

REPUBLICA DE COLOMBIA
MINISTERIO DE MINAS Y PETROLEOS
SERVICIO GEOLOGICO NACIONAL



BOLETIN GEOLOGICO

VOL. X

ENERO — DICIEMBRE 1962

NUMEROS 1 — 3

REPUBLICA DE COLOMBIA
MINISTERIO DE MINAS Y PETROLEOS
SERVICIO GEOLOGICO NACIONAL

BOLETIN GEOLOGICO

VOLUMEN X ENERO — DICIEMBRE 1962 Nos. 1 - 3

CONTENIDO:

RAASVELDT, H. C. — Investigación de la visión estereoscópica. (Con veintiuna figuras)	5
RENZONI, GIANCARLO. — Apuntes acerca de la litología y tectónica de la zona al este y sureste de Bogotá. (Con una plancha) . . .	59
NELSON, H. WOLFGANG. — Contribución al conocimiento de la Cordillera Occidental. Sección carretera Cali-Buenaventura. (Con doce fotos)	81
MEGYESI, IMRE. — Estudios sobre los depósitos de azufre en la mina de "El Vinagre", Puracé. (Con cuatro fotos, tres figuras y cinco mapas)	109
NELSON, H. WOLFGANG. — Contribución al conocimiento de la Cordillera Central de Colombia. Sección entre Ibagué y Armenia. (Con tres figuras y doce fotos)	161
ARCE HERRERA, MARINO. — Estudio sobre la erosión en el Cerro de la Popa, Cartagena. (Con dos planchas)	203
MORER, JEAN JACQUES, Y NICHOLLS V., EDUARDO. — Informe de la mina "El Socorro", Mercurio, Municipio de Aguadas, Departamento de Caldas	217

INVESTIGACION DE LA VISION ESTEREOSCOPICA

Separata de la Revista de la Academia Colombiana de Ciencias
(Volumen IX, números 36 y 37 — Año 1956).

POR

H. C. RAASVELDT

SERVICIO GEOLOGICO NACIONAL
BOGOTA, 1962

CONTENIDO:

RESUMEN	9
I Introducción	11
II La imagen transmitida	13
III Investigación del lazo entre convergencia y acomodación	18
IV La confusión que concierne a la imagen transmitida y el estereo-modelo con la visión estrábica	23
V Consecuencias de las disposiciones anatómicas de nuestros ojos y cerebro	26
VI La correlación de las impresiones visuales mentalmente proyectadas con el espacio físico	33
VII Localización espacial bajo condiciones no naturales de estereovisión sin lentes	38
VIII Localización espacial por visión no natural con lentes	40
IX La adaptación de la teoría de proyección a la visión no natural	41
X Explicación de varios fenómenos con base en la fisiología	52
Conclusiones	57
BIBLIOGRAFÍA	57
AGRADECIMIENTOS	58

Traducido al español por el doctor JAIME TORRES ¹.

R E S U M E N

Se hace un análisis de los fenómenos relacionados con la visión estereoscópica que lleva a la conclusión de que el estereoscopismo está basado en procesos fisiológicos. Una clara distinción debe ser hecha entre la visión estereoscópica natural de la vida diaria y las condiciones artificiales de observación, como, por ejemplo, bajo un estereoscopio. En el primer caso, ciertos factores fisiológicos están en completa armonía, mientras que en los casos de visión no natural aparecen tendencias en pugna. Las fuerzas relativas de varios factores desarmónicos determinan el sitio del estereomodelo observado. La visión estereoscópica con ejes visuales paralelos o divergentes puede en esta forma ser explicada sobre una base fisiológica. Una simple suposición nos capacita para extender la teoría de proyección para esos casos y para reconstruir geoméricamente el estereomodelo observado. Todas las propiedades de este estereomodelo tales como escala horizontal, escala vertical y exageración vertical pueden, entonces, ser determinadas para todos los casos de la visión estereoscópica con o sin lentes que el foto-intérprete encuentra en circunstancias normales.

¹ El original inglés de este artículo fue presentado para la publicación en el exterior. En la edición castellana el autor ha introducido algunas adiciones.

I — INTRODUCCION

Para varios grupos de foto-intérpretes quienes corrientemente usan fotografías estereoscópicas, adquiere cada día una mayor importancia conocer la relación geométrica entre el original fotografiado y el modelo observado por medio de estas copias, ya sea con el estereoscopio o con los ojos simplemente.

El problema puede ser estudiado, con éxito, solamente con una comprensión básica de la visión estereoscópica. Un análisis de algunos de los fenómenos envueltos en la visión binocular fue intentado por VON FRIJTAG DRABBE. Infortunadamente los conceptos expuestos en su estudio son muy confusos.

VON F. DRABBE se enmarañó en varios de estos fenómenos, especialmente en aquellos que lo indujeron a introducir la idea de la imagen transmitida. Su estudio, caracterizado por una gran imaginación inventiva, fue así desafortunadamente conducido a un punto muerto sin conclusiones.

Aun cuando su teoría sobre visión estereoscópica se impugna en este artículo, a VON FRIJTAG DRABBE le debemos quedar reconocidos por los dos detalles siguientes:

1) El fue el primero en advertir la inaplicabilidad de la tesis de WHEATSTONE bajo las condiciones de visión no natural. Esta tesis sostiene que la imagen estereoscópica es vista en el punto de intersección de los ejes visuales.

2) Introdujo cierta técnica para sacar conclusiones de experimentos simples que todo el mundo puede hacer.

Esta "técnica" ha sido seguida y desarrollada en este artículo (especialmente en la Sección III). Parece que todo lo que es esencial para el intérprete puede ser investigado por medios muy simples.

Muy probablemente VON FRIJTAG DRABBE no hubiera llegado a las mismas condiciones si él hubiera consultado los resultados de la óptica fisiológica. Pero es necesario hacerlo para llegar a una comprensión de la visión estereoscópica en general y particularmente es un requisito para el entendimiento de los fenómenos abarcados por VON FRIJTAG DRABBE y tratados en este artículo. Para la conveniencia del lector los tópicos más importantes de la fisiología óptica son presentados en forma sinóptica en

la Sección V, aun cuando debe estar preparado para encontrarlas mezcladas con opiniones personales del autor.

En la primera parte de este estudio se analizará la tesis de v. F. D.² y se demostrará su imposibilidad, para luego presentar la opinión nuestra.

El autor no pretende explicar todos los casos posibles de visión estereoscópica. Se dirige especialmente al intérprete que examina fotografías a vista simple o con ayuda de estereoscopios corrientes de lentes o de espejos. Solamente estos casos son tratados por completo.

Sin embargo, esto no significa que los principios establecidos adelante en este artículo sean aplicables solamente al campo de la foto-interpretación. Podemos, también, utilizarlos para cualquier situación de estereoscopismo, tales como las proyecciones en tres dimensiones, ya sean fijas (diapositivos sin movimiento), o cinematográficas, estereo-microscopios, etc.

Varios ejemplos expuestos en la Sección X, muestran cómo la teoría puede ser aplicada en casos específicos.

² Abreviamos así, o en forma similar, el nombre de von Frijtag Drabbe, Director del Servicio Topográfico del Gobierno de los Países Bajos.

II — LA IMAGEN TRANSMITIDA

Von Frijtag Drabbe presenta sus ideas como deducciones de algunos experimentos simples y uno de los conceptos básicos desarrollados en esta forma es aquel de la *imagen transmitida*. Refirámonos a sus experimentos número 3 y número 4.

Experimento número 3 y la teoría de von Frijtag Drabbe sobre la visión estereoscópica.

Es, en principio, como sigue: fije la vista en un objeto a una distancia aproximada de 4 metros y coloque un dedo a 10 centímetros de la nariz. El dedo se verá doble. Si se cierra el ojo izquierdo, la imagen derecha del dedo desaparecerá o viceversa. En el primer caso, el dedo visto con el ojo izquierdo es “proyectado” mentalmente cerca del eje del ojo derecho y así el dedo visto con el ojo derecho es “proyectado” frente al ojo izquierdo.

Von Frijtag Drabbe tiene las siguientes concepciones sobre el fenómeno: el dedo visto con el ojo izquierdo es *transmitido* al ojo derecho. El sugiere que esta transmisión tiene lugar en el cruce de las fibras nerviosas en nuestra cabeza ³, donde las impresiones nerviosas del ojo izquierdo, según él, son introducidas en los canales nerviosos del ojo derecho. Así, de acuerdo con su tesis, si cerramos el ojo izquierdo, la imagen no es recibida por este ojo y por ello nada puede ser transmitido al ojo derecho. Como consecuencia, la imagen opuesta al ojo derecho desaparecerá.

La visión estereoscópica sería obtenida por la combinación de la imagen directamente observada del ojo derecho y la imagen transmitida que él recibiría del ojo izquierdo. Lo que se ha dicho sobre el ojo izquierdo se aplica en forma inversa al ojo derecho, que a su vez, podría transmitir una imagen al ojo izquierdo. La razón por la cual no vemos dos imágenes estereoscópicas, es explicada por v. F. D. mediante la suposición de que tenemos un *ojo activo* o *preferencial* que efectúa la combinación de las imágenes observada y transmitida en una sola imagen estereoscópica, o tridimensional. ¡El otro ojo funciona de manera *pasiva*, es decir, solamente tiene que suplir la imagen transmitida!

Esta es, en forma somera, la teoría de la visión estereoscópica propuesta por v. F. D.

³ Muy probablemente v. F. D. se refiere al quiasma, vea figura 10. La anatomía de nuestro sentido óptico, descrita brevemente en la Sección V, parece oponerse a su tesis, porque en su “experimento número 3” las imágenes retinales se proyectan en los hemisferios temporales, cuyos nervios ópticos no se cruzan en el quiasma. Vea también la nota acerca de los resultados de Zsily, en la misma Sección.

Los fenómenos relacionados con este experimento son corriente y adecuadamente explicados por la tesis de los puntos retinales correspondientes, presentada en la Sección V. El experimento 3 es conectado directamente por v. F. D. con su experimento 4, sin mucho fundamento como el lector lo notará más adelante en este artículo.

Experimento número 4.

(Véase la figura 1, una reproducción de la figura III de v. F. D.).

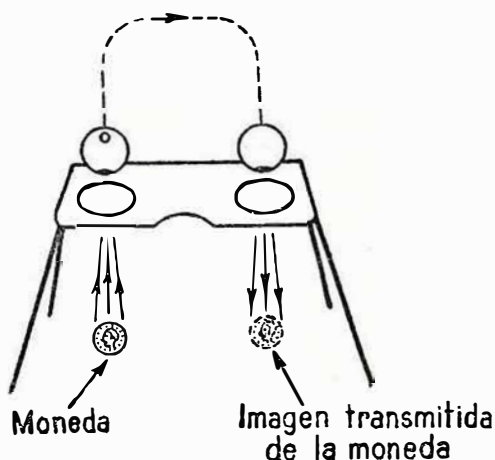


Figura 1.—El “experimento número 4” de von Frijtag Drabbe con una moneda y un estereoscopio de bolsillo.

En este experimento se pone una moneda bajo un estereoscopio de bolsillo, para ser vista por el ojo izquierdo. Todos los detalles de esta moneda pueden ser reproducidos con lápiz sobre un pedazo de papel puesto bajo el lente que corresponde al ojo derecho. Para explicar este fenómeno, sorprendente a primera vista, él supone nuevamente que la imagen observada por el ojo izquierdo, es transmitida al ojo derecho, y como queda presente en el ojo derecho no es difícil de explicar que los contornos y detalles de la moneda pueden ser dibujados con el lápiz, el cual es realmente observado por el ojo derecho, en una forma tal, sobre el papel que las imágenes transmitida (moneda) y observada (lápiz) coincidan.

De acuerdo con el autor, el fenómeno debe ser explicado en una forma completamente diferente, pero antes de que entremos en la discusión de esta cuestión, es necesario analizar la visión normal binocular.

Visión normal binocular.

Observando un objeto atentamente en la vida diaria (por ejemplo, una moneda, vea la figura 2a), supondremos por el momento que, básicamente, cuatro cosas van a suceder (1 convergencia, 2 acomodación, 3 transformación y, 4 proyección):

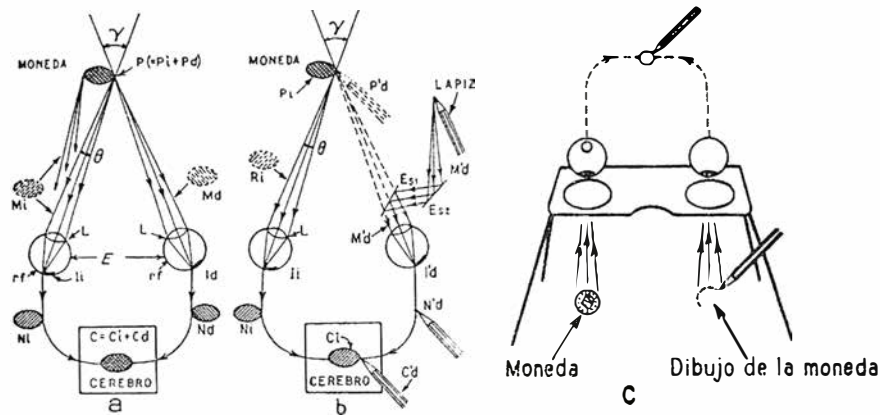


Figura 2.—Análisis del experimento del estereoscopio y la moneda.

1. *Convergencia.* Los ejes de los ojos son dirigidos o convergidos al objeto de nuestra atención formando cierto ángulo γ .

Actuando así, estamos seguros que la imagen de este objeto es formada en la región más sensitiva donde se encuentra la visión más aguda de toda la retina, es decir, en la "fóvea centralis", una pequeña depresión de la mancha amarilla (mácula lútea).

Tiene un diámetro aproximado de 0.44 mm. y cubre un ángulo de $2^{\circ} 10'$ a $2^{\circ} 25'$. La fóvea humana no tiene bastoncillos⁴ sino una gran profusión de delgados conos. Los conos alejados de la fóvea son más grandes pero menos numerosos. Los de la fóvea están conectados separadamente por fibras nerviosas individuales con el centro cerebral que corresponde a la visión, mientras afuera de la fóvea varios conos están unidos por un nervio común. Esto hace que la visión tenga un máximo de nitidez en el área de la fóvea y que la nitidez disminuya rápidamente en las áreas más alejadas de la mácula (vea la figura 3).

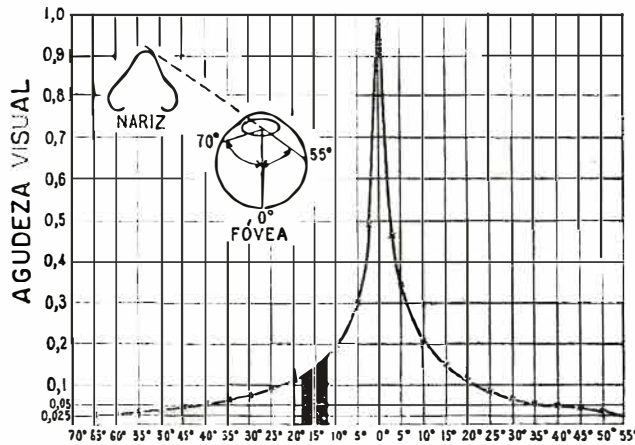


Figura 3. La agudeza visual que tiene un máximo muy acentuado disminuye rápidamente hacia los lados de la retina (70° y 55°). La columna negra en el gráfico representa el punto ciego del ojo. Según Landois-Rosemann.

⁴ De acuerdo con la "teoría de la duplicidad", los bastoncillos solamente funcionan cuando hay poca luz y por consiguiente no es necesario tratar sobre ellos en este artículo. La visión en la obscuridad se realiza por medio de la parte retinal que rodea la fóvea.

2. *Acomodación.* Acomodamos los lentes de nuestros ojos a la distancia que nos separa del objeto.

De cada punto material del objeto (figura 2^a) un haz de rayos luminosos divergentes, que forma un pequeño cono con un ángulo θ , es transformado por cada lente L del ojo en un haz de rayos que converge en la retina fotosensitiva rf. Todos los puntos materiales en conjunto emiten un mazo de haces de rayos luminosos (Mi para el ojo izquierdo, Md para el derecho), que representa la moneda en una forma más bien caótica. Estos agregados, al parecer caóticos, de rayos luminosos (Mi y Md) son ordenados por los lentes del ojo L, de tal modo que el haz de rayos luminosos que viene de un punto reproduzca precisamente ese punto en la retina. De esta manera se forman las imágenes de la retina Ii e Id que son reproducciones punto por punto de la moneda.

3. *Transformación de la luz en impresiones nerviosas.* Las imágenes Ii e Id proyectadas en las retinas, subsecuentemente son convertidas en "impresiones nerviosas" (Ni, Nd) y conducidas al "centro cerebral de visión". Aquí ambas imágenes son convertidas en algo fisiológico, que podríamos llamar para fácil referencia, la "imagen cerebral"⁵.

4. *Proyección mental.* A pesar de que la imagen cerebral (C) se forma en la parte posterior de la cabeza (cortex occipital), nuestra mente interpreta el último resultado como si las impresiones visuales vinieran de alguna parte frente a nosotros, o, en este caso particular, del sitio donde se encuentra la moneda. Es evidente que la impresión visual es proyectada hacia afuera por un proceso mental. Esta imagen mentalmente proyectada (P), incorrectamente la identificamos con el objeto real (moneda) y estamos tan acostumbrados a hacer esto que es difícil renunciar a esta identificación. Los experimentos con espejos, prismas, o cualquier medio que cause refracción (el agua con un palo medio sumergido), imágenes dobles, nos enseñan que en muchos casos el objeto no está donde parece. Estos hechos sólo pueden ser explicados satisfactoriamente por medio de la tesis de la imagen mentalmente proyectada, porque ¿cómo puede el objeto bajo todas apariencias estar allá donde no está localizado en realidad, excepto por un proceso de la mente que, engañada por trucos físicos, los coloca en un lugar falso? Aparentemente sólo controlamos los rayos luminosos desde el instante en que llegan a nuestros ojos, pero no tenemos medios directos de chequear lo que les sucede antes de alcanzar nuestros medios ópticos. Sobre esto nuestra mente puede sólo en forma indirecta deducir la realidad por la experiencia o por la investigación. Después de alguna reflexión, será claro que esta imagen proyectada es tan real en las esferas psíquicas, como lo es una silla en nuestro mundo físico. Para expresar las cosas más claramente, podríamos, inclusive, declarar que, en cierto sentido, no "vemos" el mundo físico. Lo que realmente observamos es una proyección mental hacia afuera automáticamente provocada por los rayos luminosos que llegan a nuestros ojos.

El problema de la visión estereoscópica puede así ser resumido en la forma siguiente: Exceptuando casos especiales (espejos, palo en el agua) proyectamos mentalmente la imagen del objeto en el mismo sitio donde el objeto está verdaderamente presente, al menos si miramos en una for-

⁵ El dibujo está simplificado a propósito. Vea más adelante la figura 10.

ma natural. Ahora el problema es: ¿dónde proyectamos la imagen bajo condiciones no naturales de visión binocular y cuáles son los principios que gobiernan esta proyección?

Es importante anotar que esta imagen mentalmente proyectada (P) es experimentada como una simple unidad que corresponde con el objeto observado. Como cada ojo observa el objeto desde una posición diferente ya que ellos están separados por cierta distancia E (base entre los ojos), dos imágenes diferentes (C_i y C_d), son *fundidas* (combinadas o sintetizadas) en el centro cerebral para la visión y ésta es la razón para que la imagen psíquicamente proyectada (P) tenga cualidades tridimensionales. Sin la fusión previa, dos imágenes diferentes, no estereoscópicas y solamente superpuestas (P_i y P_d), serían exteriorizadas por la proyección mental (figura 2b, lápiz y moneda planos).

Interposición de otra imagen en el curso de los rayos luminosos muestra que el experimento 4 puede ser explicado sin el concepto de la imagen transmitida. (Vea figura 2b).

Interceptemos el mazo de rayos luminosos (M_d de la figura 2a) que viene de la moneda a nuestro ojo derecho y sustituyámoslo por un mazo de rayos luminosos ($M'd$) que sería emitido por la punta de un lápiz. Podemos hacerlo con dos espejos (Es_1 y Es_2). La imagen de la moneda en la retina del ojo derecho (M_d) será cambiada por la imagen del lápiz ($M'd$) y la impresión nerviosa (N_d) de la moneda por la impresión nerviosa ($N'd$) del lápiz. La imagen cerebral entonces estará constituida por una imagen plana y monocular de la moneda (C_i) superpuesta por una imagen también plana y monocular del lápiz ($C'd$). Si el lápiz se mueve, experimentaremos una imagen cerebral que consta de dos partes, una de las cuales ($C'd$, que corresponde al lápiz), cambia de posición con referencia a la otra (C_i , relacionada con la moneda). El lápiz puede ser manejado en forma tal que la parte movable (lápiz) de la imagen cerebral ($C'd$) describa subsecuentemente los contornos de la parte estacionaria (moneda = C_i). Cuando el lápiz, visto con el ojo derecho, se deja en contacto con el papel, describirá los contornos de la moneda, que es observada con el ojo izquierdo.

Lo que realmente vemos, a causa de la proyección mental de toda la imagen cerebral en conjunto, es que un lápiz plano, no estereoscópico, toca y dibuja los contornos de una moneda plana.

Una explicación similar se aplica para aclarar el experimento del estereoscopio y la moneda de la figura 1. Ningunas diferencias esenciales son introducidas por los lentes del estereoscopio. Los ojos no se acomodan para la distancia entre la moneda y los ojos, sino para una distancia infinita y los ejes de los ojos serán paralelos. Una intervención con espejos no es necesaria porque el lápiz y la moneda están ya separados por el estereoscopio. Según el autor, la situación debe representarse esquemáticamente como en la figura 2c y no como en la figura 1, la cual expresa la opinión de v. F. D.

La correlación de las imágenes de los ojos izquierdo y derecho, como sucede con la reproducción de un objeto, visto con el ojo izquierdo y reproducido por medio del ojo derecho, es probablemente efectuada por un

último proceso cerebral. Esto puede ocurrir solamente en esa parte de nuestro cerebro donde las impresiones del ojo derecho e izquierdo son juntadas y experimentadas psicológicamente como visión. No tenemos sino un solo centro de atención consciente donde todas las impresiones son reunidas, y esto parece ser la única base real para la explicación del “experimento número 3” de v. F. D.

III — INVESTIGACION DEL LAZO ENTRE CONVERGENCIA Y ACOMODACION

El “experimento número 4” de VON FRIJTAG DRABBE, el del estereoscopio y la moneda, se presta para investigar la conexión que existe entre la convergencia y la acomodación, si introducimos algunas modificaciones que se describen en seguida.

En primer lugar retornemos una vez más a la visión binocular de la vida diaria. Queremos acentuar que al mismo instante en que convergimos los ejes visuales hacia un objeto, acomodamos también los lentes oculares para la distancia correspondiente. Esto lo hacemos subconsciente o automáticamente, sin algún esfuerzo. Las diferentes reacciones de los músculos, envueltos en este acto, están *acoplados*, de modo que a la acomodación para una cierta distancia D corresponde un ángulo de convergencia γ , bien definido y directamente relacionado con la distancia D . Esta relación entre convergencia y acomodación, presentada gráficamente en la figura 4, está regida por la ecuación:

$$\tan \frac{1}{2} \gamma = \frac{1/2 E}{D} \quad 1)$$

en la cual D es la distancia entre objeto y ojos, E la separación de los ojos.

Así, cuando miramos con los ojos de una manera tal que la relación de D , E y γ esté de acuerdo con la ecuación 1) tenemos la sensación que observamos “confortablemente”, “fácilmente”, “normalmente” y “sin esfuerzo”.

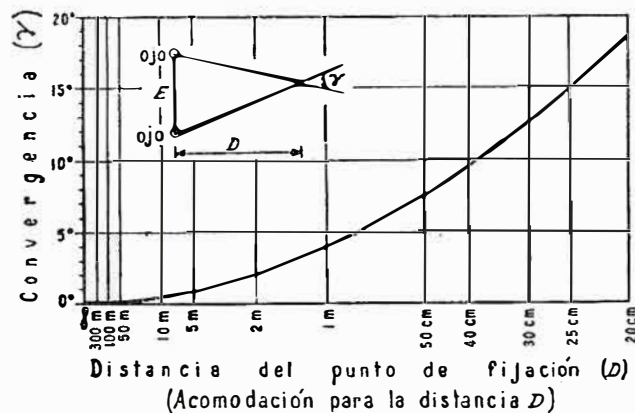


Figura 4.—Relación entre acomodación y convergencia (γ).

Esta es la manera como vemos normalmente en la vida diaria. Si utilizamos ciertos instrumentos podemos apartarnos de la vista normal, es decir, de la ecuación 1), y éste es, especialmente, el caso cuando examinamos un par de estereogramas.

Si nos desviamos de esta regla, p. e., si observando introducimos un ángulo de convergencia γ , que no pertenece a la acomodación correspondiente de acuerdo con la ecuación 1), tenemos la sensación de que miramos forzada y no naturalmente, lo que causa una fatiga extraordinaria ya después de un corto tiempo. Esto, por ejemplo, sucede cuando estudiamos un par de fotografías estereoscópicas con los ojos desnudos.

Ahora llevemos a cabo los siguientes *experimentos adicionales con la moneda y el estereoscopio de bolsillo*:

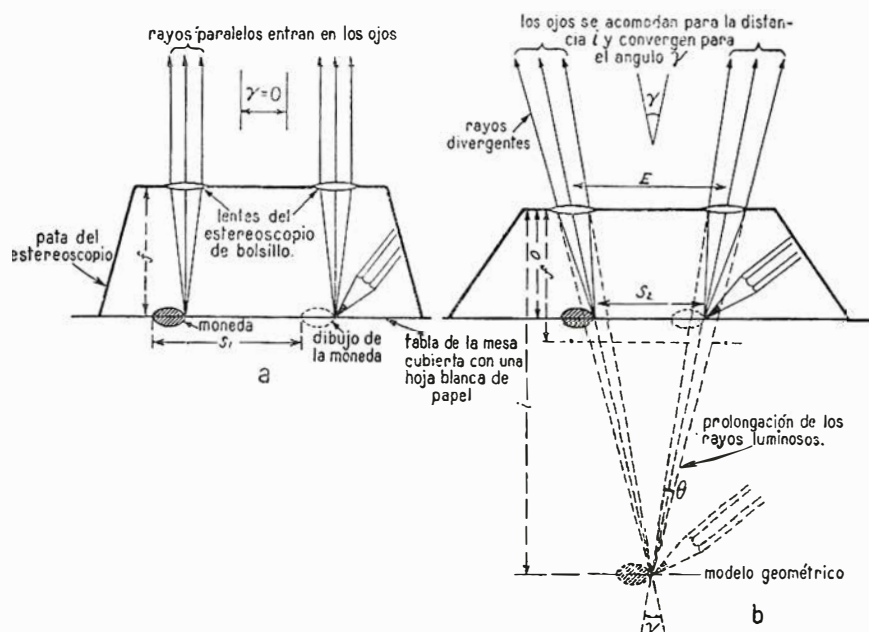


Figura 5.—Experimento adicional con el estereoscopio de bolsillo y la moneda.

1. Ponga las patas del estereoscopio como se muestra en la figura 5.
2. Ponga una moneda debajo del ojo izquierdo y marque su margen izquierdo en el papel bajo el ojo derecho.
3. Mida la distancia entre esta marca y la margen izquierda de la moneda, la cual es S_1 .
4. Ponga las patas en la posición de la figura 5b y marque nuevamente el sitio que corresponde al lado izquierdo de la moneda.
5. Mida nuevamente la distancia entre el margen izquierdo de la moneda y la segunda marca, la cual será llamada S_2 .

Se encontrará ahora que S_1 es más largo que S_2 .

La explicación de esta diferencia no es difícil después de nuestras deducciones previas en relación con la visión normal binocular. Los estereoscopios de bolsillo están contruidos generalmente en una forma tal, que la distancia entre los lentes y la superficie de la mesa

sea aproximadamente igual a la distancia focal del sistema óptico cuando es usado como se indica en la figura 5a. Los rayos divergentes que cada punto material de la moneda (o la punta del lápiz) emite, son transformados por los lentes del estereoscopio en rayos paralelos que entran a nuestros ojos. Estos se acomodarán para el infinito y los ejes de los ojos serán mantenidos paralelos en forma correspondiente a este estado de acomodación según la ecuación 1). La distancia S_1 de un modo general será igual a la base visual E .

En el segundo caso, tanto la moneda como el lápiz están separados de los lentes del estereoscopio por una distancia que es menor que la distancia focal (f) de los lentes. De acuerdo con las bien conocidas leyes de la óptica, entrarán a los ojos rayos divergentes que parecen venir de un punto situado entre el infinito y f (distancia i de la imagen virtual).

Los ojos se acomodarán ahora para esta distancia y los ejes de los ojos convergirán formando el ángulo correspondiente. Como resultado, la distancia S_2 será más corta que S_1 .

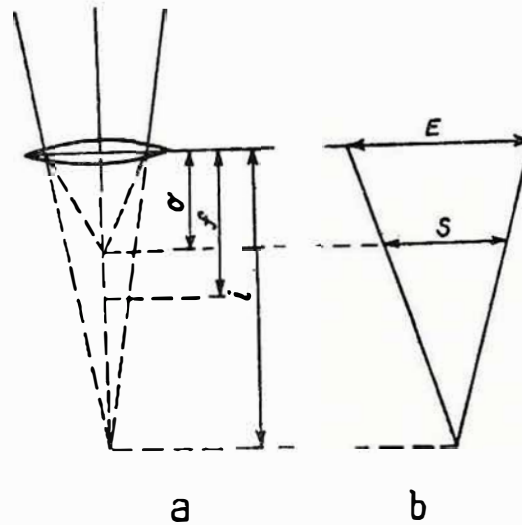


Fig. 6

Esta distancia S de separación puede ser determinada matemáticamente. De acuerdo con la ecuación para lentes delgadas, tenemos (figura 6a):

$$\frac{1}{i} - \frac{1}{o} = \frac{1}{f} \quad \text{de donde} \quad i = \frac{of}{f-o} \quad 2)$$

en la cual i es la distancia de la imagen virtual, o la distancia del objeto, tomadas ambas positivamente si ellas se miden debajo de las lentes del estereoscopio en dirección a la mesa; f (la distancia focal de las lentes) es tomada positiva para las lentes positivas que se usan en los estereoscopios. Los ejes de los ojos se dirigen a un punto a la distancia i , donde se encuentra la imagen virtual de los lentes. Así, de acuerdo con la figura 6b, podemos deducir por similitud de triángulos;

$$\frac{E}{S} = \frac{i-o}{i}$$

o sustituyendo para i el valor obtenido en 2)

$$S = \frac{o}{i} \cdot E \quad 3)$$

Podemos comprobar en una forma práctica con cuánta aproximación la visión binocular sigue la ecuación 3). Con este propósito usamos un estereoscopio de lentes Abrams que permite separar o juntar los lentes. La moneda fue puesta bajo el estereoscopio sobre pequeños tacos de madera de diferentes espesores para cambiar la distancia (o) entre el objeto y los lentes. La separación S fue medida varias veces para la misma distancia (o) del objeto. Estas lecturas se dividieron por la base ocular (E), y los valores de la separación S , expresados de esta manera en porcentajes de la base E , se colocaron en el gráfico de la figura 7 (puntos gruesos).

La línea gruesa y continua representa la ecuación 3) incluyendo las correcciones 1 y 2 que se explican en seguida. Es decir, que la línea indica qué valores de la separación S corresponderían a las distancias i si la relación entre convergencia y acomodación fuera completamente invariable y rígidamente determinada por la ecuación 3). Las mencionadas correcciones aplicadas a la ecuación 3) son las siguientes:

1. Cuando el ángulo de convergencia se agranda, la base visual E debe reducirse. Como los globos de los ojos tienen un diámetro medio de 24 mm., la distancia efectiva entre las pupilas no será la misma para diferentes ángulos, ya que las pupilas rotarán alrededor de estas esferas.

2. Las pupilas están un poco separadas de los lentes del estereoscopio. La distancia entre la imagen virtual y el ojo es ligeramente más grande que i en la figura 6.

Es importante que solamente las partes centrales de las lentes sean usadas, porque mirando por las márgenes de las lentes, los rayos luminosos serán desviados (refractados) como en un prisma. (Para este efecto, vea la figura 10, página 528, estereoscopio de lentes, en la segunda edición del "Manual of Photogrammetry"⁶). Por consiguiente, la separación de las lentes debe ser cambiada de acuerdo con los hechos expuestos bajo los numerales 1 y 2.

⁶ Las leyes que gobiernan la óptica de las lentes nos enseñan que rayos luminosos convergentes que vienen de un punto, situado a una distancia aproximadamente igual a la distancia focal de las lentes, emergen paralelamente (vea la figura 5a). La separación adicional de las fotografías, causada por el efecto de la refracción de las lentes como en un prisma, puede como máximo, corresponder al diámetro de la lente. Este fenómeno contribuye a una separación *adicional* de las copias, si las partes marginales de la lente, muy cerca a la nariz, son usadas. No ocurren desplazamientos por refracción prismática si solamente utilizamos la parte central de las lentes, y el desplazamiento óptico reduce la separación si miramos por las partes marginales de las lentes al extremo derecho e izquierdo del estereoscopio. Las ventajas de una separación adicional por la refracción del prisma, como regla, puede ser obtenida solamente con estereoscopios que tienen lentes ajustables.

La figura 7 muestra que, aunque los datos obtenidos se desvían considerablemente de los valores teóricos, en las observaciones hay una tendencia general para seguir la ecuación 3).

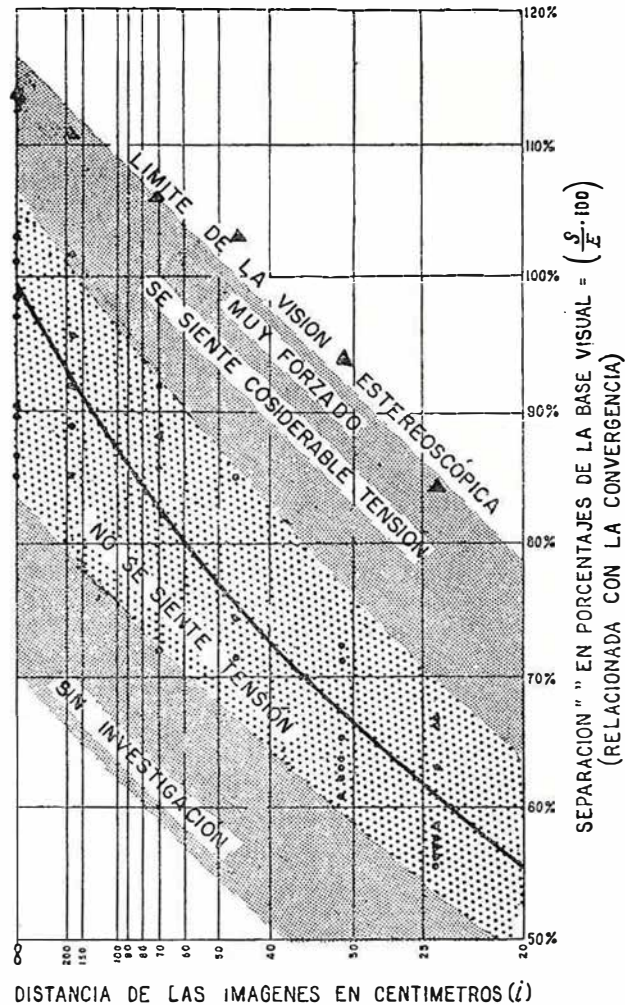


Figura 7.—Gráfico de los resultados de los experimentos adicionales y complementarios con la moneda y el estereoscopio de bolsillo. Muestran que la convergencia y la acomodación están acopladas pero muy flojamente. Ejemplo: cuando los ojos se acomodan para 70 cm. la convergencia, lo mismo que la separación relacionada (S, vea las figuras 5b y 6) puede variar desde 72% a 92% de la base visual sin violentar mucho los ojos. La estereoscopia es perdida si la separación se aumenta hasta el 106% de la base visual. También podríamos leer el gráfico de otra manera: Los ojos pueden variar de acomodación para distancias entre 25 y 60 cm. sin forzar la vista cuando la convergencia se mantiene a 70% de la base visual. En este gráfico el ángulo de convergencia no se puede leer en grados.

La relación entre convergencia (γ) y acomodación, como está expresado por el gráfico de la figura 4, parece existir aun cuando la conexión no es muy rígida.

Este no es un nuevo descubrimiento, ya que varios investigadores han llegado a las mismas conclusiones, aun cuando suponemos que siguen diferentes vías. Estamos de acuerdo con las conclusiones de VON TSCHERMAK-SEYSENEGG (página 174), quien resume el fenómeno en la

siguiente forma: “*para cada estado de convergencia existe cierto campo de posibilidades de acomodación, y para cada estado de acomodación podemos variar el ángulo de convergencia dentro de ciertos límites. La conexión entre los dos fenómenos varía individualmente y cambia con la edad*”.

Experimento complementario.

Completaremos nuestro experimento en la siguiente forma: en vez de usar una moneda bajo un ojo y un lápiz bajo el otro, hagamos dos recortes de un par de fotografías aéreas estereoscópicas. Separemos en lo posible esos fragmentos que deben mostrar los mismos detalles.

Observaremos que podemos separar los recortes de las fotografías mucho más de lo que se pudieron separar la moneda y el lápiz. La imagen estereoscópica que vemos ahora es significativa y la concentración en ella, nos capacita para conseguir una separación considerablemente más grande que la distancia interpupilar. Las máximas separaciones obtenidas en este experimento complementario fueron dibujadas como triángulos en la figura 7; en el gráfico ellos definen la línea “límite de visión estereoscópica”. Notaremos que una separación extrema, aparte de la tensión que sufren los ojos ya no nos permite observar los detalles con claridad. Nos hemos separado mucho de la relación de convergencia (γ) y acomodación expresada por el gráfico 4, y no podemos mantener esta convergencia (más apropiadamente: divergencia; γ tiene aquí un valor negativo) y acomodar apropiadamente al mismo tiempo. Este experimento prueba nuevamente que estos dos fenómenos no son independientes, sino que debe existir cierta asociación entre ellos.

IV—LA CONFUSION QUE CONCIERNE A LA IMAGEN TRANSMITIDA Y EL ESTEREOMODELO CON LA VISION ESTRABICA

Uno de los experimentos de VON FRIJTAG DRABBE consiste en sostener dos fósforos o lápices I y D (ver la figura 8a), digamos a una distancia igual a la del brazo extendido, frente a los ojos, con una separación aproximadamente igual a la base visual. Al fijar la vista en algo bastante retirado, los dos ojos verán cuatro imágenes, numeradas 1-4 en la figura 8a. La imagen número 1 es, de acuerdo con v. F. D., la imagen transmitida del ojo derecho al izquierdo, y la número 4, la imagen transmitida del ojo izquierdo al derecho, mientras las imágenes números 2 y 3 pueden ser fundidas en una imagen que es la imagen estereoscópica.

Imaginémonos ahora algún plano de referencia (Pl. R., una pared, por ejemplo), detrás de los fósforos marcados I (izquierdo) y D (derecho) en la figura 8b, y proyectemos el ojo izquierdo (i) y el derecho (d) sobre el plano de referencia. Id es la proyección del fósforo izquierdo (o lápiz) desde el ojo derecho, Id la proyección del fósforo izquierdo (o lápiz) desde el ojo derecho, Ii la proyección del fósforo izquierdo desde el ojo izquierdo, etc. Vemos en la figura 8b, que todas las cuatro imágenes (Id, Ii, Dd y Di) son “reales” y que nada es “transmitido” de un ojo al otro.

Si ponemos una estereo-cámara en la posición de nuestros ojos, y tomamos fotografías estereoscópicas de los dos fósforos, también tendremos cuatro imágenes de fósforos; dos tomadas en la película con la lente izquierda y dos con la lente derecha.

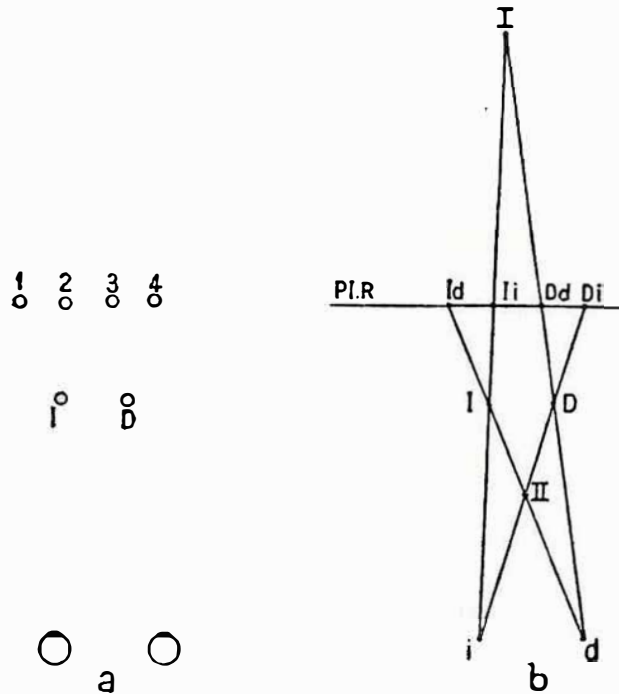


Figura 8.—Análisis del “experimento de los fósforos” de von Frijtag Drabbe.

Las cuatro imágenes Ii, Dd, Id, Di pueden ser fundidas por parejas, como está indicado por las líneas que se intersectan en los números romanos I y II. I representa la fusión normalmente practicada por los foto-intérpretes cuando examinan un estereopar sin instrumento. La fusión II es menos usada por lo general. Podemos suponer que todo intérprete está familiarizado con la imagen estereoscópica convencional que se obtiene por la fusión de Ii-Dd, pero tal vez no es superfluo dar algunas indicaciones de cómo obtener una fusión por intermedio de Id y Di. Proponemos los siguientes pasos:

1. Tome un par de fotografías estereoscópicas, preferiblemente un juego que tenga una clara característica topográfica en común, por ejemplo, un estanque, y ponga esas fotografías en una mesa baja, aproximadamente a 50 cm. de los ojos. Se recomienda cortar aquellas partes de las fotografías que están fuera del recubrimiento del par estereoscópico, porque introducen molestias innecesarias al lector que ejecuta esta fusión por primera vez.

2. Ponga la fotografía que debería ser puesta al lado derecho para la visión normal estereoscópica, al lado izquierdo, de acuerdo con la figura 8b. (Fotografías en posición cruzada).

3. Sostenga un lápiz en la mano derecha más o menos en la mitad de la distancia entre los ojos y la mesa y mire verticalmente en dirección a la mesa.

4. Cierre el ojo izquierdo y mueva la fotografía que está debajo del ojo cerrado en una forma tal que el estanque sea visto bajo la punta del lápiz (en otras palabras: el ojo derecho, la punta del lápiz y el estanque deben estar en una línea recta). Abra el ojo izquierdo y cierre el derecho trasladando después la fotografía que está debajo del ojo derecho hasta que el estanque parezca estar debajo del lápiz (alinee el ojo izquierdo, la punta del lápiz y el estanque).

5. Repita este procedimiento varias veces, manteniendo el lápiz y la cabeza sin moverlos hasta que las fotografías estén propiamente alineadas. (Los puntos centrales de las fotografías deben estar paralelos con la base visual).

6. Abra ahora ambos ojos al mismo tiempo; las dos imágenes del estanque en cada fotografía serán entonces fundidas y si la atención es cambiada de la punta del lápiz a las fotografías se verá entonces un modelo estereoscópico muy claro aproximadamente a la mitad de la distancia de la mesa a los ojos, aparentemente en el sitio donde el lápiz está sostenido. Este parece estar tocando el estereomodelo.

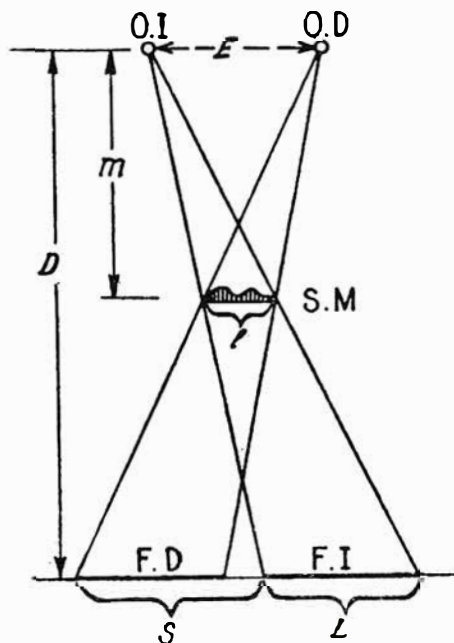
Podemos designar el modelo así obtenido aproximadamente en *II* como "estereomodelo con los ejes de los ojos cruzados" o "estereomodelo con visión estrábica".

De la figura 9, que es una ilustración de visión estereoscópica con los ejes de los ojos cruzados, podemos deducir por triángulos similares que:

$$\frac{E}{S} = \frac{m}{D-m} \quad \text{o} \quad m = \frac{E}{S+E} \cdot D \quad 4)$$

Figura 9.—Diagrama de la visión estereoscópica de un par de fotografías con los ejes de los ojos cruzados. Abreviaturas:

- O.I. y O.D., Ojo izquierdo y derecho.
- F.D. y F.I., Fotografías derecha e izquierda.
- S. M., Estereomodelo.
- 1., Longitud del estereomodelo.
- L., Longitud de la parte correspondiente en la fotografía.
- S., Separación de las fotografías.
- m., Distancia de los ojos al estereomodelo geométrico.
- D., Distancia de los ojos a la mesa.
- E., Base visual o distancia interpupilar.



