado hasta hoy su temperatura".

Posteriormente, conocemos las menciones de esta fuente por TEJERA (1877:54-55), Wilhelm SIEVERS (1888a: 81; 1888b:70) y ALAMO (1893:300).

Esta fuente fue "redescubierta" y divulgada su presencia durante la ejecución del trabajo de geología regional del área de Colonia Tovar-Guatire, por WHERMANN (1969, 1971, 1972), lo cual dio lugar al trabajo de URBANI (1969, 1972), en donde se presenta la descripción de la fuente, análisis químicos y mediciones de temperaturas.

#### DESCRIPCION DE LAS FUENTES

##### Fuente natural

Estas emanaciones aparecen en el cauce del río Chichiriviche, en un trayecto de unos 40 m, y se advierten por el aumento de temperatura de la arena del cauce del río. La fuente más aislada está en la orilla izquierda del río (Fig. 1), saliendo por debajo de varias rocas en la base del talud de la carretera.

La configuración de la fuente cambia según los aportes de aluviones y modificaciones del cauce del río Chichiriviche; ejemplo de ello es que en junio y agosto de 1969 una de las fuentes estaba totalmente aislada de las aguas del río Chichiriviche. En julio de 1977, al volver a visitar la zona, se notó que la misma fuente se encontraba a las orillas del río, imposibilitando la toma de muestras, y en octubre del mismo año, como consecuencia de grandes y torrenciales lluvias, el cauce del río había cambiado y en ese lugar había un pozo de 40 cm de profundidad en cuyo fondo se notaba la emanación de agua caliente.