Esta ecuación 4) puede ser comprobada experimentalmente ya que el estereomodelo está al alcance y puede ser tocado por el lápiz. Si medimos las distancias D , S y m veremos que están de acuerdo con la ecuación 4). Sin embargo, esto no significa que veamos al estereomodelo a la distancia m , como lo supone la tesis de Wheatstone. Principios fisiológicos que serán descritos más adelante, mostrarán que esta tesis no es correcta en este caso y que nosotros no vemos o proyectamos el modelo a m . A primera vista todo esto parecerá más bien confuso ya que aparentemente hay contradicción. Este caso será aclarado en la Sección X.

V — CONSECUENCIAS DE LAS DISPOSICIONES ANATOMICAS DE NUESTROS OJOS Y CEREBRO

EL CRUCE DE LAS FIBRAS NERVIOSAS

Cada retina (figura 10) está dividida por un plano vertical, que pasa por la fovea, en dos mitades: un hemisferio nasal y otro temporal. Las fibras nerviosas que salen de los hemisferios nasales, se cruzan en el quiasma en forma tal que “las impresiones nerviosas” que resultan de aquella parte de la imagen que cae en la mitad nasal del ojo derecho, son conducidas a través del centro primario de visión (cuerpo geniculado izquierdo) hacia la mitad izquierda de nuestro centro de visión (corteza occipital) junto con las impresiones nerviosas de la mitad temporal de la retina del ojo izquierdo. Las impresiones nerviosas del hemisferio nasal del ojo izquierdo y las mismas del hemisferio temporal del ojo derecho son similarmente conducidas a la mitad derecha de la corteza occipital⁷.

Así la fusión estereoscópica de las imágenes de la mitad izquierda del campo de visión, se realiza en la mitad derecha de la corteza y viceversa. La fusión estereoscópica de detalles inmediatamente adelante o atrás del punto de fijación, se efectúa entre las dos mitades de la corteza (el caso de los puntos A y B de la figura 11a, vea más adelante). Esta peculiaridad puede ser responsable de la grande agudeza de la visión estereoscópica cerca al punto de fijación. Parece obvio que, aparte de lo que acabamos de mencionar, esta curiosa estructura anatómica no tiene influencia particular sobre la estereovisión y es claro que no admite la posibilidad de explicar el estereoscopismo con imágenes transmitidas, como lo quisiera VON FRIJTAG DRABBE.

⁷ Algunos autores (Wilbrand, Sanger) han supuesto que el área foveal de la retina tiene una doble representación en la corteza occipital, es decir, que las impresiones de la fovea del ojo derecho deben ser conducidas a ambas mitades del centro cerebral para visión. Sin embargo, ha sido probado (especialmente por von Zsily; vea a von Tchernak - S., p. 179) que éste no es el caso.

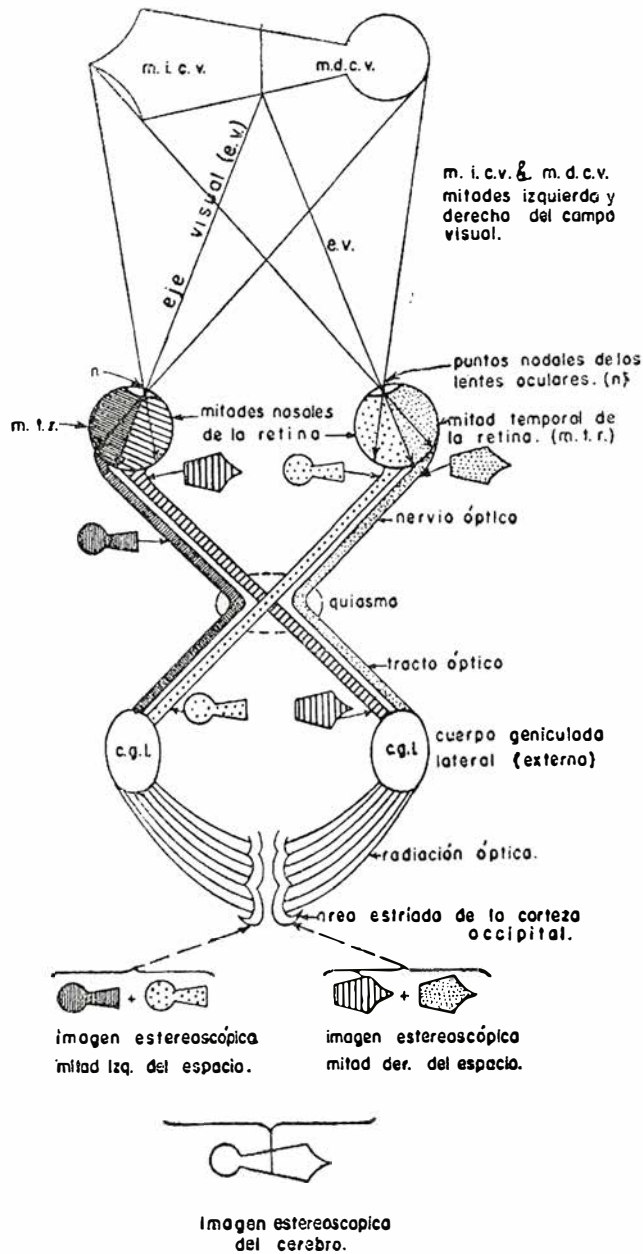


Figura 10.—Diagrama del cruce de los nervios ópticos en el quiasma.

CORRESPONDENCIA Y NO CORRESPONDENCIA DE LOS PUNTOS RETINALES

Y no sólo que se proyectan las mitades correspondientes de las retinas en la misma mitad del centro cerebral para visión, sino que ha sido comprobado que cada área de la retina (conos de la fovea o grupos de conos fuera de la fovea unidos por un nervio común) tiene una conexión definida con cierta parte del cerebro. Hay, por decirlo así, una proyección de punto por punto de las retinas al área estriada de la corteza occipital.

Esos conos de la fóvea o grupos de conos fuera de la fóvea que están conectados (por dos fibras nerviosas de los ojos izquierdo y derecho) con la misma célula en el centro cerebral para la visión, son los puntos retinales correspondientes. Las fracciones de imágenes de cada par correspondiente de estos puntos son conducidas —proyectadas o sobrepuestas— a la misma célula cerebral.

Un objeto que forma imágenes en puntos retinales correspondientes es observado como un objeto simple. Doble vista o diplopia ocurre si las imágenes del objeto son proyectadas en puntos retinales no correspondientes o dispares, porque las impresiones nerviosas resultantes son conducidas a diferentes células del cerebro.

Si dirigimos nuestra atención a un punto P (figura 11a), acomodamos y convergimos correspondientemente de acuerdo con la localización en el espacio de P; una imagen clara de P será entonces formada en la parte central de la fóvea de cada ojo y una síntesis de ambas imágenes, exteriorizada por proyección mental, será identificada por la mente con el punto P. Otros puntos como D, G y F, que están en el llamado horópter (un círculo a través del punto de fijación P y los puntos nodales de los ojos) también son observados como objetos simples. Puntos fuera o dentro del horópter tales como A, B y C, son, sin embargo, vistos como dobles imágenes, al menos mientras nuestra fijación es mantenida en el punto P. Como los centros de las fóveas son puntos correspondientes, el horópter circular indica que todos los puntos retinales correspondientes ocurren a la misma distancia angular de las fóveas (ángulos P'E'D', PE'D, PE''D y P''E''D'' en la figura 11a son iguales). Como consecuencia los puntos correspondientes de la retina coincidirían si las retinas del ojo izquierdo y derecho pudieran ser puestas una sobre la otra con las fóveas casadas⁸.

Las imágenes D', F', G' y D'', F'', G'', corresponderán por pares (figura 11c). Este no será el caso para las imágenes A', B', C' y A'', B'', C'', relacionada con los puntos A, B, C, que no están en el horópter (figura 11e).

Las imágenes que vienen de ambos ojos son relacionadas por la mente, en el mismo instante de la observación, a un sistema egocéntrico del espacio, con el origen de las coordenadas en algún lugar intermedio entre los ojos. A este respecto, ambos ojos trabajan en conjunto como un solo órgano y pueden ser substituídos —para una mejor comprensión— por un *ojo ciclópeo o mental* (Em en la figura 11f) en medio de la frente que representa también el centro del sistema egocéntrico espacial.

Podemos imaginar las retinas de cada ojo transformadas en el ojo mental, después de hacerlas girar la mitad del ángulo de convergencia γ en forma tal que los puntos retinales correspondientes coincidan. De esta

⁸ La situación en realidad es más complicada. El horópter circular es una aproximación y por consiguiente puede ser llamada *horópter teórico*. Los sitios donde los objetos no se ven dobles —para cierto punto de fijeza— se pueden también determinar experimentalmente. Constituyen entonces el *horópter empírico*; es una línea de menor curvatura que un círculo. El horópter, sin embargo, se extiende, además, en la dirección vertical hacia arriba y hacia abajo, así que podemos comparar el *horópter espacial* con la superficie de un cilindro.

manera van a coincidir también ambos ejes visuales ⁹ formando una sola dirección hacia el punto P que estamos fijando con los ojos. Como las imágenes de las retinas están relacionadas por la mente con objetos del mundo exterior, proyectamos también las imágenes del ojo mental hacia el exterior (figura 11f).

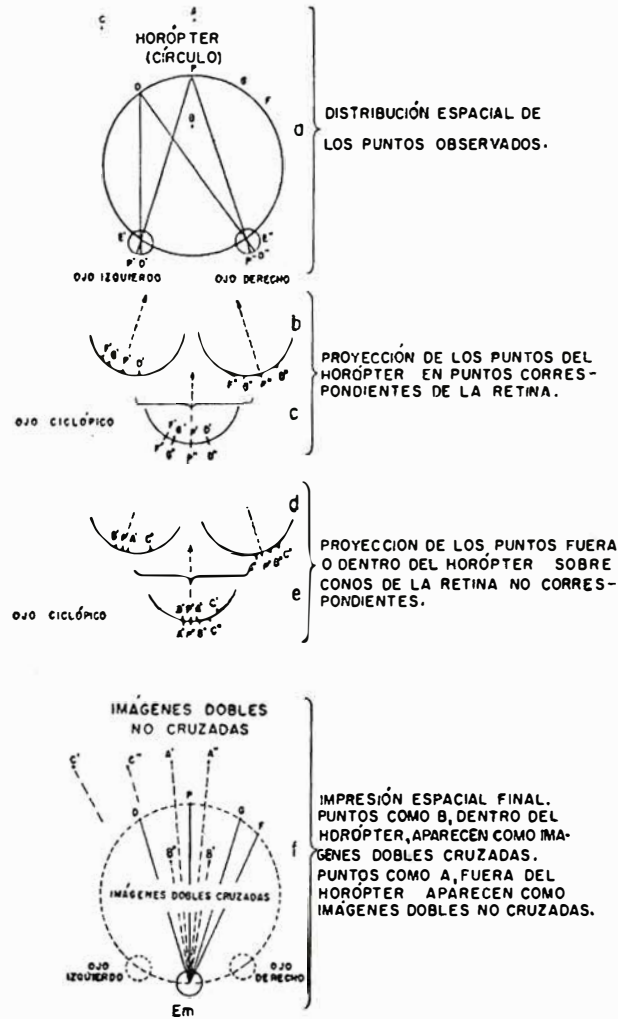


Figura 11.—Explicación de las imágenes dobles mediante el concepto de los puntos retinales correspondientes.

Para los puntos P, D, F y G, del horópter de la figura 11a, los cuales forman imágenes en los conos correspondientes de la retina, encontramos direcciones comunes Em-D, Em-F, etc., en el espacio mental.

Tienen diferentes direcciones desde el ojo ciclópeo los puntos afuera o dentro del horópter, que forman imágenes en conos dispares de la retina. (Direcciones Em-A', Em-A'', etc., en la figura 11f).

⁹ El eje visual es la línea que une el punto nodal de la lente ocular con el centro de la fovea. Forma un ángulo de 3° a 7° con el eje óptico. Vea la figura 1, página 639, número 4, volumen XV, de "Photogrammetric Engineering".

El punto B dentro del horóptero es en esta forma experimentado como una imagen doble: B", visto frente al ojo izquierdo, es la imagen proyectada desde el ojo derecho hacia afuera, y B', percibido frente al ojo derecho, es la imagen proyectada del ojo izquierdo hacia afuera. Así, B", que corresponde a una imagen del ojo derecho desaparece cuando cerramos este ojo, de igual manera que B' se desvanece si cerramos el ojo izquierdo. Tenemos así una explicación para el experimento número 3 de VON FRIJTAG DRABBE, y podemos comprender que la imagen de un ojo no es "transmitida a" ni "observada por" el otro ojo.

El fenómeno de las imágenes dobles no tiene nada que ver, como podemos observarlo ahora, con el experimento número 4 (estereoscopio y moneda). En este experimento, un detalle atentamente observado de la moneda proyectará su imagen en la parte central de la fóvea del ojo izquierdo y la imagen estimulará partes completamente definidas del centro cerebral para la visión. La punta del lápiz tiene que estar puesta en un sitio tal que forme una imagen en la parte correspondiente de la fóvea del ojo derecho, así que semejantes secciones cerebrales del centro de la vista pueden ser estimuladas.

Hay, sin embargo, muchas soluciones para lograr esto, de acuerdo con la localización del punto P en que hayamos fijado la mirada. Cuando la moneda y el lápiz están en el plano focal de los lentes del estereoscopio, los ojos se acomodarán para una distancia infinita y los ejes de los ojos se mantendrán paralelos, de acuerdo con este estado de acomodación. El lápiz y la moneda estarán entonces separados por una distancia E, igual a la base visual, por lo menos si continuamos mirando por la parte central de las lentes del estereoscopio.

Los experimentos en la Sección III, resumidos en la figura 7, prueban, sin embargo, que el acoplamiento de acomodación y convergencia no es muy rígido. Los ejes de los ojos pueden oscilar durante el proceso de dibujo desde una posición paralela hasta una pequeña convergencia o divergencia. Para mantener las imágenes de la punta del lápiz y los detalles de la moneda en puntos correspondientes de la retina, aumentaremos o disminuirémos, según corresponda, la separación entre el lápiz y la moneda. La consecuencia es que dibujaremos la circunferencia de la moneda como un óvalo o que no volveremos al mismo lugar donde comenzamos cuando se ha seguido toda la periferia con el lápiz. Por estas razones, la reproducción exacta de la moneda no será tan fácil como parece a primera vista.

De la figura 11 podemos aprender, además, que los puntos materiales dentro del horóptero se ven como imágenes dobles cruzadas, mientras que los puntos fuera del horóptero aparecen dobles pero no cruzados como fue notado también por VON FRIJTAG DRABBE. La separación de las imágenes dobles es proporcional a la distancia de los puntos materiales desde el horóptero, esto es, las imágenes dobles B' y B" pueden ser unidas cuando el punto P en donde fijamos la mirada es desplazado a B.

La ley de los puntos retinales correspondientes, no es, sin embargo, muy estricta. La mente puede, según parece, no sólo fundir fracciones de las imágenes que están superpuestas en las mismas células cerebrales sino que también es capaz de combinar fracciones de imágenes en las cercanías de ellas. O refiriéndonos a las imágenes retinales, también podemos decir: una imagen proyectada en un cono D' del ojo izquierdo no sólo puede hacerse fundir con el cono correspondiente D" del ojo derecho, sino también con otros conos individuales en la inmediata vecindad de D", es decir, con los que ocupan una pequeña área alrededor de D" (la llamada *área de Panum*). Esta área tiene un diámetro aproximado de 7 minutos de

arco¹⁰, que corresponde a 7 conos, más o menos, en el área de la fóvea.

El fenómeno de Panum es aparentemente de fundamental importancia para la estereovisión, aun cuando el autor no ha encontrado esta conexión mencionada explícitamente en la literatura. El fenómeno prueba que ciertas relaciones pueden existir entre una cantidad limitada de conos *individuales no correspondientes*, aun cuando en un sentido restringido. Una instantánea impresión tridimensional es posible solamente si se logra la fusión de imágenes retinales entre ciertos límites de disparidad y cuando se puede interpretar mentalmente esta disparidad en su propia significación, que es: trimensionalidad. Podemos dar la siguiente interpretación a las *áreas de Panum*: el punto A en la figura 11a será visto en una unidad tridimensional con los puntos D, P, G y F sobre el horópter si las disparidades de las imágenes de A sobre la retina (para este punto P de fijación de la mirada) están dentro de los límites de los círculos de Panum. La limitada disparidad dentro del área de Panum es interpretada por la mente como dimensionalidad, plasticidad o tercera dimensión. Llamaremos a esta actividad de la mente "*actividad de Panum*".

Así, en realidad, debemos añadir en cada lado del horópter una zona de cierta profundidad, definida por los círculos de Panum, en la cual se hace posible la estereovisión por la actividad de Panum sin cambiar el punto de fijación de nuestra mirada.

Resumimos entonces: para los objetos cerca del horópter, pero dentro de la zona mencionada, la magnitud de disparidad o no correspondencia es relativamente pequeña e interpretada como profundidad estereoscópica. Objetos, o partes de ellos, algo menos cercanos al horópter pueden ser observados estereoscópicamente sólo cuando cambiamos el punto de fijación de la mirada que los traerá dentro o muy cerca, del nuevo horópter.

Que el concepto de los puntos retinales correspondientes no es solamente una interpretación teórica sino que tiene un fundamento fisiológico real se comprueba, por ejemplo, en aquellos casos en que los músculos de un ojo son total o parcialmente paralizados o que por alguna circunstancia no funcionan correctamente. Doble vista o diplopía resulta cuando la imagen no se puede hacer caer en puntos correspondientes. Después de algún tiempo la imagen doble es cancelada, ya sea por un ignorar psíquico (supresión) de las impresiones del ojo defectuoso o por la reevaluación de los puntos retinales, formación de una nueva, pseudo fóvea o falsa mácula, es decir: la creación de una nueva correspondencia. En el primer caso, la vista estereoscópica queda perdida, pero en el segundo caso puede restaurarse nuevamente. En las personas nacidas con estrabismo, la reacción para eliminar doble vista ya tuvo lugar muy temprano en la vida. Pero, sin embargo, si una intervención quirúrgica se lleva a cabo para colocar el ojo defectuoso en su posición correcta, ocurrirá el fenómeno de diplopía, pero éste es generalmente temporal.

El efecto de diplopía puede ser experimentado moviendo el globo del ojo ligeramente fuera de la posición normal. Esto se puede conseguir presionando muy ligeramente con un dedo el párpado en su esquina exterior (temporal).

¹⁰ Landois - Rosemann. La cifra de von Tschermak - Seysenegg de 7 grados de arco mencionada en la página 105, segunda edición, debe ser un error de imprenta.

AGUDEZA ESTEREOSCOPICA Y EL INFINITO FISIOLÓGICO

La estructura granular de nuestras retinas pone cierto límite a nuestra capacidad de percepción, de lo cual podemos darnos cuenta cuando trabajamos con el estereómetro o cuando miramos objetos muy alejados.

Para apreciar claramente la profundidad estereoscópica entre 2 puntos, por ejemplo: B y P en la figura 11a, se supone generalmente que sus imágenes deben caer en 2 conos separados, no conectados por un nervio común. Esto significa en nuestro ejemplo que las distancias B' - P' y B'' - P'' en la figura 11d, deben, como un mínimo, ser iguales a la separación interconal en el área de la fóvea. Si éste es el caso, el punto B debe ser visto estereoscópicamente en frente de P, pero de cualquier punto Q entre B y P no podemos determinar con certeza si cae tan lejos como B o como P, o si está entre B y P.

Si suponemos que los ejes visuales de la figura 11a se giran hasta quedar paralelos, el punto P estará infinitamente alejado. La distancia del punto B, que forma un triángulo isósceles con los puntos nodales de los ojos, representará el infinito fisiológico para la visión estereoscópica, porque cualquier punto ligeramente más alejado parecerá tan lejano como el punto infinito P.

La distancia entre dos conos en la parte central de la fóvea, es aproximadamente 4 micrones, la cual corresponde, más o menos, a un ángulo de un minuto. El infinito fisiológico basado en este ángulo puede ser determinado como 110 m.¹¹

Esto concierne solamente a la estereovisión primaria; otras características secundarias tales como la obstrucción del fondo por objetos más cercanos, propiedades de la perspectiva, etc., que sirven como medios adicionales para determinar las distancias relativas entre los objetos, es claro que son aún válidas para largas distancias.

Con relación a la acomodación del ojo, el infinito fisiológico es aún más cercano. Como la capa fotosensitiva de la fóvea tiene un espesor de 0.06 mm. solamente¹², podemos determinar con la ecuación de los lentes, aplicada ya en la Sección III, que un objeto a una distancia de 6.7 m. del ojo formará una imagen a 20.06 mm. del punto nodal del ojo reducido (teórico, medio o común) si los rayos del infinito forman una imagen a 20 mm. Podemos deducir, por consiguiente, que esos objetos que están desde 7 m. aproximadamente hasta el infinito se proyectarán claramente en la retina y que ninguna acomodación apreciable tendrá lugar para objetos que están más lejos de 7 m.

¹¹ Un efecto estereoscópico aceptable se obtendrá tal vez cuando miramos a los puntos en una forma imperceptiblemente asimétrica, p. e., en forma tal que P y B estén en los ejes visuales del ojo derecho. Las imágenes P'' y B'' estimulan entonces el mismo cono, mientras B' y P' están separados por una distancia interconal. La zona de visión estereoscópica en este caso será extendida a 220 metros. Las personas con vista extremadamente buena (conos densamente distribuidos), pueden ver estereoscópicamente hasta 1.300 m. en óptimas condiciones. (Von Tschermak - Seysenegg, p. 124).

¹² Landois - Rosemann. Las células de los conos varían entre 28 a 85 micras en longitud, de acuerdo con Best y Taylor.

Concluyendo, podemos decir que no existe un infinito geométrico (en el sentido Euclidiano) para el ojo humano, y que el infinito fisiológico se encuentra a una distancia relativamente corta.

VI—LA CORRELACION DE LAS IMPRESIONES VISUALES MENTALMENTE PROYECTADAS CON EL ESPACIO FISICO

Una clara distinción debe ser hecha entre el carácter tridimensional o “plástico” de una impresión visual y su localización en el espacio. El primer aspecto mencionado fue explicado por cierta magnitud de disparidad en las imágenes de la retina en combinación con la “actividad de Panum” de la mente. Necesitamos aún encontrar la razón por la cual esta impresión visual le confiere a un objeto su propio lugar en el espacio. En otras palabras: necesitamos saber en dónde parece estar localizado el modelo estereoscópico, mentalmente proyectado hacia afuera.

Los objetos en los cuales nosotros fijamos nuestra atención siempre son proyectados en el mismo lugar de la retina, es decir, en la depresión foveal de la mácula y las estimulaciones producidas por las imágenes en las fibras nerviosas son siempre conducidas a las mismas células del centro cerebral para la visión, sea que estos objetos se encuentren muy cerca o muy alejados. En consecuencia, no podemos atribuir un sentido telemétrico a las celdas individuales del cerebro. La reconstrucción de la percepción egocéntrica del espacio por medio del ojo ciclópeo en la figura 11f solamente explica en cuál dirección son percibidos los objetos, pero no nos da ninguna clave para encontrar la *distancia*. No es de extrañar que se haya conectado la sensación óptica para la distancia con la convergencia de los ejes oculares. Generalmente se supone que esta sensación es obtenida por una cierta tensión en los músculos¹³ que hacen girar los ojos hacia el punto de fijación (“recti interni”) y ésta parece ser una base fisiológica para la visión estereoscópica. Esta sensación para la distancia tiene que depender probablemente de la sensación tensional de los músculos en el estado de contracción y no en el estado de relajación como también lo cree VON TSCHERMAK-SEYSENEGG (op. cit. págs. 144-145). Conscientemente no percibimos la sensación muscular en sí misma, pero ella está subconsciente y directamente conectada con la localización en el espacio del objeto fijado.

Con relación a esta sensación, podemos tener principalmente dos opiniones. De acuerdo con la primera no habrá tensión muscular si suponemos que los músculos oculares (recti interni) están en *estado de completo*

¹³ Alguna comparación puede ser hecha con observaciones estereo-palpables, es decir, el reconocimiento tridimensional de la *forma* de los objetos por el *tacto*, por ejemplo, con los dedos de la mano entera cuando los ojos están cerrados. Adicionalmente, las sensaciones musculares en los dedos, manos o brazos, son aquí de gran importancia. Podemos comprender después de un momento de reflexión que la interpretación de la forma de los objetos no puede depender solamente de la estimulación de los receptores cutáneos, sino también de la posición, distancia relativa, etc., de los dedos, es decir, que las sensaciones musculares son factores complementarios decisivos. M. Sahli, página 189.

descanso teniendo paralelos los ejes visuales (figura 14, curva 1a). Y según la otra opinión podemos suponer que en este caso están en equilibrio, es decir, que la tensión de los músculos que hacen divergir los ojos “recti externi”) es igual a la tensión de los músculos que hacen converger los ojos (“recti interni”). La posible consecuencia de la segunda opinión sería entonces que la sensación muscular telemétrica pudiera extenderse a la visión divergente (figura 14, curva principal 1).

La tensión muscular es mayor para los puntos de fijación cercanos de acuerdo con el gran ángulo con que los ojos deben girarse fuera de su posición de descanso (o de equilibrio), y disminuye muy rápidamente cuando el punto de fijación se aleja: a 26 m. tendrá 1/100 del valor que tiene para la distancia normal de lectura (25 centímetros), si suponemos que la tensión muscular es proporcional al ángulo sobre el cual el ojo se ha girado.

Sin embargo, es claro que nuestra sensación de lejanía y cercanía no depende sólo de este principio, sino que es el resultado de varios factores determinantes.

A este respecto podemos presentar los siguientes principios:

PRINCIPIO 1.—*La sensación muscular que pertenece a la convergencia cuando se fija un objeto.* Esta sensación tiene una máxima intensidad a la distancia mínima de visión clara, pero se vuelve muy leve a una distancia relativamente corta. (¿30 a 100 m? Vea la figura 13).

Factores monoculares. Alguna estimación de la distancia puede ser obtenida en la visión monocular. Podemos distinguir dos principios diferentes:

PRINCIPIO 2a.—*La sensación muscular causada por la acomodación.* Para ver nítidamente objetos colocados a diferentes distancias de los ojos se requiere una reacción apropiada de los músculos de acomodación, y la sensación del esfuerzo correspondiente puede ser directamente relacionada con la distancia. La apreciación que se obtiene de este modo no es muy exacta y solamente es aplicable para objetos cercanos, como se infiere de los detalles explicados en el capítulo anterior (es decir, no existe una acomodación perceptible para objetos a más de 7 m. de distancia). Ver figuras 12 y 13.

El principio 2a implica la posibilidad de que tengamos un sentir de la acomodación, comparable, en su valor telemétrico, al de la convergencia.

PRINCIPIO 2b.—*La experiencia con lupas.* La sensación de acomodación no puede ser el único medio monocular para la estimación de la distancia en el ojo humano. Esto puede ser fácilmente probado si observamos un objeto, por ejemplo, nuestro dedo, a través de una lente de aumento. Es claro que el dedo aparecerá más grande, pero aparte de eso tendremos una impresión definida de su localización en el espacio. El hecho interesante es, que cuando estimamos la distancia del dedo a nuestro ojo como aparece bajo la lente de aumento, la distancia estimada resulta aproximadamente igual a la distancia real entre el dedo y el ojo. La manera adecuada de usar la lente de aumento es colocar el objeto en su plano focal, así que estén paralelos los rayos que salen de la lente y

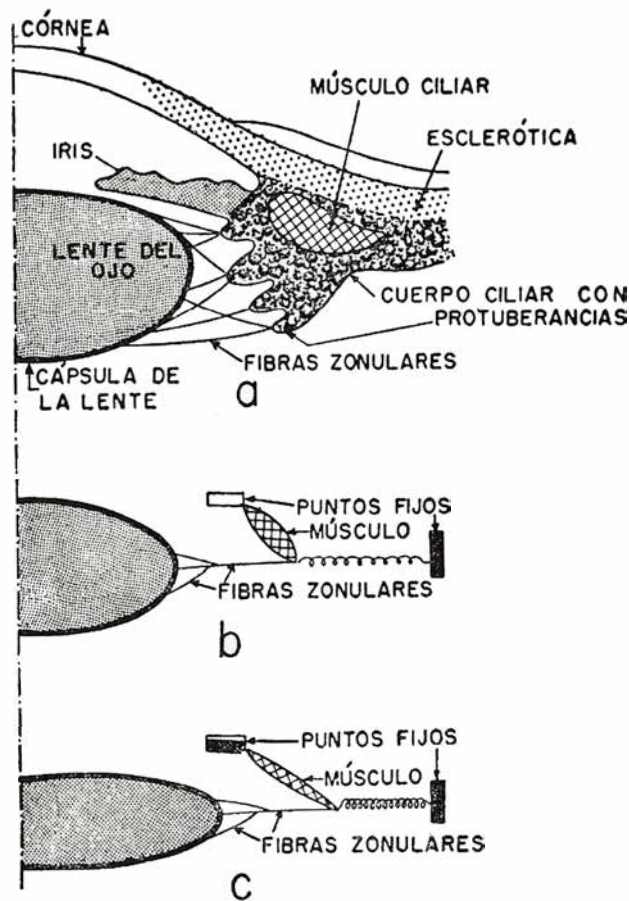


Figura 12.— El mecanismo de acomodación. Una mitad de la sección a través del lente del ojo y de las regiones adyacentes. Para obtener una fotografía clara de un objetivo cercano, la cámara tiene que ser enfocada, es decir, el lente tiene que ser alejado de la película fotosensitiva. El ojo humano obtiene el mismo efecto por medios completamente diferentes: *cambios en la forma del lente por la acomodación*. El lente ocular está suspendido todo alrededor mediante fibras delgadas (fibras zonulares) adheridas a protuberancias del cuerpo ciliar.

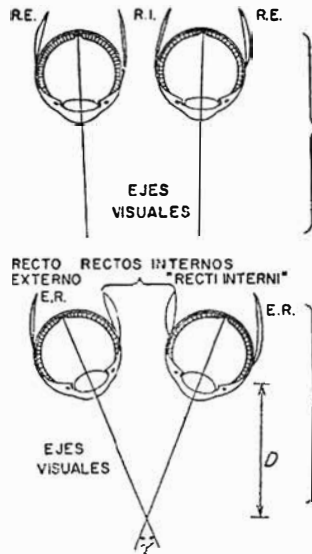
Para la visión cercana, el músculo ciliar, en forma de anillo, se contrae reduciendo el diámetro del anillo. El tejido elástico del cuerpo ciliar, representado por un resorte en b cede; las fibras zonulares son relajadas y el lente toma una forma más esférica por la elasticidad de la cápsula del lente. El poder refractivo del lente, entonces se ha incrementado. En la visión alejada, figura c) sucede lo contrario. La sensación muscular es entonces más fuerte para la visión de cerca, por la fuerte contracción del músculo ciliar.

Diagramas b) y c) de acuerdo con Best y Taylor.

entran en el ojo. Este último se acomodará para el infinito de acuerdo con los rayos paralelos que recibe y los músculos de acomodación permanecerán en estado de reposo. En vez de ver el dedo a gran distancia como debiéramos esperar, según el Principio 2a, lo vemos colocado en el plano focal de la lente de aumento. Esto prueba que debe existir un medio monocular de estimación de distancias que es independiente del músculo de acomodación. El fenómeno es muy claro en sí mismo, pero el autor no ha encontrado ninguna referencia en la literatura¹⁴. (Vea la figura 13).

¹⁴ No tengo facilidades de consultar las obras apropiadas. Los lectores que estén en condiciones más favorables son invitados para aclarar este punto.

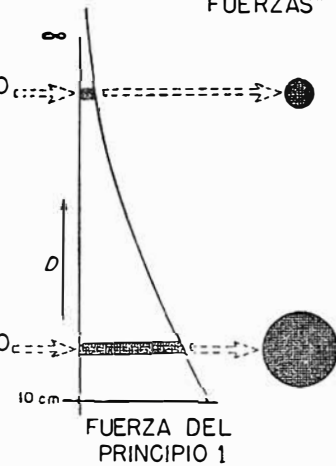
**PRINCIPIO BINOCULAR 1
(CONVERGENCIA)**



FIJANDO UN OBJETO MUY CERCANO

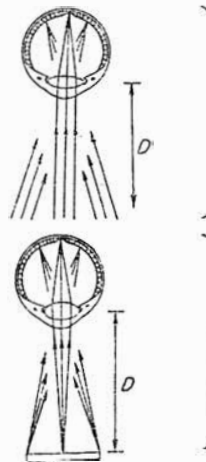
FIJANDO UN OBJETO MUY CERCANO

FUERZA DE LOS PRINCIPIOS EN EL "DIAGRAMA DE FUERZAS"



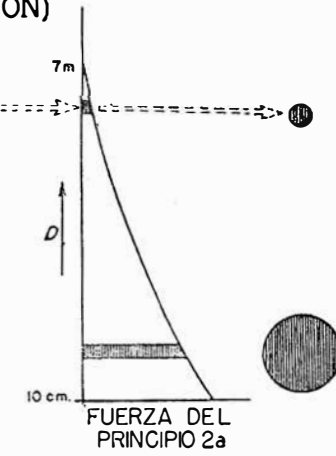
FUERZA DEL PRINCIPIO 1

**PRINCIPIO MONOCULAR 2a
(ACOMODACION)**



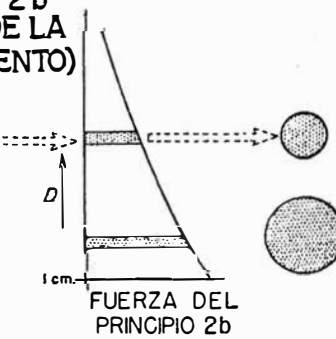
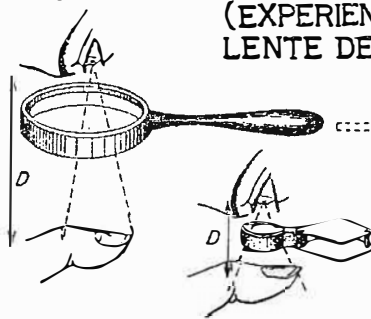
ACOMODACION PARA UN OBJETO MUY DISTANTE

ACOMODACION PARA UN OBJETO MUY CERCANO



FUERZA DEL PRINCIPIO 2a

**PRINCIPIO MONOCULAR 2b
(EXPERIENCIA DE LA LENTE DE AUMENTO)**



FUERZA DEL PRINCIPIO 2b

Figura 13.—Diagrama para ilustrar las intensidades relativas de los principios 1, 2a y 2b para diferentes distancias. Su representación en los diagramas de fuerza, que se encuentran en las figuras 19 y 20.

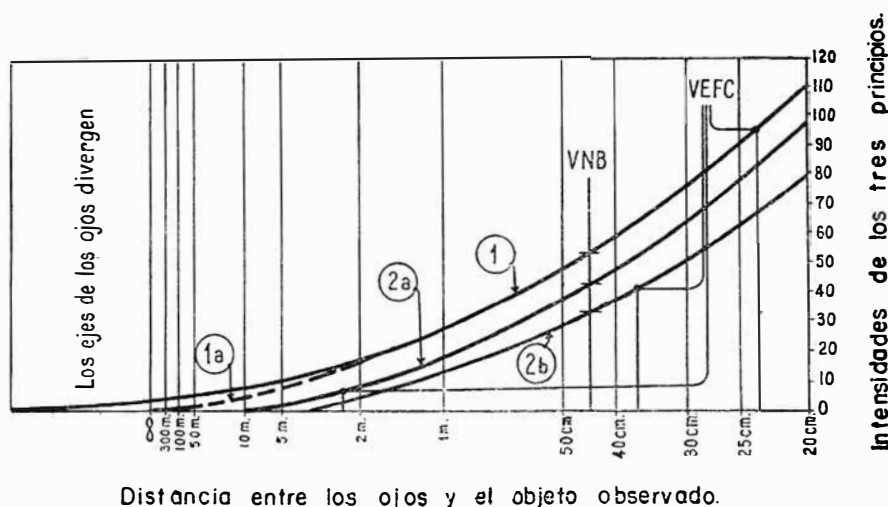


Figura 14.—Probable variación con la distancia de los principios 1, 2a y 2b que localizan la imagen, mentalmente proyectada hacia afuera. Esta figura indica esquemáticamente cómo el autor piensa que estos principios funcionan.

VNB representa la situación de la visión natural binocular en un punto a 44 cm. de distancia. Los tres principios que determinan el lugar de la impresión visual, están todos en completa armonía y cada principio, por sí mismo, colocaría la imagen a 44 cm.

VEFC ilustra el caso 1 de la figura 20, visión estereoscópica fuertemente convergente con un estereoscopio de espejos. Los tres principios tienen ahora tendencias conflictivas: el principio 1 colocaría la imagen a 24 cm., los principios 2a y 2b a 3 m. y 38 cm., respectivamente. Las intensidades son, sin embargo, en el mismo orden; 95, 7 y 40 unidades y las influencias de estos principios sobre el sitio de impresión visual es proporcional a estos valores. La estereo-imagen será así localizada a 28 cm. a causa de la relativa fuerza del principio 1.

PRINCIPIO 3.—*Las imágenes dobles* y la separación entre ellas influyen también en la estimación de la distancia del objeto fijado por nuestra mirada. La configuración de las imágenes dobles es completamente diferente si fijamos objetos lejanos o cercanos (vea figura 15). La separación de las imágenes dobles tiene una relación definitiva con la distancia entre los objetos y el punto de fijación. Aun cuando no nos demos cuenta de esas imágenes dobles en la vida diaria (a causa de la supresión psicológica) ellas permanecen presentes subconscientemente y contribuyen a nuestra estimación del espacio.

PRINCIPIO 4.—*Factores secundarios no estereoscópicos* como perspectiva, tamaño relativo, obstrucción del fondo (objetos cercanos que cubren partes de objetos más alejados), incremento de la bruma con la distancia, relación entre los objetos y sus sombras, etc. Estas características secundarias o empíricas están mencionadas en muchos libros, así que esta breve enumeración sea suficiente.

Los tres factores mencionados primero (1, 2a y 2b), son los principios fisiológicos reales de la estereoscopia; los otros (3 y 4), son pseudo estereoscópicos, es decir, en realidad ellos son *deducciones* de la mente.

Estas deducciones, o conclusiones, en general, son formadas subconscientemente y en el mismo instante, basadas en experiencias previas o posiblemente en la intuición.

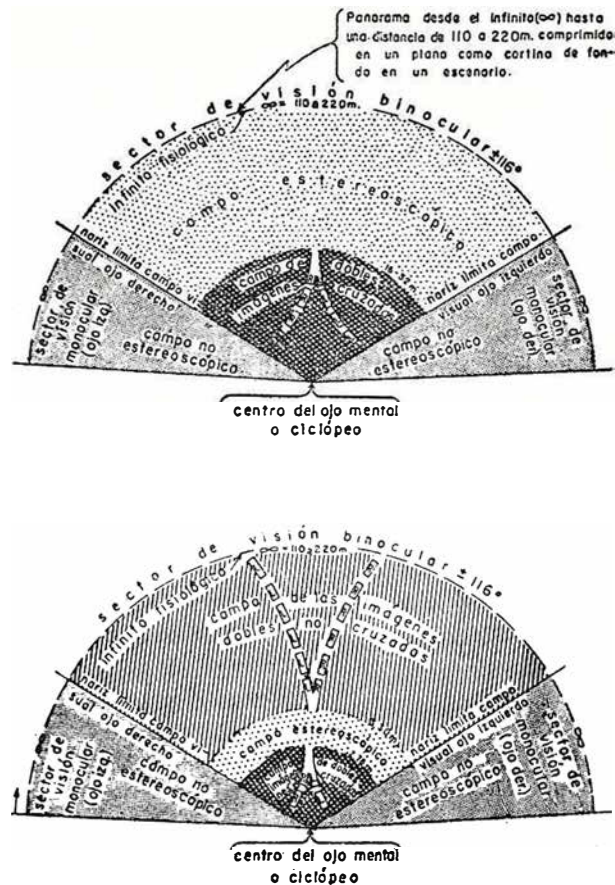


Figura 15a.—Diagrama de la impresión del espacio cuando se fijan objetos infinitamente alejados.

Figura 15b.— Diagrama de impresión del espacio cuando se fija un objeto a tres metros de distancia. L y R: representación esquemática de imágenes dobles que pertenecen al ojo izquierdo y derecho respectivamente.

VII— LOCALIZACION ESPACIAL BAJO CONDICIONES NO NATURALES DE ESTEREOVISION SIN LENTES

Retornemos al examen estereoscópico de un par de fotografías sin usar lentes. Podemos descartar, por razones obvias, los Principios 3 y 4 del capítulo previo ya que son de muy pequeña o ninguna influencia, así que necesitamos considerar solamente el 1 y el 2. Ya sea que miremos con los ejes visuales cruzados o en la forma convencional, los ojos siempre tienen que acomodarse para la distancia entre los ojos y las fotografías (digamos 50 cm.). Los Principios 2a y 2b en este caso se apoyarán mutuamente. La convergencia, sin embargo, no estará de acuerdo con este estado de acomodación, porque tendremos que separar las fotografías por cierta distancia (S). Así los Principios 1 y 2 no estarán en perfecta armonía el uno con el otro.

Si damos a las fotografías una separación igual a la base visual y si las miramos en la forma convencional con los ejes visuales paralelos,

entonces los músculos de convergencia ("recti interni") tratarán de convencernos que el estereomodelo está infinitamente alejado. Los músculos de acomodación, de acuerdo con el Principio 2b, sin embargo, nos sugerirán, que el modelo está a 50 cm. de distancia y como resultado veremos el modelo entre el infinito y 50 cm. pero más cerca de los 50 cm. (digamos 3 metros) que del infinito, porque la influencia de los músculos de convergencia será más bien pequeña (vea la figura 13 en combinación con el texto en la sección anterior) y los otros principios (2a y 2b) dominarán por la proximidad de las figuras.

Algo similar sucederá si alejamos las fotografías un poco más y las examinamos con los ejes visuales divergentes. Como antes, tenemos que girar los ojos hasta una posición tal que las imágenes de las impresiones caigan en puntos retinales correspondientes¹⁵. Siempre tenemos que actuar de esta manera, ya sea que los ejes visuales estén cruzados, paralelos o divergentes, porque ésta es una condición básica para el estereoscopismo, es decir, para la visión "plástica".

El modelo plástico observado aparecerá algo más lejos (digamos 3.5 m.) bajo el examen divergente, pero para comprender el porqué tenemos que recordar que convergencia y acomodación están acopladas, aun cuando en forma suelta (ver el experimento del estereoscopio y la moneda). Esto significa que la acomodación para la distancia de las fotografías (50 cm.) no puede ser mantenida para una convergencia que corresponda a objetos en el infinito, y así, quiéranlo o no, los ojos se acomodarán para una distancia digamos de 60 cm. Tanto más se alejará la acomodación de la distancia de las fotografías (50 cm.) cuanto más divergentes sean los ejes visuales: por la acopladura de los fenómenos los ojos estarán forzados a acomodarse, digamos, para 70 cm. En vez de ver ahora el estereomodelo a tres metros tendremos la impresión de que está, por ejemplo, a tres y medio metros.

Este vínculo entre acomodación y convergencia puede ser responsable del hecho de que la última todavía tenga una fuerte influencia en la localización espacial de impresiones visuales aun cuando la sensación muscular para la fijación de objetos lejanos sea muy pequeña.

También podemos comprender que con el incremento del ángulo de divergencia, la acomodación es arrastrada tan lejos de su valor original (50 cm.), que las fotografías y por consecuencia el modelo estereoscópico ya no pueden verse con nitidez.

Las relaciones entre acomodación y convergencia son, sin embargo, mutuas. La voluntad de ver el modelo con nitidez, es decir, con acomodación apropiada, por otra parte, pondrá un límite a la magnitud posible de divergencia. Cuando tratamos de traspasar este límite, separando aún más las fotografías, las imágenes de las fotos en ambos ojos ya no pueden caer en puntos retinales correspondientes. Así el estereoscopismo se pierde si separamos demasiado las copias.

Sin embargo, un mayor grado de divergencia puede ser alcanzado si reducimos la desarmonía entre convergencia y acomodación, esto es, si alejamos más las fotografías de los ojos.

¹⁵ Al menos para cierto número de puntos que pertenecen al plano de referencia. Otros puntos delante o detrás del plano de referencia serán evaluados respecto a su profundidad estereoscópica por la actividad mental de Panum.

VIII — LOCALIZACION ESPACIAL POR VISION NO NATURAL CON LENTES

Cuando examinamos fotografías estereoscópicas con un estereoscopio, ellas estarán más o menos en el plano focal de las lentes. Rayos paralelos entrarán entonces en nuestros ojos y los músculos de acomodación permanecerán en estado de descanso, es decir, acomodados para el infinito. De esta manera, el Principio 2a intenta hacernos creer que el estereomodelo está infinitamente alejado. Sin embargo, esta influencia es muy pequeña como podemos comprenderlo por lo que fue dicho previamente acerca de la acomodación.

A causa de las relaciones entre acomodación y convergencia (Sección III), es altamente conveniente mantener los ejes de los ojos paralelos, esto es, mantener la armonía entre los principios 1 y 2a. Por consiguiente, preferimos dar a las fotografías una separación igual a la base visual¹⁶.

El principio 2b, sin embargo, localizará, por sí solo, el estereomodelo en el plano focal de las lentes. Tendremos entonces una competencia entre 2b por un lado y 1 y 2a por el otro. El Principio 2b, sin embargo, reacciona muy fuertemente, porque las copias están muy cerca, pero 1 y 2a reaccionan más bien débilmente. El resultado es que vemos el modelo entre el infinito y el plano focal de las lentes del estereoscopio, pero muy cerca a este plano.

Aquí tenemos la explicación de la visión estereoscópica con los ejes de los ojos paralelos para el caso de que las lentes sean usadas, mientras que la situación similar sin lentes fue ya explicada en la sección previa. Hasta ahora fue incomprendible cómo tal visión estereoscópica pudo tener lugar. El famoso postulado de Euclides sobre líneas paralelas que por otra parte ya ha causado tantas noches de desvelo a muchos científicos (¡Historia de la geometría no euclidiana!), fue, también, aquí la piedra de tropiezo. La salida de este problema no está, como lo hemos visto, en el campo de la geometría, ni tampoco en el de la óptica geométrica, sino en el reino de la fisiología y la psicología.

Sin embargo, no es indispensable mantener los ejes de los ojos paralelos. Si acercamos las fotografías un poco más, la armonía entre el principio 1 y 2b será alterada y el conflicto de las tendencias 1 y 2b disminuirá. Así queda menos resistencia contra 2b y como consecuencia el modelo se aproximará al plano focal de las lentes. Al apartar las fotografías, la discordancia entre 1 y 2b aumenta. El modelo entonces será trasladado más lejos del plano focal.

¹⁶ Esto se aplica a estereoscopios de lentes sin espejos. Para un estereoscopio de espejo la separación total será la suma del efecto causado por la reflexión de los espejos y la separación arriba mencionada como si los espejos no estuvieran presentes. Vea también el texto de la figura 20.

IX — LA ADAPTACION DE LA TEORIA DE PROYECCION A LA VISION NO NATURAL

A. *Teoría de proyección u la tesis de Wheatstone para la visión natural.*

En las secciones anteriores indicamos cómo la visión estereoscópica puede ser aplicada fisiológicamente. Ahora se preguntará al lector en qué extensión podrá contribuir todo esto al conocimiento de la relación entre el estereomodelo y la fotografía original. Por el momento el autor puede solamente dar una indicación de la manera como se puede aproximar cuantitativamente esta relación.

Los fenómenos fisiológicos envueltos en la estereovisión parecen representar un material más bien veleidoso para un tratamiento cuantitativo, pero de alguna manera debemos tratar de darles un fundamento geométrico. El mejor punto de partida, para la introducción de la geometría, parece ser todavía la tesis de WHEATSTONE. Por consiguiente, reconsideraremos este principio a la luz de las ideas desarrolladas.

Todas nuestras consideraciones nos llevan a la conclusión de que la tesis de WHEATSTONE está radicada profundamente en principios anatómicos y fisiológicos. Ciertamente es muy importante para la visión binocular natural.

La disposición anatómica de nuestros ojos en relación con la agudeza máxima en la fovea (figura 3) y el concepto de puntos correspondientes de la retina (figura 11) indican *que es prácticamente imperativo dirigir los ejes visuales*, es decir, fijarlos, *al objeto de nuestro interés*.

La tesis, de que el objeto se ve en el punto de intersección de los ejes visuales no es más que una formulación inversa de lo que acabamos de asegurar; ella se basa en nuestros hábitos naturales de visión y refleja la convicción de que las impresiones visuales corresponden a la realidad.

Porque no hay razones especiales para suponer que el concepto que nos hacemos del espacio que nos rodea, sea en cualquier aspecto diferente de la realidad, al menos en principio, esto es, con la exclusión de defectos orgánicos y ciertas ilusiones ópticas. Por consiguiente, *presupongamos axiomáticamente que nuestras impresiones del espacio, si son obtenidas bajo condiciones normales y naturales de visión binocular, corresponden a la realidad* y que la tesis de WHEATSTONE es correcta bajo esas condiciones aun cuando para un área limitada y en un sentido restringido.

El *principio limitado de WHEATSTONE* puede formularse como sigue: un objeto muy pequeño, o punto material, sobre el cual fijamos la mirada con atención se ve en el sitio de intersección de los ejes visuales.

El principio se puede extender a todos los puntos materiales, *alrededor del punto de concentración visual, que se encuentren en el horópter*. La teoría de WHEATSTONE permite reconstruir geométricamente lo observado, porque basta reprojectar las imágenes retinales hacia afuera en líneas rectas a través de los puntos nodales de los ojos. En la intersección de las dos líneas, cada cual proyectada desde un ojo diferente, se supone que están los puntos materiales. Este *principio de WHEATSTONE* extendido es el equivalente de la llamada *teoría de proyección*¹⁷, que pretende lo mismo.

¹⁷ Von Tschermak (S., p.) 150.

Estrictamente hablando, la tesis de WHEATSTONE y la teoría de proyección no son correctas, porque ellas no pueden explicar las imágenes dobles. Sin embargo, parecen aceptables para la zona inmediatamente contigua al horóptero, es decir, para la región donde percibimos profundidad estereoscópica por la actividad de Panum.

Podemos extender aún más el principio: nuestro *concepto intelectual del espacio* es algo diferente de la *impresión observada del espacio* indicada en las figuras 11f y 15. No solamente que las imágenes dobles son psicológicamente suprimidas sino que, además, movemos el punto de fijación visual sobre el paisaje y nos formamos así un concepto del espacio, uniendo mentalmente en un conjunto tridimensional una tras otra todas las zonas horóptéricas que hemos apreciado estereoscópicamente por la actividad de Panum. Este espacio subjetivo y mentalmente reconstruido lo podemos suponer como equivalente al espacio obtenido por la *teoría de proyección*, al menos cuando vemos con nuestros ojos de manera natural, con los principios 1 y 4 en perfecta armonía.

B. Teoría de proyección para la visión no natural.

Como la *teoría de proyección* o la *tesis de WHEATSTONE extendida* es de tal importancia para la visión binocular natural y es tan apropiada para la representación geométrica, es sugestivo aplicar la misma, tal vez algo modificada, para las condiciones no naturales de visión binocular. Cuando intentamos efectuar la mencionada reconstrucción geométrica, inmediatamente caemos en cuenta del embarazoso hecho de que nos falta un punto de fijación visual para un gran número de casos (investigación de aerofotos con los ejes visuales paralelos o divergentes) y así no serán encontradas ningunas intersecciones mediante dichas construcciones de la teoría de la proyección. Sin embargo, vemos el estereomodelo a una determinada distancia. Nuestro primer paso será, por consiguiente, introducir el punto de *fijación virtual*¹⁸, y es obvio escoger este punto en el lugar donde vemos el estereomodelo. Podemos aplicar ahora las construcciones geométricas bien definidas de la *teoría de proyección* si estimamos a qué distancia hemos proyectado el estereomodelo. Así gozamos, además, de las siguientes ventajas:

1. Se evita la determinación de influencias mutuas entre factores fisiológicos poco conocidos, lo cual no puede lograrse sin un laboratorio bien equipado.

2. Podemos basar las relaciones entre el estereomodelo y el original fotografiado en datos experimentales. Esto es especialmente importante porque es de esperar que los factores fisiológicos mencionados arriba, serán algo diferentes para cada persona y variarán con la edad o con el estado físico del foto-intérprete (fatiga, etc.).

La estimación de la distancia del estereomodelo, muy simple en principio, puede causar, sin embargo, algunas dificultades especialmente al comienzo. Un poco de práctica ayudará a superarlas.

¹⁸ En recuerdo de la *imagen virtual* en la óptica de las lentes.

El punto de fijación virtual debe ser utilizado no solamente para aquellos casos que no dan intersecciones geométricas de rayos, sino también para todas las situaciones de visión binocular no natural¹⁹. De manera que podremos concluir:

a) Bajo condiciones naturales de visión binocular podemos aplicar la teoría de la proyección si tenemos presente sus restricciones.

b) *Bajo condiciones estereoscópicas no naturales debemos siempre aplicar la teoría de proyección en combinación con el punto virtual de fijación.*

Por consiguiente, nuestro primer paso será estimar la distancia de los ojos al punto de fijación virtual. Esto lo ha hecho el autor en todos los casos posibles de visión binocular de un par de fotografías observadas sin lentes a una distancia (D) de 26 cm. (vea la figura 16 con las notas explicativas). Podemos deducir del gráfico que solamente en un caso la distancia del punto virtual de fijación (Fv) puede ser igual a la distancia de los ojos a las fotografías, y este es el caso en que miremos un anaglifo. Para todos los otros casos debemos encontrar valores para Fv que sean diferentes a la distancia D donde están las copias. Estas diferencias son más bien pequeñas cuando miramos a las fotografías con los ejes de los ojos cruzados, pero puede ser considerable cuando estos ejes están casi paralelos.

Una vez que las distancias de los puntos de fijación virtual son determinados podemos reconstruir el estereomodelo observado con la *teoría de proyección*.

En la figura 17 se presenta como ejemplo la construcción de un estereomodelo observado con los ojos visuales ligeramente convergentes. P. H. es la posición de las fotografías examinadas con los ojos desnudos. Los rayos ópticos que vienen de las fotografías a los ojos (OI y OD) están dibujados como líneas gruesas. La intersección de sus prolongaciones hacia abajo, dibujadas como líneas interrumpidas, definen el modelo geométrico imaginario. Las continuaciones (Vg) de los ejes visuales (V) se intersectan en Fg , donde forman un ángulo γ ; Fg es el punto en donde está fijada la mirada.

Para la reconstrucción geométrica del estereomodelo se consideran las fotos desplazadas a la posición PH' de tal manera que los ejes visuales rotados (V') se intersectan a la distancia Fv , que es la aproximada distancia virtual de fijación. Las líneas delgadas y sólidas indican la reconstrucción del modelo estereoscópico observado.

Las líneas de puntos que divergen del ojo ciclópeo y mental Em , representan las rutas imaginarias a lo largo de las cuales se supone que se efectúa la proyección mental de la estereo-imagen desde el cerebro hacia afuera; los ejes visuales (V) coinciden ahora con la línea de visión V'' (compare con las figuras 11a y 11f). D es la distancia entre los ojos y las fotografías.

¹⁹ La visión binocular es aquí llamada *natural* cuando todos los principios 1 - 4 están en completa armonía. *No natural*, por ejemplo, cuando acomodamos para 30 cm. y convergimos para 5 m.

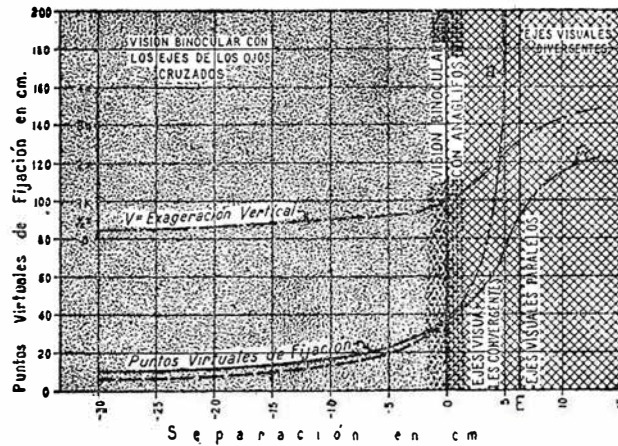


Figura 16.—La distancia de los puntos de fijación virtual como una función de la separación entre las fotografías.

Las fotografías, colocadas a 36 cm. de los ojos, son observadas sin lentes. La separación en este caso puede variar desde 30 cm. negativa, hasta 12 cm. positiva. El modelo estereoscópico se pone menos nítido cuando la separación alcanza grandes valores positivos o negativos y finalmente se disuelve.

La curva de los puntos virtuales de fijación no se puede determinar para la zona de puntos gruesos (visión anaglífica), ya que las fotografías se cubren mutuamente. La curva debe, sin embargo, intersectar la línea cero a 36 cm. Muchas curvas semejantes pueden ser construídas para diferentes distancias entre fotos y ojos.

La exageración vertical fue determinada para cada punto de fijación virtual mediante la ecuación 9) e indicada separadamente en el gráfico. La curva "a" indica a qué distancia están las intersecciones geométricas de los ejes visuales, donde se encontraría el estereomodelo según la tesis de Wheatstone. Esta curva se acerca asintóticamente a una línea vertical, dibujada en el gráfico a la distancia interpupilar (E) de la línea cero.

Las cinco zonas de esta figura ("ejes cruzados", "anaglifos", "ejes convergentes", "ejes paralelos" y "ejes divergentes") corresponden, en el mismo orden, a los cinco casos de la figura 19.

C. El efecto de los lentes.

Nos falta analizar la situación al utilizar lentes de aumento como los que tienen, por ejemplo, los estereoscopios. Antes de todo es necesario investigar, en general, todo el efecto óptico causado por un lente. Observando un objeto con un lente o una lupa se supone por lo general, que el objeto está colocado en el plano focal del lente utilizado. Esto por lo menos es el modo más cómodo de observación, porque así entrarán rayos ópticos paralelos en el ojo, el cual no necesita acomodar y descansa. En estas condiciones se supone que el aumento es

$\frac{25}{f}$ cuando f es la distancia focal (en cm.) del lente en cuestión, o también $\frac{Ld}{4}$ cuando Ld es el poder refringente del lente en dioptrías $Ld = \frac{100}{f}$. Este sería el *aumento convencional*.

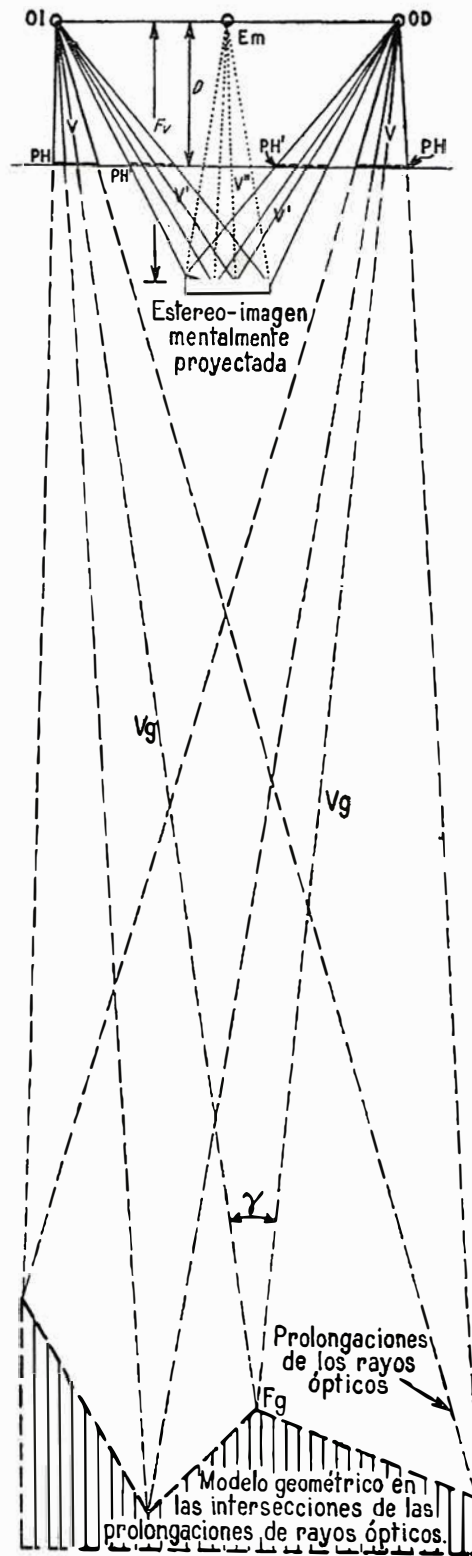


Figura 17.—Ejemplo de la construcción geométrica de un estereomodelo.

Si tenemos el lente muy cerca del ojo, el objeto estará separado del ojo por una distancia aproximadamente igual a la distancia focal (f) del lente. Se puede, además, observar que un objeto parece mucho más grande si lo tenemos muy cerca al ojo, digamos a 4 centímetros, sólo que sin lente no lo veremos con nitidez, porque el lente ocular no se puede acomodar para una distancia tan extremadamente corta y proyectará una imagen borrosa a la retina. Es obvio que en este caso del aumento convencional, el lente sirve sólo para ayudar al ojo en la acomodación a fin de que podamos tener el objeto muy cerca del ojo y verlo grande porque de esta manera lo observamos dentro de un ángulo bastante más amplio.

Sin embargo, es dudoso que esto fuera la única función del lente. Prosigamos a investigar si hay otros efectos que puede producir. Utilicemos una cámara lúcida, llamada "sketchmaster" por los norteamericanos, aparato que permite ver dos escalas (figuras 18a: S1 y S2) a la vez por medio de un espejito semitransparente (Es) puesto delante del ojo (O), espejito que es suficientemente transparente para ver S2 pero también refleja el S1. En un trayecto, entre O y S2, se puede poner un lente (L) y estudiar su efecto, comparando las dos escalas S1 y S2. Para acercarnos a las condiciones en que usamos los lentes en los estereoscopios, podemos colocar S2 a la distancia focal f del lente L. Se empleó el "reproductor gráfico para vistas aéreas" (Luftbildumzeichner) fabricado por la compañía alemana Zeiss Aerotopograph, aparato que permite variar tanto la distancia OS1 como la OS2 e interpusimos varios lentes en el trayecto OS2. Los resultados están reunidos en la siguiente tabla:

TABLA I

Poder del lente en dioptrías	Distancia focal en cm. (f)	Ampliación	Distancia entre lente y ojo en % de f
3	33,3	1,13 ×	16,5 %
4	25,0	1,18 ×	22,0 %
5	20,0	1,25 ×	27,5 %
6	16,7	1,30 ×	33,0 %
7	14,3	1,33 ×	38,0 %
8	12,5	1,37 ×	44,0 %
9	11,1	1,38 ×	50,0 %
10	10,0	1,39 ×	55,0 %

Además de la ampliación convencional existe, entonces, otra que podemos llamar *ampliación* óptica y la ampliación total es aparentemente el producto de ambas.

Haciendo un gráfico de los resultados de la Tabla I (figura 18b) podemos observar que la curva es mucho menos inclinada hacia el lado de los lentes fuertes. La curva pasará por la esquina del gráfico porque la ampliación debe ser $1 \times$ por un lente con $Ld = O$ (es decir, cuando no se usa ningún lente. Para lentes negativos que dan ampliaciones menos de $1 \times$, continuaría la curva en el cuadrante izquierdo inferior).

Parece que la ampliación óptica es producida por la refracción del lente como lo muestra la figura 18c. Quitemos el lente de su ranura en

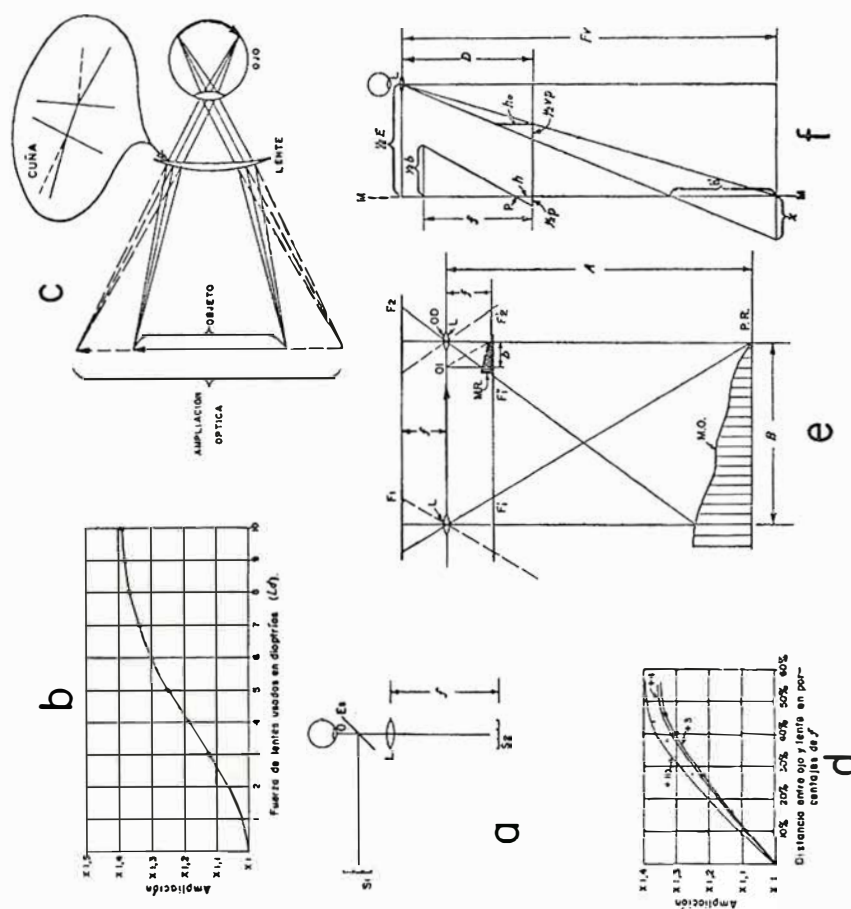


Figura 18.

el aparato y tengámoslo más cerca a S2 sin cambiar las distancias OS1 y OS2. Podemos observar que la ampliación óptica aumenta a medida que alejamos del ojo el lente L. Expresando la distancia OL en porcentajes de la distancia focal f del lente, podemos resumir los datos obtenidos con lentes de 3 y 4 dioptrías de la manera siguiente:

TABLA II

Lente 3	OL en % de f	16.5 %	27.0 %	39.6 %	46.2 %
	ampliación	1.12×	1.23×	1.30×	1.33×
Lente 4	OL en % de f	22.0 %	39.7 %		
	ampliación	1.18×	1.315×		

Alejando el lente del ojo utilizamos las partes más al margen del lente donde la refracción es aparentemente más grande y esto causa una mayor ampliación óptica.

Por las características en la construcción del reproductor gráfico, no podemos acercar el ojo como quisiéramos, de tal modo que los valores de la ampliación óptica serán, en realidad, más pequeños de lo que indica

la Tabla I. Hemos colocado los datos de las observaciones (Tabla I y II) en un gráfico cuya abscisa expresa la distancia OL en porcentajes de f (figura 18d). Nos consta que las curvas que pertenecen a lentes de diferentes potencias no se alejan mucho las unas de las otras. La tendencia de la curva del lente 3, definida por las cruces, sugiere que la curva pasará por el origen del gráfico. Esto sería una consecuencia lógica, porque indicaría que la ampliación óptica sería $1 \times$ (es decir, que no hay ampliación) para el caso teórico de no haber distancia entre lente y ojo, condición que muchas veces se presupone en la teoría de lentes. *Solamente por no poderse realizar esta condición, la ampliación convencional está siempre acompañada de alguna ampliación óptica.*

Extrapolando las observaciones podemos deducir que un lente de 10 dioptrías, común en varios estereoscopios de bolsillo, usado a un centímetro del ojo, o a 10% de su distancia focal, no produce ampliación óptica notablemente más grande de $1.1 \times$ (ver figura 18d)¹⁹. Para lentes menos potentes, usados a la misma distancia del ojo, se podría en la práctica desprestigiar este efecto óptico y considerar el lente sólo como una ayuda en la acomodación.

D. *La distorsión del estereomodelo de dos vistas aéreas.*
Su cálculo.

Determinado el efecto producido por los lentes, proseguimos a buscar la relación geométrica entre un terreno fotografiado y el modelo estereoscópico correspondiente, observado mediante dos aerovistas verticales.

Lo más conveniente es establecer las diferencias entre ese estereomodelo y un *modelo reducido*, en el cual se convergen las relaciones angulares del original.

En la figura 18e representa A la altura (de las lentes L) de una cámara aérea sobre un plano de referencia ($P. R.$) en el terreno o modelo original ($M.O.$). F_1 y F_2 son las placas fotográficas en dos posiciones consecutivas dentro de la línea de vuelo (flecha), estando las placas a la distancia focal f de los lentes L . La escala de las fotos es entonces $\frac{f}{A}$

(basada en el plano de referencia). F'_1 y F'_2 son las mismas placas fotográficas invertidas, a una distancia f debajo de la línea de vuelo, para indicar más directamente la correspondencia con $M. O.$, ya que esta inversión no introduce ningún cambio en las relaciones geométricas. F''_1 es la fotografía invertida F'_1 trasladada paralelamente cerca a F'_2 de tal manera que la distancia entre los centros de las fotos F''_1 y F'_2 sea b . La intersección de los rayos trazados de OI a detalles de la foto F''_1 por una parte y los trazados de OD a los mismos detalles en la foto F'_2 por otra parte, forman un modelo reducido ($M. R.$) del original $M. O.$ Si escogemos la distancia b tal que esté en la misma proporción con B como f está con A (es decir, cuando $\frac{b}{B} = \frac{f}{A}$), el modelo $M. R.$ será

entonces, una exacta reproducción de $M. O.$ en escala $\frac{f}{A}$.

¹⁹ Esta valor puede variar algo para diferentes tipos de lentes, lo mismo que los datos de las Tablas I y II.

No cabe duda que veríamos un modelo estereoscópico igual a M. R. si pudiéramos tener los ojos en la posición de OI y OD con relación a las fotos. Esto, en general, no es practicable, primero, porque la distancia entre los ojos es fija (en promedio 6,25 cm.) y sólo excepcionalmente sería igual a b , y segundo, no se podría acomodar para una distancia tan corta como f . Además, hay el inconveniente de que una foto cubriría la mayor parte de la otra.

La distorsión del estereomodelo, sea que esté visto con los ojos desnudos, sea con un estereoscopio, es entonces introducida por el hecho de no poder tener los ojos con una separación apropiada en el punto focal de las fotos.

Deducimos la distorsión del estereomodelo con ayuda de la figura 18f en la cual representan:

- b : base de las aerovistas en el modelo reducido.
- h : altura de un punto P en el modelo reducido.
- p : paralaje del mismo punto P medido en las fotos.
- f : distancia focal de las fotografías.
- D : distancia entre ojos y fotografías.
- E : separación individual de los ojos, base visual.
- v : ampliación óptica del lente utilizado.
- F : distancia virtual de fijación.
- h' : altura del punto P en el estereomodelo.
- h_o, w, x : símbolos de líneas en fases intermedias de las ecuaciones.

En las ecuaciones:

- S_h : escala horizontal del estereomodelo.
- S_v : escala vertical del estereomodelo
- E_v : exageración vertical del estereomodelo.

Sólo la mitad a la derecha de la línea mediana M - M está dibujada.

Con triángulos semejantes se deduce :

$$\begin{array}{l}
 h \\
 x \\
 w \\
 h_o
 \end{array}
 \begin{array}{l}
 \frac{h}{f} = \frac{\frac{1}{2}E}{\frac{1}{2}b + \frac{1}{2}p} \\
 \frac{x}{\frac{1}{2}vp} = \frac{F_v}{D} \\
 \frac{x}{D} = \frac{D}{\frac{1}{2}ED} \\
 \frac{h_o}{D} = \frac{\frac{1}{2}vp}{\frac{1}{2}vp + w}
 \end{array}
 \begin{array}{l}
 h = \frac{pf}{F_v} \\
 x = \frac{\frac{1}{2}vpF_v}{D} \\
 w = \frac{\frac{1}{2}ED}{D} \\
 h_o = \frac{h'}{\frac{1}{2}vp}
 \end{array}$$

Introduciendo la ecuación encontrada para w :

$$h_o = \frac{vpDF_v}{vpF_v + ED} \qquad h' = \frac{h'}{h_o} = \frac{x}{\frac{1}{2}vp}$$

Al introducir las ecuaciones encontradas para h_o , x :

$$h' = \frac{vpF_v^2}{vpF_v + ED}$$

$$S_v = \frac{h'}{h} = \frac{vpF_v^2 (b + p)}{(vpF_v + ED) f} \dots\dots\dots 5)$$

$$S_h = \frac{x}{\frac{1}{2}p} = \frac{vF_v}{D} \dots\dots\dots 6)$$

$$E_v = \frac{S_v}{S_h} = \frac{DF_v (b + p)}{(vpF_v + ED) f} \dots\dots\dots 7)$$

Para valores muy pequeños de p las ecuaciones 5) y 7) se transforman en:

$$S_v = \frac{vF_v^2 b}{EDf} \dots\dots\dots 8)$$

$$E_v = \frac{F_v b}{Ef} \dots\dots\dots 9)$$

A primera vista puede extrañar que la ecuación 9) para E_v no contenga los factores D , y la separación S de las fotografías, y que éstos falten además en las otras ecuaciones. Al consultar el lector el gráfico de la figura 16 notará que aquellos factores ya están implícitamente incluidos en el valor de F_v . La ampliación óptica (v) no influye en la exageración vertical, cuando los paralajes p son pequeños, es decir, cuando no nos alejamos mucho del plano de referencia, porque la ampliación óptica afecta de igual manera la escala horizontal como la vertical.

Demostremos la aplicación de las ecuaciones con un ejemplo práctico. Cuando examinamos un par de aerovistas con un estereoscopio y de manera corriente, o sea, con los ejes visuales paralelos y acomodando el ojo para el infinito, la distancia de fijación virtual debe ser algo más grande que la distancia focal de los lentes, porque la fuerza de los principios 1 y 2a es débil y la de 2b bastante fuerte. Estimando que el estereomodelo, observado con un estereoscopio de espejos Zeiss con lentes de 3,75 dioptrías o $f = 26,6$ cm. se encuentra a una distancia de 30 cm. de los ojos, y suponiendo que se están utilizando las fotografías grandes de 23 cm. de lado, se puede tomar un valor medio de 10 cm. como base (b) de las fotos. Como la distancia focal que corresponde a estas aerovistas es de 15 cm. encontramos mediante la ecuación 9) una exageración vertical de 3 veces aproximadamente. Una pendiente o plano inclinado del estereomodelo, estimado en 60° (la tangente es 1,73) corresponde entonces en el modelo original a un ángulo de 30° , cuya tangente es una tercera parte

$$0,577 = \frac{1,73}{3}$$

La ecuación 7) sugiere que la exageración vertical no es constante en el estereomodelo que varía cuanto más nos alejamos del plano de refe-

rencia. Esto no es sorprendente, porque también la fotografía aérea, tomada sobre terreno montañoso, no es de escala constante. En este estudio no podemos entrar en estos detalles, ni en los efectos causados por distorsiones de perspectiva o en la influencia del movimiento del estereoscopia encima de las fotos.

Para conveniencia del fotointérprete todos los casos posibles de visión estereoscópica, con o sin lentes, están representados sistemáticamente en las figuras 19 y 20.

Figura 19.—*Visión estereoscópica no natural sin lentes.* Explicación de las figuras: las figuras presentan todas las posibilidades (casos [I - V] de examen estereoscópico de fotografías sin lentes, comenzando con una fuerte visión convergente en el lado izquierdo [separación negativa] hasta una visión fuertemente divergente a la derecha [separación mayor que la base visual].)

El segundo caso (II) no puede, en general, ser realizado sin el uso de espejos a menos que se utilicen anaglifos impresos.

Para cada caso, esencialmente diferente, se dibujaron dos figuras. La de la izquierda representa esquemáticamente el modelo geométrico de los rayos ópticos, la figura derecha muestra la reconstrucción del estereomodelo como realmente es observado bajo la influencia de los principios fisiológicos activos. Esta reconstrucción se ejecuta de acuerdo con la figura 17. La exageración vertical está indicada para cada caso con referencia a la del modelo anaglífico.

(V. $Ex = 1x$). Podemos observar que el tamaño de los modelos aumenta de izquierda a derecha. La exageración vertical también aumenta en la misma dirección. En el caso I el modelo observado es verticalmente comprimido. (Exageración vertical menor que 1).

Los principios que determinan la distancia Fv , a la cual se observa el modelo, están representados por grandes círculos si la influencia es fuerte, por círculos más pequeños si la influencia es menor. El lector recuerde que los principios 1 y 2a están acoplados en forma tal que el uno puede ser arrastrado fuera de "equilibrio" o fuera de la "tendencia normal" por el otro cuando la desarmonía entre los dos es grande. En casos de conflicto extremo entre 1 y 2a (hacia la izquierda y hacia la derecha de la figura) se pierde el estereoscopismo. Si los principios 1 y 2a están en armonía (tienen las mismas tendencias) tenemos el caso de la visión más comfortable, que es el caso II: "visión anaglífica".

Los "diagramas de fuerzas" se leen de la siguiente manera, por ejemplo, caso I: los ejes de los ojos se intersectan a la distancia Fg . Así el músculo de acomodación tratará de sugerir que el estereomodelo está en Fg , si no fuera porque 1 está acoplado con el músculo de acomodación. La fuerte desarmonía entre 1 y 2a es la causa para que el modelo parezca ligeramente más alejado que la distancia Fg . El principio 2a por sí mismo, sin ser acoplado a 1, llevaría el modelo a D . Ambos principios en conjunto localizarán el modelo entre Fg y D , pero más cerca a Fg porque el principio 1 es más fuerte que el 2a. El lector puede analizar los otros casos a base de diagramas. (Vea también la Sección IX).

El principio 2b está prácticamente siempre en armonía con 2a. No necesitamos mencionarlo separadamente y se puede considerar incluido en el 2a.

Figura 20.—(Primero lea las explicaciones de la figura 19).

Los dibujos muestran todas las posibilidades de la visión estereoscópica *con lentes*, comenzando de nuevo con visión fuertemente convergente a la izquierda (la separación es negativa) y terminando con visión fuertemente divergente a la derecha (separación mayor que la base visual). Los casos de estereovisión fuertemente conver-

gente (I, $s < 0$) y de la anaglífica (II, $s = 0$), sólo son posibles con estereoscopios de espejos, ya que bajo un estereoscopio de lentes sin espejos las fotografías estén aproximadamente en el plano focal de las lentes. De esta manera, de cada punto material de las fotos se transmiten haces de rayos divergentes que son transformados por las lentes del estereoscopio en haces de rayos paralelos (vea el gráfico en el extremo izquierdo). Estos rayos paralelos entran a los ojos, que se acomodan para el infinito. Por consiguiente, el principio 2a tiene una influencia más bien pequeña. Tiene una importancia secundaria por estar acoplado al principio 1. La estereoscopia se pierde nuevamente en los casos de extrema desarmonía entre los principios 1 y 2a, es decir, hacia la izquierda y derecha de la serie de figuras.

El principio 2b es siempre importante, a menudo dominante.

La construcción del estereomodelo observado es esencialmente igual a la que se ha explicado en la figura 17.

Las escalas y la exageración vertical están determinadas e indicadas por los dibujos de la misma manera como en la figura 19. Vemos nuevamente que el tamaño de los modelos y la exageración vertical aumentan de izquierda a derecha.

La manera más conveniente de estereovisión está representada en el caso IV, donde los principios 1 y 2a están en perfecta armonía.

El caso II tiene mucha semejanza con la visión anaglífica de la figura 19.

X — EXPLICACION DE VARIOS FENOMENOS CON BASE EN LA FISIOLOGIA

Puede ser conveniente al final de este artículo reconsiderar unos pocos fenómenos a la luz de las ideas desarrolladas.

Para este propósito regresemos a la figura 9, visión estereoscópica con los ejes visuales cruzados. Si introducimos dos punticos (como, por ejemplo, los puntos flotantes del estereómetro) en los rayos luminosos que unen los ojos con detalles similares en las fotografías, entonces esos dos punticos serán fundidos por la visión binocular, y la unidad estereoscópica formada por los puntos parecerá tocar el estereomodelo. Esto sucederá ya sea que pongamos los punticos encima o debajo del sitio donde veamos el modelo. Hay, sin embargo, una sola posición donde únicamente *un* puntico daría la misma impresión y ésta es la intersección de los correspondientes rayos ópticos. En este lugar podríamos, también, sostener un lápiz y "tocar" con la punta cada detalle del estereomodelo observado.

Si medimos la distancia de la punta del lápiz a los ojos para cada detalle del modelo estereoscópico, podríamos creer que hemos descrito y definido de esta manera el modelo como realmente lo observamos. Este, sin embargo, no es el caso.

Consideraciones fisiológicas nos han llevado a la conclusión de que la distancia entre los ojos y el modelo observado es algo más grande que la distancia entre éstos y el lápiz, así *¡lo que realmente hicimos con el lápiz es nada más que indicar el lugar de la intersección geométrica de los rayos ópticos!*

Sin embargo, hay ciertas relaciones entre el "modelo geométrico" y el estereomodelo mentalmente proyectado. Las leyes ópticas del primero

se reflejan en el segundo. Si varios puntos materiales están en una línea en el modelo óptico geométrico como el punto nodal del ojo, la punta del lápiz y ciertos detalles de las fotografías, entonces ellos se proyectarán en el mismo cono de la retina y esto dará la impresión de que también en el espacio mentalmente proyectado el lápiz está tocando el modelo. Existe cierta afinidad lineal entre los dos modelos, pero esto no significa que ellos sean idénticos o que estén a la misma distancia de los ojos.

Esto puede aparecer algo extraño al principio, pero perderá todo el misterio, si nos acostumbramos a la idea de que nuestras impresiones visuales son, ante todo, experiencias fisiológicas y psicológicas provocadas, en este mismo orden, por los rayos ópticos. Podemos alcanzar rápidamente una mejor comprensión si repetimos la experiencia del puntico flotante, que puede ser solamente un experimento en nuestra imaginación, para el caso III de la figura 19. Las líneas que unen los puntos nodales de los ojos, los punticos y los detalles similares de las fotografías se intersectarán bastante más abajo de las copias fotográficas, a la distancia Fg , que puede ser agrandada infinitamente si alejamos las fotografías un poco más (ver la figura 17). ¡Las intersecciones de los rayos ópticos prolongados definen un modelo tridimensional muy grande situado a una gran distancia y es obvio que esto sea una cosa completamente diferente del estereomodelo observado!

Por consiguiente, debemos ser muy cuidadosos en no atribuir, irreflexivamente, a nuestra imagen mental datos obtenidos por mediciones y se debe hacer siempre una clara distinción entre el espacio físico, el cual en efecto no observamos y el espacio mentalmente proyectado, que es el que realmente vemos. Estos dos pueden ser idénticos únicamente cuando los principios fisiológicos desde 1 hasta 4 están en perfecta armonía y aun en este caso es necesario que otras ilusiones ópticas queden excluidas.

En conexión con las particularidades arriba mencionadas podemos hacer las siguientes aseveraciones: *Medidas hechas con puntos flotantes nunca pueden definir las propiedades del estereomodelo observado, es decir, de la imagen mentalmente proyectada. Con esas marcas, nosotros sólo podemos investigar el modelo geométrico o el original fotografiado, según la manera en que ejecutamos las medidas.* Esta investigación del original fotografiado es llevada a cabo con los muchos instrumentos que son bien conocidos por el fotogrametrista. *¡La estereoimagen psicológicamente proyectada puede ser estudiada solamente mediante estimación directa y subjetiva!*

Podemos, con igual éxito, aplicar la tesis fisio-psicológica de la visión estereoscópica al importante experimento de VON FRIJTAG DRABBE con los fósforos (o lápices). Sostenga dos fósforos (I y D, derecho e izquierdo) a una distancia D (por ejemplo, 30 cm.) en frente de los ojos (figura 21a). Veremos cuatro imágenes de los fósforos (Id, Ii, Dd y Di) si separamos nuestros ejes visuales en una forma tal como si fijáramos un punto (P) detrás de los fósforos (figura 21a, b).

Como los fósforos están dentro del círculo horóptico, se formarán dobles imágenes, dos de cada fósforo. Cuando movemos los fósforos I y D uno hacia el otro, haciendo que guarden constantemente la misma distancia de 30 cm. entonces las imágenes centrales Ii y Dd pueden cubrirse

y aun pueden ser fundidas en una imagen estereoscópica ID (figura 21c, d)²⁰.

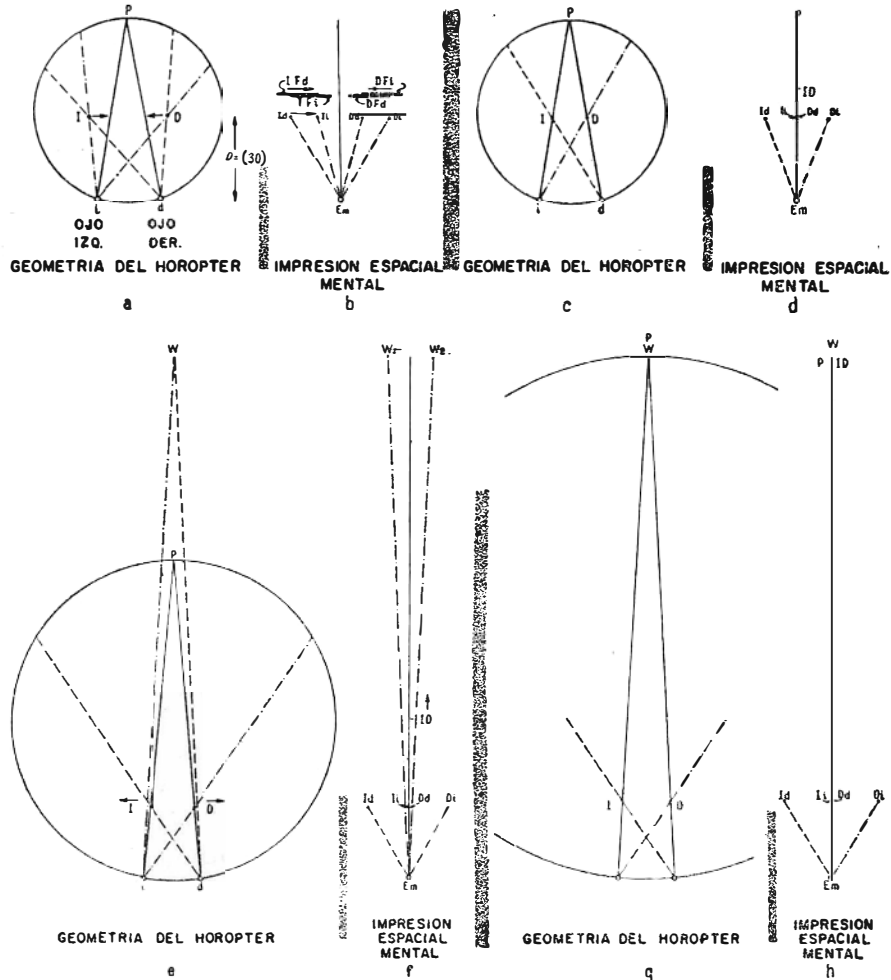


Figura 21.—Análisis del experimento de los fósforos de von Frijtag Drabbe.

La imagen estereoscópica ID se localizará en alguna parte entre el punto de fijez a P y los fósforos I y D. Esto puede ser entendido cuando analizamos las tensiones fisiológicas. Por la sola actividad de los músculos de convergencia el estereomodelo estaría en P, en cambio los Principios 2a y 2b, lo localizarían a 30 cm. de distancia. El resultado es que ID tiene una posición intermedia, más cercana a 30 cm. que a P porque el Principio I es más bien débil debido a la mayor distancia del punto P.

²⁰ La imagen estereoscópica se obtiene de una manera inusual: Ella está generalmente constituida por dos imágenes de un solo objeto, visto desde dos posiciones diferentes; una muestra la parte de enfrente y algo del lado derecho y la otra exhibe la parte frontal y algo del lado izquierdo. Aquí, algo similar sucede con las imágenes de dos objetos diferentes (fósforos) que son, sin embargo, de idéntica forma. La imagen estereoscópica aparece más bien plana, porque se ve muy poco de los lados de los fósforos. Una imagen estereoscópica completa y redonda se ve si repetimos el experimento con los ejes visuales cruzados.

Debemos observar que los fósforos no se ven tan claramente como bajo las condiciones normales. Esto es porque no acomodamos para la distancia verdadera de los fósforos (30 cm.). La acomodación está ligada a la convergencia y ambas tienen tendencias en pugna.

Queremos, además, señalar el hecho notable de que las imágenes Id y Di no están o casi no están bajo la influencia del principio 1, porque ellas permanecen, al menos aproximadamente, a la misma distancia de 30 cm. Por consiguiente, parece que el principio 1 es efectivo solamente para las imágenes que caen en puntos de la retina correspondientes, y que las imágenes dispares (Id y Di) están dominadas completamente por los principios 2a y 2b.

El experimento del fósforo puede ser continuado en la forma siguiente: mirando atentamente a los fósforos con la firme intención de no perder el estereoscopismo de ID, moveremos los fósforos D e I aparte. Para no perder el estereoscopismo, debemos asegurar que las imágenes de los fósforos continúen formándose sobre puntos correspondientes de las retinas, es decir, tenemos que girar consecutivamente los ejes visuales, o en otras palabras, debemos colocar el punto de fijación más alejado de nuestros ojos (figura 21c). Como consecuencia, vemos la imagen ID alejándose. Objetos detrás de ID, por ejemplo, un detalle en el panel de una ventana o sobre una pared (W), se ven como imágenes dobles no cruzadas (W1 y W2) porque ellos están fuera del horóptero. Estas imágenes W1 y W2 están observadas en la distancia real porque —como lo anotamos anteriormente— sólo los principios 2a y 2b tienen alguna influencia en estas imágenes dispares.

Mientras más alejemos los fósforos más se aproximará ID a W1-W2, mientras la separación de W1 y W2 disminuirá rápidamente. El principio 3 ahora se torna activo como una fuerza localizadora de la proyección mental ID en el espacio. La imagen estereoscópica ID como consecuencia se moverá rápidamente hacia W1-W2, hasta que por último, si continuamos separando los fósforos, llegará a W. El panel de la ventana W se ve ahora estereoscópicamente y podemos tocar cualquier detalle de él con la imagen estereoscópica ID, que puede ser movida con libertad en la zona de profundidad estereoscópica (zona de Panum) de W, separando los fósforos ligeramente o acercándolos un poquito. La situación ahora es tal que P e ID están todos en el mismo punto W (figura 21g, h), Id y Di a 30 cm. de distancia e I y D en los ejes visuales (figura 21g). Aquí la tesis de Wheatstone, que dice que la imagen estereoscópica obtenida por fusión de I y D se encuentra en el punto de fijación P, es completamente correcta. El experimento de los fósforos fue ideado por VON FRIJTAG DRABBE, apoyado en ello por E. R. Goodale, principalmente como una prueba contra la tesis de Wheatstone, y en los casos de la figura 21c-f realmente muestra que esta tesis es incorrecta. Analizaremos a continuación por qué no en el caso de la figura 21g-h.

No cabe duda que ID estaría en alguna parte entre P y los 30 cm. si los detalles de la ventana no estuvieron presentes y pudiéramos concentrar toda nuestra atención en ID. Por otra parte no hay razones para presumir que nosotros no veríamos el panel de la ventana en su propio lugar si los fósforos no estuvieran presentes. Hay aparentemente una competencia entre las dos imágenes estereoscópicas ID y W. Todas las

ventajas, sin embargo, están de lado de W, porque el panel de la ventana puede ser observado con los principios 1, 2a y 2b y eventualmente 3 en perfecta armonía, mientras que ID puede ser visto solamente de manera no natural, es decir, convergiendo para W y acomodando digamos para 49 cm.²¹

Bajo estas condiciones no podemos mantener la acomodación artificialmente a 40 cm. sino que ésta cambiará gradualmente para la distancia W. Vemos en este ejemplo ¡qué tan cuidadosos debemos ser en la interpretación y evaluación de los fenómenos estereoscópicos! Un análisis verdaderamente cuidadoso de las condiciones bajo las cuales aparece el fenómeno debe ser intentado antes de que saquemos conclusiones generales.

El experimento con los fósforos de v. F. D. no es en esencia diferente de la fusión de dos fotografías aéreas en una imagen estereoscópica sin la ayuda de lentes, y por lo tanto, completamente comparable al caso III de la figura 19. Basta sustituir Id (imagen del fósforo izquierdo, observada con el ojo derecho) por IFd (imagen de la fotografía izquierda, observada con el ojo derecho), Ii por IFi etc., como se indica en la figura 21b. Entonces debiera presentarse la fusión de IFi y DFd.

La fusión estereoscópica de dos fotografías aéreas causa alguna dificultad al fotointérprete inexperto, y en conexión con el experimento del fósforo podemos darle alguna indicación, que lo dirija a un rápido resultado una vez que comprenda cómo y qué tiene que hacer. La principal dificultad para el novicio es que no sabe mantener los ojos como si fijara un punto detrás de las fotografías. Presentamos dos métodos para obtener este resultado. En el primer método debe acordarse de los momentos de su primera juventud, cuando soñaba con aventuras durante las largas y tediosas horas de escuela, completamente abstraído a causa de su fantasía, sin tener en cuenta al maestro, a sus condiscípulos ni las cosas que lo rodeaban en la sala de clase. Cuando la mente está en este estado, los ojos se encuentran completamente en descanso, acomodados para el infinito con los ojos visuales paralelos.

Esta es la manera en que tiene que mirar a las fotografías: descansadamente, sin prestarles mucho interés y sin mucha atención, pero sin embargo, de manera tal que note que las fotografías aparecen dobles en sus contornos generales. Si tenemos suficiente separación en las fotografías las veremos como está indicado en la figura 21b, parte superior. Tenemos ahora que disminuir la distancia entre las fotografías en forma tal, que las dobles imágenes interiores (IFi y DFd) se cubran una a otra superponiendo los correspondientes detalles. Prestando gradualmente más atención a las fotografías, el estereoscopismo aparecerá.

El segundo método es mantener las fotografías en el vidrio de una ventana. Mirando con atención un objeto distante a través de la ventana, veremos las fotografías doblemente si las mantenemos sobre el vidrio algo debajo del objeto observado; el resto del procedimiento es el mismo.

Un momento difícil puede sobrevenir al separar o acercar las fotografías en forma tal que las imágenes IFi y DFd coincidan: Trasladando la atención, del objeto distante a estas imágenes que coinciden, tenemos

²¹ No para 30 cm., porque la acomodación está acoplada con la convergencia: esto es la causa para que ID no pueda ser vista con mucha claridad.

que ejecutar el truco de que los ojos mantengan la convergencia para el objeto distante pero se acomoden para una distancia más pequeña. Tenemos que aflojar la conexión entre convergencia y acomodación. Es muy probable que los intérpretes más experimentados puedan avanzar más que aquellos que no tienen experiencia, y como cierto grado de desconexión entre esos dos principios es de alguna influencia en la determinación de los puntos virtuales de fijación, podemos esperar una curva ligeramente diferente (la de la figura 16) para diferentes intérpretes.

CONCLUSIONES

Todos los fenómenos de visión estereoscópica conocidos hasta ahora pueden ser explicados fisio-psicológicamente. Algunos aspectos necesitan investigación más avanzada, como, por ejemplo, el misterioso principio 2b. Muchas cuestiones pueden ser solucionadas solamente en un laboratorio bien equipado, sin embargo, quedan bastantes problemas que pueden ser investigados por el foto-intérprete sin mucho equipo. A este respecto puede mencionarse lo siguiente: determinación de los puntos de fijación virtual para todos los casos de visión estereoscópica y los diferentes estados de acomodación (experimentos similares al descrito en la Sección III); variaciones de estos valores para diferentes personas, variabilidad en la estimación para una sola persona, etc. En esta forma podemos conseguir mejores aproximaciones que con suposiciones puramente geométricas²² sin fundamento fisio-psicológico, suposiciones que, aun cuando son útiles por el momento, no nos llevarán a resultados definitivos.

BIBLIOGRAFIA

- VON FRIJTAG DRABBE, C. A. J.—“Some new aspects in stereoscopic vision”, *Photogrammetria VIII*, 1951-1952, número 4, Special Congress Number.
- VON TSCHERMAK-SEYSENEGG, A.—“Einfuehrung in die physiologische Optik”, Viena, Springer, 2-a ed., 1947.
- LANDOIS-ROSEMANN.—“Physiologie des Menschen”. Muenchen-Berlín, 26-a ed., 1950.
- SAHLI, H.—“Lehrbuch der klinischen Untersuchungs-methoden fuer studierende und praktische Aertzte”, Vol. III, Leipzig - Viena, 7-a ed., 1932.
- EARDLEY, A. J.—“Aerial Photographs: Their use and interpretation”. Harper, New York - London.
- BEST and TAYLOR, C. H. and N. N.—“The physiological basis of medical practice”. Baltimore, 5-a ed., 1950.
- SALZMAN, M. H.—“The factors in human vision applicable to photogrammetry”. *Photogrammetric Engineering*, Vol. XV, número 4, dic. 1949.
- GOODALE, E. R.—“An equation for approximating the vertical exaggeration ratio of a stereoscopic view”. *Photogrammetric Engineering*, Vol. XIX, número 4, pp. 607-616, sept. 1953.

²² Fórmula de aproximación de E. R. Goodale.

AGRADECIMIENTOS

El autor desea agradecer a las siguientes personas, quienes en una u otra forma han ayudado a la preparación de este artículo: doctor Gottfried Stiasny, por las estimulantes discusiones sobre tópicos anatómicos o fisiológicos y por poner su biblioteca médica a disposición del autor; Wilford W. Fraser, fotogeólogo-jefe de la International Petroleum (Colombia) Ltda., por las muchas sugerencias que mejoraron tanto el texto como las ilustraciones; Jan Keizer, Alberto Ronderos y Jaime Torres, fotogeólogos compañeros del Instituto Geológico Nacional de Colombia, por haber revisado el artículo; Anton Tomic, por la continua cooperación en todas las fases de la preparación de las figuras y de los textos, inglés y castellano. Los gráficos fueron dibujados por Alberto Cruz y Dabeyba Giraldo de Cuervo quien, además, colaboró en la revisión del texto español.

A B S T R A C T

An analysis of the phenomena involved in stereoscopic vision leads to the conclusion that stereoscopy is based on physiologic processes. A definite distinction should be made between the natural stereoscopic vision in daily life and the natural conditions of observation as for instance under a stereoscope. In the first case, characteristic physiologic factors are in complete harmony, whereas conflicting tendencies appear for cases of un natural vision. The relative strengths of several disharmonic factors determine the place of the observed stereomodel. Stereoscopic vision with parallel or diverging visual axes can thus be explained on a physiologic basis. A simple assumption enables us to extend the projection theory for these cases and to reconstruct geometrically the observed stereomodel. All properties of this stereomodel such as horizontal scale, vertical scale, and vertical exaggeration can then be determined for all cases of stereoscopic vision.

**APUNTES ACERCA DE LA LITOLOGIA Y TECTONICA
DE LA ZONA AL ESTE Y SURESTE DE BOGOTA**

POR
GIANCARLO RENZONI

SERVICIO GEOLOGICO NACIONAL
BOGOTA, 1962

CONTENIDO:

RESUMEN	63
ABSTRACT	63
RIASSUNTO	64
INTRODUCCIÓN	65
ESTRATIGRAFÍA	67
GRUPO CÁQUEZA	67
GRUPO VILLETA	68
GRUPO GUADALUPE	73
DEPÓSITOS DE GLACIACIÓN	76
TECTÓNICA	76
BIBLIOGRAFÍA	78

R E S U M E N

Se estudia por formaciones la zona cretácica situada en el borde noroeste del Macizo de Quetame.

Se describen las características litológicas de las formaciones comprendidas en los tres grupos sobre cuya presencia casi todos los autores concuerdan: el Cáqueza, el Villeta, el Guadalupe.

Del primero ha sido estudiada sólo la parte más alta, viniendo de tal manera a incluir un lapso comprendido entre el Hauteriviano y el Maestrichtiano, y quedando representada la parte más baja del Terciario por la formación Guaduas (BÜRGL).

Se trata de formaciones de origen marino con excepción del Guaduas, sobre el cual todos los autores concuerdan en su origen continental.

Se han observado interesantes estructuras: el sinclinal de Une en posición central, y los anticlinales de Choachí y Bogotá, al este y al oeste de dicho sinclinal, respectivamente. Otros hechos tectónicamente importantes son el tumbamiento del flanco occidental del anticlinal de Bogotá, la aparición de un graben que hasta cierto punto constituye el desarrollo septentrional del sinclinal de Une y la presencia de numerosas fallas transversales a las estructuras.

Hay que señalar, en fin, que el estilo tectónico es rígido en las partes más cercanas a la ciudad de Bogotá hasta el alto de Cruz Verde, estando individualizado por fallas que limitan pequeños bloques, volviéndose más suave al sur.

Subplegamientos, con ejes paralelos a los principales, afectan todas las formaciones.

A B S T R A C T

The formations of the cretacic zone forming the Macizo de Quetame northwest borders are studied.

Lithologic characteristics of these formations are described: Cáqueza, Villeta and Guadalupe groups. The first one ranges between Hauterivian and Maestrichtian stage in the upper part, and the lower Tertiarius is shown by the Guaduas formation (BÜRGL).

All these formations are marine but Guaduas which is continental in origin.

Interesting structures have been observed: the Une sinclinal forming the central portion with the Choachí and Bogotá anticlinals eastward and westward respectively.

Also it has been observed the overtuning of the Bogotá anticlinal in the western side as well as a Graben and transversal fault.

Tectonic is rigid nearby the Bogotá city up to the "Alto de Cruz Verde".

Minor foldings with their axis parallel to the main ones affect all the formations.

R I A S S U N T O

L'autore suddivide in formazioni la copertura sedimentaria cretacea del bordo nord-ovest del Macizo de Quetame, soffermandosi nella descrizione delle caratteristiche litologiche dei terreni che la letteratura di Colombia colloca nei gruppi: Cáqueza, Villeta e Guadalupe. Si viene così ad abbracciare un periodo compreso fra l'Hauteriviano e il Maestrichtiano; la parte più bassa del Terziario resta rappresentata dalla formazione Guaduas (BÜRGL). Si tratta di formazioni di origine marina ad eccezione dell'ultima.

Sono state osservate interessanti strutture: la sinclinale di Une, in posizione centrale, e le anticlinali di Choachí e Bogotá rispettivamente all'est e all'ovest di detta sinclinale.

L'autore pone in evidenza il rovesciamento del fianco occidentale dell'anticlinale di Bogotá, lo sviluppo settentrionale della sinclinale di Une nel graben del Teusaca-Palmar e la presenza di numerose faglie trasversali alle strutture.

Piegamenti minori, con assi paralleli ai principali, interessano tutte le formazioni.

Segnala inoltre il diverso stile strutturale che si sviluppa al nord e al sud del parallelo passante per il Boquerón de la Laja.

INTRODUCCION

La zona, objeto de la investigación geológica, está representada en las planchas 247 I A, 247 I C, 247 III A a escala 1:25.000, y 247 I B N° 3, 247 I D N° 1 a escala 1:10.000, del Instituto Geográfico "Agustín Codazzi", situadas en la esquina suroriental de la plancha de Bogotá a escala 1:100.000; dicha zona forma parte del cuadrángulo L-11, en la nomenclatura del Servicio Geológico Nacional, y comprende los pueblos de Choa-chí, Cáqueza, Une y Chipaque.

El concepto guía del trabajo ha sido el litoestratigráfico con el fin de "individualizar unidades prácticas, convenientes al estudio, reconocibles y cartografiables, basándose en criterios físicos objetivos (organolécticos), fácilmente reconocibles en el campo".

Nos reservamos para el futuro la relación de la determinación exacta de los fósiles hallados, con el fin de encuadrar las unidades estratigráficas levantadas en unidades crono-estratigráficas.

Las formaciones así reconocidas, sólo a "grosso modo" corresponden a subdivisiones hechas por los autores anteriores, que trabajaron en la región; a medida que sean reseñadas, se ilustrará el significado de los términos litoestratigráficos usados.

Es necesario considerar el presente trabajo únicamente como una nota explicativa de la carta geológica anexa, como una primera contribución al levantamiento del área que abarca la zona sedimentaria nor-occidental del Macizo de Quetame. La decisión de publicar la presente nota ha sido tomada porque consideramos interesantes algunas observaciones de carácter descriptivo sobre la litología y las estructuras, como también, por consideraciones de carácter interpretativo sobre la tectogénesis; las últimas, especialmente, no se pretende sean soluciones definitivas de los problemas, sino deducciones coherentes con los conocimientos actuales.

ESTRATIGRAFIA

Sería necesario para algunos de los conjuntos de rocas hallados una nueva nomenclatura; de hecho el autor se encuentra con términos ya muy arraigados en la literatura de Colombia, e introducir nuevos, no está dentro de los límites de esta nota; no siendo posible, entonces, dar una solución definitiva al problema, usaremos para aquellos las denominaciones ya conocidas y que mejor se adaptan.

El autor divide las rocas que afloran en el sector examinado en los siguientes Grupos y Formaciones:

GRUPO GUADALUPE:

Formación Labor y Tierna.

Formación Plaeners.

Formación Arenisca dura.

GRUPO VILLETA:

Formación Chipaque.

Formación Une.

Formación Fómeque.

GRUPO CAQUEZA:

Formación Alto de Cáqueza.

(Ant. Arenisca de Cáqueza).

GRUPO CAQUEZA

FORMACION ALTO DE CAQUEZA

El autor se refiere al conjunto litológico que HUBACH (7) llamó Arenisca de Cáqueza. Es sin duda un nombre impropio ya que las areniscas no son ni abundantes, ni siquiera frecuentes. El mismo HUBACH describe esta facies como "generalmente arcillosa con intercalaciones arenosas" o como "esquistosa arcillosa con dos horizontes de arenisca gruesa, separados por esquistos".

El conjunto ha sido observado en la Cuchilla de Carrizal, en el Alto de Cáqueza y en el Alto Monruta, es decir, a lo largo del perfil montañoso que domina la población de Cáqueza.

Los elementos litológicos prevaecientes son los estratos margosos con muchas variaciones calcáreas y arenáceas. Encontramos en efecto:

a) En la Cuchilla de Carrizal, una sucesión de arcillas y calizas margosas en estratos de 20 cm.; los estratos calcáreos están cubiertos por una

costra de alteración rugosa. En esta sucesión se interponen estratos de arenisca finísima de más de un metro de espesor, un poco calcárea y con lamelibranchios en el techo, y de arcilla gris clara;

b) En el Alto de Cáqueza, una sucesión de margas y calizas margosas, arenáceas, en estratos de espesor superior al metro, con raras intercalaciones arcillosas;

c) En el Alto de Monruta, sucesión de margas arenáceas, de grosores superiores a los dos metros; pueden presentar fajas de coloración verdosa. Se encuentran intercalaciones de arenisca calcárea dura, de grano fino. En la orilla derecha del río Cáqueza, cerca del puente del mismo nombre, hay también estratos de arenisca finísima.

Examinando esta formación en su conjunto, el autor concluye que: La facies no es arenácea sino margosa y tiene un espesor total de 200-250 metros aunque puede alejarse bastante del mismo.

GRUPO VILLETA

FORMACION FOMEQUE

Con este nombre el autor se refiere al conjunto de rocas que descansa sobre el Grupo descrito anteriormente y subyacente a la Formación Une. Hay buenos afloramientos del mismo a lo largo de las carreteras de Chipaque-Choachí, Chipaque-Cáqueza (entre el Puente de Cáqueza y el Puente Serviez) y Une-Fosca.

En conjunto, la Formación Fómeque puede ser definida como margoso-arcillosa con lentejones característicos, calcáreos y arenáceos; los primeros parecen prevalecer al sur, los segundos al norte.

Está afectada por muchos cambios laterales de facies evidenciados no sólo por los mismos lentejones sino también por los elementos litológicos generales del conjunto.

En efecto, en los afloramientos de la zona entre Une, Fosca, Cáqueza y Chipaque, ha sido observada:

Una sucesión de arcillas, margas y margas arenáceas, de color gris plomizo a gris claro, con alteración amarilla, rojiza o blanquecina. Son raras las intercalaciones; sin embargo, existen unas de arenisca cuarzosa en los alrededores de El Ramal y en la quebrada de los Puentes.

Al contrario, en los afloramientos de la carretera Chipaque-Ubaque-Choachí, la facies se vuelve más arcillosa; así, cerca de Ubaque hay arcillas negras con cristales idiomorfos de yeso e intercalaciones de arenisca margosa; lo mismo sucede en Choachí, en la orilla del río Blanco.

El mapa anexo muestra la distribución de los lentejones; en el calcáreo que se encuentra a lo largo de la carretera Chipaque-Cáqueza, el examen petrográfico evidencia una sucesión de calizas fosilíferas y margas, en estratos de 20 cm. hasta 1 metro; en las margas se pueden encontrar pequeñas lentes de caliza y viceversa. Los contactos entre los dos tipos litológicos siguen a veces una superficie irregular. Los lentejones de arenisca se encuentran en los alrededores de Ubaque; tienen una posición estratigráfica muy alta, es decir, muy cerca al techo de la formación.

Sus componentes litológicos son areniscas y arcillas más bien oscuras; las areniscas presentan un grano que va de fino a medio. Cerca de la laguna de Ubaque hay un estrato de carbón por encima de uno de estos lentejones.

Es de particular importancia el examen de los contactos inferior y superior de esta formación; desafortunadamente no fue posible observar el inferior. Para el superior, a propósito del cual HUBACH (6) habla de "probable fuerte disconformidad", el autor desea evidenciar la situación debajo del Portachuelo, en donde la Formación Fómeque parece entrar en la Formación Une, y la presencia de los lentejones arenosos en Ubaque.

FORMACION UNE

Es la formación arenosa que en la bibliografía de Colombia se reconoce en el oriente y norte de la sabana. Está bien expuesta en toda la zona del levantamiento y su descripción ha sido hecha con base en las secciones de las carreteras Une-Fosca y Choachí-Bogotá, lo que ha permitido destacar algunas diferencias en su composición litológica, quedando ellas en los extremos sur y norte de la zona levantada, respectivamente.

a) Zona Une-Fosca: Sector Boquerón de Pueblo Viejo-Portachuelo.

No obstante algunas dificultades representadas por sub-plegamientos locales, el autor ha podido individualizar cinco niveles litológicos (de abajo hacia arriba).

Primer nivel. Alternancia de areniscas cuarzosas de grano desde fino hasta grueso con intercalaciones arcillosas de color negruzco.

En un pequeño afloramiento sobre la carretera hay una alternancia de areniscas cuarzosas grises, margas plumizas, arcillas carbonosas. El espesor de los estratos de arenisca y de marga se acerca a los dos metros, el de la arcilla al metro; la última contiene pequeños lentes de carbón. Aunque la observación quede limitada por los acarreo que cubren la zona, el autor está llevado a sugerir un ciclotema que empieza con la arenisca cuarzosa, sigue con la marga y termina con la arcilla.

No siendo visible la base, no es posible calcular la potencia total del nivel.

Segundo nivel. Sucesión monótona de margas plumizas en gruesos estratos de más de dos metros, con intercalaciones de arenisca cuarzosa y carbonosa, de 70 cm., más o menos, de espesor. También se encuentran sustancias carbonosas difundidas en las margas. Los contactos son bien definidos. La potencia probable de este nivel es de 70 metros.

Tercer nivel. Apretada sucesión de estratos pequeños con intercalaciones irregulares de estratos gruesos y compactos. Cada pequeño estrato, de dimensiones variables entre 2 y 20 cm., está formado por arenisca finísima, desde oscura hasta gris clara, con láminas carbonosas y arcillosas que confieren a la roca un bandeamiento muy delgado. Los planos de estratificación están marcados por velos de arcillas negras o por sim-

ples diastemas, por lo cual puede suceder que un mismo paquete de estratos se torne lateralmente macizo. La arenisca puede volverse un poco más arcillosa.

Los estratos gruesos compactos antes mencionados están constituidos por:

a) Areniscas margosas oscuras con sustancias carbonosas, alteración profunda de color carmelita y espesores de más de 1 metro;

b) Arcillas arenáceas que se deshojan; la alteración es carmelita oscura. El espesor de cada estrato es superior al metro;

c) Arenisca cuarzosa gris de 30 cm., más o menos, con láminas arcillosas negras.

Hacia la parte más alta del nivel se nota una variación en la frecuencia y en la composición de los elementos litológicos descritos en el sentido de que priman los estratos más gruesos, estando constituidos por

d) Areniscas de grano grueso, con sustancias carbonosas abundantes y manchas de óxidos de hierro, y

e) Margas negras con bandas delgadas y apretadas de arenisca cuarzosa fina.

Este nivel tiene potencia muy gruesa; desafortunadamente no ha sido posible medirlo por los sub-plegamientos que lo afectan.

Cuarto nivel. Es enteramente arcilloso. Sus elementos litológicos son:

a) Arcilla negra sin estratificación aparente; se rompe en esquirlas y se altera a carmelita oscuro. Es el elemento netamente prevaleciente;

b) Marga oscura con nódulos redondeados de diez cm. de radio, más o menos, o discoidales, formados por una costra de sílice y con núcleo de arcilla;

c) Arenisca cuarzosa gris, de grano medio, con láminas de arcilla. La marga y la arenisca se hallan como intercalaciones muy escasas y sólo en la parte más baja del nivel. El espesor total no supera los 50 metros.

Quinto nivel. Es el más alto; empieza con una asociación litológica similar a la superior del tercer nivel, y se desarrolla en el sentido de una regresión repentina a una facies exclusivamente arenosa. El autor encontró los siguientes elementos litológicos:

a) Estratos gruesos de arenisca blanca, poco cementada, de grano grueso, con estratificación cruzada;

b) Estratos lenticulares de conglomerado cuarzoso y de grosor no superior a los 15 cm.;

c) Arenisca margosa oscura con bandas delgadas de arenisca blanca de grano fino.

Estos tres elementos litológicos parecen sucederse el uno al otro sin orden alguno, y siguen hasta la zona del contacto con la Caliza de Chi-paque, en donde se encuentran:

d) Capas de arenisca cuarzosa, blanca, de grano medio, con estratificación cruzada y laminación de los componentes de la roca discordante con el plano de estratificación; tienen un espesor entre 10 y 20 cm.; es-

tán separadas por velos arcillosos y constituyen un paquete de unos metros de espesor.

Descansa sobre este paquete una alternancia de:

- e) Margas negras;
- f) Areniscas cuarzosas, de grano grueso, con estratificación cruzada, negruzcas por las sustancias carbonosas que contienen.

Los últimos elementos litológicos (d, e, f) presentan superficies de estratos casi siempre irregulares, cóncavas y convexas.

b) *Zona de Choachí: Carretera Choachí-Bogotá.*

La discontinuidad de los afloramientos a lo largo de esta carretera limita la descripción de la formación; sólo se enumerarán los elementos litológicos que prevalecen en la misma.

El autor encuentra:

1. Arenisca cuarzosa, blanquecina, de grano medio, en gruesos estratos entre los 0.80 y los 2.50 metros; la alteración es carmelita y poco profunda, a veces moteada con pequeñas manchas rojas. Es posible encontrar a veces en este elemento, especialmente en la parte alta de la formación, una disposición de los componentes de la roca discordante con el plano de estratificación.

2. Arenisca cuarzosa gris, de grano medio hasta grueso, en estratos entre los 10 y los 20 cm., con manchitas de óxidos de hierro. En general se altera siguiendo superficies irregulares pre-existentes en la roca y constituídas por lentecitos o laminas de arcilla carbonosa.

3. Arenisca gris oscura, finísima, micácea, frecuentemente con bandas claras y oscuras, en estratos entre los 2 y los 20 cm. predominando el espesor de 5 cm.

4. Arcillas carbonosas, en láminas sutiles, y areniscas cuarzosas, de grano grueso, lenticulares; constituyen las intercalaciones que van entre los elementos antes mencionados; aquéllos, además, se juntan por diastemas.

5. Arcillas negras en estratos hasta de 2 metros; se rompen dando esquirlas. A veces se subdividen en pequeños estratos; se alteran a carmelita claro. A menudo se encuentran lentecitos de carbón y gruesos nódulos redondeados o discoidales ya encontrados en la zona Une-Fosca.

En la parte media de la formación ha sido observado un estrato grueso de caliza fétida, fosilífera.

Los elementos litológicos descritos se alternan irregularmente en la parte inferior y media de la formación dándole un aspecto más bien monótono; en cambio en la parte superior y más nor-oriental, se observan notables diferencias de facies de tal manera que el contacto entre la Formación Une y la Formación Chipaque se desarrolla en una zona muy extensa en la cual aparecen niveles, con elementos litológicos típicos de la formación descrita, alternando con otros propios de la superior.

Es muy probable, también, la presencia de cambios laterales a facies más arcillosas, que deberían desarrollarse claramente más al noreste.

Examinando desde un punto de vista general la Formación Une, hay que evidenciar:

- a) La presencia de elementos litológicos de ambiente litoral, su abundancia y su frecuencia en toda la formación;
- b) La marcada prevalencia de los elementos arenosos y su extrema riqueza en cuarzo;
- c) El carácter más litoral de la parte suroeste en relación a la del noreste.

FORMACION CHIPAQUE

El autor se refiere al conjunto que descansa sobre la Formación Une y está subyacente a la Arenisca Dura; comprende también todo el conjunto de estratos que HUBACH y otros llamaron Guadalupe Inferior. Según el autor, no hay diferencias litológicas que justifiquen la subdivisión litológica operada por los autores precedentes. Además, los estratos calcáreos que contienen la *Exogyra mermeti* (COQUAND) o *Ex. squamata* (D'ORBIGNY)¹, la *Exogyra polygona* y el *Pecten tenouklensis*, y que servirían como guía para establecer el tope del Villeta, se hallan mucho más arriba de la población de Chipaque, por la cual se hacía pasar el contacto entre el Villeta y el Guadalupe.

El examen de la formación ha sido hecho en los afloramientos a lo largo de las carreteras Choachí-Bogotá (Camino de la Sabaneta-Quebrada del Raizal) y Chipaque-Bogotá.

Los elementos litológicos que caracterizan, alternando, la Formación Chipaque, son los siguientes:

1. Arcillas negras, en esquistos; se presentan en estratos con potencia muy variable que es función de la frecuencia de las intercalaciones arenáceas y calcáreo-arenáceas; es el elemento litológico prevaleciente.

2. Caliza arenácea; es la intercalación más frecuente en las arcillas. Sus dimensiones varían entre los 5 cm. y el metro; es abundantemente fosilífera (lamelibranquios y gasterópodos) tanto que puede alcanzar a formar estratos de lumaquela.

3. Areniscas, de grano fino, con bandas negras muy delgadas que encierran pequeñas zonas amigdaloides y lenticulares más claras, en pequeños estratos de pocos centímetros de espesor y en apretada sucesión, o en estratos de casi un metro. Generalmente forman pequeños niveles arenosos en la masa arcillosa.

Examinando esta formación en conjunto, el autor evidencia la facies arcillosa de la misma y su constancia en sentido vertical y horizontal; en toda la extensión del área estudiada se encuentran siempre arcillas con intercalaciones calcáreo-arenosas y pequeños niveles arenosos más frecuentes en la parte baja y en la alta.

¹ E. HUBACH en sus escritos se refiere a la primera forma, en cambio H. BÜRGL, la llama en la segunda.

El contacto con la Formación Une, subyacente, es muy gradual, aunque más rápido al suroeste que al noreste en donde la facies arcillosa es eterópica con la arenosa del techo de la Formación Une.

También el contacto con la Formación Arenisca Dura es gradual; está caracterizado por la presencia de los niveles antes dichos, formados por la apretada sucesión de pequeños estratos de arenisca finísima bandeada a veces con intercalaciones de estratos muy delgados de liditas, y de estratos de arenisca fina bandeada de 50 cm. de grosor.

GRUPO GUADALUPE

FORMACION ARENISCA DURA

Es el conjunto de rocas que HUBACH (7) señala como nivel más bajo del Guadalupe Superior. Esta formación ha sido examinada a lo largo de la carretera Choachí-Bogotá y en el descenso de la quebrada del Raizal.

En la parte más baja el autor observó lo siguiente:

Liditas, en sucesión casi continua de estratos entre los 5 y los 10 centímetros de espesor. La roca es gris clara, con raras bandas negras, silícea, con fractura a veces concoide; ordinariamente presenta fracturas normales al plano de estratificación. Cada estrato se separa del contiguo por diastema o por una sutil intercalación (max. 1 cm.) de arcilla arenácea negra. Es el elemento prevaleciente. En él se intercalan:

- a) Arenisca cuarzosa, fina, blanquecina, en estratos de 1 metro, y
- b) Arenisca cuarzosa, finísima, en estratos de 20 centímetros, con apretadas bandas negras e irregulares que encierran amígdalas más claras.

Subiendo por la quebrada del Raizal se puede observar el conjunto hasta su tope; los elementos litológicos prevalecientes son los siguientes:

1. Arenisca cuarzosa, de color gris claro, de grano desde fino hasta medio, en gruesos estratos de 1 metro y más, pudiendo alcanzar los 10 metros. En la base y en el techo de estos estratos la arenisca es a veces menos compacta y presenta rastros carbonosos. En la superficie hay cavidades que se tornan más pequeñas y apretadas en la base y en el techo. Es el elemento prevaleciente. En la zona entre el Alto de la Viga y Cruz Verde esta arenisca es de grano más grueso y menos compacta.

2. Sucesión apretada, hasta de más de 2 metros, de pequeños estratos entre los 2 y los 5 cm. de espesor. Cada uno de ellos está formado por arenisca y arcilla con textura amigdaloides, es decir, se puede hablar de amígdalas de arenisca incluídas en la arcilla y viceversa. En la zona del Alto de la Viga - Cruz Verde, está muy desarrollado este elemento.

3. Areniscas finísimas, en estratos entre los 80 y los 120 cm., de color gris claro; la característica más notable es la gran cantidad de sílice con la cual están mezclados los componentes arenáceos. Esporádicamente la roca toma una coloración rojiza. La fractura es concoide. A veces se observan sutiles e irregulares laminitas de arcilla, creando una ulterior sub-

división de los estratos. Hay intercalaciones de estratos de lidita, de 10 centímetros de grosor, con costras de arenisca arcillosa, bandeada, en el techo y en la base.

4. Liditas en estratos apretados de 5 centímetros; forman sucesiones que pueden alcanzar los 4 metros. Aparecen en la parte más alta alternando con el elemento litológico precedente en unos 30 metros de espesor.

FORMACION PLAENERS

El autor se refiere a la parte inferior, en facies arcilloso-lidítica, del conjunto que HUBACH llamó "nivel" u "horizonte de los plaeners", prefiriendo hacer otra Formación de la parte superior, uniendo la Arenisca de Labor con el "nivel" Arenisca Tierna de HUBACH. El autor ha escogido esta subdivisión no sólo por criterios de similitud de facies, sino también, por la comprobación en la investigación de campo de que los plaeners se muestran en forma de una depresión topográfica, mientras que las Formaciones "Labor y Tierna", y "Arenisca Dura" se hallan en forma de escarpes abruptos.

Ya se habló de los elementos litológicos cuya alternancia marca el pasaje gradual desde la formación subyacente a la Formación Plaeners. Se pone el límite de las dos Formaciones en el estrato más alto de arenisca.

La Formación de los Plaeners empieza, entonces, con unos metros de lidita para volverse en seguida una sucesión arcillosa y arenosa. Infortunadamente no ha sido posible observarla bien hasta su parte superior, donde se encuentra:

1. Apretada sucesión, en estratos de 5 centímetros de grosor, de liditas puras, arcillosas o margosas, oscuras con bandas claras, de arcillas y de areniscas finas, con lenticitos de sílice. En la zona de contacto con la formación superyacente hay:

2. Sucesión de estratos de 5 centímetros, de arenisca fina bandeada con intercalaciones de arenisca fina blanquecina, de textura amigdalóidea y de 50 centímetros de grosor.

El espesor de la Formación es de 120 metros, más o menos.

Las dislocaciones que afectan las formaciones, tal vez sean el origen de la desaparición o adelgazamiento de la Formación Plaeners en las faldas de los cerros Alto de La Teta y Guadalupe, y en la zona del Boquerón de La Clueca.

FORMACION LABOR Y TIERNA

Recorriendo la carretera desde Choachí hacia Bogotá, antes de llegar al Páramo, en la hoya de la quebrada del Rajadero, hay buenos afloramientos de este conjunto.

El elemento litológico que caracteriza y prevalece en el nivel inferior (LABOR), es la arenisca cuarzosa, de grano fino hasta medio, blanquecina, con bandas oscuras que pueden tornarse tupidas de tal manera que dan origen a una textura amigdalóidea, en gruesos estratos de 5-6 me-

tros de espesor. Los estratos más altos presentan manchitas rojizas más o menos juntas. Este elemento forma una sucesión casi continua con raras intercalaciones de arenisca con bandas negras, en estratos de 1 metro, y arcilla negra en estratos que no alcanzan a los 60 centímetros. Este conjunto mide alrededor de 60 metros.

Una sucesión de 15 metros de finos estratos de arcillas y margas silíceas, bajo la cual yace un pequeño estrato de conglomerado cuarzo, superyace y determina el paso al nivel arenoso superior.

Como base de la arenisca superior (Tierna), el autor considera una apretada sucesión de 2 metros de finos estratos de arenisca oscura y arenisca blanca con banditas negras. Siguen:

Estratos de arenisca cuarzo de 2 metros de espesor, de grano medio, con grandes manchas rojizas, alternando con estratos de metro y medio de espesor compuestos por apretada sucesión de areniscas oscuras con bandas claras; los dos apartes anteriores suman unos 20 metros.

Siguen otros 20 metros de:

Arenisca cuarzo en bancos de 2 metros, de grano muy grueso, color rojizo y disposición discordante de los componentes con las superficies de estratificación.

A continuación se encuentran:

Dos estratos de dos metros cada uno de arenisca cuarzo blanca, de grano fino, y estratos de espesor muy variable de areniscas blancas, verdosas o rojizas con pequeños lentejones de margas negras y rojas.

Aunque no haya sido posible observar el contacto con el Guaduas, la potencia total de la formación no parece superar los 130 metros.

Para concluir, el autor quiere evidenciar:

1. El absoluto predominio de las areniscas en los dos niveles.
2. La pequeña variación en el grano de los componentes del nivel inferior.
3. La extrema variabilidad del grano del nivel superior.

FORMACIONES GUADUAS Y BOGOTA (Indiferenciadas).

No hay un sitio en toda la zona levantada que ofrezca la posibilidad de una buena observación de las formaciones ni siquiera para una descripción a grandes rasgos; por lo tanto el autor se atiene a la que dio de aquéllas HUBACH (6) y las reúne en un mismo conjunto. Sin embargo, parece aflorar la parte baja del Guaduas en la bajada del páramo de Mata Redonda al pueblo de Choachí, donde se encuentran arenisca (la Guía ?), arcillas franjeadas muchas veces carbonáceas y mantos de carbón.

Desde el Boquerón de La Clueca hasta el Alto de Los Tunjos y desde el Guadalupe hacia el sur, parecen faltar los niveles inferiores aflorando en su mayor parte gredas rojizas, azulosas, verdosas y moradas, que son las que la bibliografía de Colombia indica como pertenecientes al Guaduas superior.

Los datos de campo sugieren que la falta de aquéllos es debida a hechos tectónicos.

La Formación Bogotá, cuyo límite con el Guaduas está determinado por la presencia de la Arenisca del Cacho (7,9), parece aflorar en la hoya misma del río Teusacá, en un pequeño trecho.

DEPOSITOS DE GLACIACION

En las hoyas de los ríos San Francisco y San Cristóbal, en la bajada del páramo al pueblo de Choachí, se encuentran depósitos constituidos por bloques angulosos provenientes del Guadalupe, de tamaño variable, que alcanzan, a menudo, varios metros cúbicos en una matriz arenosa y arcillosa, sin indicios de estratificación. Aunque la situación en la bajada del páramo sugiera la hipótesis de acarreo de los cerros, el autor propende por la idea de STUTZER que considera los depósitos como restos de glaciaciones.

T E C T O N I C A

El autor se propone exponer los elementos geométricos de las estructuras con el fin de llegar al conocimiento del significado de las mismas, para intentar por último, una construcción tectogenética interpretativa.

Se consideran las unidades estructurales que, a grandes rasgos, la bibliografía de Colombia indica con los nombres de "anticlinal de Bogotá", "sinclinal de Une" y "anticlinal de Choachí" (sólo el flanco occidental).

Los ejes son paralelos los unos a los otros con una dirección nortesur que sólo localmente y en la parte sur varía unos grados en sentido noreste-suroeste. A grandes rasgos, estas unidades estructurales, con excepción del sinclinal, siguen teniendo los mismos caracteres en toda la zona levantada. En efecto, el anticlinal de Bogotá sigue con su flanco occidental invertido, con vergencia oeste, desde el Zuque hacia el sur; el flanco occidental del anticlinal de Choachí sigue lo mismo en toda su longitud, casi no perturbado por hechos tectónicos secundarios; en cambio el sinclinal de Une, ancho y casi perfectamente simétrico al sur de Une, hunde un poco su eje en los alrededores de Chipaque y termina bruscamente como sinclinal "in sensu stricto", al sur de Cruz Verde, desarrollándose más bien al norte un graben, sobre cuyo significado el autor discutirá más adelante.

Examinando en detalle las unidades estructurales por separado, tenemos:

1. Anticlinal de Bogotá; el perfil de montes al este de Bogotá constituye el flanco occidental de este anticlinal asimétrico que tiene su plan axial detrás de los mismos, como lo sugiere la situación al este del Boquerón de Chipaque. Es una estructura que longitudinalmente presenta muchos cambios y está afectada por elementos estructurales a veces muy importantes aunque de reducidas dimensiones. Desde el Boquerón de Chipaque hasta el Zuque el flanco occidental, sin llegar a la horizontalidad,

está invertido. La reducción que allí afecta a las Formaciones "Plaeners", y "Labor y Tierna" y a la parte inferior de la Formación Guaduas, junto a una pequeña discordancia, inducen al autor a situar una falla, con plano hundido hacia el este, a lo largo de los cerros comprendidos en esta zona. Tendría el mismo significado que la falla de Monserrate que CLEMENS y UJUETA juzgaron de pequeño cabalgamiento. En la zona comprendida entre la falla del Zuque y la falla de Bogotá (4,9) el anticlinal no está afectado por las inversiones antes dichas, con excepción de una de extensión muy limitada arriba de la iglesia de La Peña. En todo este flanco occidental los buzamientos son bastante fuertes y tienen un grueso intervalo de variación.

El flanco oriental es contiguo al flanco occidental del sinclinal de Une hasta Cruz Verde; más al norte, donde ya no se puede individualizar dicho sinclinal, llama la atención una inversión, evidenciada porque las capas de la "Labor y Tierna" subyacen a la "Arenisca Dura", la cual tiene su límite norte en la Cuchilla de Santa Bárbara (9); no ha sido posible individualizar su límite sur por falta de elementos de juicio. Este flanco también está afectado por fallas transversales.

2. Graben del Teusacá-Palmar: se le conoce como Sinclinal Invertido del Teusacá. Tiene su límite norte en el pueblo de La Calera y su límite sur en el paralelo que pasa por el Boquerón de La Laja. Al este y al oeste, en toda su longitud, lo limitan dos fallas.

Al oeste:

Falla del Buitre. El plano de dicha falla empieza en el norte a la altura del paralelo de Usaquén y se parte en dos cerca al Alto del Buitre; buza al oeste unos 30 grados (calculados aproximadamente), quedando levantado su labio occidental. Los buzamientos de las capas pertenecientes a los dos labios varían entre los 30 y los 50 grados al oeste; sólo cerca al Alto del Buitre, los buzamientos del labio oriental, son al este.

Al este:

Falla del Teusacá-Palmar; desde el pueblo de La Calera sigue hasta el cerro de Pelasochas. Su plano, observado en los alrededores de este cerro, buza al oeste. Estando levantado el labio oriental, el autor sugiere que se trata de una falla normal; aunque falten observaciones directas para juzgar la inclinación de ella, se deduce debido a que las rocas pertenecientes a los dos labios vienen en contacto según una superficie cuya intersección con la topografía indica un plano con inclinación cercana a la vertical.

Los buzamientos tomados en la zona del graben muestran que entre las dos fallas descritas se desarrolla un sinclinal con el flanco occidental invertido y el oriental muy caótico a lo largo de casi todo su desarrollo longitudinal, hasta la parte más meridional; allí esta estructura es sustituida por la que es la continuación hacia el este del flanco oriental del anticlinal de Bogotá.

3. Anticlinal de Choachí: hay sólo que señalar la presencia de unas fallas transversales y un cambio de dirección en sentido noreste-suroeste en la zona comprendida entre Peña Azul y Ubaque.

Con lo dicho puede ensayarse una construcción tectogenética a lo menos coherente con los conocimientos actuales.

La rápida reseña que el autor ha hecho de los elementos geométricos evidencia estructuras con caracteres diferentes al sur y al norte del paralelo que pasa por el Boquerón de La Laja y Cruz Verde. En efecto, a las dos zonas es común sólo la inversión y cabalgamiento del flanco occidental del anticlinal de Bogotá, cuyo sentido indicaría el de los empujes. Desarrollo diferente tuvo este anticlinal entre El Zuque y Guadalupe, donde no se verifican las inversiones pero más bien un levantamiento fuerte, en bloque, de un anticlinal con flanco occidental muy pendiente, y fallas transversales y longitudinales; de las primeras, la del Zuque y la de Bogotá tienen la función de independizar el bloque para que se pudiera mover de manera diferente a los demás permitiendo las dislocaciones transversales que se observan en sus labios y la gran diferencia en el desarrollo en los arcos de los pliegues en contacto.

Hay que evidenciar que arriba de la iglesia de La Peña, entre la quebrada de Manzanares y la quebrada Pan de Azúcar, hay el tumbamiento y la inversión de la "Labor y Tierna", con buzamientos muy variables en pequeños trechos; se trataría de limitados fenómenos de "decoiffement" (deslizamiento escalonado) favorecidos por la presencia de la Formación Plaeners que tiene la función de lubricante para el despegue de la "Labor y Tierna" a lo largo del rumbo de la pendiente estructural.

Una deformación no común en las dos zonas susodichas es el Graben del Teusacá-Palmar. Sobre el particular juega un papel importante la falla transversal al sur del Alto de Cruz Verde, por lo que pone en contacto, como el mapa geológico bien lo evidencia, el sinclinal de Une con el flanco normal del anticlinal de Bogotá, que llega aquí hasta el cerro de Pelasochas, y permite un desarrollo estructural independiente. Es en este flanco sometido a fuerzas de carácter distensivo, en donde se desarrolla el graben. Ligadas a la formación de éste son las inversiones que afectan las rocas en los dos labios de la falla del Buitre, en los alrededores y al sur del Boquerón de La Clueca; el autor las interpreta como consecuencia de la deformación fundamental inicial, la falla; durante el movimiento, los estratos en los dos labios se plegaron por arrastre.

Sería importante encontrar el límite sur exacto de las inversiones; tal vez se limiten a una zona correspondiente en el oeste a la comprendida entre el Zuque y el Guadalupe.

BIBLIOGRAFIA

1. BÜRGL, H. — *Biostratigrafía de la Sabana de Bogotá y sus alrededores*. Boletín Geológico, volumen V, número 2; páginas 113-185. 1957.
2. BÜRGL, H. — *Historia Geológica de Colombia*. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias. Ex. Volumen XI, número 43, páginas 137-191. 1961.
3. CLEMENTS, T. — *La falla de Bogotá, Colombia, Sur América*. Informe número 69. Servicio Geológico Nacional. 1939.
4. DE LA ESPRIELLA, R. — *Geología de la carretera Bogotá-Choachí*. Servicio Geológico Nacional. Informe número 1356. 1960.
5. JULIVERT, M. — *El papel de la gravedad y la erosión en las estructuras del borde oriental de la Sabana de Bogotá*. Boletín de Geología. Universidad Industrial de Santander, número 8.

6. HUBACH, E. — *Estratigrafía de la Sabana de Bogotá y alrededores*. Boletín Geológico, volumen V, número 2, páginas 93-112. 1951.
7. HUBACH, E. — *Contribución a las unidades estratigráficas de Colombia*. Servicio Geológico Nacional. Informe número 1212. 1957.
8. STUTZER, O. — *Acerca de algunos rastros de glaciación diluvial en la cordillera próxima a Bogotá*. CEGOC II, pp. 7-15, 1925.
9. UJUETA, G. — *Geología del Noreste de Bogotá*. Servicio Geológico Nacional. Informe número 1412. 1962.

**CONTRIBUCION AL CONOCIMIENTO DE LA CORDILLERA
OCCIDENTAL. SECCION CARRETERA CALI - BUENAVENTURA**

POR
H. WOLFGANG NELSON
PETROLOGO

INFORME No. 1051

SERVICIO GEOLOGICO NACIONAL
BOGOTA, 1962

CONTENIDO:

RESUMEN	85
I. INTRODUCCIÓN	87
II. OBSERVACIONES FISOGRÁFICAS DE LA ZONA RECORRIDA.	89
III. ESTUDIOS ANTERIORES	90
IV. GRUPO DEL DAGUA:	
1. Observaciones generales	91
2. El miembro grafitico	92
3. El miembro calcáreo	92
4. El miembro arcilloso-tobáceo	93
5. El miembro silicificado (Formación del Espinal, de <i>Hu- bach-Alvarado</i>)	94
V. GRUPO DIABÁSICO:	
1. Observaciones generales	95
2. Características petrográficas	96
3. Intercalaciones sedimentarias	98
4. Características geológicas de los derrames basálticos	99
5. Propilitización.	102
VI. LA INTRUSIÓN TONALÍTICA.	104
VII. LAS FORMACIONES CENOZOICAS:	
1. Formación del Cauca	105
2. Terciario Superior	106
VIII. OBSERVACIONES ESTRATIGRÁFICAS Y TECTÓNICAS	106
PLANCHAS:	
1. Corte Geológico (preliminar) de la Cordillera Occidental entre Cali-Buenaventura.	
2. Croquis que indica la situación geológica en el sector Cali- Queremal-La Elsa-Dagua (Cordillera Occidental).	

R E S U M E N

Durante una exploración corta del trayecto Cali-Buenaventura, se elaboró un estudio petrológico de las formaciones más antiguas de esta sección de la Cordillera Occidental.

En el Capítulo IV se trata de los esquistos del Grupo del Dagua, los cuales —según su facies— fueron subdivididos en cuatro miembros, a saber: el miembro grafítico, el miembro calcáreo, el miembro arcilloso-tobáceo y el miembro silicificado.

En el Capítulo V se definen las características de las rocas volcánicas e intercalaciones sedimentarias del Grupo Diabásico; luego se tratarán los efectos de una propilitización, que ha alterado las diabasas cerca de la cumbre: allí se indica la importancia económica que puede tener dicha propilitización.

El Capítulo VI trata de una intrusión tonalítica en el Grupo del Dagua, y de sus efectos de contacto.

Al final, en el Capítulo VIII, se dan los conceptos acerca de la constitución tectónica del terreno recorrido. Se expone, que las fajas de esquistos silíceos, encontradas en la margen izquierda de los ríos Dagua y Jordán, y al W de Queremal, se presentan debido al fracturamiento en escamas grandes, en el flanco oriental de un sinclinal comprimido y fracturado. Luego se presume, que las diabasas que se extienden a partir de la falla del Dagua-Jordán hasta el Terciario inferior cerca de Cali, se hallan plegadas en una estructura anticlinal.

I — INTRODUCCION

El presente estudio fue realizado en relación con las labores actuales de la Sección de Fotogeología, para el desarrollo minero de las zonas carboníferas del Departamento del Valle del Cauca. Geológicamente, las vetas productivas forman parte del Terciario inferior. Esta formación bordea como una faja estrecha el extremo lado oriental de la Cordillera Occidental, donde sus estratos se hallan fuertemente plegados contra las formaciones mesozoicas de la propia Cordillera. La actual configuración estructural se debe al plegamiento andino.

En una comisión combinada, que se llevó a cabo del 10 al 23 de diciembre de 1953, el fotogeólogo, doctor Jan Keizer, practicó el estudio detenido del flanco oriental de la Cordillera en la vecindad de San Antonio (Municipio de Jamundí), especialmente en la zona productiva. En esa labor fue ayudado por el Petrólogo-auxiliar H. Villegas G. Al mismo tiempo, el suscrito, ayudado por el Petrólogo-aspirante, A. Restrepo J., llevó a cabo un levantamiento preliminar de la región interior, siguiendo la carretera al mar (Cali-Buenaventura) y algunos de sus ramales.

Los trabajos realizados en el campo llevaron a un concepto acerca de la constitución tectónica de esta zona, el cual se halla expuesto en el perfil adjunto. Los estudios microscópicos, practicados en el laboratorio, permitieron definir más detalladamente la índole de las distintas formaciones encontradas. El doctor J. Keizer analizó las fotos aéreas, que cubren parte de la región recorrida, y logró trazar los límites observados entre las formaciones principales, por una mayor extensión. Gracias a este hecho fue posible confeccionar un croquis-geológico más amplio. Para su perfeccionamiento se necesitan más observaciones en el terreno, así como también para la subdivisión litológica más detallada, especialmente del Grupo del Dagua. Tal investigación intensificada contribuirá indudablemente a un mejor entendimiento de los sucesos durante el desarrollo geosinclinal del Occidente Andino. Además, es muy bien posible que durante esas labores se encuentren fósiles, pues el grado de metamorfismo de esta Cordillera es relativamente débil y su facies es marina.

Al terminar este informe, quiero dejar constancia de mis agradecimientos, en primer lugar hacia mi colega y amigo, el doctor J. Keizer, con quien discutí muchos de los problemas, de manera fructífera; y luego agradezco el espíritu con que colaboraron los señores A. Restrepo J. y H. Villegas G., durante los trabajos en el campo y en la oficina. También quedo muy agradecido a la Dirección de la Corporación de Carbones, en Cali, la cual me facilitó en forma considerable la realización de los trabajos. Los dibujos anexos fueron elaborados cuidadosamente por la señora Blanca Gómez M.

II — OBSERVACIONES FISIOGRAFICAS DE LA ZONA RECORRIDA

En vista del carácter preliminar de este informe, nos limitaremos a referir sólo algunos apuntes, tomados a lo largo de la ruta recorrida.

Al salir de Cali, la carretera al mar sube de manera continua, siguiendo primeramente el valle del río Cali, para pasar pronto a la cuenca del río Aguacatal, hasta llegar a la cumbre. Durante este trayecto se tiene una vista magnífica del valle interandino del Cauca, situado entre las Cordilleras Occidental y Central. Este valle alcanza unos 200 kilómetros de largo, y tiene cerca de Cali una anchura de 30 kilómetros, siendo de una belleza excepcional por su lisura perfecta.

La cumbre que se alcanza, es llamativa por su forma morfológica, que es la de una cuchilla larga y angosta. Además, desempeña el papel de línea divisoria de aguas entre el Pacífico y el Cauca. La desigualdad en la anchura de ambos flancos de la Cordillera Occidental, es muy notoria: el flanco caucano mide unos 10 kilómetros, en tanto que el opuesto alcanza unos 40 kilómetros; por consiguiente, en este flanco costanero nacen los ríos más importantes.

El paso de la carretera por la cumbre recibe el nombre de “Mares”, y se halla a una altura de 2.000 metros sobre el nivel del mar, o sea aproximadamente 1.000 metros sobre el nivel del valle caucano.

Al continuar el viaje hacia el Occidente, la carretera se desvía en dos grandes curvas de otras tantas cuchillas, que se elevan hasta la misma altura que la del divorcio de aguas principal. Durante este trayecto llama la atención la planicie alargada, en cuyo extremo meridional se halla construída la población El Salado. La caída brusca de la loma al Occidente, hacia la planicie, es muy notoria, y la bordea casi, según una línea recta. Evidentemente esta línea indica una falla importante, por la cual se hundió el bloque oriental; la depresión producida se rellenó luégo con sedimentos diluviales.

A partir de Queremal, la carretera sigue la hoya hidrográfica del río Anchicayá, hasta llegar al plano costanero. Se observa que los ríos han cortado profundamente esa vertiente de la Cordillera. Además, las pendientes están cubiertas por selva densa; en total, el terreno es poco accesible.

El plano costanero mismo no fue recorrido por falta de tiempo; se extiende por unos 30 kilómetros, hasta llegar al Pacífico.

Geológicamente la Cordillera está constituída esencialmente por dos formaciones. Es decir, en la parte oriental predominan diabasas, con excepción del extremo este, donde afloran estratos muy erguidos del Terciario Inferior. En cambio, la parte occidental está formada principalmente por esquistos, débilmente metamórficos. En ellos se observa una intru-

sión bastante grande de tonalitas, con contactos bien desarrollados. Entre las formaciones más modernas hay que señalar la extensa capa de laterita, que cubre gran parte de la superficie. Esta, así como las formaciones diluviales y aluviales, no ha sido considerada en este estudio.

III — ESTUDIOS ANTERIORES

Los datos geológicos, en cuanto a la constitución de la propia Cordillera, son muy escasos. La información más completa la debemos a E. HUBACH y B. ALVARADO (1931 - 1932), quienes durante una exploración intensiva de la hoya del Cauca, con fines económicos, extendieron las investigaciones hasta la angostura del Dagua. Los esquistos mesozoicos (prediabásicos), que asoman allí, fueron descritos y definidos como las formaciones del Espinal y del Dagua.

Anteriormente al mencionado estudio, O. STUTZER (1926) efectuó una travesía completa por esta sección de la Cordillera, siguiendo la línea del ferrocarril Cali-Buenaventura. El recorrido rápido no permitió establecer las relaciones precisas entre las formaciones geológicas encontradas, y los datos se redujeron principalmente a la descripción de los afloramientos sucesivos.

Luégo, en el año 1948, ROYO y GÓMEZ tuvo la ocasión de recorrer la carretera al mar, durante una comisión en los Departamentos del Valle y del Cauca. El tiempo disponible de sólo dos días, no le permitió establecer datos fundamentales, sino proporcionar más bien un concepto erróneo, especialmente por lo que se refiere al trayecto W. de Queremal.

Aunque es de finalidad distinta, merece citarse la obra de A. GANSSER (1950) sobre la isla Gorgona, en el Pacífico, cerca de la costa colombiana. Esta publicación va acompañada de un mapa geológico de la parte NW. del Continente suramericano. Aunque este mapa es de escala 1:5.000.000, sorprende la cantidad de detalles que nos proporciona, así como su exactitud.

A continuación citamos algunas publicaciones sobre la Cordillera Occidental, en las cuales algunos se refieren a otras zonas, distintas de la visitada:

- A. GANSSER, 1950.—Geological and Petrographical notes on Gorgona Island in relation to NW. South America, S. M. P. M., vol. 30, 1950.
- E. GROSSE, 1926.—El Terciario Carbonífero de Antioquia.
- E. GROSSE, 1934.—Acerca de la geología del sur de Colombia, II. (Cuenca del Patía y Nariño). *Comp. Est. Of. de Col.*, Tomo III.
- E. HUBACH y B. ALVARADO, 1932.—“La altiplanicie de Paletará (Departamento del Cauca)”. *Comp. Est. Of. de Col.*, Tomo VI.
- E. HUBACH y B. ALVARADO, 1934.—“Geología de los Departamentos del Valle y del Cauca, en especial del carbón”. *Informe número 87*, Archivo del Instituto Geológico Nacional.
- E. HUBACH, 1952.—“Informe geológico preliminar sobre los túneles de Felidia y Mares (Ferrocarril Cali-Buenaventura)”. *Informe número 842*, Archivo Instituto Geológico Nacional.

- J. KEIZER, 1954.—“Contribución al conocimiento de la Cordillera Occidental; la geología del flanco oriental de la Cordillera Occidental en la región de San Antonio, Municipio de Jamundí (Valle del Cauca)”. *Informe número 1.046*, Archivo Instituto Geológico Nacional.
- ROYO Y GÓMEZ, 1948.—“Datos geológicos de la carretera al mar, Vali-Buenaventura”. *Informe número 665*, Archivo Instituto Geológico Nacional.
- R. SCHEIBE, 1919.—“Geología del sur de Antioquia”. *Comp. Est. Of. de Col.*, Tomo I.
- O. STUTZER, 1926.—“Acerca de la geología de la Cordillera Occidental entre Cali y Buenaventura”. *Comp. Est. Of. de Col.*, Tomo II.
- O. STUTZER, 1926.—“Contribución a la geología del foso del Cauca-Patía”. *Comp. Est. Oficiales de Colombia*, Tomo II.
- V. SUÁREZ HOYOS, 1943.—“Informe geológico sobre el proyecto de la planta hidroeléctrica del río Anchicayá, Valle del Cauca”. *Comp. Est. Of. de Colombia*, Tomo VIII.

IV — GRUPO DEL DAGUA

1. OBSERVACIONES GENERALES

El “Grupo del Dagua” comprende los estratos potentes de esquistos, que yacen debajo del Grupo Diabásico. La facies de estos esquistos es predominantemente arcillosa y de un metamorfismo débil. Al parecer, están en contacto normal con el Grupo Diabásico. El Grupo del Dagua comprende las formaciones del Espinal y del Dagua, distinguidas por E. HUBACH y B. ALVARADO (1931/2) durante las exploraciones en la vecindad de la población de Dagua y en la angostura del río Dagua, al norte de aquella población. En el presente estudio dichas formaciones fueron unidas en un solo grupo por el motivo de la transición poco susceptible entre ambas.

La participación de este grupo en la constitución de la Cordillera Occidental es muy amplia. En la sección estudiada, aflora en toda la parte occidental. Vuelve a aflorar más al este, debido a complicaciones tectónicas, en donde fue observado en la margen izquierda del río Dagua y —más al sur— del río Jordán. Otra faja semejante se halla un poco al W. de Queremal. Es precisamente en estas fajas, donde se presenta el contacto normal con el Grupo Diabásico supra-yacente. El límite inferior del Grupo no está expuesto y, por consiguiente, se desconoce su magnitud total, así como la constitución de la parte inferior.

No obstante el aparente carácter homogéneo, algunas variaciones en el desarrollo litológico permiten la subdivisión del Grupo del Dagua, así:

El miembro silicificado	(el más moderno).
El miembro arcilloso-tobáceo	
El miembro calcáreo	
El miembro grafitico	(el más antiguo).

Subrayamos aquí, que la mencionada subdivisión tiene sólo un carácter preliminar. Exploraciones futuras deben definir más detenidamente cada miembro, o también pueden llevar a la separación de otros miembros, a medida que se obtenga una idea más amplia del desarrollo de la facies

de este Grupo. Además, el hallazgo de fósiles durante tales investigaciones es muy bien posible, pues la facies es marina y el grado de metamorfismo es más bien débil.

2. EL MIEMBRO GRAFITICO

Los estratos más inferiores, que están expuestos del Grupo del Dagua, están formados esencialmente por esquistos grafiticos. En parte se trata de esquistos grafiticos pizarrosos, frecuentemente veteados por cuarzo o con lentes de cuarzo; otras veces se trata de esquistos grafiticos que al tacto son finamente arenosos. De vez en cuando se observan interposiciones delgadas de esquistos arenosos, en los cuales se alcanza a distinguir a simple vista los finos granos constituyentes. Su composición corresponde a una arcosa (de grano fino), pues en la sección delgada se observa su constitución esencialmente por cuarzo y albita (evidentemente plagioclasa albitizada), luego escamas finas de biotita y sericita, y cintas paralelas de material grafitoso. Aunque la estructura es compacta y se observan recristalizaciones debido al metamorfismo dinámico, se distingue todavía claramente el carácter clástico de la roca.

La magnitud de este miembro grafitico debe ser considerable, puesto que aflora en una gran extensión y su carácter homogéneo hace sospechar que continúa aún bastante hacia la base no expuesta. Hacia arriba la proporción en material grafitoso parece disminuir, pero aquí las observaciones se dificultan por la presencia de un cuerpo intrusivo de tonalita. Muy interesante es la corona de contacto, formada por esa intrusión.

El metamorfismo termal transformó los esquistos a cornubianitas, las cuales conservan todavía una débil esquistosidad; luego, están atravesadas por apófisis de cuarzo y de pegmatita. Entre las cornubianitas predominan micacitas, de color pardusco y a veces lustrosas por las hojas finas de biotita. En algunas micacitas se formó andalusita, en la variedad de quiasolita. Este mineral puede presentarse en porfiroblastos prismáticos bien desarrollados y notablemente frescos, cuyo tamaño alcanza a 2 centímetros; otras veces se observa sólo la pseudomorfosis de este mineral (y entonces en cristales más finos), completamente alterado a sericita.

Excepcionalmente se encuentran, también, cornubianitas calcáreas, integradas principalmente por cuarzo y calcita, y luego por cantidades subordinadas de hornblenda verde poiquiloblástica, la cual es producto del metamorfismo termal. La presencia de esta roca nos indica que en el lugar de la intrusión ya se advierten las primeras intercalaciones calcáreas.

3. EL MIEMBRO CALCAREO

El límite entre este miembro y el anterior es arbitrario, debido a la aparente transición gradual que se efectúa por el aumento de las interposiciones calcáreas. Se trata de esquistos calcáreos de color grisáceo, gris-azuloso o también verdoso. A veces son tan finamente esquistosos, que son más bien filitas calcáreas, con lustre débil. Estudiados al microscopio, los esquistos calcáreos están formados por una masa densa de cuarzo

y calcita, en proporciones más o menos iguales; como accesorios se encuentran escamas finas de clorita y biotita, y, además, pocos elementos opacos.

En conexión con los esquistos calcáreos se observan a veces capas de pocos decímetros de ancho, compuestas por cuarzo blanco-lechoso, de aspecto agrietado y esquistoseado. La naturaleza de esta roca se revela al microscopio. En una masa cuarzosa se hallan pequeños cristales romboédricos de dolomita; además, en manchas irregulares, calcita. Obviamente, esta lidita blanca se originó de una roca calcárea y ligeramente dolomítica, cuya masa sufrió una silificación selectiva, de tal manera que se conservaron los cristales de dolomita, gracias a su menor solubilidad. Rocas semejantes ("dolomitic cherts"), también se conocen de otra parte. En muchos casos se pudo comprobar que la silificación se verificó en un principio del diagénesis de la sustancia calcárea, o sea, poco tiempo después de su deposición.

Aparte de los esquistos calcáreos, que caracterizan este miembro, se observan intercalaciones de esquistos grafiticos y esquistos verdes. Una muestra de los esquistos verdes demostró al microscopio principalmente tremolita, en cristales prismáticos con terminación astillosa, y clinozoisita, en cristales más finos. Debe tratarse de una diabasa muy triturada y alterada, o de su equivalente tobáceo. En el párrafo siguiente volveremos a la posición petrológica de estos esquistos verdes.

4. EL MIEMBRO ARCILLOSO - TOBACEO

En la constitución de este miembro los esquistos verdes ocupan un lugar prominente. Interposiciones de ellos ya fueron mencionadas en los esquistos calcáreos infrayacentes. Parece que la participación de los esquistos verdes aumenta considerablemente hacia los niveles superiores. Por su color, ya se distinguen claramente en el terreno de los demás esquistos, con los cuales alternan. Entre ellos predominan esquistos pizarrosos, generalmente algo grafitosos y ocasionalmente veteados por cuarzo. Luégo se asocian esquistos lustrosos con esquistosidad finamente hojosa. Notorios son los esquistos violáceos encontrados a poca distancia al W. del caserío La Elsa, en alternación íntima con esquistos verdes. Se les encontró, también, al sur de la población de Dagua, en la margen izquierda del río Dagua. Parece que estos esquistos violáceos se presentan cerca de la transición del miembro descrito al miembro silicificado, o sea en la transición de la formación del Dagua a la formación del Espinal (HUBACH y ALVARADO). Cerca de La Elsa asoman, también, esquistos pizarrosos silicificados, como se observa muy bien en la quebrada La Cristalina. Por el lecho de la misma quebrada pasa la falla que separa el Grupo del Dagua del Grupo Diabásico.

Con el fin de determinar la índole de los esquistos verdes, se elaboraron unas secciones de ellos. Están formados esencialmente por clorita y actinolita fibrosa, luégo por cantidades variables de albita, y por los accesorios clinozoisita-epidota, titanita (o leucoxeno), calcita y cuarzo. Estos esquistos no pueden haberse derivado de los mismos sedimentos arcillosos que dieron lugar a los esquistos grafiticos, pizarras, etc. Tampoco

se puede suponer que se originaron debido a un grado de metamorfismo mayor, pues alternan con aquéllos. En nuestra opinión, dan testimonio de la actividad volcánica diabásica que se inicia en esa época, y cuyos productos piroclásticos se hallan íntimamente mezclados con los sedimentos arcillosos comunes. Este concepto se respalda también por las interposiciones de derrames diabásicos, comprobadas en este mismo miembro y los cuales son los precursores de las extrusiones basálticas enormes que caracterizan el período siguiente. En atención a exploraciones futuras conviene anotar aquí, que las diabasas de los llamados derrames se distinguen difícilmente de unos esquistos verdes macizos, los cuales son algo menos compactos y duros que aquéllas. Sin embargo, al microscopio las diabasas se distinguen fácilmente, aunque a veces se presentan algo trituradas por los movimientos orogenéticos sufridos; a este respecto se asemejan mucho a las diabasas encontradas en la Depresión del Quindío (Cordillera Central).

5. EL MIEMBRO SILICIFICADO

(Formación del Espinal, de E. HUBACH y B. ALVARADO).

Este miembro equivale principalmente a la formación del Espinal, distinguida por HUBACH y ALVARADO. También se deja estudiar en la forma más completa en los mismos lugares visitados por estos autores, es decir, a lo largo de la margen izquierda del río Dagua, en la vecindad de la población de Espinal (hoy día: Lobo Guerrero). Esta faja se extiende hacia el sur y vuelve a aflorar al E. de Queremal. Otra faja semejante se halla más al W., con un desplazamiento transversal a la altura de Queremal. Luégo encontramos pizarras síliceas y liditas cerca del caserío La Elsa, como continuación estratigráfica de los miembros anteriores.

La naturaleza de estas fajas se refleja claramente en la morfología del terreno. El límite oriental se verifica por una falla que está marcada por los ríos Dagua y Jordán, y por la quebrada El Almorzadero. En el límite occidental los esquistos síliceos yacen normalmente debajo del Grupo Diabásico y su contacto no resalta tan claramente en la morfología. Dichas fajas alcanzan a asomar debido al fracturamiento en escamas grandes de un flanco monoclinar. (Véase el perfil anexo, donde se halla ilustrado este concepto).

Como ya lo indica su denominación, el miembro silicificado se caracteriza petrográficamente por el predominio de rocas síliceas. Se trata, en principio, de una sucesión de esquistos pizarrosos frecuentemente grafitosos, que fueron impregnados por sílice, indudablemente durante su deposición. En la sección delgada se observan, a menudo, pequeños "glóbulos", pero desgraciadamente no demuestran suficientes detalles. Sin embargo, es obvio su origen orgánico; probablemente se trate de los restos de diatomeas. La concentración de sílice pudo aumentar tanto, que se formaron verdaderas liditas. Como en las pizarras, el aspecto es generalmente negro, aunque pueden variar incidentalmente hasta tonos grises claros. Dichas liditas oscuras se presentan bastante agrietadas y en general se distinguen de las del Grupo Diabásico, las cuales suelen ser manchadas y menos grafitosas.

Merece mencionar una intercalación de esquistos calcáreos en estas liditas, un poco al NW. de Dagua, en la quebrada Morga. La intercalación tiene un ancho de unos 8-10 metros, y consta de caliza grisosa bastante pura. La búsqueda de fósiles no dio resultado.

Otra particularidad la forman unos esquistos filíticos, gris azulosos, que se encuentran en la margen izquierda del río Dagua, al sur de la misma población. Examinados al microscopio, se determinan como esquistos porfiroides, que deben haberse formado por la milonitización de pórfidos cuarzosos (o riolitas o dacitas). En la sección delgada aún se distinguen claramente los antiguos fenocristales de cuarzo, feldespatos (alterados a albita, sericita y calcita) y biotita (cloritizada), empastados en una masa muy sericítica y finamente esquistosa. Los fenocristales se pueden apreciar muy bien con la ayuda del binocular. La roca se presenta en compañía de los demás esquistos pizarrosos, liditas, etc.; el afloramiento parece muy perturbado por la proximidad de la falla principal, la cual sigue por el lecho del río Dagua. Probablemente la roca proviene de una de las intrusiones dacíticas conocidas de la pendiente oriental de esa Cordillera, y fue dislocada y milonitizada por la falla del Dagua.

V — EL GRUPO DIABASICO

1. OBSERVACIONES GENERALES

Los derrames de diabasas indudablemente constituyen el fenómeno más imponente durante la fase geosinclinal del "Occidente Andino". En la región visitada, el Grupo Diabásico se extiende de manera continua a partir de los límites occidentales de la ciudad de Cali, hacia el W. por arriba de la Cordillera Occidental, hasta más allá de la cumbre, precisamente hasta la línea formada por el río Dagua y su afluente meridional, el río Jordán. Allí, el Grupo Diabásico está separado por medio de una falla importante del "Grupo del Dagua", en su mayor parte sedimentario. Mas al Occidente el mismo Grupo Diabásico vuelve a presentarse, al parecer reposando normalmente sobre dicho "Grupo del Dagua". Por motivos tectónicos esta sucesión puede repetirse, pero finalmente el Grupo Diabásico no fue observado más al W. del caserío de La Elsa. Al lado opuesto, cerca de Cali, las areniscas de la formación del Cauca (Terciario Inferior) se colocan con una discordancia angular encima de él (esta discordancia no se aprecia claramente en el lugar mencionado).

A pesar de la vasta extensión, el Grupo Diabásico difícilmente se deja estudiar en detalle, tanto debido a la meteorización profunda, que convirtió la superficie en una gruesa capa de "tierra roja", como también por la textura densa de la roca, que sólo permite un examen microscópico. En dicha capa de "tierra roja" se observan, a menudo, cantos de diabasa, aún no descompuestos. Indudablemente el material ha sido redepositado parcialmente por medio de deslizamientos, etc. En ciertos lugares, sin embargo, la laterita se ha conservado "in situ", como, por ejemplo, a lo largo del camino de la Tierra Blanca en la vecindad del punto denominado "El Asomadero".

Los afloramientos frescos de diabasa se restringen principalmente a unas canteras (por ejemplo al W. de Cali) y a unos cortes a lo largo de ríos, quebradas o carreteras. En general, la roca se presenta muy poco variada; el aspecto es verdoso de tonos oscuros y de textura densa a finamente granuda, de modo que los componentes mineralógicos se distinguen difícilmente a simple vista. Por la alteración pueden llegar a tener un color verdoso más claro, clorítico, de manera que se confunden fácilmente con ciertos esquistos cloríticos macizos, circunstancia que ha llevado a interpretaciones erróneas, especialmente por lo que se refiere al trayecto W. de Queremal, donde afloran ambos tipos de rocas a lo largo de la carretera.

En unos pocos lugares se observan intercalaciones de pizarra silícea o de lidita entre la roca diabásica. Estas interposiciones, a veces fosilíferas, prueban que se trata de *derrames* de diabasas, precisamente derrames submarinos. En general, dichas intercalaciones sedimentarias son muy delgadas, de donde se puede deducir que la actividad volcánica principal transcurrió sin intervalos muy grandes, o —en otras palabras— se desarrolló en poco tiempo relativamente. La posición actual de los sedimentos intercalados nos proporciona una buena medida para determinar la posición tectónica de los derrames diabásicos vecinos. En la región visitada, esta posición se distingue sólo pocas veces en las diabasas mismas, sea morfológicamente como escarpamientos, sea en los afloramientos por cierta superposición perceptible. El primer caso se realiza posiblemente en los escarpamientos cerca de la cumbre; el segundo caso se observa, por ejemplo, en la quebrada Cogollo, al W. de Dagua, donde la roca volcánica da claramente la impresión de presentarse en bancos gruesos; éstos van atravesados por diaclasas.

A continuación tratamos de las características petrográficas a base del examen microscópico.

2. CARACTERISTICAS PETROGRAFICAS

La mayor parte de las muestras, procedentes de este Grupo, representan *verdaderas diabasas*. Es decir, en ellas los componentes principales se hallan arreglados en la estructura particular llamada *ofítica*, de tal manera que cristales prismáticos o listones de plagioclasa forman un retículo, entre cuyos intersticios se desarrolló la augita. A menudo un solo cristal de augita encierra varios listones de plagioclasa; otras veces la augita no alcanza a desarrollarse en cristales tan grandes y se halla como granos más pequeños en los intersticios, dando lugar a una estructura “granular-ofítica”. Ambos tipos están relacionados por una serie continua y ningún tipo caracteriza una zona especial en sentido estratigráfico.

En ciertas muestras la plagioclasa tiene la composición de andesina básica; pero con más frecuencia se la encuentra alterada a albita. Hasta qué punto la albitización fue producida por la extrusión submarina, es aún problemático. Representarían en tal caso espilitas, pero en sentido distinto que las “espilitas” de GROSSE, con las cuales este autor indica diabasas de estructura densa. La augita suele ser la variedad pigeonita, con el ángulo biáxico pequeño y variable, a veces aproximándose a uniáxico.

Como accesorios se encuentran magnetita o ilmenita; el último mineral, a menudo, bordeado por titanita o leucóxeno. Olivino está ausente, aunque es posible que se halle en muy pequeña cantidad en unas estrusivas de textura muy fina.

Entre los afloramientos de las diabasas ofíticas mencionamos especialmente la quebrada Cabuyal, confluyente del río Cali, a unos 3 kilómetros al W. de esta ciudad; el carácter petrográfico se comprobó notablemente uniforme, a todo lo largo del extenso afloramiento.

Las demás variedades encontradas son mucho menos frecuentes que la variedad ofítica, descrita arriba. Entre aquéllas tenemos que mencionar una roca volcánica densa, que al microscopio está formada por agujas finas de plagioclasa, mientras que la augita se presenta en pequeños cristales prismáticos mal bordeados, o también, en agujas finas, agrupadas de manera divergente-radial, en crecimiento con agujas de plagioclasa, resultando una textura semejante a "gavillas de trigo". (Véase microfoto). En los intersticios se halla a veces algo de vidrio volcánico devitrificado. Coinciden hasta cierto punto con las "augitas arborescentes", descritas por A. GANSSER en las extrusivas básicas de la isla de Gorgona, aunque en nuestras rocas las formas son más sencillas, y además carecen de olivino. Fueron encontradas en el punto "El Asomadero", situado en la carretera Cali-Pichindé; luégo en la vecindad de Felidia y Saladita. Sólo una investigación sistemática y muy detallada podrá determinar si se trata de derrames especiales o si las mencionadas rocas proceden de las zonas superficiales de derrames comunes y ofíticos, zonas las cuales sufren un enfriamiento más rápido. En favor de la última suposición habla la presencia de diabasas ofíticas cerca de los sitios antes mencionados.

La misma observación se puede hacer acerca de una variedad de estructura variolítica, encontrada al borde oriental del río Jordán, y de una variedad amigdalóide, procedente del río Pichindé. En todo caso tales variedades confirman la existencia de verdaderos derrames basálticos en los sitios del hallazgo.

Más difícil de descifrar es la situación cerca de La Cumbre. Aquí se presentan rocas básicas, de textura notablemente más gruesa que las diabasas mencionadas arriba, aunque nunca alcanzan a tener el grano grueso de los gabros comunes. Se las podría señalar tanto como rocas gábricas intrusivas de grano fino, así como diabasas extrusivas de grano relativamente grueso. Rocas del tipo aludido fueron encontradas como cantos en una quebrada pequeña al este del punto Mares, en compañía de rocas verde-claras y de rocas del aspecto de areniscas ferruginosas. Una asociación semejante fue recogida por E. HUBACH durante una exploración en relación con los proyectos de los túneles de Mares-Felidia. Como lo vamos a exponer en un párrafo siguiente, la situación geológica en este sector se ha complicado considerablemente, debido a una propilitización importante, la cual transformó parte de la roca básica existente. Al microscopio esa roca original está formada por cristales prismáticos de plagioclasa, que son bastante gruesos y más anchos que los de las diabasas comunes. La augita es una variedad diopsídica, con ángulo biáxico alrededor de 50° - 60°; se presenta, también, en cristales prismáticos, pero con desarrollo menos perfecto que los de la plagioclasa.

Una roca semejante fue recogida un poco al sur del caserío San Bernardo, en el curso superior del río Dagua (Ne-684), donde este tipo se halla muy repartido entre los demás cantos de diabasas comunes. Dicha roca igualmente demuestra los vestigios de la propilitización. Es llamativo el aspecto diorítico, que tienen esas rocas, por su color algo más claro y el grano medio. Sólo con el binocular se observa, que los componentes claros no representan únicamente feldespatos, como se cree a simple vista, sino que también se halla cuarzo en crecimiento íntimo con el feldespato. En la sección delgada se observa claramente la parcial sustitución del feldespato por el cuarzo. Es muy probable que esta "diorita" es la misma roca a que se refiere O. STUTZER. Este autor menciona una "roca de aspecto diorítico que asoma debajo de la greda roja", al W. de la estación ferroviaria de La Cumbre. La misma roca —según este autor— debe aflorar en el curso superior del río Dagua, como lo indican los cantos de este río.

¡Es precisamente la roca examinada por nosotros!

Otra variedad notoria encontramos en dos muestras, recogidas por E. HUBACH (Hu-57 y H-59), y procedentes del Lomaje de Las Minas, al W. del escarpe de Mares. Contienen fuera del clinopiroxeno (augita diopsidea) también ortopiroxeno, a saber, hipersteno débilmente pleocroítico.

Sólo un examen más detallado, tanto en el campo como en el laboratorio, puede decidir definitivamente sobre la índole intrusiva o extrusiva de estos tipos distintos. Sin embargo, nos parece muy probable que también en este tipo tenemos rocas extrusivas, tal vez de derrames más potentes, en que la estructura alcanzó un desarrollo de grano más grueso, y en los cuales, además, se verificó cierta diferenciación magmática, originando rocas básicas con ortopiroxeno. Una indicación en este sentido puede verse en unas interposiciones de liditas (Hu-36 y Hu-50), encontradas por E. HUBACH poco al E. de Mares, cerca de la quebrada Aguacatal, y también al W. de Felidia.

3. INTERCALACIONES SEDIMENTARIAS

Intercalaciones sedimentarias "in situ" fueron encontradas poco al W. de Cali, donde están expuestas en unas canteras. Se trata de cintas delgadas de esquistos pizarrosos silíceos o de liditas, al parecer normalmente interestratificadas en los derrames volcánicos. Tales franjas son muy delgadas y generalmente alcanzan apenas unos pocos decímetros de espesor, de modo que escapan fácilmente a la observación. Sin embargo, durante la meteorización se muestran muy resistentes, y a veces pequeños pedacitos angulares se hallan repartidos por los caminos indicando su presencia, como sucede, por ejemplo, en el Camino de las Tierras Blancas, que sube por la orilla izquierda de la quebrada Cabuyal hacia El Asomadero. Más al W. tales intercalaciones deben ser muy escasas, y sólo fueron observadas durante la exploración hecha por E. HUBACH en dos sitios, a saber: al W. de Felidia (Hu-36), y al E. de Mares, un poco arriba de la confluencia de la quebrada Mercedes con el río Aguacatal (Hu-50).

Estudiadas en sección delgada se observa una masa arcillosa y más o menos oscura, que ha sido impregnada por sílice. En esta masa se observan a veces numerosos y pequeños "glóbulos", rellenos por calcedonia. En varias secciones se pudo comprobar su origen orgánico, cuando estas esferas están claramente limitadas por paredes, que pertenecen a pequeños organismos. Según un examen, hecho por H. BÜRGL y TH. VAN DER HAMMEN, se trata probablemente de radiolarios o de tipos histrixoides; desgraciadamente una determinación más detallada es imposible en el material disponible. Basta considerarlas aquí como comprobantes de la extrusión submarina de los derrames volcánicos.

Durante el plegamiento andino estas franjas delgadas sufrieron la fuerte presión dinámica de las capas gruesas de diabasas, y por consiguiente se fracturaron y fueron estiradas en lentes. La roca fue parcialmente blanqueada y, además, sus hendiduras se rellenaron con material silíceo secundario, de color más claro, o a veces blanco como la porcelana; de manera que actualmente estas líticas ofrecen un aspecto manchoso. En cambio las líticas del Grupo del Dagua (Formación del Espinal, E. HUBACH) contrastan con aquéllas, en que las fuerzas deformativas produjeron sólo grietas más finas, conservándose su aspecto negro. En general, parecen también, algo más grafitosas.

4. CARACTERISTICAS GEOLOGICAS DE LOS DERRAMES BASALTICOS

Al principio de este Capítulo mencionamos la notable extensión del Grupo Diabásico en el sector estudiado. Luégo expresamos que las diabasas deben resultar de derrames volcánicos, extruídos en gran escala en la cuenca geosinclinal del "Occidente Andino". Este carácter extrusivo se deduce de las siguientes observaciones e indicios:

a) La intercalación de zonas sedimentarias, las cuales, aunque son muy delgadas, pueden ser bastante extensas; este fenómeno no se puede explicar en un cuerpo intrusivo;

b) La estratificación en bancos gruesos, que se alcanza a observar en algunos lugares; ésta habla en favor de derrames extrusivos;

c) El rumbo lineal del contacto con el Grupo del Dagua, límite que aparentemente no es una línea tectónica. De un contacto intrusivo no se puede esperar tal curso paralelo al rumbo de los estratos sedimentarios;

d) La evidente ausencia de una corona de contacto, la cual sería producida indudablemente por una intrusión de tal magnitud. Los derrames, individualmente mucho menos potentes, se enfrían más rápido y carecen de una mayor acción termal sobre la roca vecina;

e) La ausencia de inclusiones sedimentarias, incorporadas en la roca ígnea, especialmente cerca del contacto. Igualmente la ausencia de apófisis, penetrando la roca vecina;

f) La uniformidad relativamente grande de la roca ígnea, la cual indica que no se logró llegar a una diferenciación adelantada, como es frecuente en los cuerpos intrusivos grandes;

g) La estructura densa, que prevalece en las diabasas, habla en favor de la naturaleza extrusiva. A este respecto podrían ofrecer cierta duda las rocas de grano algo más grueso, que se encuentran cerca de La Cumbre; pero, como acabamos de explicar, también para éstas la génesis extrusiva es muy probable.

Por varios motivos nos parece muy probable que los derrames volcánicos se hallan actualmente en una estructura anticlinal, como lo sugiere el perfil adjunto. De esta posición se deduce un espesor mínimo para el Grupo Diabásico —en este sector— de alrededor de 6.000 metros; verdaderamente un fenómeno llamativo.

Derrames basálticos pertenecen a los sucesos geológicos más grandes en la corteza terrestre. Al revisar la literatura sorprende que entre los numerosos ejemplos citados, sólo rara vez se hace referencia a las diabasas andinas, aunque la grandeza de este fenómeno ciertamente lo merecía. Nos parece oportuno dar a continuación algunas características acerca de este tema, basándonos en gran parte en las informaciones de TOM F. W. BARTH (1952), *Theoretical Petrology, A textbook on the origin and the evolution of rocks.*

Este autor divide las extrusiones basálticas en dos grupos distintos, a saber:

- a) Basaltos oceánicos;
- b) Basaltos continentales.

Los *basaltos oceánicos* son aquellos que constituyen el fondo sólido de las cuencas oceánicas, inmediatamente debajo del barro oceánico. Llegan especialmente a la observación directa en las islas volcánicas del Pacífico que emergen del fondo oceánico, entre ellas Hawaii y Tahití. Pero también las islas que coronan como cimas la cordillera subacuática centro-Atlántica, principalmente las Azores, Isla Ascensión y Santa Elena, son vestigios del basalto oceánico; así como las islas Madeira, Canarias y Cabo Verde, aunque emergen de la plataforma continental, al W. del Africa. Todos estos ejemplos demuestran la gran uniformidad en cuanto a las rocas constituyentes, entre las cuales predomina fuertemente el basalto olivínico. Como asociación característica se encuentran derrames de basalto picrítico (llamado también “oceanita”), con porcentaje alto de olivino. Luego, es típica la asociación de menores cantidades de traquita o de fonolita; tales productos pueden verse como derivados durante la cristalización del magma basalto-olivínico.

La gran conformidad que presentan las rocas de la zona pacífica a todo lo largo de su vasta extensión, se explica por aceptar para ellas igual magma paternal y homogéneo, de composición basalto-olivínica, del cual se supone que constituya el substratum de la corteza terrestre: o —en otras palabras— que se relacione con el sima, en el cual flotan los continentes siálicos.

Los *basaltos continentales* se subdividen en dos grupos diferentes, según el sitio geológico.

El primer grupo se refiere a las regiones geológicamente tranquilas y comprende las extrusiones potentes llamadas por A. GEIKIE *mesetas basálticas*. Son muy conocidas las del Decán, Brasil, Patagonia, Islandia, etc.

En ellas el magma basáltico del substratum ha llegado por fisuras hasta la superficie y evidentemente no alcanzó a diferenciarse notablemente. Sus productos son por consiguiente, el mismo basalto olivínico, aunque en promedio, algo menos básico que los basaltos intrapacíficos; ocasionalmente van asociados por rocas traquíticas. Tales erupciones enormes se manifestaron en períodos geológicos muy diversos y se las conoce también de tiempos históricos. De acuerdo con el ambiente geológico, los derrames se hallan en posición aproximadamente plana.

El segundo grupo se relaciona con las *zonas orogénicas*. Según el desarrollo geotectónico se distinguen cuatro fases principales (según STILLE), cada una con su magmatismo típico, como lo demuestra el cuadro siguiente:

<i>Fase geotectónica.</i>	<i>Sucesión magmática.</i>
Condiciones geosinclinales.	Magmatismo inicial.
Orogénesis.	Plutonismo sinorogénico.
Condiciones semi-cratónicas.	Volcanismo subsecuente.
Condiciones cratónicas.	Volcanismo final.

En relación con nuestro estudio son de especial interés los productos del magmatismo inicial durante la fase geosinclinal. Es muy notorio que estos productos siempre son de carácter básico. Así, en la cuenca geosinclinal mediterránea fueron inyectados durante el Mesozoico, principalmente basaltos, diabasas, gabros y peridotitas. En su mayor parte dichas rocas sufrieron el metamorfismo dinámico del plegamiento subsecuente, y se las denomina frecuentemente como ofiolitas. Petrográficamente las lavas de estas zonas orogénicas se distinguen por la *escasez o la ausencia completa en olivino*, y constituyen el grupo de los *basaltos y diabasas toleíticos*. Posiblemente estas toleítas se relacionan íntimamente con el basalto olivínico del substratum. Se supone que debido a los procesos durante la fase inicial de los movimientos orogénicos, aún poco entendidos, este magma fue comprimido y “filtrado” durante la inyección en el geosinclinal, de manera que se separó el olivino, el cual se acumuló para dar origen a las inyecciones (subsecuentes) de peridotita. Fuera de la ausencia de olivino en los “basaltos orogénicos”, y de su *asociación característica de peridotitas*, se observa en ellos frecuentemente la *albitización de las plagioclasas* (formación de espilitas), lo cual se atribuye a una soda-metasomatosis durante su *extrusión submarina* en la cuenca geosinclinal. Las mismas condiciones puede producir la llamada “estructura en almohada” de los derrames.

Luego parece que también difieren los productos magmáticos posteriores del basalto olivínico y del basalto toleítico. Mientras que del primero se derivan rocas alcalinas, tales como traquitas y fonolitas, se observa que el “volcanismo inicial” basalto-toleítico está seguido en las fases progresivas del desarrollo geotectónico por intrusiones y extrusiones de carácter alcalino-cálcico (o carácter siálico). Como sugiere la tabla anterior, se presenta primeramente el plutonismo sinorogénico, produciendo rocas graníticas, tonalíticas y dioríticas. Este plutonismo ya puede manifestarse en el principio del desarrollo orogénico, al parecer al cambio de las condiciones geosinclinales hacia condiciones orogénicas; así, en

la cordillera alpina el plutonismo sucedió en gran parte al final del Mesozoico. Después de cierto intervalo, que puede ser bastante grande, vuelve a manifestarse la actividad magmática, pero en forma extrusiva ("volcanismo siálico subsecuente"), produciendo dacitas, andesitas y riolitas.

La semejanza de los basaltos orogénicos descritos anteriormente, con las observaciones en la Cordillera Occidental es muy evidente. Las rocas basálticas de esta Cordillera son diabasas saturadas en sílice, que carecen de olivino y las cuales evidentemente son de deposición submarina en condiciones geosinclinales. Luego están asociadas con macizos ultrabásicos (peridotitas), según las observaciones hechas por varios autores en otras regiones de dicha Cordillera. Otra analogía la encontramos en los cuerpos bosiformes de tonalita, dacita y andesita, conocidos en numerosos lugares de esa Cordillera, y los cuales se originaron en una fase progresada del desarrollo geotectónico.

Nos parece probable que la investigación petrológica muy detallada, tal vez en un futuro más lejano, alcanzará a distinguir numerosos derrames basálticos individuales, gracias a pequeñas intercalaciones sedimentarias, márgenes enfriados de estructura densa y no ofítica, o por menores variaciones petrográficas entre los diferentes derrames intrusivos. Luego se puede esperar la localización de varios cuerpos básicos intrusivos (gabros, dioritas, peridotitas), en parte ya mencionados por otros autores, aunque ocurrirán sólo de manera subordinada en comparación con los derrames extrusivos. Esta circunstancia, del predominio de las efusivas, indica tal vez el desarrollo muy tranquilo de esa parte del geosinclinal andino.

5. PROPILITIZACION

Durante la exploración se encontraron en las vecindades del punto Mares, rocas básicas de aspecto muy distinto al de las diabasas comunes. El mayor número de las rocas aludidas fue colectado anteriormente por E. HUBACH durante su estudio en relación con los proyectos de los túneles de Mares-Felidia. Parece que están repartidas en todo el sector visitado, comprendido entre Felidia y Mares, a ambos lados de La Cumbre. La mencionada colección fue sometida nuevamente a un examen microscópico, a base de un mayor número de secciones delgadas. Fuera de diabasas comunes, generalmente bastante alteradas, se distinguieron los siguientes tipos:

a) *Rocas de aspecto manchado*, de tonos grises y verdosos distintos, a veces verdoso-amarillentos; recuerdan macroscópicamente todavía a las diabasas. En la sección delgada se reconocen los relictos de una roca *gabrica* de grano bastante grueso; son augita completamente uralitizada o serpentinizada, y luego plagioclasa albitizada. Estos cristales han sido *parcialmente reemplazados por cuarzo*; luego se formaron epidota y clorita, y a veces bastante apatito en grandes cristales xenomórficos, que pueden encerrar cristales hexagonales de cuarzo; como accesorio se encuentra ilmenita, casi completamente alterada a leucoxeno. Llama la atención la forma granuda del cuarzo metasomático, que se asemeja bastante al mosaico de cuarcitas.

No sólo el cuarzo puede concentrarse localmente, sino que también la cantidad de epidota puede aumentar, y dar a determinadas partes de la roca un aspecto verdoso-amarillento. La metasomatosis puede progresar tanto, dando por resultado una roca que a primera vista es muy diferente de la descrita, a saber:

b) *Rocas de color verde-amarillento*, constituídas esencialmente por *epidota y cuarzo*. Recuerdan en primer término las “epidositas”, es decir, las rocas metamórficas, que se deben a la transformación de sedimentos arenoso-calcáreos. Sin embargo, en vista del origen muy distinto, hay que evitar esta denominación. Generalmente son de estructura densa, pero a veces se distinguen a simple vista cristales de cuarzo hasta de unos pocos milímetros de tamaño, y agregados radial-fibrosos de epidota. Al microscopio se presentan los mismos componentes, en proporción más o menos igual. El cuarzo a veces está atravesado por agujas finas de actinolita, que parecen representar relictos de las augitas uralitizadas de la roca madre, la cual sufrió la acción metasomática. La epidota puede estar distribuída regularmente por el mosaico del cuarzo, o también se halla concentrada en determinadas partes, frecuentemente en estructura radial-fibrosa. En varias muestras se observa bastante apatito, en cristales grandes.

Debido a su composición, la roca es muy resistente a la meteorización. Este hecho debe ser la causa de que cantos de ella estén repartidos en tan gran número en la región mencionada, dando la idea de que desempeñan papel importante en la constitución del subsuelo. En verdad, la roca debe hallarse más bien como “bolsas” en las diabasas afectadas.

c) Otro “tipo extremo” que se encuentra en esa región, es una *roca de aspecto ferruginoso*, la cual, especialmente en la superficie, tiene un color carmelito-ferruginoso de ocre y mancha los dedos al tacto. Estudiada al microscopio, está constituída esencialmente por cuarzo, sustancias cloríticas y ferruginosas. Según la estructura del cuarzo, la sección recuerda más bien una arenisca ferruginosa o una cuarcita. En algunas secciones (Hu-55) se asocian minerales metálicos a los minerales antes mencionados. Aquéllos se comportan débilmente magnéticos, y probablemente representan hematita o ilmenita; su investigación definitiva se hará por medio de rayos X.

Dichos tipos “extremos” están relacionados por una gran variedad de transiciones. Así, se distinguen epidositas sucias, cubiertas superficialmente por una película ferruginosa, en las cuales el cuarzo y la epidota, vistas al microscopio, van asociados con bastante limonita. En otras muestras, la relación con la roca madre, diabásica, está aún muy evidente, de tal manera que se distinguen relictos de augita alterada, parcialmente sustituída por cuarzo (con agujas de actinolita), epidota y minerales metálicos. Debemos tener en cuenta que estos productos de la propilitización sufrieron, a su vez, la meteorización; especialmente parte de las llamadas “areniscas ferruginosas” pueden resultar de esa meteorización.

Discutible es el problema acerca de la fuente que produjo la propilitización. En primer lugar se puede pensar en *efectos deutéricos* (SEDERHOLM), es decir, una alteración intensiva, producida por soluciones post-

magmáticas de alta temperatura; éstas resultarían, pues, del mismo magma basáltico que formó las diabasas.

Sin embargo, un efecto semejante puede producir *soluciones acuosas hipógenas, procedentes de una fuente extraña*, no relacionada con el magmatismo basáltico. A este respecto pensamos en las *intrusiones posteriores de tonalitas y de dacitas*, especialmente las del Terciario Superior. Es conocido que sobre todo las andesitas y dacitas demuestran la propilitización, debido a efectos deutéricos; pero esas soluciones residuales pueden alejarse bastante del foco y penetrar las rocas vecinas. Un macizo importante de tales "dacitas" (o mejor dicho, porfiritas tonalíticas), lo encontramos en los Farallones de Cali, a una distancia aproximada de 15 kilómetros de la región visitada. Hay ciertos factores, que hablan en favor de la propilitización por estas soluciones hipógenas:

a) El efecto corrosivo muy intenso y el predominio de cuarzo entre los minerales sinantéticos, presumen una gran acidez de las soluciones en cuestión. Parece muy probable que sean derivados del magma tonalítico-dacítico que del magma basáltico;

b) La faja propilitizada parece coincidir con una zona, tectónicamente muy afectada, pues aquí debe culminar la estructura anticlinal, en que probablemente se hallan los derrames de la formación diabásica. Indudablemente ese plegamiento de los derrames potentes ha producido fallas y zonas trituradas importantes, especialmente en la proximidad del eje anticlinal. Por ellas, la propilitización pudo avanzarse a partir de los macizos dacíticos.

Sin embargo, sólo una investigación más detenida podrá solucionar definitivamente este problema; se necesita una exploración de la faja propilitizada hacia el Sur, donde tal vez se evidencia su relación con los Farallones de Cali. Recalcamos aquí la importancia de tal exploración desde un punto de vista económico, pues las soluciones hipógenas están frecuentemente cargadas con minerales preciosos. Fuera de sulfuros (especialmente piritita), pueden llevar oro, plata y telurio.

VI — LA INTRUSION TONALITICA

Entre los kilómetros 83 y 91, o sea aproximadamente entre el case-río El Danubio y el campamento Punto Anchicayá, la carretera al mar atraviesa un cuerpo intrusivo de tonalita. Su forma no se pudo establecer durante el corto recorrido. SUÁREZ HOYOS, en su estudio para la planta hidroeléctrica del río Anchicayá, presume que se trata de un lacolito.

La roca es de aspecto granítico y ya a simple vista se distinguen sus componentes principales: Plagioclasa, cuarzo, biotita y hornblenda. Los cristales de plagioclasa frecuentemente tienden al desarrollo porfirítico. Igualmente la sección delgada presenta cristales idiomórficos de plagioclasa (+ 45%), luego cierta cantidad de ortoclasa ($\pm 10\%$), cuarzo (+ 20%), y los melanocratos, biotita y hornblenda (+ 25%), de los cuales predomina ligeramente la biotita.

La intrusión muestra una corona de contacto muy marcada. Ahí, la tonalita se volvió porfirítica, con cristales grandes de plagioclasa. Apó-

fisis de pegmatita y cuarzo penetran los esquistos vecinos, los cuales se transformaron en cornubianitas, tales como micacitas y esquistos andalusíticos. También se observan pequeñas inclusiones de estos esquistos en la parte marginal de la intrusión.

La edad geológica no se deja precisar. Es lo más probable, que tiene sus equivalentes en los macizos de dioritas cuarzosas, descritos por E. GROSSE, de la cuenca del Patía. Para varias de estas intrusiones se pudo comprobar el contacto intrusivo con las diabasas cretáceas, mientras que el Eoterciario las cubre parcialmente y no demuestra fenómenos de contacto termal. Por consiguiente, se deduce una edad creta-terciaria. Efectivamente, las tonalitas encontradas en la carretera al mar, demuestran los efectos dinámicos producidos por el plegamiento andino. Es decir, se manifiesta un sistema bien desarrollado de diaclasas, entre las cuales se destacan especialmente las de dirección N. 50. E., con inclinación aproximadamente vertical, sugiriendo más bien una cierta laminación. Sin examen oportuno, es difícil hacer un paralelo con los Farallones de Cali. Unos cantos, procedentes de este macizo tan notorio, y recogidos por J. KEIZER, al ser analizados al microscopio, dieron por resultado: tonalita hornbléndico-biotítica (K-140) y porfirita tonalítica, con los mismos melanocratos (K-140 y K-169). Las últimas rocas, de estructura porfirítica, pueden clasificarse también como dacitas hornbléndico-biotíticas. Estas "dacitas" pueden representar tanto la zona marginal de una intrusión tonalítica (¿de edad creta-terciaria?), así como relacionarse con las dacitas y andesitas intrusivas más modernas, del final del Terciario, con contactos claros con la formación del Cauca. Petrológicamente ambas rocas (tonalitas porfiríticas y verdaderas dacitas) se distinguen apenas. Sólo la investigación en el macizo mismo puede aclarar este problema.

Se obtiene verdaderamente la idea, que las tonalitas y las dacitas son manifestaciones del mismo magma tonalítico, el cual durante el principio del desarrollo geotectónico alcanzó sólo a intruírse a mayores profundidades, pero el cual hacia la fase final del plegamiento fue inyectado más superficialmente. En otras palabras, la realización del "plutonismo orogénico" y del "volcanismo subsecuente", formulados por STILLE.

VII — LAS FORMACIONES CENOZOICAS

A pesar del interés que merecen las formaciones cenozoicas, su estudio no fue el objeto de la exploración hecha, ni lo permitió el tiempo disponible. Serán estudiadas detalladamente en el cuadro de las labores de la Sección de Fotogeología. Por esta razón, nos referiremos a ellas brevemente.

1. FORMACION DEL CAUCA

Se visitó los afloramientos cerca de la desembocadura del río Aguacatal, en el río Cali. Ahí los estratos de la formación del Cauca se hallan fuertemente erguidos. Están formados por esquistos arcillosos rojizos y amarillentos, alternando con areniscas cuarzosas blancas y rosadas, con

vetas delgadas de lignito. Los granos de estas areniscas se ven al microscopio bastante angulares. Su composición, casi exclusivamente por granos de cuarzo, llama la atención, ya que no pueden haberse derivado del subsuelo de las diabasas, y tampoco pueden haber sufrido un transporte muy grande.

2. TERCIARIO SUPERIOR

Queremos atribuir esta edad a las arcillas esquistas y aún plásticas, que se presentan en el llano costanero, al salir de la Cordillera. No fueron observados fósiles o intercalaciones de lignito, ya que la falta de tiempo no permitió su estudio.

VIII — OBSERVACIONES ESTRATIGRAFICAS Y TECTONICAS

Los conceptos acerca de la estratigrafía y tectónica se han expresado en el croquis y perfil geológico que van en el anexo.

El punto de partida para la determinación de la posición estratigráfica de las formaciones más antiguas, lo constituyen los escasos fósiles encontrados en las intercalaciones sedimentarias entre los derrames del Grupo Diabásico. Muy valiosos a este respecto son los fósiles encontrados por J. KEISER (1954, informe número 1046), en la vecindad de San Antonio (Municipio de Jamundí). Ahí los derrames diabásicos se hallan en una estructura monoclinal, en posición invertida. El ancho que alcanza la formación diabásica es aproximadamente de 12 kilómetros. Una intercalación de esquistos silíceos, más o menos en la parte media de esta formación, contiene *inoceramus peruanus* BRÜGGEN, que caracteriza el Coniaciano Inferior y Medio. Luégo, en un nivel superior, se encontraron foraminíferos, característicos para el Coniaciano. En la parte inferior del Grupo Diabásico las interposiciones sedimentarias son muy escasas; su edad todavía no se ha establecido. Otra indicación a este respecto suministra GROSSE (1926), quien encontró en la "formación porfirítica" de Antioquia, amonitas, trigonias y otros moluscos del Barremiano y Aptiano. Luégo H. BÜRGL (1954), concedió una edad Daniana a una roca procedente del "Cretácico porfirítico" del Departamento de Nariño.

Es muy probable que la actividad volcánica diabásica no continuó hasta el mismo tiempo geológico en todas las partes del Occidente andino; tal vez se extinguió más tarde en la parte occidental del Occidente andino. Así, GANSSER menciona diabasas de la isla Gorgona, las cuales se relacionan geológicamente con la Cordillera de la Costa; estas diabasas deben tener edad post-eocena, a juzgar por algunos contactos con rocas calcáreas y fosilíferas.

Resumiendo, se puede presumir que el Grupo Diabásico abarca gran parte del Cretáceo, tal vez sólo con la excepción del Cretáceo más inferior.

Datos en cuanto a la edad del Grupo del Dagua infrayacente, faltan completamente. Teniendo en cuenta su gran magnitud, este Grupo debe abarcar en todo caso gran parte, o el total, del Jurásico, y se extiende probablemente hasta el Cretáceo Inferior. Un examen micropaleontoló-

gico de las liditas, podría llevar en el futuro a una determinación más exacta. La presencia de radiolarios en tales liditas, ya se mencionó en el capítulo correspondiente. Igualmente, fue tratada la litología de este conjunto.

El desarrollo de la facies permite una subdivisión en la siguiente forma:

- Miembro silicificado.
- Miembro arcilloso-tobáceo.
- Miembro calcáreo.
- Miembro grafitico.

Interesante es la facies calcárea, que rige claramente por un intervalo considerable. Indudablemente puede servir como guía estratigráfica en exploraciones futuras de esta región. STUTZER se refiere también a calizas en la "formación esquistosa" que él distinguió a lo largo del trayecto del ferrocarril. Desgraciadamente él no tuvo ocasión de visitar los afloramientos.

En el "miembro arcilloso-tobáceo" se hacen sentir los precursores de la actividad volcánica. Se observan intercalaciones de derrames diabásicos en medio de los esquistos pizarrosos y cloríticos. Llama la atención que el aspecto microscópico de tales diabasas recuerda inmediatamente el de los derrames anotados en La Línea y en la pendiente occidental de la Cordillera Central. Es decir, se aprecia una igual trituración de los componentes mineralógicos en estos derrames. Anteriormente ya mencionamos que la actividad volcánica no sólo se advierte en tales derrames, intercalados, sino que igualmente se refleja en los esquistos verdes, cuya materia prima han constituido, por lo menos en parte, tobas diabásicas, las cuales tal vez se derivaron de una fuente más lejana.

Con alguna reserva, queremos concluir, que durante el desarrollo geosinclinal, la facies marina del "miembro grafitico" se volvió menos profunda, dando origen a sedimentos calcáreos. Más o menos al mismo tiempo se advierten los precursores de la actividad volcánica. Después, gradualmente logró profundizarse la cuenca geosinclinal, y el hundimiento debe haber sido muy considerable durante las extrusiones del Cretáceo.

En cuanto a la constitución tectónica de la sección examinada, se puede observar lo siguiente: la posición de los estratos indica la existencia de una estructura sinclinal de gran importancia en la vecindad de La Elsa. La estructura está fallada, y se manifiesta más bien como una falla. El flanco oriental de dicha estructura está fracturado en unos bloques y escamas grandes, en los cuales el Grupo del Dagua alcanza a asomar debajo del Grupo Diabásico. También se advierten bloques, cuyo desplazamiento vertical parece reducido, de modo que no permiten aflorar los esquistos infrayacentes; un ejemplo lo encontramos en la falla, que sigue de El Salado hacia el Norte. El hundimiento oblicuo de un bloque puede causar, que dichos esquistos afloren sólo en una cierta distancia reducida, o en cambio, que la faja de esquistos se ensanche. Dicha constitución tectónica se refleja también claramente en la morfología, precisamente en el notorio curso S-N de los ríos Dagua y Jordán, la quebrada Almorzadero, y los ríos El Engaño y Dagua, los cuales siguen obviamente las fallas.

Aunque no se deja comprobar por el momento, parece muy probable que más al Este se desarrolla una estructura anticlinal, que culmina en alguna parte cerca de La Cumbre, y por la cual se doblaron los derrames diabásicos. Así, se puede suponer a base de la constitución tectónica, que los derrames son de edad más antigua a medida que se alejan del río Dagua y del río Jordán. Por otro lado, parece probable que los derrames en contacto con el terciario inferior (está dibujado esquemáticamente en el perfil), son más modernos, que los situados al W.

Ojalá en las futuras exploraciones se encuentren fósiles; especialmente las liditas ofrecen buenas perspectivas. Luego, faltan muchas observaciones en el terreno para precisar el desarrollo tectónico. El presente estudio sólo pretende ser una guía para facilitar las investigaciones futuras.



Foto 1. — Vista panorámica del Valle del Río Cauca, con la ciudad de Cali, al pie de la Cordillera Occidental. Los charcos en el fondo son antiguos meandros cortados.

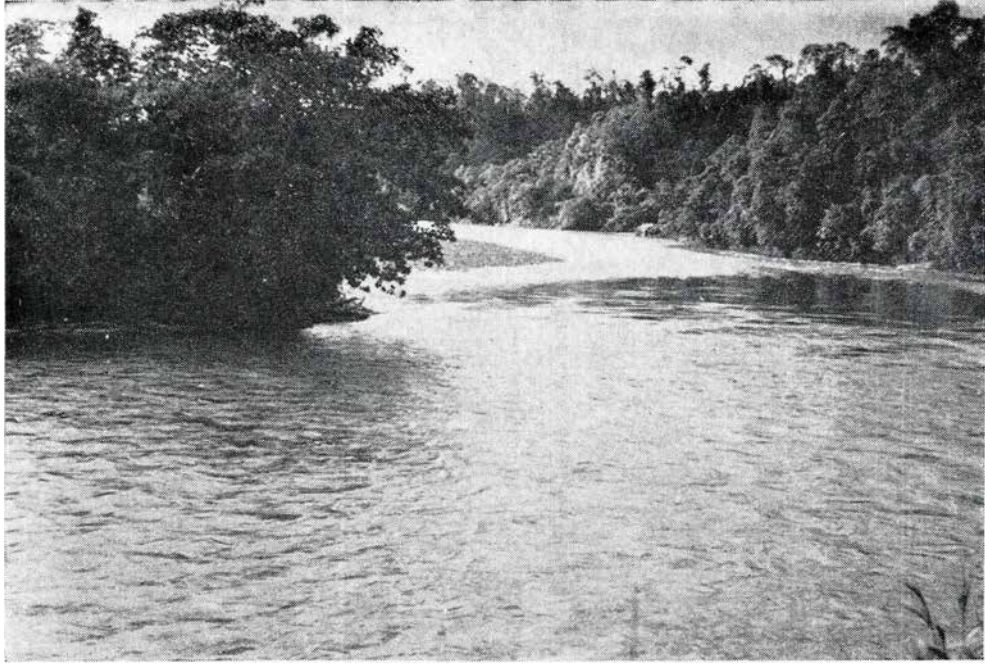


Foto 2.—El río Anchicayá, poco después de su salida de la Cordillera, en el llano costanero. Los ríos que nacen en la vertiente occidental son más caudalosos que los de la vertiente opuesta, que es más estrecha.



Micacita, con cristales prismáticos de andalusita, completamente alterada a sericita. ($\times 40$).

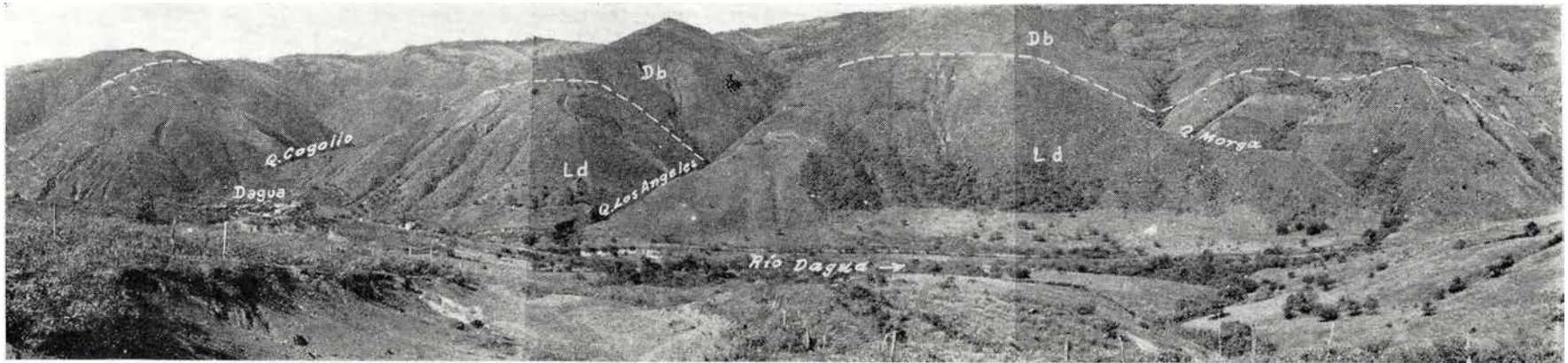


Foto 3. — Margen izquierda del río Dagua, con la misma población. La gráfica muestra el Grupo Diabásico (Db), reposando sobre las liditas del Grupo del Dagua (Ld). Las diabasas vuelven a aflorar a la orilla derecha del río Dagua, separadas del Grupo del Dagua por una falla, que sigue el lecho de este río.

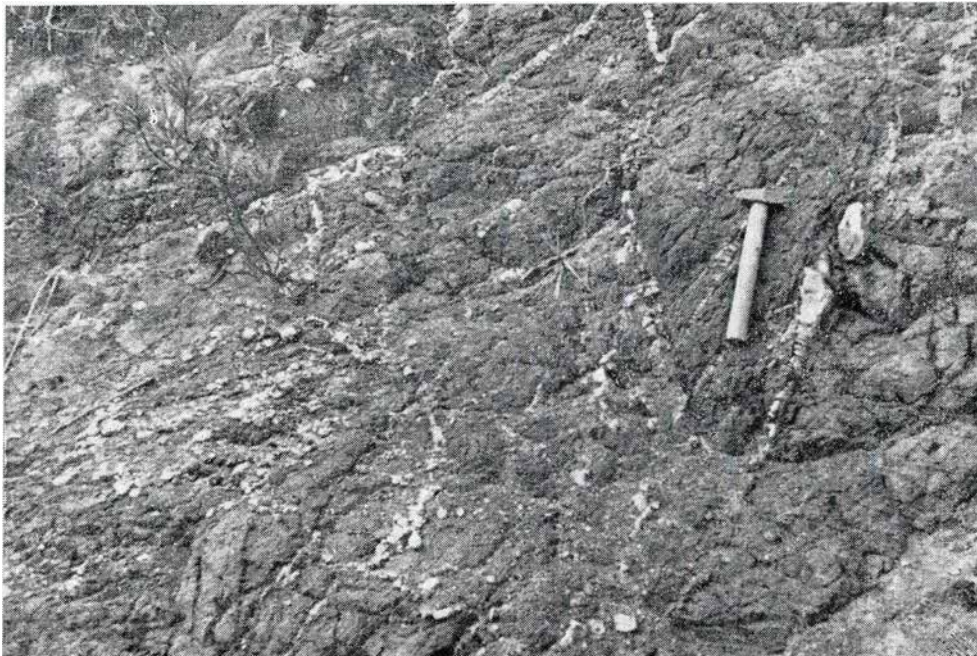


Foto 4.—Laterita, formada “in situ” por la meteorización química de las diabasas. Se distingue todavía la estructura de la roca original. Las diaclasas antiguas se han rellenado por cuarzo. Camino de las Tierras Blancas.

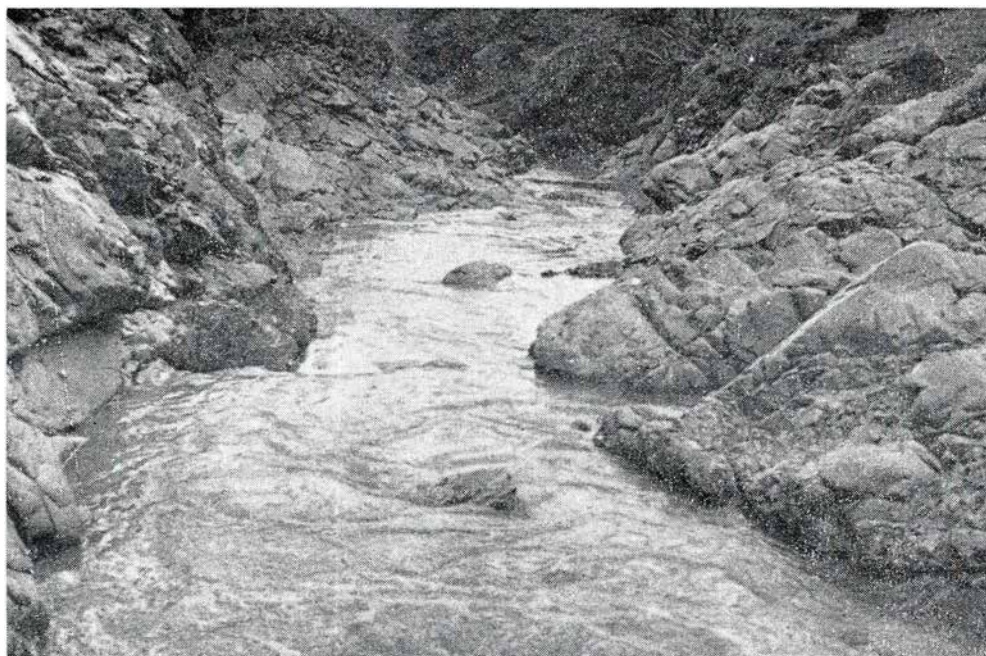


Foto 5.—Aspecto de los afloramientos magníficos, que ofrece la quebrada El Cabuyal.

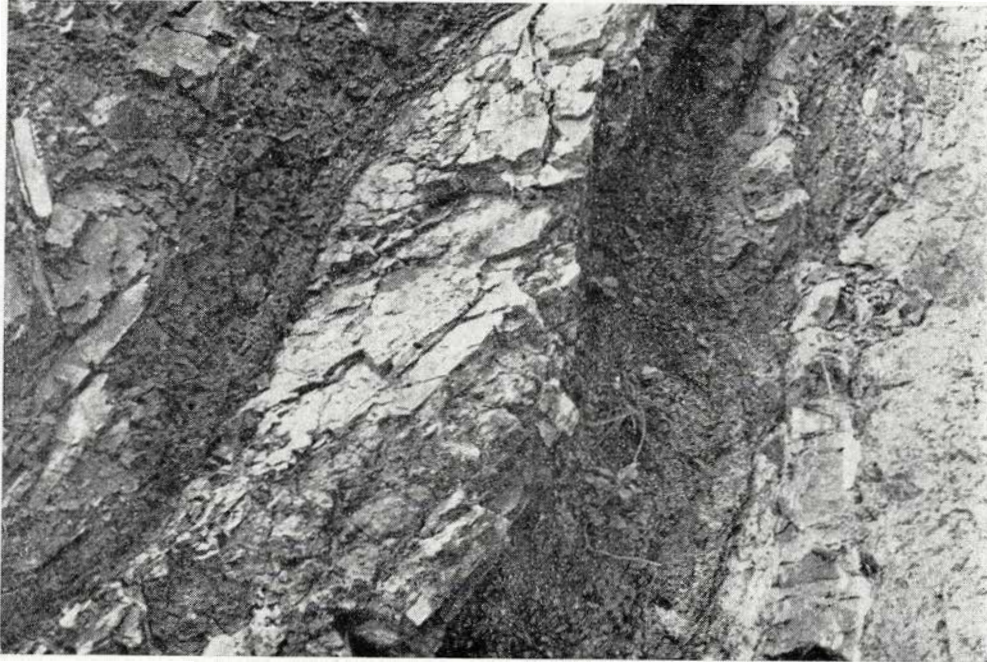


Foto 6. Contacto entre las litas (con navaja) y diabasa esquistoseada. Margen derecha del río Aguacatal, cerca de Cali.



Foto 7.—El río Danubio, cerca de la desembocadura en el río Anchicayá, con planta auxiliar hidroeléctrica.

Microfoto de la estructura ofítica, que predomina en la mayoría de las diabasas. Cristales prismáticos de plagioclasa forman un retículo, relleno por augita. ($\times 40$)



Microfoto de una diabasa, en donde la augita se desarrolló en la forma de "gavillas de trigo". ($\times 40$).



Microfoto de una diabasa (Hu-61), en la cual la plagioclasa está parcialmente sustituida por cuarzo. ($\times 40$).

Microfoto de otra parte de la misma muestra (Hu-61). Los efectos de la propilitización han afectado casi toda la roca. El mosaico de cuarzo se asemeja mucho a la estructura de cuarzitas. ($\times 40$).



**ESTUDIOS SOBRE LOS DEPOSITOS DE AZUFRE EN LA MINA
DE "EL VINAGRE", PURACE**

POR
IMRE MEGYESI

INFORME No. 1424

SERVICIO GEOLOGICO NACIONAL
BOGOTA, 1962

CONTENIDO:

RESUMEN	113
ABSTRACT	113
KIVONAT	114
INTRODUCCIÓN	115
FISIOGRAFÍA REGIONAL	117
FISIOGRAFÍA LOCAL	117
DATOS HISTÓRICOS	117
CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS.	119
MINERALIZACIÓN	121
LABORES DE PREPARACIÓN	123
DESCRIPCIÓN DE LOS NÚCLEOS	125
RESUMEN DE LAS PERFORACIONES	135
LABOREO SUBTERRÁNEO	135
GEOLOGÍA MINERA	138
DESCRIPCIÓN DE LAS MUESTRAS	138
ANÁLISIS	140
PRODUCCIÓN ANTERIOR	141
CONDICIONES HIDROLÓGICAS	141
TRATAMIENTO DEL MINERAL DE AZUFRE.	143
CÁLCULO DE RESERVAS	144
CONCLUSIONES	151
BIBLIOGRAFÍA	152

R E S U M E N

El Puracé es el único volcán en actividad dentro de un grupo de volcanes pliocénicos del batholito Cauca-Patía, en la Cordillera Central de Colombia. Las erupciones son explosivas y las rocas eyectadas son andesitas-augitas. El cono superior del volcán está construido por lavas andesíticas, bombas, lapillis y cenizas, y el inferior, por tobas de andesita y dacita.

Los estudios y perforaciones revelaron datos importantes sobre los depósitos de azufre, la potencia y magnitud de la zona mineralizada. Comprobaron que la mineralización del azufre ocurre en las rocas porosas de tobas de andesita y dacita en forma de impregnación y relleno de fracturas (azufre frío).

En la superficie se abrieron doce pozos, los cuales revelaron cuatro capas mineralizadas y aumentaron la reserva probada a más de cuatro millones de toneladas y la reserva probable se calcula en dos millones de toneladas aproximadamente.

El tratamiento del mineral aún requiere muchos ensayos, pero estamos convencidos de que la planta de flotación combinada con el autoclave japonés podría dar resultados satisfactorios.

Las cifras de valorización y cálculos para la vida de la mina sirven para realizar nuevas inversiones.

La exploración geológica se llevó a cabo con éxito; por lo tanto, la Compañía Industrias Puracé, S. A. puede realizar nuevas inversiones de capital para mejorar el proceso de tratamiento del mineral de azufre.

Consideramos que la compañía está en condiciones de abastecer las necesidades del país durante cincuenta años sin realizar nuevas perforaciones en la superficie.

A B S T R A C T

Puracé is at present the only active vent of a group of Pliocene volcanoes at northern edge of the Cauca-Patía batholith in the Cordillera Central of Colombia. The eruptions of Puracé are of explosive character. The upper cone is built of andesitic lavas, bombs, lapilli and ashes. The lower part of the volcano is made up of thick flows of dacite.

The studies and perforations revealed important data concerning the tenor and extent of the mineralized zones of the sulfur deposit.

They proved that the sulfur mineralization occurs in the porous andesite and dacite tuffs as impregnations and fracture filling (cold sulfur).

Twelve test holes were drilled, revealing four mineralized zones which augment the proven reserve to more than four million tons and the probable reserves are calculated at approximately two million tons.

The treatment of the mineral still needs much study but we are convinced that with the flotation plant in combination with the Japanese autoclave the results may be very satisfactory.

The valorization figures and the calculated reserves of the mine are the basis for the modernization of equipment.

The results of the geological exploration were favorable thus the Compañía Industrias Puracé, S. A. can now dedicate new investments of capital to improve the process of the treatment of the sulfur mineral.

We consider that the company has the necessary mineral reserves to supply the requirements of sulfur of the country for fifty years without the need of more test holes.

K I V O N A T

Puracé az egyedüli ma is működő vulkán egy pliocén vulkán csoporton belül, melyek a Cauca - Patía batoliton foglalnak helyet a Cordillera Centralban. A vulkáni kitörések robbanási jellegűek. A vulkán kúpjának felső része andesit lávából, andesit bombából, lapliból és vulkáni hamuból van felépítve, míg az alsó része andesit tufából és dacit tufából áll.

A tanulmányok és furások fontos adatokat szolgáltatottak a kénteletrópól, és annak kiterjedéséről és vastagságáról. Bebizonyították, hogy az ásványi előfordulás a porózus dacit és andesit tufában foglal helyet impregnáció és hasadékköltési formában. (Hidrogén).

A felszínről nyitott tizenkét kút kimutatott négy ásványos réteget és több mint négy millió tonnával emelték a megkötött készletet, míg a valószínű készlet körülbelül két millió tonnára becsülhető.

A kén kőszelvényből való gazdaságos kinyerése még sok kísérletet igényel, de biztosak vagyunk benne, hogy az écomoso üzem a japán autoclave kombinációjával kielégítő eredményt szolgáltat.

A jelentésben közölt adatok a bányászati életvitására vonatkozólag alapul szolgálhat a berendezések modernizálására.

A geológiai tanulmányok sikerrel végződtek és ezáltal a Co. Industrias Puracé, S. A., befektetéseket eszközölhet az kinyerési folyamat modernizálására.

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

La Compañía Industrias Puracé ha solicitado la colaboración de la División de Minas y del Servicio Geológico Nacional, para estudiar la situación de la explotación del azufre en la mina de "El Vinagre", con el fin de hallar nuevas reservas de este mineral que en la actualidad son de gran importancia.

El trabajo se realizó con estudios geológicos en el terreno, evaluación de las perforaciones anteriores, estudios y perforaciones nuevas en la mina y reconocimiento del tratamiento del azufre.

Los equipos de perforaciones "Long Year" y "Pack Sack" comenzaron una exploración geológica en el área de la concesión de la mina de "El Vinagre" el 1º de noviembre de 1961, bajo la supervigilancia del señor Bozidar Virijevic.

Las perforaciones proyectaron no sólo aumentar las reservas probadas, sino obtener conocimientos sobre la potencia, magnitud y calidad de la zona mineralizada.

El estudio geológico preliminar nos estimuló para seguir adelante con un plan por medio del cual intentamos centralizar los trabajos mineros dando la posibilidad de abrir nuevos niveles para los trabajos subterráneos. De esta manera, todos los sitios para las perforaciones fueron indicados al lado noroeste de la mina, esperando, además, encontrar en esa área mayor concentración del mineral.

Al principio las autoridades de la mina, ignorando el plan del Servicio Geológico, comenzaron las perforaciones según su criterio; naturalmente estos trabajos fueron nulos, siendo su resultado, pérdida de tiempo y de tuberías; pero en los últimos días del mes de noviembre, el suscrito visitó la mina e insistió en llevar a cabo sus proyectos, los cuales fueron autorizados por la Gerencia de la Compañía, empezando a principios de diciembre, las perforaciones al lado noroeste de la mina.

Los resultados se presentaron pronto. En el pozo número 2 "Min-minas", se atravesaron cuatro capas mineralizadas y el contenido promedio de azufre sobrepasó al del anterior. Desafortunadamente como el punto no estaba bien localizado en el terreno, no se alcanzó la profundidad deseada; por lo tanto, no se consiguieron los detalles necesarios desde el punto de vista minero, aunque sí se aumentó la reserva probada.

La comprobación de las cuatro capas mineralizadas y la mala localización de los puntos, forzaron al geólogo a revisar los proyectos y a efectuar nuevos cambios, teniendo en cuenta el deseo de la compañía, de no investigar en niveles inferiores al que actualmente tienen en la mina.

Siguiendo con las perforaciones se comprobó un límite estructural de los depósitos del mineral al lado noroeste. En los pozos números 4 y 6, no se presentaron la tercera y cuarta capa mineralizada.

Terminado el sexto pozo se continuó la perforación del lado noroeste, donde antes se había pensado en investigar por medio de túneles, ya que la continuación de la zona principal era evidente.

Los resultados de estos trabajos fueron satisfactorios dejando cumplida en esta forma, la misión encomendada al Ministerio por la citada compañía.

FISIOGRAFIA REGIONAL

El Puracé forma la cima de una serie volcánica de la Cordillera Central, conocida como Sierra de Coconucos y llamada, también, la Sierra del Puracé.

Este volcán está situado más o menos 85 kilómetros al sur del Nevado del Huila, a 5.750 metros sobre el nivel del mar, siendo la más alta cima volcánica de Sotará (4.850 metros). Ochenta kilómetros al Sureste se halla el cono volcánico de Pan de Azúcar (4.670 metros), el cual parece estar completamente apagado. La Sierra del Puracé se extiende más o menos 25 kilómetros hacia el Sureste; la última cima del Sur es el Pico de Paletará (4.482 metros).

El Puracé forma la cima de un grupo de tres volcanes de los cuales actualmente, es el único en actividad, pues el Sotará y Pan de Azúcar se encuentran latentes o durmientes. La Sierra del Puracé, junto con el volcán Sotará, hacia el Oeste, a ambos lados del valle del río Cauca, forman su cabecera; pero este río se origina aproximadamente 35 kilómetros al Sur, en el Páramo del Buey, de donde desciende y sigue hacia el Este.

En esta parte de Colombia tienen origen sus más grandes ríos; está situada sobre un batholito de edad terciaria intruído en los estratos más antiguos de la Cordillera Central. La Sierra del Puracé, así como los volcanes activos y durmientes de la región, aparentemente representan la salida de magmas en relación con la subida de ese batholito.

FISIOGRAFIA LOCAL

Los ríos San Francisco y Vinagre que bajan del volcán Puracé tienen valles escarpados. El valle del río Vinagre que posee la fuente en el cono del volcán, muestra evidencias de corrientes de lodo en la parte superior.

El agua del río Vinagre es muy ácida. Según los análisis químicos tiene más de 1% de ácido sulfúrico y, más o menos, 1% de ácido hidrocórico. Varias fuentes termales vierten sus aguas en este río cuyo curso superior atraviesa estratos gruesos de la zona mineralizada.

DATOS HISTORICOS

El volcán Puracé existió desde la época del Plioceno y evidentemente ha sido activo dentro del tiempo histórico. HUMBOLDT menciona por primera vez las actividades volcánicas del Puracé en 1801 y más tarde BOUS-SINGAULT en el año 1831, pero ninguno de los dos dejaron descripción alguna.

A. STUEBEL describe en su informe la erupción ocurrida el 18 de noviembre de 1827 y, según parece, a pesar de sus persistentes esfuerzos, no consiguió acercarse al cráter.

WILHELM REISS (1921), compañero de STUEBEL, con quien estudió varios volcanes del Ecuador y Colombia, fue el primer científico que describió el Puracé y el cráter del volcán después de su ascenso en noviembre de 1868. REISS menciona varias erupciones violentas entre diciembre de 1849 y 1852. Después de éstas la cima de la montaña bajó aparentemente. Los habitantes de las poblaciones cercanas emigraron y la ciudad de Popayán fue cubierta por una capa de ceniza. También describe otra que ocurrió el 4 de octubre de 1869 y que estuvo acompañada por terremotos y grandes corrientes de lodo.

El 25 de mayo de 1889 se registró una nueva que, —según las memorias de los habitantes—, ocasionó numerosas víctimas y destruyó varias casas de la región, así como también en Popayán, la iglesia de San José y algunos edificios.

Una el 12 de octubre de 1925 y otra el 5 de noviembre del mismo año, son las primeras registradas en este siglo.

I. FRIEDLAENDER (1927), quien también menciona otra en septiembre de 1926, que estuvo acompañada por fuego y ceniza, observó las erupciones desde lejos y su esfuerzo por subir a la cima fue infructuoso.

No se registraron nuevas erupciones hasta abril de 1946, cuando, según los habitantes de Puracé, una fuerte explosión sacudió la región perjudicando la iglesia de la población; este terremoto también fue sentido en Popayán.

El 27 de abril de 1947, cuando V. OPPENHEIM subió al cráter, ocurrió una nueva; la columna de humo en esta ocasión alcanzó hasta 1.000 metros de altura aproximadamente. Días antes cayeron ceniza y lapilli a una distancia, más o menos, de 10 millas del volcán. El 26 de mayo de 1949, una nueva explosión acompañada de terremoto y gran cantidad de cenizas y bombas, causó la muerte a 17 estudiantes de la Universidad del Cauca, quienes se proponían alcanzar la cima del volcán.

El terremoto del 11 de junio de 1949, que fue experimentado por OPPENHEIM y su compañía, fue probablemente ocasionado por una erupción explosiva, la que no se pudo observar porque una densa nube cubrió la montaña.

De los datos disponibles acerca de la actividad del Puracé durante más de un siglo, se deduce que el volcán ha disminuído ligeramente su carácter explosivo, según se aprecia en las últimas erupciones registradas. Cuando el autor del presente informe llevó a cabo su visita, no había cenizas ni humo visibles; pero los géysers estaban en actividad y lanzaban vapor a considerable altura. También pudo observar que el cono del volcán estaba en parte cubierto de nieve.

La carencia de observaciones sistemáticas imposibilita determinar el período de las erupciones, así como el desarrollo del cono y del cráter.

CARACTERISTICAS GEOLOGICAS

Nomenclatura.

Las rocas encontradas dentro de la concesión pertenecen a la familia de las andesitas; pero dentro de ellas existe mucha diferencia, que algunas veces se aprecia solamente bajo el microscopio. A continuación describimos las diferentes rocas piroclásticas de Puracé.

Tobas de explosión.

Aquellas cuyos componentes se han depositado directamente "in situ", después de salir de una abertura volcánica, a diferencia de las otras tobas volcánicas de tipo más común, cuyos elementos han sufrido arrastre.

Toba cristalina.

Roca volcánica compuesta, en gran parte, de fragmentos de cristales.

Toba perlítica.

Roca volcánica compuesta de elementos clásticos diminutos.

Toba pumítica.

Roca volcánica muy porosa y ligera, parecida por su aspecto, a la piedra pómez.

Toba traquítica.

Toba vítrea. Roca volcánica que integra las mal llamadas cenizas, o sea, el polvo, compuesto principalmente de fragmentos de vidrio muy fracturado.

Toba volcánica.

Roca compuesta de fragmentos piroclásticos consolidados, algunos de los cuales pueden distinguirse a simple vista. Si los fragmentos grandes tienen mayor tamaño que la nuez, la roca se llama brecha o aglomerado volcánico. Según que los componentes que predominen, sean trozos de cristales, de rocas o de vidrios, se tratará de toba cristalina, lítica o vítrea, respectivamente.

Toboso - a

Formado de piedra toba. Sin embargo, el renombrado Toboso de la Mancha, debe su nombre a la abundancia de una especie de cardo llamado toba en la localidad.

Andesita.

Roca volcánica correspondiente, por su composición y textura, a las denominadas porfiritas, y por su composición, a las rocas plutónicas, llamadas dioritas; su textura, microlítica pilotaxífica o hialopilítica se com-

pone de plagioclasa o andesita o mezcla de ambos con uno o más de los minerales máficos, biotita, hornblenda y piroxenos. Cuando la textura es porfiroide, los fenocristales son de oligoclasa, andesita, biotita, etc. La andesita es roca compacta o vacuolar, áspera al tacto o finamente granosa, de color gris oscuro o negro, y de su masa se destacan a veces manchitas blanquecinas de feldespatos. La moderna distinción entre andesita y basalto no depende de la existencia o falta de olivino o de las relativas proporciones entre los minerales félsicos y máficos, sino de la diferencia de composición de las plagioclasas.

Pertenecen las andesitas a la primera fase de emisión de rocas eruptivas terciarias en América, donde tienen enorme desarrollo, especialmente en la zona andina, circunstancia de donde se deriva su nombre. Su peso específico varía de 2.50 a 2.85. Composición: 46% plagioclasa, fenocristales zonares 31%, hornblenda parte en fenocristales con o sin piroxeno y biotita, 3% mena y apatito, 20% base vítrea, andesina, sanidina, cuarzo.

Andesita augítica.

La que encierra en su matriz microlitos de augita.

Andesita con cuarzo. V. Dacita.

Nombre que califica a la familia de rocas volcánicas correspondientes por composición y textura, a las porfiritas, con cuarzo y sólo por composición a las rocas plutónicas denominadas dioritas cuarcíferas, pues su textura consiste en una matriz microlítica o vítrea, donde se destacan fenocristales; a veces tienen, también, textura pilotaxífica. Los feldespatos que contienen son plagioclasas próximas a la andesina y a la oligoclasa en lo que se diferencian las dacitas de las riolitas, con las que a veces se han confundido.

Según la composición de la plagioclasa, distinguió IDDINGS tres tipos de dacita: la *ungaita*, con oligoclasa; la *shastita*, con andesina; la *bandaita*, con labradorita. Este último tipo puede considerarse una variedad del basalto cuarcífero; 46% de plagioclasa, 30% de cuarzo, 5% de fenocristal, 9% de ortosa, 8% de clorita pseudomórfica, 5% de fenocristales de biotita y hornblenda, 2% de mena y apatito.

Andesita cuarzosa.

Andesita con fenocristales de cuarzo corroídos en los bordes. El análisis químico revela igual composición que en la dacita normal.

Andesita labradórica.

Andesita con fenocristales de labrador; equivalente efusivo de gabrodiorita.

Andesita nefelínica.

Variedad de andesita con nefelino; equivalente efusivo de diorita nefelínica.

Estructura regional.

El batholito de Cauca-Patía forma la base del volcán. Sobre el granito se encuentra gneis de edad prepaleozoica y la parte superior de la serie está compuesta por formaciones sedimentarias del Grupo Dagua (Jurásico-Cretáceo Inferior). Este último se compone de lalitas, pizarras y esquistos arcillosos negros. ALVARADO & HUBACH mencionan en el informe número 243 "Exploración de la región de Puracé" que, en la región de Puracé el Cretáceo puede ocultarse en el terreno que aflora sobre el lado oeste del Cauca, entre el Puente de Coconuco y el Puente de Puracé.

Los estratos del Mesozoico y Paleozoico están cubiertos por una capa piroclástica y andesítica del piso Popayán. Plioceno-Reciente.

En el área de la concesión afloran solamente las rocas representativas del Piso Popayán y la mineralización se manifiesta en esas rocas piroclásticas; a continuación detallamos la geología de Puracé.

Lavas de dacita de color rojizo aparecen ligeramente inclinadas, en partes casi horizontales, formando la parte inferior del volcán hasta la cota, más o menos, 3.800 metros. Ellas forman una pared de lava muy pendiente en la parte noroeste del volcán. Arriba de los 3.800 metros el cono piroclástico está constituido por lava de andesita de color negro, intercalada con gran cantidad de toba de andesita, cenizas y grandes bloques de andesita.

Por estas razones, el Puracé tiene una construcción compuesta. La capa dacítica en la base está cubierta con andesita y materiales piroclásticos. El cráter principal tiene, más o menos, 500 metros de diámetro y está totalmente lleno de cenizas, tobas y otros materiales piroclásticos. Un pequeño cráter secundario se halla situado en el flanco este.

Dos fumarolas se observan a 150 metros, más o menos, del cráter en el flanco oeste del volcán. La menor está situada un poco al Norte y arroja vapor a períodos regulares de tiempo. La otra fumarola, un poco más abajo, hacia el Sur, formó una cueva ancha en el flanco; está rodeada por corrientes de lava y azufre.

La gruesa capa de material piroclástico forma el cono compuesto principalmente de lapilli, grandes bloques de andesita provenientes del muro del cráter. Las bombas de lava no son frecuentes y una gran cueva cerca a la segunda fumarola, es la fuente del río Vinagre.

MINERALIZACION

Los depósitos se clasifican como yacimientos volcánicos que se han formado por la oxidación imperfecta de emanaciones magmáticas relacionadas con erupciones volcánicas. Su importancia desde el punto de vista comercial es económica, aunque el costo de recuperación siempre es superior al de las que se depositaron como material sedimentario, o por la reducción de sulfatos con desprendimiento de sulfuro hidrógeno (H_2S) que al oxidarse deposita azufre.

Las emanaciones magmáticas ricas en H_2S ascienden a través del cráter, grietas, fracturas y fallas, depositando azufre donde existen condiciones favorables, tales como presión, temperatura, etc., especialmente

donde la presencia del oxígeno lo permite. Generalmente, las emanaciones magmáticas impregnan las rocas en mayor o menor intensidad, según el grado de porosidad y abundancia de grietas y fracturas.

La principal falla es la del río Vinagre, que se formó durante la primera erupción y tiene un papel muy importante en la mineralización. Las fallas suelen ser las vías de los gases ascendentes, especialmente cerca a varios centros; por lo tanto, es evidente que la mineralización ocurrió a lo largo de dicha falla.

Existieron y existen ideas pesimistas que no atribuyen mucha importancia a la mineralización y económicamente descartan el área. Los representantes de esa idea deben haber tenido en cuenta solamente los depósitos secundarios de azufre, lo que ocurre en el sitio del socavón antiguo. Verdaderamente esa ocurrencia no tiene valor industrial; pero considerando que las fuentes termales que depositaron el azufre debieron atravesar las capas mineralizadas, la investigación y evaluación del área cobra mucha importancia.

El mineral de azufre salió del volcán con los materiales piroclásticos, es decir, la mineralización tiene la misma edad que las formaciones geológicas, aunque no todas las erupciones llevaron rocas mineralizadas.

Por ese aspecto todos los lados del volcán deberían estar mineralizados; sin embargo, no es así.

En las zonas del suelo de poca pendiente, las masas de materiales arrojados por el volcán son denudados y arrastrados por el viento como verdaderas dunas lixiviadas por las lluvias y socavonadas por las corrientes de agua. Las diversas particularidades que tal denudación origina, requieren la atención del geólogo. Si la capa que cubre el suelo se compone de lapilli y piedra pómez, la lluvia se absorbe inmediatamente y sólo cuando en el fondo se ha acumulado una cantidad de agua exorbitante, se precipita impetuoso y súbito caudal de fango, piedra y agua; pero si la cubierta del suelo consiste en cenizas, éstas se aglutinan con las primeras gotas y forman una capa completamente impermeable entre la cual corren paralelamente y se cruzan numerosos arroyuelos, que llevan consigo buen acopio de materiales sólidos; así resulta que llegan materiales volcánicos a zonas donde nunca pudieron alcanzar directamente las erupciones.

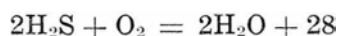
A consecuencia de la denudación y erosión, la zona mineralizada ha sufrido muchos cambios y solamente los trabajos de reconocimiento. —por medio de perforaciones— puede revelar la magnitud de ésta.

Tampoco existen datos directos de la actividad volcánica del Puracé. El autor supone que la mineralización ocurrió solamente del lado suroeste del volcán y no en la periferia del cono, porque el material piroclástico salió por un lado y no verticalmente.

Es erróneo suponer que todas las erupciones llevaron cenizas y productos de sublimación de azufre.

Como conclusión puede decirse que se presenta la zona mineralizada en dos formas: depósitos primarios en tobas volcánicas y depósitos secundarios, por el arrastre de los primeros.

En una zona cerca a la superficie se llevó a cabo la siguiente reacción:



A pesar de la irregularidad de la presencia del mineral podemos determinar aproximadamente las capacidades y características geológicas de los depósitos de azufre. Las perforaciones aumentaron considerablemente las reservas de la mina y en el futuro, la explotación del azufre no corre riesgo ni dificultad.

El beneficio neto será elevado si de alguna manera podemos mejorar la recuperación sin alzar los costos de tratamiento.

Los resultados químicos de las muestras tomadas de los núcleos presentaron un promedio de 30% de azufre sin tener en cuenta los núcleos de azufre cristalizado.

La zona mineralizada se extiende desde la falla del río Vinagre hasta unos doscientos metros de distancia hacia el Noroeste donde las capas mineralizadas inferiores están limitadas por andesita estéril. Al lado sureste de la mina, la extensión de la zona se desconoce, pero suele aumentar la potencia y calidad de ella.

En la cercanía del lecho del río Vinagre, el depósito del mineral sufrió arrastre y descomposición por las aguas superficiales; por lo tanto, la calidad y potencia de la zona mineralizada es muy variable, lo que está comprobado por los trabajos mineros y por las perforaciones realizadas en la mina.

LABORES DE PREPARACION

PERFORACIONES

La Industria Azufrera de Puracé realizó tres perforaciones en la zona del lado noroeste de la mina. Con los sondeos se comprobó la presencia del área mineralizada y en términos generales, se efectuaron con éxito; pero desde el aspecto geológico minero, es necesario decir que la perforación no alcanzó a atravesar el yacente de la zona mineralizada y tampoco comprobó la continuidad de ésta un poco más lejos del río Vinagre.

Los citados sondeos han debido efectuarse en frente de los avances subterráneos para obtener mejor rendimiento en el arranque.

Considerando esos aspectos sugerimos un plan para aumentar la reserva probada y solucionar los problemas de los trabajos subterráneos, en la forma explicada en la introducción.

La comprobación del depósito de azufre requiere perforaciones en un sistema de red en que los pozos están ubicados a una distancia no mayor de 30 metros uno de otro. En el caso de El Vinagre no se pudo seguir este plan, debido al tiempo limitado y a otros factores que sólo permitieron realizar el trabajo según las necesidades; por consiguiente, se investigó por medio de pozos un área muy grande, con el objeto de aumentar la reserva de la mina, dando por resultado nuevas inversiones para el mejoramiento de la planta de recuperación.

En la numeración de los pozos aceptamos los de la mina, que fueron usados en los análisis químicos y en el archivo de los núcleos, aunque esto no es razonable, porque el primer pozo no fue proyectado ni terminado.

La formación geológica es semejante a la que se comprobó en los estudios anteriores.

Andesita. Megascópicamente es una roca de color negro o gris oscuro, compacta. Bajo el microscopio presenta textura pilotáxica constituida por granos de plagioclasa o andesina, o mezcla de ambos, con uno o más, de los minerales máficos; biotita, piroxenos y hornblenda. La plagioclasa es abundante en cristales fragmentados y turbios.

El cuarzo aparece en granos xenomorfos, con bordes granulados.

Los minerales máficos muchas veces son abundantes.

Las proporciones aproximadas de los minerales son las siguientes:

Plagioclasa 46% ; fenocristales zonares 31%, mena y apatita 3%, base vítrea, andesina, sanidina, cuarzo 20%.

La dacita. Es casi la misma roca con componentes iguales pero las proporciones de los minerales varían, principalmente en el contenido del cuarzo. 46% de plagioclasa, 30% de cuarzo, 9% de ortosa, 8% de clorita, 5% fenocristales de biotita, 2% mena y apatita.

Descripción Petrográfica de las Cenizas y Tobas Volcánicas.

Los materiales finos son de color gris oscuro y gris claro. Estas cenizas bajo el microscopio aparecen constituidas por partículas de vidrio vesicular, fragmentos de plagioclasa, magnetita, biotita, cuarzo, etc., los cuales son fundidos en macro o microcristales de azufre.

RESUMEN DE LOS POZOS "MINMINAS"

- a) Primer pozo: Negativo;
- b) Segundo pozo: No se profundizó hasta la capa principal. Se comprobaron tres capas mineralizadas. Espesor total del mineral: 77'. Promedio S = 30%.
- c) Tercer pozo: Mal localizado. Comprobó cuatro capas mineralizadas. Espesor total del mineral: 87' y el de la mina. Promedio S = 30%.
- d) Cuarto pozo: Comprobó dos capas mineralizadas. Espesor total del mineral: 46'. Promedio S = 25%.
- e) Quinto pozo: Comprobó dos capas mineralizadas. Espesor total del mineral: 75'. Promedio S = 30%.
- f) Sexto pozo: Comprobó dos capas mineralizadas. Espesor total del mineral: 44'. Promedio S = 28%.
- g) Séptimo pozo: Comprobó dos capas mineralizadas. Espesor total del mineral: 249'. Promedio S = 35%.
- h) Octavo pozo: Comprobó cuatro capas mineralizadas. Espesor total del mineral: 59'. Promedio S = 35%.
- i) Noveno pozo: Comprobó cuatro capas mineralizadas. Espesor total del mineral: 120'. Promedio S = 35%.

DESCRIPCION DE LOS NUCLEOS

POZO NUMERO 1 — C. V. C.

- 0' - 23' Capa vegetal. Arcilla negra.
- 23' - 39' *Dacita*. Capa compacta de color rojizo. Microscópicamente en la masa se destacan manchas de feldespato y cuarzo. Aspera al tacto. Muestra trazas de azufre. Microscópicamente: En la masa vítrea compuesta por fenocristales de feldespato, ocurren fenocristales de plagioclasa, menor cuarzo y biotita con magnetita.
- 39' - 48' *Dacita tobosea*. Roca compacta de color pardo. Grano fino. Microscópicamente: muestra gran vesicularidad llena por magnetita y diminutos cristales de feldespato.
- 48' - 94' *Andesita augítica*. Roca compacta de color negro. Grano fino. Microscópicamente: en la masa vítrea compuesta por vidrio y fenocristales de labradorita hay fenocristales de labradorita, manchas de magnetita, augita, biotita y hornblenda.
- 94' - 101' *Dacita*.
- 101' - 110' *Arcilla negra*. No recuperación.
- 110' - 198' *Dacita tobosea*. Roca porosa de color rojizo. Buenas manifestaciones de azufre. En la base del intervalo ocurre intercalación de toba andesítica.

Resultado del análisis químico:

110' - 120'	S = 27 %
120' - 130'	S = 31 %
130' - 138'	S = 21 %
138' - 145'	S = 42 %
145' - 150'	S = 40.6 %
150' - 160'	S = 39 %
160' - 165'	S = 42 %
165' - 170'	S = 40.4 %
170' - 175'	S = 43.2 %
175' - 180'	S = 30 %
180' - 185'	S = 34.4 %
185' - 190'	S = 28 %

- 198' - 238' *Toba de dacita*. Roca porosa de color blanco-rojizo. Poca manifestación de azufre. En la base del intervalo aparece dacita porfirítica.
- 238' - 240' *Dacita porfirítica*. Roca compacta de color pardo. En la masa fundamental manchas de feldespato y cuarzo. Microscópicamente: Los fenocristales de feldespato son muy corridos y reemplazados por cuarzo y azufre.

240' - 246' *Dacita porfirítica*. Con buena manifestación de azufre.

Nota. — Aparentemente la perforación no alcanzó a atravesar la zona mineralizada.

* * *

POZO NUMERO 2 — C. V. C.

- 0' - 11' Capa vegetal. Arcilla negra.
- 11' - 17' *Andesita augítica anfibólica*. Roca compacta de color negro, áspera al tacto. En la masa negra se destacan manchas de feldespato y anfíbol. Microscópicamente: en la masa vítrea aparecen fenocristales de feldespato, anfíbol, augita y magnetita. La masa consiste en microcristales de feldespato.
- 17' - 26' *Dacita porfirítica*. Roca compacta de color blanco-rojizo. En la masa gris clara se destacan cristales de feldespato y cuarzo. En la parte superior del intervalo la roca es de color gris, mientras la base es rojiza. En la parte mediana aparecen intercalaciones de los dos. Manifestación pobre de azufre. Contenido promedio: S = 10%.
- 26' - 28' *Toba de dacita*. Descompuesta por aguas subterráneas.
- 28' - 64' *Toba de dacita*. Roca semiporosa de color rojizo. Entre 34' y 46' aparece una intercalación de toba gris. El conjunto contiene núcleos, granos y venas de azufre mineral. La zona gris no está mineralizada. Contenido de azufre: S = 33%.
- 64' - 90' *Dacita*. La parte superior no contiene azufre. La inferior, tiene intercalaciones con tobas volcánicas donde ocurren manifestaciones de azufre.

Contenido:

80' - 85'	S = 39 %
85' - 90'	S = 57 %

- 90' - 107' *Toba de dacita*. Roca porosa de color pardo-rojizo. Rica en azufre.

Contenido:

90' - 95'	S = 45 %
95' - 100'	S = 42 %
100' - 105'	S = 3 %

- 107' - 117' *Toba de andesita arcillosa*. Roca compacta de color gris claro, con o sin manifestaciones pobres de azufre.

- 117' - 151' *Toba volcánica*. Roca porosa de color blanco-rojizo. Buenas manifestaciones de azufre.

Contenido:

115' - 120'	S = 24 %
120' - 125'	S = 32 %
125' - 130'	S = 27 %
130' - 140'	S = 36 %
140' - 145'	S = 40 %
145' - 150'	S = 45 %
151' - 155'	<i>Toba de andesita.</i> Manifestaciones pobres de azufre.
155' - 166'	Arcilla negra.
166' - 177'	<i>Toba de andesita.</i> En parte arcillosa. Manifestaciones pobres de azufre.
196' - 206'	<i>Toba de andesita.</i> Manifestación pobre de azufre.
206' - 222'	<i>Dacita porfirítica.</i> Roca compacta gris clara. En la masa gris se destacan cristales de feldespato y cuarzo. Manifestación pobre de azufre.

* * *

POZO NUMERO 3 — C. V. C.

0' - 11'	<i>Capa vegetal.</i> Arcilla negra.
11' - 28'	<i>Andesita augítica hornblenda.</i> Roca compacta de color negro, áspera al tacto; en la masa negra se destacan cristales de feldespato y hornblenda. Microscópicamente: en la masa vítrea aparecen fenocristales de plagioclasa, hornblenda, magnetita y augita.
28' - 31'	<i>Dacita traquítica.</i> Roca compacta de color blanco-rojizo.
31' - 61'	<i>Dacita tobosea.</i> Roca semicompacta de color rojizo. En partes está descompuesta por agua subterránea. Manifestación pobre de azufre.
61' - 96'	<i>Toba de andesita.</i> Roca semiporosa de color gris claro. En la masa gris se destacan manchas de feldespato. En el intervalo ocurren intercalaciones con tobas negras. Buena demostración de azufre. Promedio: S = 13.5%.
96' - 100'	<i>Toba de dacita.</i> Roca porosa. Buena demostración de azufre. Promedio: S = 28.5%.
108' - 112'	<i>Toba de andesita.</i> La cima rica en azufre. Promedio: S = 40%.
112' - 145'	<i>Andesita tobosea.</i> Roca compacta, en partes descompuesta, arcillosa. Pocas manifestaciones de azufre. Contenido: S = 23.3%.

- 145' - 153' No recuperación.
 153' - 158' *Arcilla gris oscura.*
 158' - 163' *Arcilla negra blandita.*
 163' - 168' *Dacita.*
 168' - 173' *Dacita porfirítica.*
 173' - 208' *Toba de andesita.*
 208' - 216' *Andesita gris oscura.* Roca compacta. La cima es tobosa y la base porosa.

POZO NUMERO 1 — "MINMINAS"

Cota	3.615.50 m
Profundidad:	146'
Comienzo de perforación	Noviembre 5 de 1961.
Terminación de la perforación	Noviembre 24 de 1961.

Nota. Los resultados son negativos. Se perforó por las autoridades de la mina; en 146' la tubería se pegó. No existen descripciones de los núcleos. Según los perforadores, las formaciones geológicas fueron las siguientes:

- 0' - 54' *Andesita tobosa.*
 54' - 80' *Toba volcánica. Mineralizada.*
 80' - 146' *Toba de andesita.*

POZO NUMERO 2 — "MINMINAS"

Cota	3.654.69 m
Profundidad:	250'.
Comienzo de la perforación	Diciembre 4 de 1961.
Terminación de la perforación	Diciembre 15 de 1961.

- 0' - 35' *Andesita augítica.* Roca compacta de color negro.
 35' - 50' *Toba volcánica de color gris oscuro con buena manifestación de azufre:*

30' - 35'	27.45 %
35' - 40'	31.83 %
40' - 45'	37.22 %
45' - 50'	36.95 %

- 50' - 60' *Toba andesítica.* Roca semiporosa de color gris oscuro. Manifestación pobre de azufre.

50' - 55'	15.23 %
55' - 60'	15.38 %

60' - 102'	<i>Andesita</i> . Roca negra, compacta.	
102' - 122'	<i>Toba de andesita</i> . Manifestación de azufre:	
101' - 104'		21.00 %
104' - 109'		40.00 %
109' - 112'		14.00 %
112' - 119'		10.00 %
119' - 122'		6.00 %
122' - 153'	<i>Andesita</i> . Roca negra. En base intercalaciones de toba blanca.	
153' - 190'	<i>Toba de andesita</i> . Buena manifestación de azufre.	
155' - 160'		30.31 %
160' - 165'		35.21 %
165' - 170'		26.44 %
170' - 175'		21.45 %
175' - 180'		22.22 %
180' - 185'		43.10 %
185' - 190'		17.27 %
190' - 223'	<i>Andesita porfirítica</i> . Color gris oscuro.	
223' - 250'	<i>Dacita porfirítica</i> . Color gris claro.	

Nota. El punto no fue localizado a pesar de las advertencias del Servicio Geológico, pero la alteración de distancia no ocasionó cambio en los resultados esperados.

Las autoridades de la mina suspendieron las perforaciones en 250' sin dar aviso al Servicio Geológico; por lo tanto, el pozo no alcanzó la principal capa mineralizada.

POZO NUMERO 3 — "MINMINAS"

Cota	3.635.44 m
Profundidad:	230'.
Comienzo de la perforación	Diciembre 16 de 1961.
Término de la perforación.	Enero 14 de 1962.

0' - 29'	<i>Andesita augítica</i> . Roca compacta de color negro.	
29' - 31'	<i>Toba de andesita</i> . Roca semicompacta de color gris. Buena manifestación de azufre.	
29' - 31'		36.38 %
31' - 46'	<i>Toba volcánica</i> . Roca semiporosa de color gris-rojizo. Buena manifestación de azufre con núcleos de azufre cristalizado.	
31' - 35'		45.38 %
35' - 41'		49.27 %
41' - 46'		16.38 %

46' - 54'	<i>Toba andesítica.</i> Roca semicompacta. Pobre manifestación de azufre.	
46' - 54'		9.30 %
54' - 95'	<i>Andesita.</i> Roca compacta de color negro.	
95' - 122'	<i>Dacita porfirítica.</i> Roca semicompacta de color gris-rojizo. Manifestación de azufre.	
95' - 100'		14.19 %
100' - 105'		14.23 %
105' - 110'		46.00 %
110' - 117'		23.14 %
117' - 122'		50.00 %
122' - 147'	<i>Andesita.</i> Roca compacta de color negro con intercalaciones de dacita.	
147' - 161'	<i>Toba de andesita.</i> Color gris oscuro. Buena manifestación de azufre.	
147' - 151'		26.00 %
151' - 155'		32.32 %
155' - 161'		42.60 %
161' - 162'	Azufre cristalizado. 100%.	
162' - 170'	<i>Andesita tobácea.</i> Roca porosa de color gris oscuro. Poca recuperación debida probablemente al azufre cristalizado.	
162' - 170'		32.36 %
170' - 180'	<i>Andesita porfirítica.</i>	
180' - 190'	<i>Dacita porfirítica</i> de color blanco.	
190' - 201'	<i>Dacita porfirítica.</i>	
201' - 213'	<i>Dacita porfirítica</i> con azufre cristalizado.	
213' - 230'	<i>Andesita descompuesta</i> de color gris.	
213' - 218'		15.31 %
218' - 230'		16.39 %

Nota. El pozo debió haber sido localizado desde la entrada de la mina, como el Servicio Geológico lo había previsto; pero las autoridades de la mina desatendieron nuevamente las insinuaciones y el pozo atravesó el techo de ésta.

POZO NUMERO 4 — "MINMINAS"

Cota	3.680.01 m
Profundidad:	385'.
Comienzo del trabajo.	Enero 19 de 1962.
Terminación de la perforación	Febrero 5 de 1962.

0' - 56'	<i>Andesita augítica</i> . Roca compacta de color negro.	
56' - 82'	Toba volcánica de color gris. Pobre manifestación de azufre.	
56' - 60'		19.66 %
60' - 70'		32.00 %
70' - 80'		23.00 %
82' - 85'	Toba andesítica color gris oscuro.	
80' - 86'		11.00 %
85' - 130'	<i>Andesita augítica</i> .	
130' - 150'	Toba andesítica. Manifestación de azufre.	
130' - 133'		36.61 %
133' - 138'		28.28 %
138' - 143'		25.12 %
143' - 146'		49.00 %
146' - 151'		35.80 %
150' - 170'	Toba andesítica. Poca manifestación de azufre.	
159' - 164'		19.60 %
164' - 170'		15.50 %
170' - 225'	<i>Andesita tobosa</i> .	
225' - 345'	<i>Dacita porfirítica</i> .	
345' - 370'	Toba volcánica de color gris claro. Pobre manifestación de azufre.	
370' - 375'	<i>Andesita</i> .	
375' - 385'	Toba volcánica. Pobre manifestación de azufre.	

Nota. Se trazan las cuatro zonas mineralizadas de las cuales solamente las dos primeras son explotables.

POZO NUMERO 5 — "MINMINAS"

Cota	3.657.97 m
Profundidad:	333'.
Comienzo del trabajo.	Febrero 6 de 1962.
Término del trabajo	Marzo 30 de 1962.

0' - 85'	<i>Andesita augítica</i> .	
85' - 115'	Toba volcánica. Buena manifestación de azufre.	
85' - 88'		33.00 %
88' - 93'		29.00 %
93' - 97'		20.00 %
97' - 105'		31.00 %
105' - 114'		34.00 %

115' - 148'	Andesita augítica.
148' - 177'	Andesita descompuesta de color gris, en partes arcillosa.
177' - 197'	Toba de andesita de color gris claro.
197' - 275'	Toba de andesita de color gris claro.
275' - 333'	Toba volcánica de color gris claro. Buena manifestación de azufre.

275' - 280'	35.00 %
280' - 285'	28.00 %
285' - 290'	32.00 %
290' - 296'	32.00 %
296' - 301'	34.42 %
301' - 307'	25.33 %
307' - 312'	31.00 %
312' - 320'	36.96 %
320' - 325'	17.99 %

Nota. El pozo se terminó 28' abajo del nivel de la entrada de la mina en roca de dacita.

POZO NUMERO 6 — "MINMINAS"

Cota	3.651.80 m
Profundidad:	385'.
Comienzo del trabajo.	Febrero 26 de 1962.
Término del trabajo	Marzo 13 de 1962.

0' - 45'	Andesita augítica.
45' - 70'	Toba volcánica de color gris claro. Manifestación de azufre.

45' - 50'	35.00 %
50' - 55'	35.00 %
55' - 60'	38.00 %
60' - 65'	41.00 %
65' - 70'	16.00 %

70' - 103'	Andesita augítica.
103' - 122'	Toba volcánica. Manifestación de azufre.

103' - 110'	31.00 %
110' - 114'	40.00 %
114' - 119'	32.00 %
119' - 122'	24.00 %

122' - 157'	Andesita augítica.
157' - 176'	Toba andesítica de color gris claro. Pobre manifestación de azufre.
176' - 191'	Toba de andesita descompuesta con incrustaciones de malachita y carbonato de hierro,

- 191' - 226' Andesita augítica compacta.
 226' - 311' Toba de dacita descompuesta, parte arcillosa.
 311' - 385' Andesita augítica con intercalaciones de arcilla.

Nota. La tercera y cuarta capa mineralizada no se presentaron en el perfil del pozo.

POZO NUMERO 7 — “MINMINAS”

Cota 3.624.88 m
 Profundidad: 232'.
 Comienzo del trabajo. Abril 9 de 1962.
 Término del trabajo Abril 17 de 1962.

- 0' - 44' Andesita augítica. Roca negra compacta.
 55' - 82' Toba de dacita. Buena manifestación de azufre.

55' - 61'	3.66 %
61' - 68'	30.66 %
68' - 81'	27.66 %
81' - 84'	24.66 %

- 82' - 108' Dacita con poco mineral.
 108' - 230' Toba volcánica con buena manifestación de mineral.

108' - 113'	39.66 %
113' - 123'	29.00 %
123' - 132'	32.23 %
132' - 157'	46.66 %
157' - 185'	32.66 %
185' - 205'	32.66 %
205' - 232'	20.00 %

- 230' - 232' Dacita.

Nota. La perforación se suspendió 30' bajo nivel del piso de la mina.

POZO NUMERO 8 — “MINMINAS”

Cota 3.664.14 m
 Profundidad: 266'.
 Comienzo del trabajo. Mayo 1º de 1962.
 Término del trabajo Mayo 10 de 1962.

- 0' - 20' Toba de andesita.
 20' - 45' Toba de dacita, con buena manifestación del mineral.

20' - 27'	34.33 %
27' - 32'	54.33 %
32' - 39'	38.66 %
39' - 45'	34.66 %

45' - 75'	Dacita gris rojiza.	
75' - 84'	Andesita.	
84' - 104'	Dacita con mineral.	
	84' - 95'	33.00 %
	95' - 104'	41.66 %
104' - 110'	Dacita. Roca blanca sin manifestación de azufre.	
110' - 115'	Toba volcánica con buen mineral.	
	110' - 115'	46.00 %
115' - 125'	Dacita.	
125' - 145'	Andesita.	
145' - 257'	Dacita.	
257' - 266'	Toba volcánica con buena manifestación de azufre.	
	257' - 266'	31.66 %

Nota. El pozo se abandonó por dificultades técnicas y por consiguiente, los perforadores del Ministerio son responsables. Se perdieron 90' de tubería, botella y broca.

POZO NUMERO 9 — "MINMINAS"

Cota	3.662.81 m
Profundidad:	302'.
Comienzo del trabajo	Mayo 25 de 1962.
Término del trabajo	Junio 7 de 1962.

0' - 40'	Andesita augítica.	
40' - 46'	Toba de dacita. Roca color gris con mineral.	
46' - 63'	Andesita tocosa.	
63' - 73'	Toba de dacita, con mineral.	
	63' - 73'	31.33 %
73' - 123'	Andesita.	
123' - 136'	Toba de dacita con mineral.	
	123' - 136'	38.33 %
136' - 155'	Dacita.	
155' - 185'	Andesita.	
185' - 211'	Dacita.	
211' - 302'	Toba volcánica con mineral.	
	211' - 219'	49.33 %
	219' - 230'	32.33 %
	230' - 235'	31.00 %
	235' - 240'	10.00 %
	240' - 245'	60.66 %
	245' - 253'	58.00 %
	253' - 264'	56.00 %
	264' - 269'	58.33 %
	269' - 275'	57.66 %
	275' - 281'	36.00 %

281' - 287'	32.00 %
287' - 294'	47.33 %
294' - 302'	41.66 %

RESUMEN DE LAS PERFORACIONES

Las perforaciones comprobaron que:

- 1º—La mineralización ocurre en tobas de dacita y tobas volcánicas de dacita.
- 2º—No todas las erupciones llevaron material mineralizado.
- 3º—Las capas mineralizadas sufrieron arrastre en partes.
- 4º—Las capas de dacita están cubiertas con capas de andesita.
- 5º—Las zonas más ricas en azufre son las tobas de dacita.
- 6º—El piso de la zona mineralizada es dacita porfirítica y andesitas descompuestas y arcillosas.
- 7º—Las perforaciones fueron deficientes para comprobar si la zona mineralizada se repite a mayor profundidad.
- 8º—Entre los pozos números 4 y 5, 6 y 3 de "Minminas", existe un límite estructural por lo cual, de esta línea hacia el Noroeste, la tercera y cuarta capa mineralizadas (las dos inferiores) no aparecieron. (Ver mapa de perforación).

LABOREO SUBTERRANEO

El laboreo subterráneo se efectúa por pilares y galerías. Las propiedades de las rocas permiten los avances sin entibar las galerías.

La explotación de rocas supone arranque, carga y transporte. El arranque se efectúa por medio de explosivos y la explotación en bancos; para esto se utiliza el martillo de aire; la carga se hace mediante máquinas de volteo y el transporte con volquetas de la mina a la trituradora.

La zona mineralizada se compone de tres bancos:

a) El banco superior, donde la impregnación de azufre se presenta en tobas blancas de andesita cuarcítica; el contenido de azufre en este banco es de 25%, que es más bajo que el promedio;

b) En la parte media, el azufre se presenta en tobas rojizas de andesita y su tenor es muy alto, con un promedio del 45% y en algunas partes llega hasta el 50% ;

c) El banco inferior de la zona mineralizada se compone de tobas grises o andesita arcillosa en descomposición. El contenido en azufre se rebaja de nuevo al 25% aproximadamente.

Las zonas mencionadas son irregulares entre sí y en una mina planificada, no es posible dirigir los trabajos exclusivamente hacia el centro de la parte mineralizada. El cortar las bandas pobres de azufre, no significa empobrecimiento del mineral.

Asímismo, el rebanar el techo de la zona mineralizada, no quiere decir que sea el límite de ésta. En la documentación de la mina es necesario anotar el tipo de rocas explotadas y la clase de éstas que hayan quedado en el piso o en el techo, para que en el futuro puedan recuperarse.

Para un mayor rendimiento, aconsejamos realizar el trabajo en la siguiente forma:

1. Usar perforaciones para tener controlado el avance, o sea, que antes de atacar de frente, deben hacerse perforaciones en el techo, piso y horizontalmente. Con la evaluación de los núcleos, se pueden escoger los bancos más mineralizados y si es necesario, crear un nuevo nivel.

De esta manera se evita perder la zona más interesante, como sucedió anteriormente; pues se comenzó la explotación por el centro de la zona mineralizada, y una irregularidad en el piso trajo como resultado la subida de nivel de los pisos de las galerías. Como consecuencia, se explotaron mineralizaciones más pobres que el promedio y con los pisos colgantes se cortó el techo de la zona mineralizada. Esta situación hizo creer en un falso empobrecimiento en el límite de esta zona. En realidad, éste no existe, sino que el azufre, o la zona más rica, quedó sepultada en el piso de las galerías.

Para solucionar este problema, recomendamos realizar perforaciones en todas las galerías de la mina actual o por lo menos, en tres puntos. Los análisis químicos de los núcleos, definieron la cantidad de azufre que quedó en los pisos. Es conveniente hacer un mapa que muestre el contenido de azufre, como el que se encuentra en el presente informe.

2. El hallazgo de andesitas negras al lado SW no significa el límite de la zona mineralizada, sino irregularidades en el techo; en presencia del autor se comprobó que ésta continúa en la misma dirección hacia un nivel más bajo. En la perforación realizada en la galería "Cero SW" a un metro del frente, se descubrieron más de 20 m de la zona en el piso, y en la perforación horizontal, después de 22 m, se halló la zona mineralizada.

Recomendamos avances hacia el S de la galería "Cero SW", conservando el nivel del piso que tiene dicha galería en la cruzada "Cero N". En la misma galería podría investigarse mejor el área de esta dirección.

3. Asímismo, recomendamos avanzar con la misma galería hacia el Sureste en la dirección del pozo número 2, C. V. C., para la investigación del área hacia el Sureste y buscar límite de la zona.

Estas galerías o túneles no representan ningún sobrecargo para la mina porque los túneles seguirán en mineral y la producción no disminuiría. Al contrario, sirven para abrir nueva entrada de la mina, que facilitaría el transporte del mineral y la ventilación de ésta.

4. Al sur de la entrada actual puede abrirse una carretera o hacer una clavada a lo largo de la quebrada, de tal manera que puedan construirse galerías en ángulo recto.

5. Desde la cruzada diez se puede subir a la tercera capa por medio de tambores y vaciar el mineral por éstos.

6. Para el arranque de las capas superiores se pueden abrir socavones al lado de la colina.

2835 mure
35 Andesita
38 mineralizada
5
1
0735

* * *

En esta sección se describen los núcleos de las perforaciones realizadas. En la parte superior de la misma, se indican los perfiles de los pozos, así como los trabajos proyectados.

Pozo número 1. Cruzada con gal. 4.

0' - 45' Toba de dacita blanca. Roca mineralizada.

Pozo número 2. Cruzada con gal.

0' - 45' Andesita y dacita descompuesta.
45' - 51' Toba de dacita. Roca mineralizada.

Pozo número 4.

0' - 20' Dacita tocosa. Mineral pobre.
20' - 61' Andesita descompuesta. No mineralizada.

Pozo número 5.

0' - 30' Andesita descompuesta.
30' - 58' Dacita tocosa. Roca mineralizada.

Pozo número 6.

0' - 35' Toba de dacita blanca. Roca mineralizada.

Pozo número 7.

0' - 35' Andesita descompuesta. No mineralizada.

Pozo número 8.

0' - 55' Andesita descompuesta. No mineralizada.

Pozo número 9.

0' - 10' Andesita arcillosa.
10' - 25' Andesita tocosa. Mineralizada.
25' - 37' Andesita arcillosa.

Pozo número 10.

0' - 5' Andesita descompuesta, gris claro.
5' - 25' Andesita tocosa. Mineralizada.
25' - 30' Andesita arcillosa.

Pozo número 11.

0'	-	5'	Toba de dacita. Mineralizada.
5'	-	15'	Andesita arcillosa.

Nota. Los pozos no investigaron sistemáticamente toda el área de la mina, lo que había podido ayudar a las proyecciones de los pozos superficiales.

Los pozos comprobaron una zona estéril a la altura de la Cruzada Cero. No se efectuaron perforaciones en los frentes del trabajo subterráneo.

GEOLOGIA MINERA

Techo de la zona mineralizada.

Se presentaron dos rocas diferentes en color pero muy parecidas en composición. En el lecho del río Vinagre el techo de la zona aparentemente es dacita blanca. En la mina, hacia el Suroeste, aparecen andesitas gris oscuras con poca o ninguna manifestación de azufre. Visiblemente esas últimas rocas en la cima de la zona significan el arrastre de la dacita.

Zona mineralizada.

Se compone de tres áreas bien distintas y con límites muy irregulares entre sí. En el centro está situada una toba de dacita de color rojizo con buena mineralización de azufre. El contenido promedio es de 45% de S. En la cima de ese banco se presentan tobas de dacita blanca y tobas de andesita con manifestaciones más pobres de azufre que la anterior.

Yacente de la zona mineralizada.

El yacente de la zona mineralizada actualmente conocida, consiste en andesitas descompuestas, arcillosas y dacitas porfiríticas. Se desconoce la estructura a mayor profundidad.

Explicación del mapa de contenido.

En el mapa de contenido se indican los sitios de las muestras tomadas. Las letras representan las iniciales de la persona que las ha tomado. El numerador indica el número de la muestra y el denominador representa el contenido del azufre. En la descripción de las muestras deben anotarse los sitios exactos, zona, clase de roca, piso y techo.

DESCRIPCION DE LAS MUESTRAS

Muestra N° 39. Andecita augítica.

Macroscópicamente: Roca compacta de color gris oscuro, áspera al tacto; en su masa gris se destacan manchitas blanquecinas de feldespatos.

Microscópicamente: En la masa vítrea aparecen fenocristales de andesina, menor hornblenda, ambas muestran resorción en la margen. Pocos cristales de augita, biotita y cuarzo.

Muestra N^o 40.—*Toba volcánica.*

Macroscópicamente: Roca porosa de color pardo, áspera al tacto; la masa se compone de feldespato alterado de color y pocos granos de cuarzo.

Microscópicamente: Textura vítrea construída completamente de feldespato. Pocos granos de cuarzo, biotita y magnetita.

Muestra N^o 30. *Andesita tobosea.*

Macroscópicamente: Roca semiporosa de color gris oscuro, con cristales monoclinicos de azufre.

Microscópicamente: La masa vítrea está fundida por azufre donde se destacan fenocristales de plagioclasa.

Muestra N^o 34. *Toba traquítica.*

Macroscópicamente: Roca muy porosa de color gris claro con fenocristales rómbicos de azufre; en las fracturas de la roca ocurren cristales monoclinicos de azufre.

Muestra N^o 23. *Toba vítrea.*

Macroscópicamente: Roca porosa de color rojizo, completamente homogénea.

Microscópicamente: Consiste totalmente en masa vítrea.

Muestra N^o 27. *Dacita tobosea.*

Macroscópicamente: Roca semiporosa de color gris rojizo, áspera al tacto, con buen contenido de azufre.

Microscópicamente: Fundida en azufre.

Muestra N^o 24. *Toba de andesita pumítica.*

Roca porosa de color gris. Yacente de la zona mineralizada.

Muestra N^o 33. *Toba de andesita.*

Roca compacta de color gris oscuro. Del techo de la zona mineralizada.

Muestra N^o 19. *Toba de dacita.*

Macroscópicamente: Roca porosa de color rojizo. En la masa se destacan cristales de feldespato y cuarzo. Del techo de la zona mineralizada.

Microscópicamente: En la masa vítrea aparecen fenocristales de ortoclasa y cuarzo.

Muestra N^o 18. *Andesita augítica.*

Muestra N^o 31. *Toba traquítica.*

Muestra N^o 28. *Toba traquítica.*

Muestra N^o 26. *Toba vítrea de dacita.* Con Azufre.

Muestra N^o 22. *Toba vítrea de dacita.* Con azufre.

Muestra N^o 25. *Andesita angítica.*

A N A L I S I S

A continuación se inserta el resultado de los análisis efectuados por el ingeniero ENRIQUE ALVAREZ, en el Laboratorio de la Empresa "Industrias Puracé, S. A."

"El Vinagre, septiembre 23 de 1961

Resultados de los análisis hechos para determinación del porcentaje de azufre sobre las muestras tomadas por el doctor IMRE MEGYESI, en los terrenos de la Concesión que tiene la empresa 'Industrias Puracé, S. A.' para la explotación y beneficio de mineral de azufre.

N ^o muestra	Referencia	Porcentaje azufre
1.	X - 1 P	43.0 %
2.	X - 2	32.3 %
3.	l. M-29	42.8 %
4.	l. M-30	13.5 %
5.	l. M-31	40.0 %
6.	l. M-32	29.5 %
7.	l. M-33	37.5 %
8.	G. 108-112	40.2 %
9.	G. 112-145	23.3 %
10.	G. 100-108	28.5 %
11.	G. 96-100	41.5 %
12.	G. 61- 96	13.5 %

Nota.—Estos análisis se hicieron por el método de Tostión y por lo tanto, los sulfuros también se tuestan.

La corrección se hizo con base en la curva hecha por el doctor KITARO HAYASE, ya que él hizo cerca de cincuenta análisis por el método de Tostión y por el método de bisulfuro de carbón.

(Firmado),

Enrique Alvarez, Administrador encargado".

PRODUCCION ANTERIOR

Historia.

En el año de 1944 el trabajo se comenzó en forma muy rudimentaria, un poco más arriba de la mina actual en la cercanía del río Vinagre, donde se encontraron depósitos de azufre originados por las aguas termales que pasan a través de capas que contienen este elemento; pero el arranque y transporte eran muy deficientes.

En 1946 se obtuvo el contrato con el Ministerio de Minas y Petróleos y al año siguiente se presentó una oposición legal que suspendió el trabajo. En 1950 se reanudó la explotación de azufre, pero nuevamente la dificultad en el transporte impidió un buen rendimiento. El mineral era tratado en Puracé, en hornos que luego fueron sustituidos por autoclaves.

En 1951 se contrató la planta de recuperación con la Chemical Construction Corp.; pero ésta fracasó porque el método empleado no fue el apropiado para esas rocas y la Compañía perdió gran parte del capital invertido.

En 1956 comenzó el trabajo con algunos cambios en la planta, y la empresa, poco a poco se recuperó; pero en la actualidad se teme una nueva declinación motivada por un supuesto empobrecimiento de la zona mineralizada.

A continuación suministramos datos de la producción anual:

1948 - 1952	(promedio anual)	1.686 toneladas métricas	
1953		2.700	” ”
1954		5.200	” ”
1955		5.500	” ”
1956		5.000	” ”
1957		5.240	” ”
1958		6.797	” ”
1959		8.581	” ”
1960		9.042	” ”
1961	(aproximadamente)	10.000	” ”

El azufre se utiliza en las fábricas de ácido sulfúrico en Barranquilla, Cali, Medellín y Bogotá, en las industrias del azúcar y el caucho, y también, en la fabricación de soda, pólvora, pintura, sulfuro de carbono, insecticidas, etc.

CONDICIONES HIDROLOGICAS

Al lado NW de la mina se presentó un problema de aguas subterráneas, al cual tratamos de buscarle alguna solución.

Las aguas subterráneas provienen de depósitos superficiales que penetran a través de tobas porosas y fracturadas; el agua circula lentamente, tanto en sentido lateral como descendente, hasta alcanzar la zona

de equilibrio o de fuentes profundas que alimentan las fisuras (¿Nivel freático?)

La zona mineralizada tiene pendiente negativa NW y se espera un aumento del fluido en esta dirección. Las masas porosas, como las tobas andesíticas, deben considerarse como posibles depósitos de agua hacia la profundidad. Las rocas de tipo andesita-augítica, son prácticamente impermeables y pueden cerrar el paso a flujos ascendentes, pero debe tenerse en cuenta que están fracturadas y con el laboreo pueden adquirir cierta permeabilidad.

Consideramos que el problema de infiltración de agua, no es grave y puede solucionarse con bombas.

Si se presenta la situación opuesta, recomendamos usar el método "Chemical Grouting" que está probado económica y prácticamente en la minería, con muy buenos resultados.

USO DE VAPOR Y FUENTES TERMALES PARA LA PLANTA DE RECUPERACION

La idea de la perforación por vapor natural para el uso de la planta surgió de algunos señores accionistas de la empresa.

Estudiando las posibilidades consideramos que el trabajo corre mucho riesgo aunque teóricamente no es imposible.

Es muy difícil el hallazgo de las grietas conductoras del vapor ascendente y se requiere un equipo especial de perforaciones. Además creemos que el costo de este trabajo será superior al de los gastos actuales del abastecimiento de energía.

Tampoco es económico captar y conducir el vapor de las fumarolas a la planta.

El agua de las fuentes termales podría usarse, pero las condiciones son muy desfavorables.

En el tratamiento del mineral necesitamos 235 kilovatios/hora de energía. Para producir esta energía por medio de una planta termoeléctrica es indispensable:

- a) Una fuente de 200 Galón/Min. a 82°C.
- b) Una producción de agua de 1.000 Galón/Min. a 5°C.
- c) Una capacidad de la planta de 9.300 Lb./H de vapor.

El costo de la termoeléctrica sería el siguiente:

Generador:	250 KW/H	US\$	25.000	Aprox.
Evaporador:	2.000 pies cuadrados de superficie		20.000	"
Condensador:	1.000 pies cuadrados de superficie		10.000	"
Calentador:	1.800 pies cuadrados de superficie		18.000	"
	Subtotal	US\$	73.000	
	Montaje.		27.000	"
	TOTAL	US\$	100.000	"

TRATAMIENTO DEL MINERAL DE AZUFRE

El mineral es transportado en volquetas hasta la trituradora donde desmenuzan las rocas hasta obtener un tamaño promedio de 3 pulgadas. De la trituradora, el mineral pasa en vagones a los autoclaves donde se extrae el azufre con vapor de 70 libras por pulgada. El azufre refinado es 99.8 % puro.

De autoclave sale el azufre líquido por medio de un tubo a la secadora de aire, antes de lo cual se trata con agua y vapor para disminuir la temperatura. El azufre seco es molido y empacado.

Sistema de flotación. Planta por instalar.

TRITURACION MOLINO	{ a $\frac{3}{4}$ " menos de 28 mallas 75 toneladas/día, capacidad.
TANQUE ACONDICIONADOR	{ Alimentado con ACPM.
PLANTA DE FLOTACION	{ se flota el azufre: abajo quedan las gangas, capacidad: 20 - 30 toneladas/día. Cola final: 3% S.
TANQUE AGITADOR	{ entra 65% S 35% sólidos ganga.
AUTOCLAVE JAPONES	{ sale 95% S sólido y sucio recirculan las colas: 65%.
FILTRO KELLY	{ la ganga queda sobre las banales S 99%.

El azufre no es bastante puro y en el autoclave japonés necesita dos o tres veces más vapor que en el anterior, pero la recuperación alcanza 95% del mineral original.

Azufre.

Elemento químico número 16, azufre S, su peso químico-atómico es de 32.066. Los conocidos isótopos estables y su abundancia aproximada en tanto por ciento de azufre nativo (S32), es de 95.1 %.

Preparación del elemento.

La extracción del azufre se hace usualmente por tres métodos:

El más importante es el proceso de Frasch, inventado por Hermann Frasch en 1891. De menor importancia son el método Siciliano y una variación del método de Claus.

El proceso Frasch es usado para extraer azufre de los depósitos parecidos a los de Texas y Luisiana. Este consiste en perforar un pozo en la superficie de la tierra hasta las capas de calcita que contiene el mineral de azufre y baja tres tubos colocados concéntricamente, hasta los depósitos mineralizados.

Agua sobrecalentada (165°C) baja a presión hasta los depósitos por el tubo más grande (6 pulgadas) y funde el azufre (temperatura de fundición es 112°C). El aire caliente es forzado a bajar por un tubo más pequeño (1 pulgada), y una mezcla de azufre fundido, agua y aire llega a la superficie por un tercer tubo (3 pulgadas). El azufre no contiene arsénico, selenio o telurio y tiene una pureza de 99.5-99.9% S.

El método Siciliano consiste en amontonar las rocas mineralizadas por el azufre en grandes recipientes llamados "calcaroni", los cuales se inflaman en la cima. El calor de la combustión del azufre en la roca causa la fundición de éste en la base y una vez fundido se derrama en un moldeador donde se solidifica.

Apenas un 60% de azufre del contenido original puede recuperarse.

Variaciones del método Claus, son raramente usadas, para obtener ácido sulfhídrico (H₂S) gaseoso.

Caracteres químicos y uso del producto.

El azufre es un elemento activo que se combina con muchos de los otros elementos conocidos. Puede existir en estado positivo y negativo, y puede formar compuestos iónicos y covalentes; asimismo, compuestos covalentes coordinados.

Usos.

Es muy usado en la vulcanización del caucho, en la fabricación de fertilizantes artificiales, en la industria química, textil, jabonera, industria de cuero, drogas, papel, plástico, etc.

Formas del elemento.

Es estable como rómbico (azufre-A), azufre monoclinico (Azufre-C), azufre plástico, azufre purpurino, azufre líquido, leche de azufre.

Según el estado físico los caracteres varían.

* * *

CALCULO DE RESERVAS

La cubicación del mineral, puesto de manifiesto en forma de impregnación de toba por labores de reconocimiento o preparación, se realiza midiendo el área de la proyección de la masa mineral sobre el plano, multiplicándolo por la secante del ángulo de buzamiento y por la potencia media

de la zona mineralizada. Naturalmente es raro que la mineralización en la zona siga exactamente tales líneas ya que sus contornos son siempre más o menos irregulares. La continuidad de la mineralización de la zona también es más o menos irregular. A pesar de estos inconvenientes, los datos correspondientes a la cubicación son aceptables, si se considera que la reserva fue calculada con un margen de seguridad.

A continuación damos la explicación de los datos usados para la cubicación:

1º *El área.* El tamaño de ésta fue determinado por medio del mapa de reservas de 1:1.000.

2º *Espesor del mineral.* Cada capa mineralizada lleva un espesor promedio calculado de las perforaciones y del depósito del mineral, puesto en manifiesto en la mina.

3º *Peso específico.* El peso específico de las andesitas varía entre 2.50 - 2.85. La andesita de Puracé es de 2.64 pero las tobas de andesita tienen un promedio mucho menor. Según los ensayos realizados en el Servicio Geológico Nacional, el peso específico de las diferentes tobas de la zona mineralizada da un promedio de 1.75. En el presente informe usamos 1.7, para dejar un margen de seguridad.

4º *Pérdida minera.* Generalmente la pérdida del arranque no alcanza más que a un 5-10% empleando el método de galerías; pero en el caso de Puracé (El Vinagre), hasta el presente esa pérdida se calcula en un 20%.

5º *Humedad.* El contenido de agua de las rocas de la zona mineralizada es de 7%.

6º *Mineral recuperable.* Las toneladas del mineral que puedan explotarse con el actual método de arranque, después de haber descontado la pérdida minera y la humedad.

7º *Contenido promedio de azufre.* Se calcula en un 30%.

8º *Pérdida por tratamiento.* Se espera que por las nuevas instalaciones, el 80% del mineral será recuperable, lo que da 20% de pérdida.

9º *Azufre refinado recuperable.* Las toneladas que se recuperen con el actual método de tratamiento.

Reservas probables.

Los depósitos de azufre en esta área están comprobados por afloramientos en la quebrada del río Vinagre.

Reserva probada.

Las cuatro capas mineralizadas están indicadas separadamente en planos de reserva con color amarillo. Las capas están comprobadas en la siguiente forma:

1. Primera capa: P₃, P₄, P₂, P₆.
2. Segunda capa: P₃, P₄, P₂, P₆.
3. Tercera capa: P₅, P₂, P₃.
4. Cuarta capa: Pozos I, II, III de C. V. C., P₇, P₈ y perforaciones horizontales en la mina.

Los análisis químicos llevan los resultados originales sin descuento efectuado por la empresa.

La capa mineralizada se ancha en el lado sureste de la mina, pero puede ser local; por esto en el cálculo de reserva usamos solamente 20 metros de espesor promedio.

R E S E R V A P R O B A B L E

	Bloque I	Bloque II	Total
Area.	55,000 m ²	36,000 m ²	—
Espesor	15 m	15 m	—
Metros cúbicos.	825,000 m ³	540,000 m ³	—
Peso específico	1.7	1.7	—
Tonelada	1.402,500	918,000	—
Pérdida minera 20%	280,500 tons.	183,600 tons.	—
Tonelada	1.122,000	734,400 tons.	—
Humedad 7%	78,540 tons.	51,408 tons.	—
Mineral recuperable.	1.043,460 tons.	682,992 tons.	1.726,452 tons.
Contenido promedio de azufre 35%	365,211 tons.	239,047 tons	604,258 tons.
Pérdida de recuperación 20%	73,042 tons.	47,809 tons.	120,851 tons.
Azufre refinado recuperable..	292,169 tons.	191,238 tons.	483,407 tons.

R E S E R V A P R O B A D A

	Primer Manto	Segundo Manto	Tercer Manto	Cuarto Manto	T o t a l
Area	46,900 m ²	46,900 m ²	31,200 m ²	120,200 m ²	—
Espesor.	6, m	6,5 m	10 m	20, m	—
Metros cúbicos	281,400 m ³	304,850 m ³	312,000 m ³	2.404,000 m ³	—
Peso específico..	1.7	1.7	1.7	1.7	—
Tonelada	478,380 tons.	518,245 tons.	530,400 tons.	4.086,800 tons.	—
Pérdida minera 20%	95,676 tons.	103,649 tons.	106,080 tons.	817,360 tons.	—
Tonelada	382,704 tons.	414,596 tons.	424,320 tons.	3.269,440 tons.	—
Humedad 7%	26,789 tons.	29,022 tons.	29,702 tons.	228,860 tons.	—
Mineral recuperable	355,915 tons.	385,574 tons.	394,618 tons.	3.040,580 tons.	4.176,687 tons.
Contenido promedio de azufre	S = 30 % 106,774 tons.	S = 27 % 104,105 tons.	S = 30 % 118,385 tons.	S = 35 % 1.064,203 tons.	— 1.393,467 tons.
Pérdida de recuperación 20%	21,355 tons.	20,821 tons.	23,677 tons.	212,840 tons.	278,673 tons.
<i>Azufre refinado recuperable</i>	85,419 tons.	83,284 tons.	95,708 tons.	851,363 tons.	1.115,777 tons.

Costos de explotación.

Los criaderos poco potentes son más costosos de explotar que los potentes; por debajo de tres metros de potencia, el costo de explotación aumenta mucho más rápidamente y decrece la potencia del criadero. En ese sentido se presenta un contraste en la mina de El Vinagre. A pesar de que la potencia del criadero aumentó, los costos del arranque subieron. El aumento del costo —en parte— tiene explicación, pues el Ministerio de Guerra negó toda ayuda en relación con los materiales explosivos.

En otro sentido el gasto alto no significa un aumento necesario, porque con el aumento de la potencia de la zona mineralizada no se presenta empobrecimiento del material y en consecuencia, no es necesaria la explotación de las rocas con o sin poco mineral de azufre.

En las rocas duras del criadero, cuestan más la perforación y el arranque.

Considerando el costo promedio de siete meses del año 1961, los gastos de explotación se distribuyen en la forma siguiente:

1. Arranque mineral . . . . .	..\$	4.04	ton. en mineral.
		48.46	ton. en azufre refinado.
2. Transporte de roca		1.50	ton. en mineral.
		18.00	ton. en azufre refinado.
Total . . . . .	..\$	66.46	ton. en azufre refinado.

Los factores principales del costo de arranque son mano de obra, energía, explosivos, suministros, vigilancia, conservación y reparación de máquinas, amortización del equipo mecánico y la parte proporcional de gastos generales.

Los gastos que representan el cargue, transporte y extracción, son naturalmente accesorios del arranque, por lo cual, los costos se incluyen en estos capítulos.

Costo del tratamiento.

Se compone de los gastos de trituración, tratamiento de azufre refinado, empaque y transporte desde la mina hasta Popayán. Con la instalación de la planta de flotación, el costo del tratamiento aumentará; pero ese aumento no será positivo porque la nueva planta recuperará el 95% del azufre.

Los gastos en el presente se distribuyen así:

Trituración . . . . .	..\$	7.68	ton. en azufre refinado.
Tratamiento		57.10	" " " "
Empaque		35.00	" " " "
Transporte		12.50	" " " "
Total . . . . .	..\$	112.28	" " " "

Costo de dirección y administración.

Sin detallar el gasto de oficina y gastos legales, suministramos una suma total. El impuesto incluido se calcula entre 8 - 10 pesos colombianos por tonelada de azufre refinado.

Los gastos generales son \$ 72.37 por tonelada de azufre refinado.

Venta de productos.

El producto de la mina se vende directamente al consumidor. Es necesario satisfacer exigencias comerciales de la pureza del azufre. El valor comercial de una tonelada de azufre refinado de la más baja calidad es de \$ 280.00.

La diferencia entre los ingresos y gastos sirve para calcular el beneficio neto; en esa forma, éste sería de \$ 30.00 por tonelada de azufre refinado.

La cifra suministrada es bastante exacta a pesar de que se desconocen los gastos de instalación y algunas partes de gastos varios.

Beneficio neto.

El beneficio neto de una unidad de mineral es la diferencia entre el valor de la venta y el costo de explotación y tratamiento. En consecuencia, el valor neto puede ser definido como el beneficio que se obtiene por unidad de mineral. Con muy escasas excepciones, para poner en el mercado un mineral o sus derivados, es necesario disponer de instalaciones de laboreo e instalaciones de tratamientos minerales. Como consecuencia, se necesita una inversión inicial de capital, para conseguir los medios necesarios para realizar el trabajo. El costo de explotación depende de los métodos utilizados, del precio de la mano de obra y suministros de energía. En el análisis siguiente se recogen los datos más importantes del costo de instalación de la planta y de explotación.

1. Gastos de instalación. Instalaciones de laboreo. Planta de beneficio.

Primer establecimiento:

- a) Trabajos de ingeniería, estudios y proyectos;
- b) Maquinaria, suministros y materiales de construcción;
- c) Portes y acarreos;
- d) Montaje.

Conservación:

- a) Reparaciones y conservación;
- b) Mejoras y ampliaciones.

Cargas financieras:

- a) Intereses y amortización del primer establecimiento;
- b) Impuestos y seguros.

Se desconoce el costo.

2. *Gastos de explotación. Mina y taller de beneficio.*

Mina:

- a) Mano de obra. Arranque entibado, transporte;
- b) Suministros. Preparación, alumbrado, ventilación;
- c) Energía. Desagüe.

El costo es de \$ 66.46 por tonelada de azufre refinado.

Taller de beneficio:

- a) Mano de obra. Trituración, clasificación, concentración;
- b) Suministros. Tratamiento de minerales;
- c) Energía.

El costo es de \$ 112.28 por tonelada de azufre refinado.

3. *Dirección y administración.*

Mina:

- a) Gerencia o dirección técnica;
- b) Facultativos, capataces y vigilantes;
- c) Técnicos, topógrafos, muestrador, laboratorista, electricista, mecánico, etc.;
- d) Personal administrativo.

Taller de beneficio:

- a) Metalurgista;
- b) Capataz y vigilante;
- c) Químico o preparador.

El costo es de \$ 72.37 por tonelada de azufre refinado.

4. *Varios.*

Accidentes e indemnizaciones, gastos de oficina, intereses de existencias de suministros, gastos legales, ingeniero consultor, pensiones y gastos extraordinarios, gastos sociales, impuestos de utilidades, regalías, etc.

Se desconoce el costo. La mayoría está incluido en el costo de dirección.

Valuación.

El peso total multiplicado por el valor neto da el beneficio total y sobre éste puede calcularse el valor actual. Es evidente que para calcular exactamente el beneficio previsible es necesario hacer lo mismo con el costo de producción.

El beneficio total que puede obtenerse de la explotación de un criadero mineral, no es de ninguna manera, el valor de la mina. Si fuera po-

sible extraer todo el mineral y venderlo en un período de tiempo muy corto, el beneficio total podría tomarse con gran aproximación como valor de la mina; pero es evidente que esto es imposible y por consiguiente, el elemento tiempo es factor de gran importancia. El ritmo de explotación y el tipo de interés fijado constituyen los otros dos factores.

En relación con lo anterior, podemos suministrar el valor de las reservas, o sea, el beneficio total durante la explotación.

Beneficio total seguro . . . . .	..\$ 1.115.777	tonelada a \$ 30.00	... ..\$ 33.473.310
Beneficio total probable . . . . .	..\$ 433.407	tonelada a \$ 30.00	... ..\$ 13.002.210
Total. . . . .			... ..\$ 46.475.520

Sin embargo, no podemos olvidar que en las inversiones mineras se acepta que el riesgo es notablemente mayor y por lo tanto, se fija un tipo de interés más alto. Las cubriciones de la zona mineralizada son siempre más o menos inciertas; los precios varían, los mercados sufren a veces grandes depresiones y como consecuencia, los beneficios probables pueden reducirse.

* * *

CONCLUSIONES

El presente trabajo constituye una compilación de datos para el Ministerio de Minas y Petróleos y para la Compañía Azufrera de Puracé, con los cuales se trata de describir la situación actual de los problemas y soluciones para un mayor rendimiento y una mejor organización.

La mina de El Vinagre tiene mucho porvenir a pesar de las dificultades y es de gran beneficio para el país. Con una organización aceptable y con las recomendaciones que suministramos, se pueden bajar los costos y aumentar la producción y el beneficio total.

Los trabajos necesarios y las recomendaciones son las siguientes:

- 1ª—Realizar investigaciones por túneles.
- 2ª—Los trabajos subterráneos deben dirigirse por análisis químicos del mineral.
- 3ª—Instalar la planta de flotación.
- 4ª—Reorganizar el personal técnico y administrativo.

* * *

BIBLIOGRAFIA

- BATEMAN ALAN M.—*Economic mineral deposits*. Published by John Willey & Sons Inc. New York, 1942. Pp. 805.
- CHAMBERLAIN C. THOMAS AND ROLLIN D. SALISBURY.—*Geology*. Vol. I. Pp. 590-637.
- HUBACH ENRIQUE & ALVARADO BENJAMÍN.—Exploración de la región de Puracé. Servicio Geológico Nacional. *Informe número 243*.
- KEILHACK CONRADO.—*Tratado de Geología Práctica*. Barcelona. Gustavo Gili, editor. Pp. 241-262.
- KARDOS SZADÉCKY ELEMER.—*Geokemia*. Akademia Kiado. Budapest, 1955. Pp. 298.
- OPPENHEIM VICTOR.—*The volcano of Puracé*. American Journal of Science. Vol. 248, pp. 171. New Heaven, Connecticut, 1950.
- WOKITTEL ROBERTO.—*Recursos minerales de Colombia*. Tomo X. Pp. 215.
- YOUNG J. GEORGE.—*Elementos de minería*. Editorial Gustavo Gili, S. A., Barcelona, 1955.

ESCALA VERTICAL

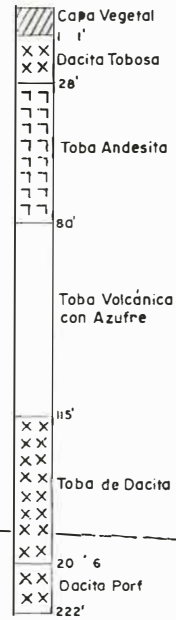
0 10 20 30 40 50 60 Pies

COTA : 3.617.68

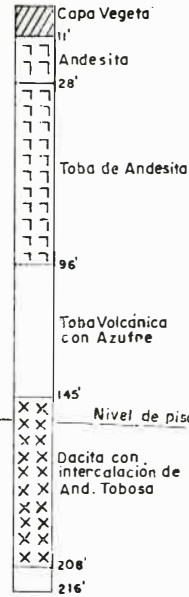
POZO Nº 1 C.V.C



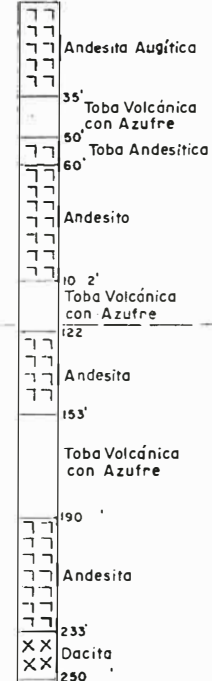
POZO Nº 2 C.V.C



POZO Nº 3 C.V.C



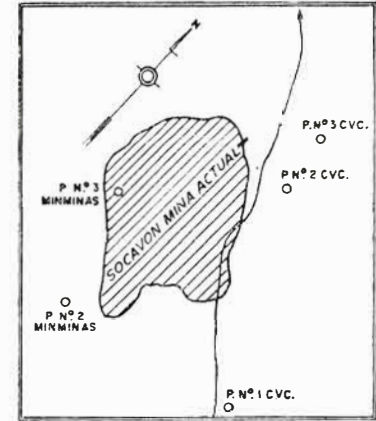
POZO Nº 2 MINMINAS







POZO Nº 3 MINMINAS



Nivel de piso de la zona principal Cota: 3557.94



CONVENCIONES

-  Arcilla
-  Dacita Tobosa, Dacita, Toba de Dacita
-  Andesita, Andesita Tobosa, Toba de Andesita
-  Toba de Andesita, Toba de Dacita, Toba Volcánica con Azufre.

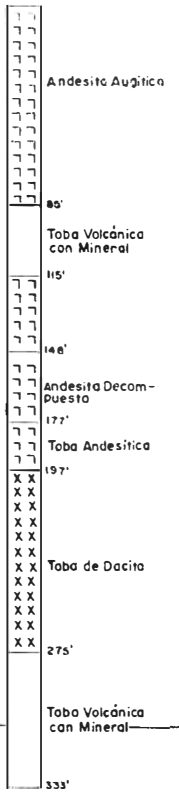
PERFILES COLUMNARES DE LOS POZOS DE LA MINA EL VINAGRE (Departamento del Cauca)

COTA
3.68091

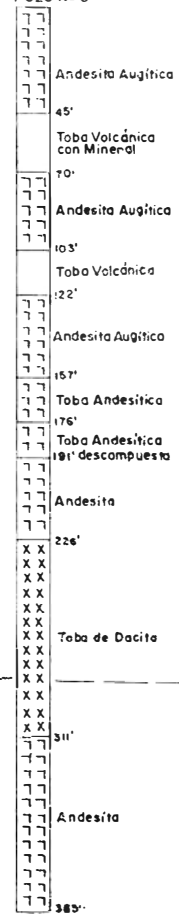
POZO Nº 4 MINMINAS



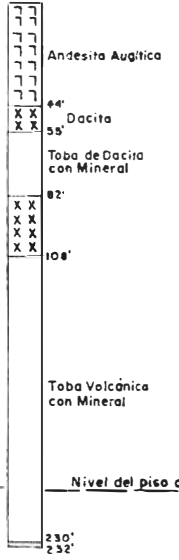
POZO Nº 5 MINMINAS



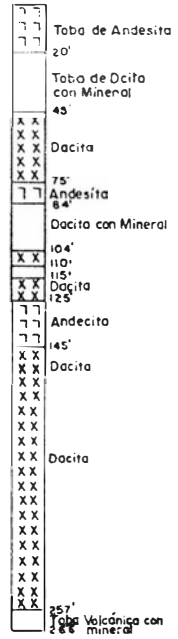
POZO Nº 6



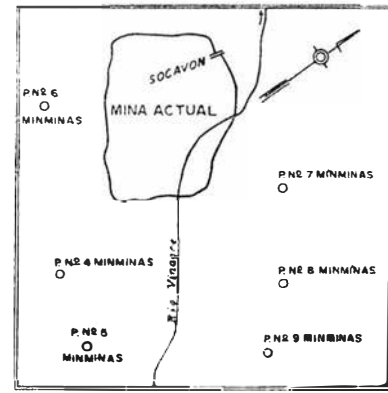
POZO Nº 7 MINMINAS



POZO Nº 8 MINMINAS

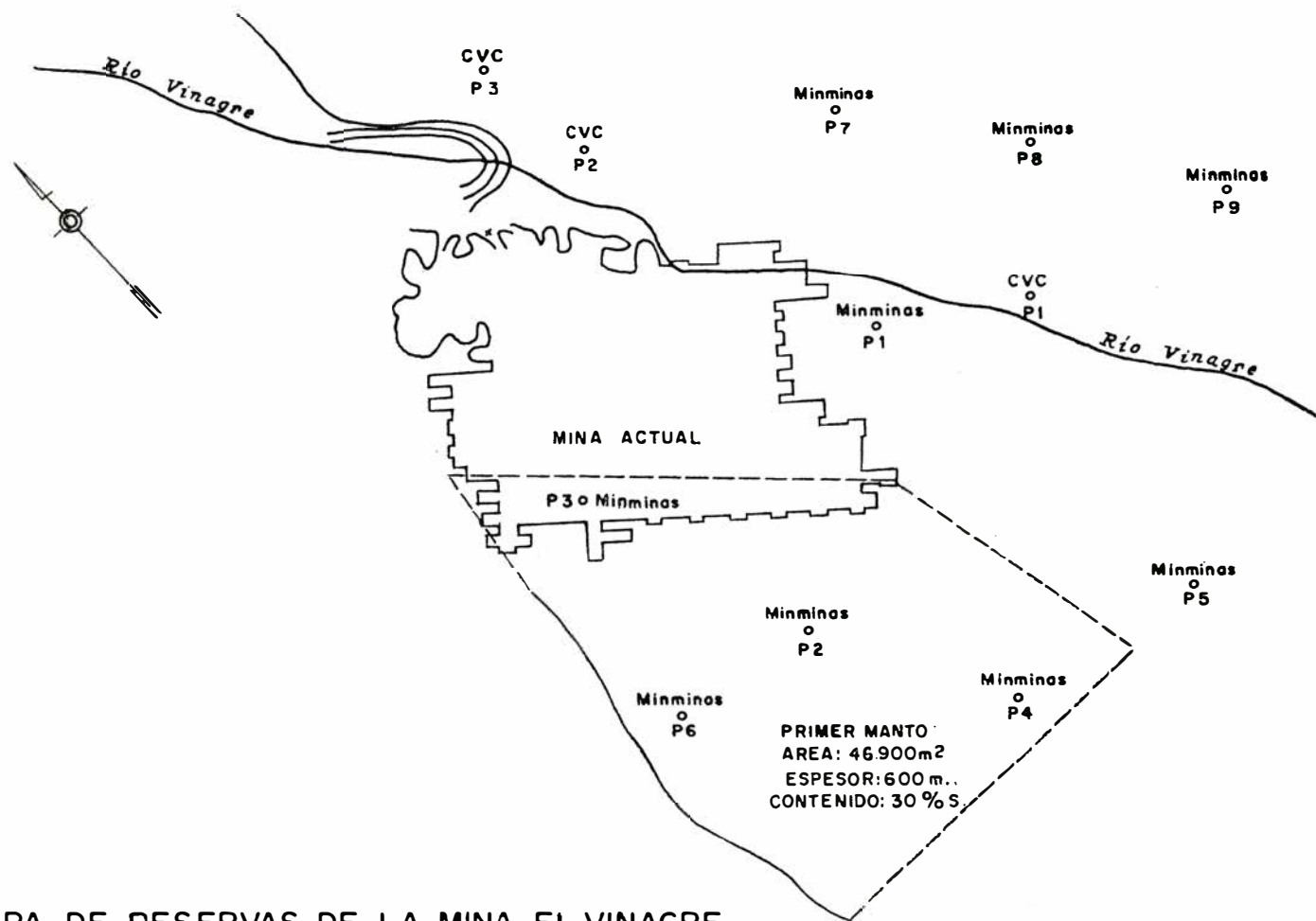


POZO Nº 9 MINMINAS



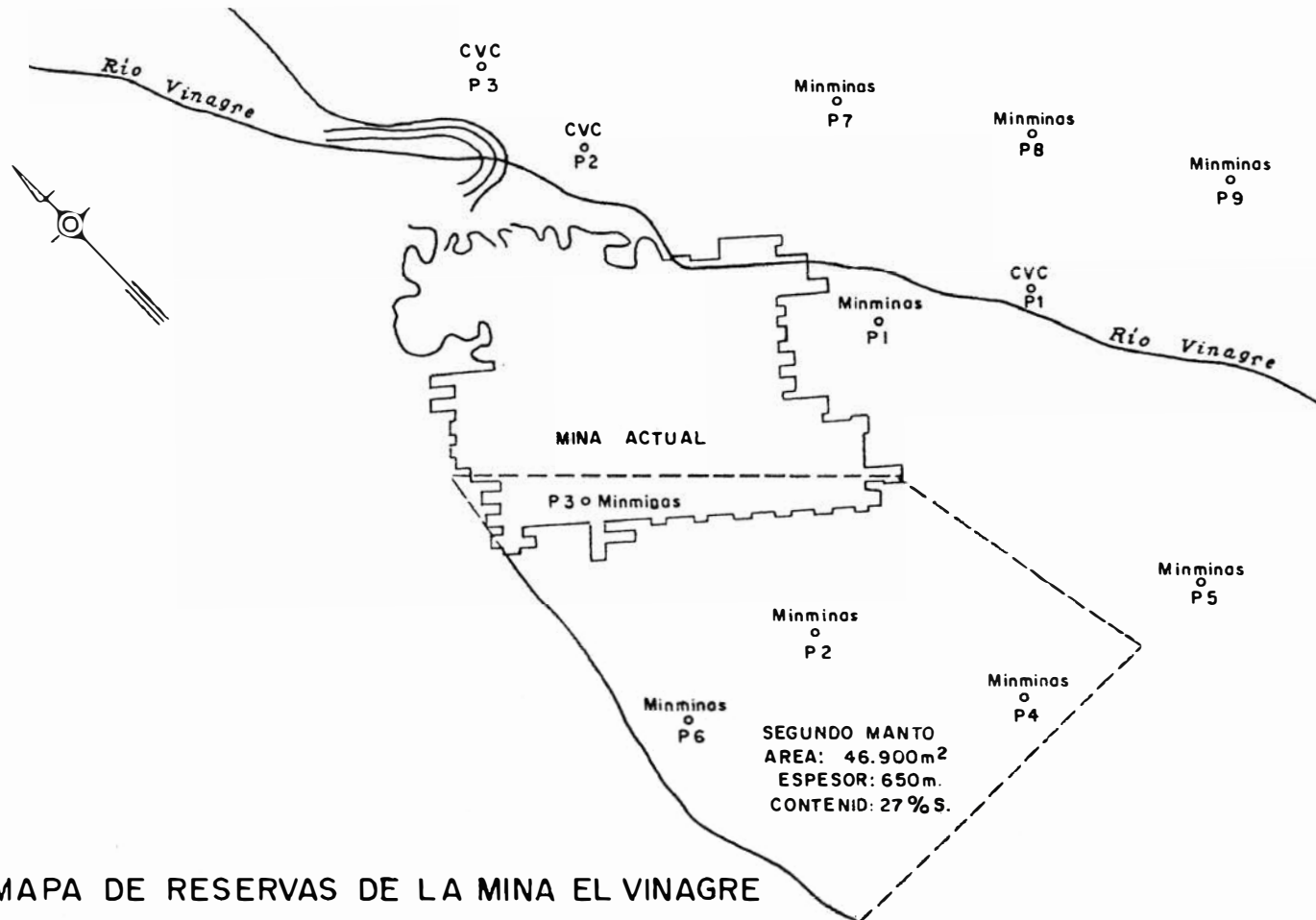
- CONVENCIONES
- Arcilla
 - Dacita Tobosa, Dacita, Toba de Dacita
 - Andesita, Andesita Tobosa, Toba de Andesita
 - Toba de Andesita, Toba de Dacita, Toba Volcánica con Azufre

PERFILES COLUMNARES DE LOS POZOS DE LA MINA EL VINAGRE (Departamento del Cauca)



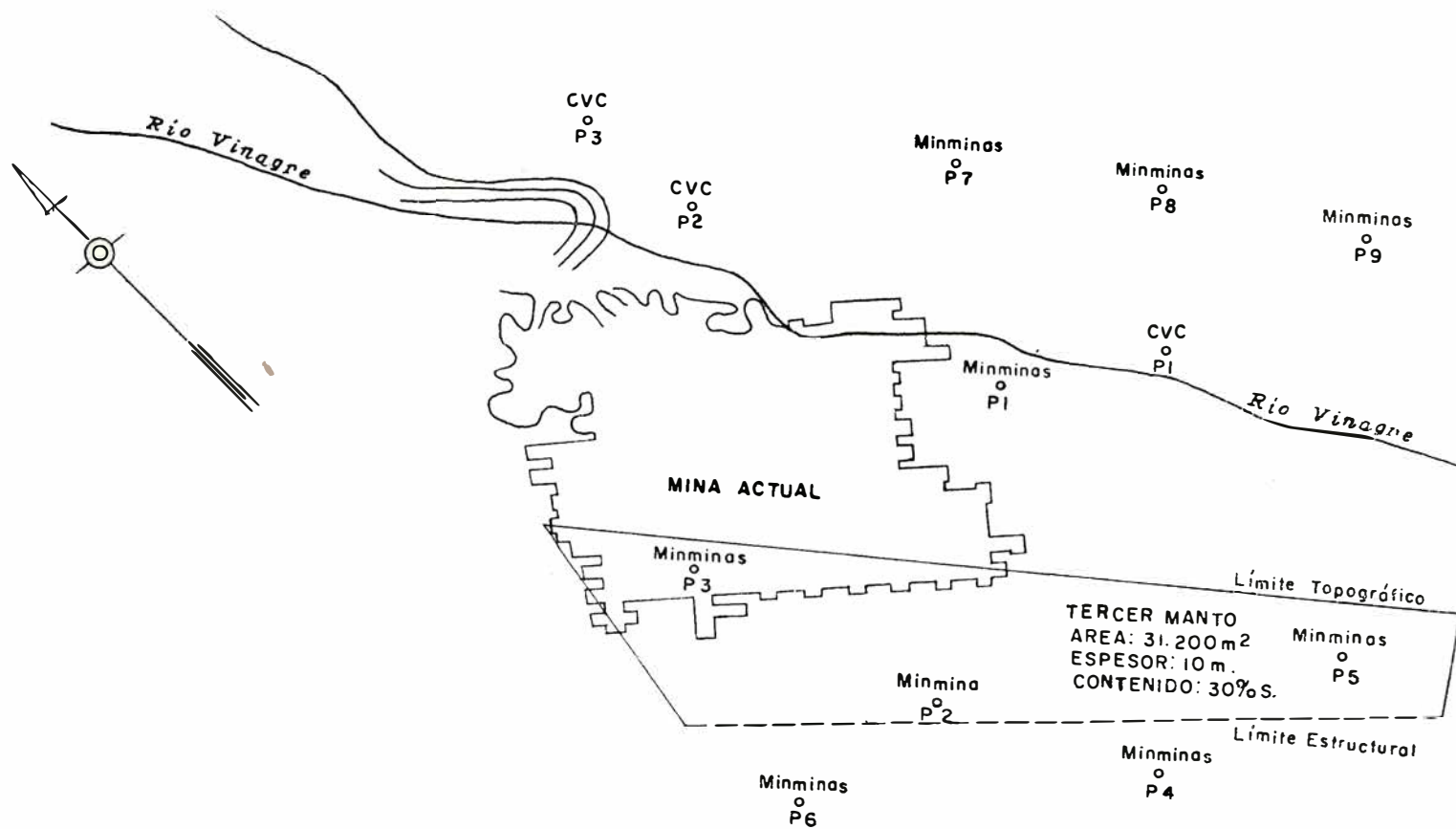
MAPA DE RESERVAS DE LA MINA EL VINAGRE
 PURACE—PRIMER MANTO
 (Departamento del Cauca)





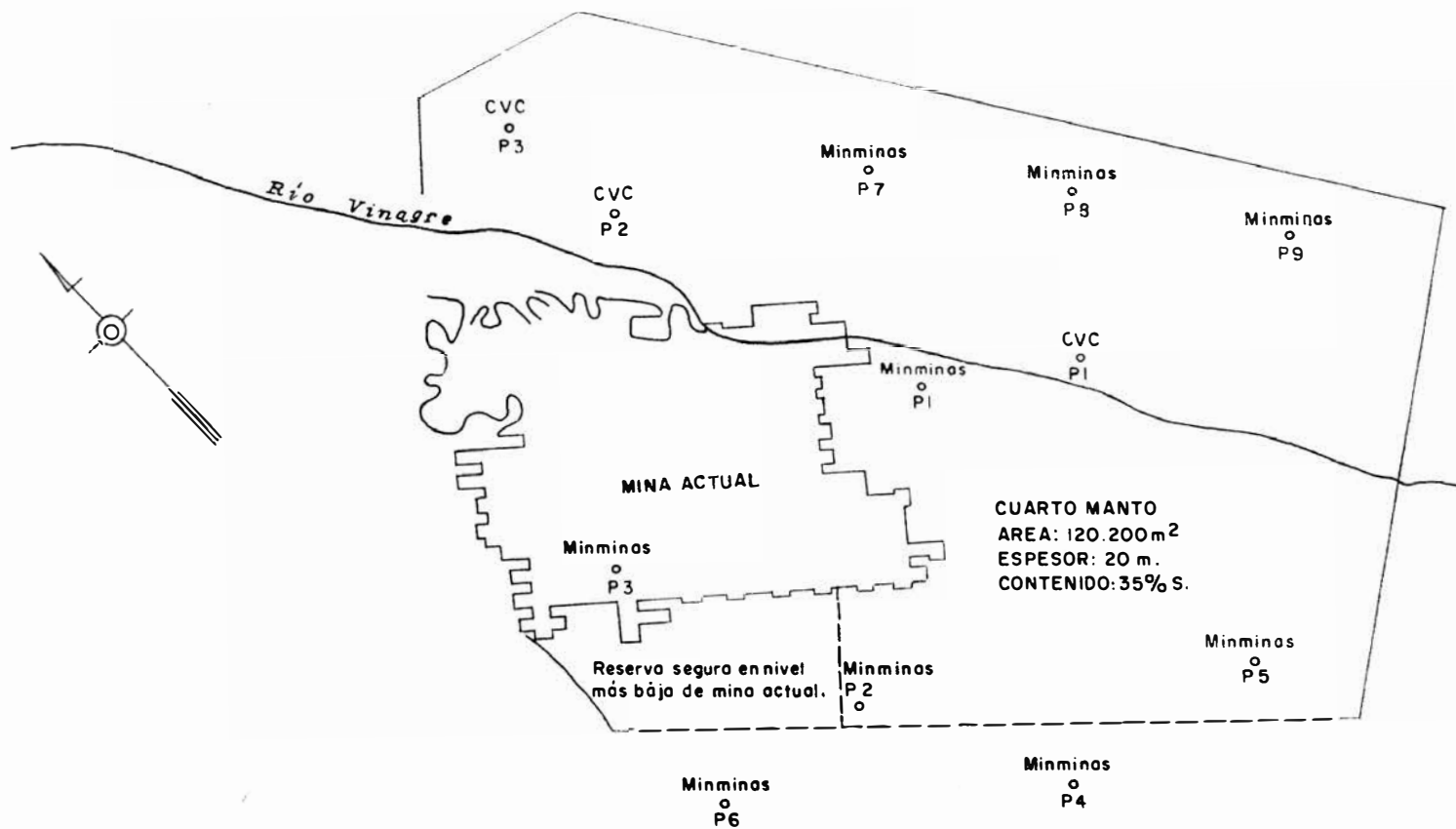
MAPA DE RESERVAS DE LA MINA EL VINAGRE
 PURACE-SEGUNDO MANTO
 (Departamento del Cauca)





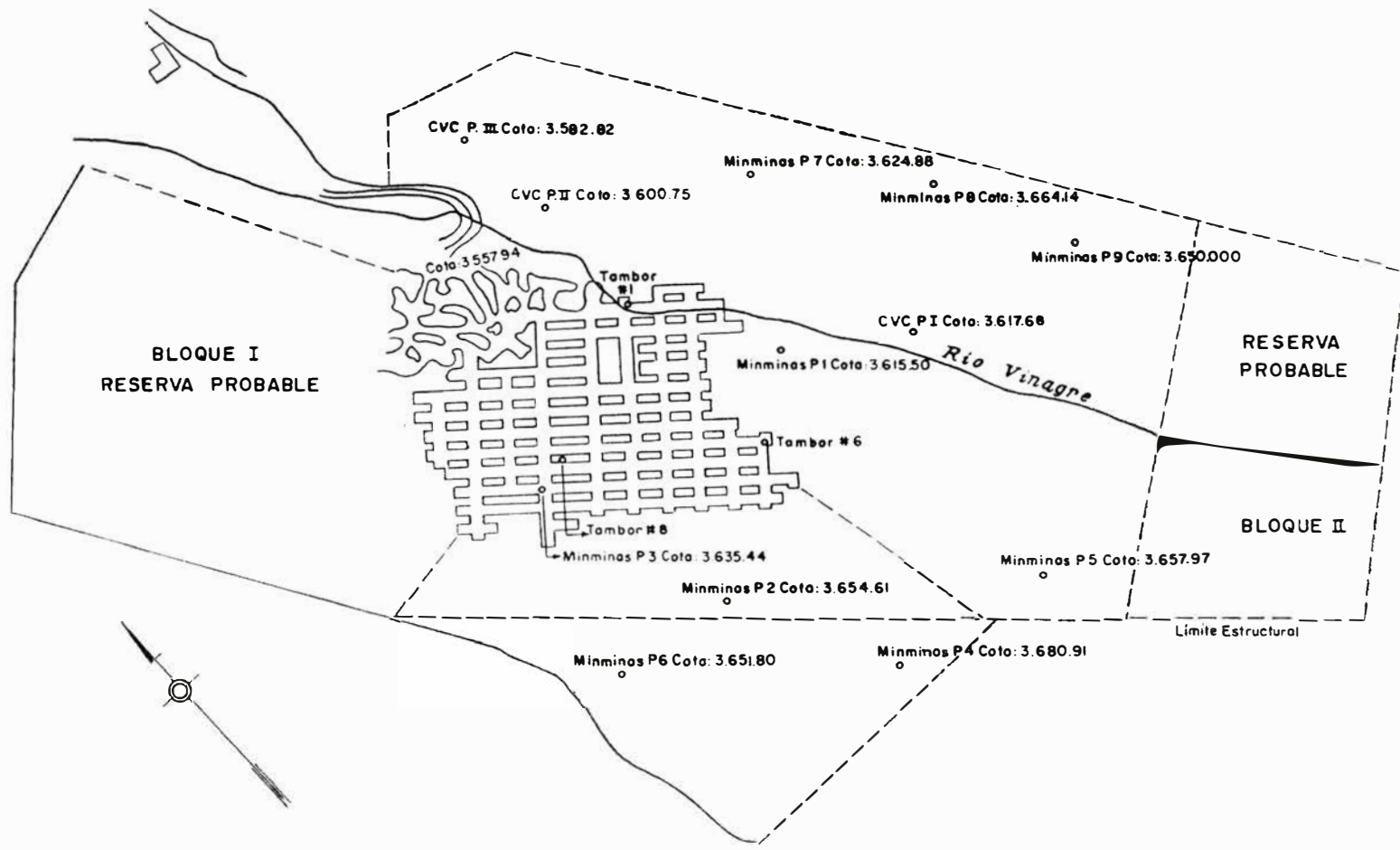
MAPA DE RESERVAS DE LA MINA EL VINAGRE
 PURACE—TERCER MANTO
 (Departamento del Cauca)





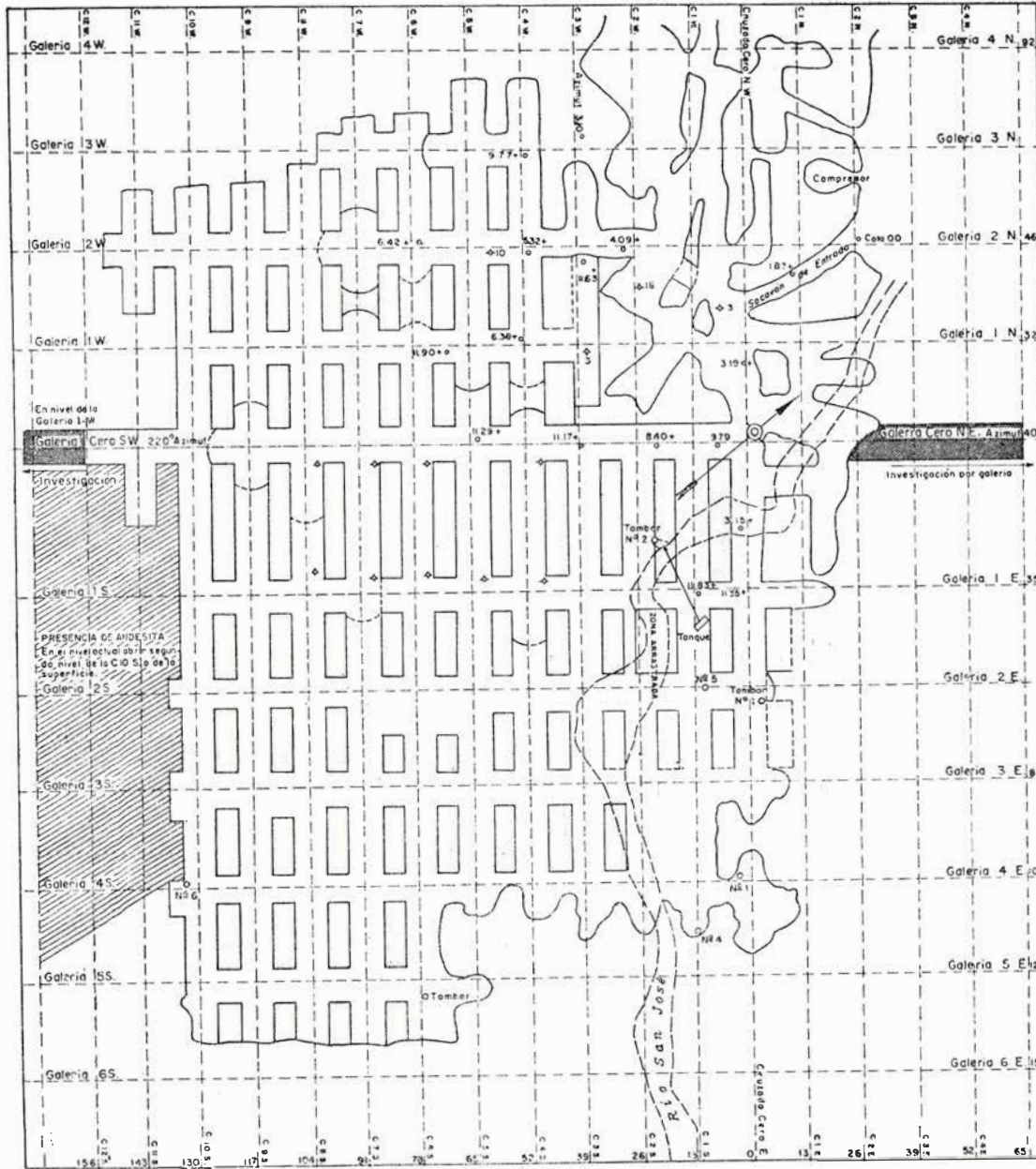
MAPA DE RESERVAS DE MINA EL VINAGRE
 PURACE-CUARTO MANTO
 (Departamento del Cauca)



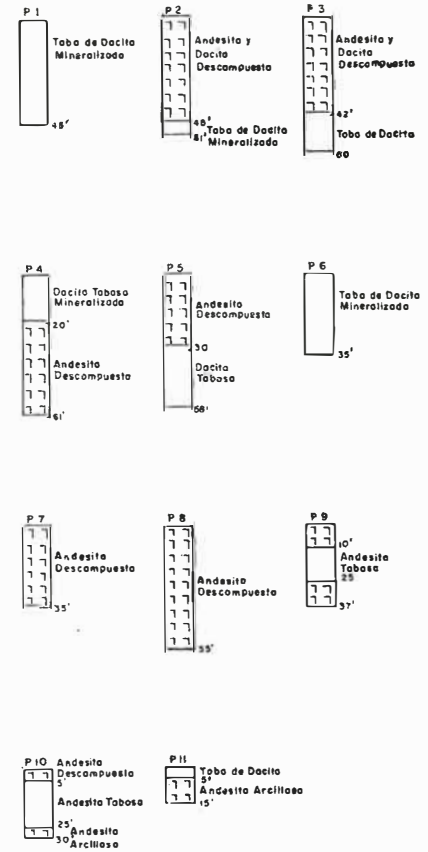


MAPA DE PERFORACIONES CON RESERVAS PROBABLES
MINA DE EL "VINAGRE" (PURACE)



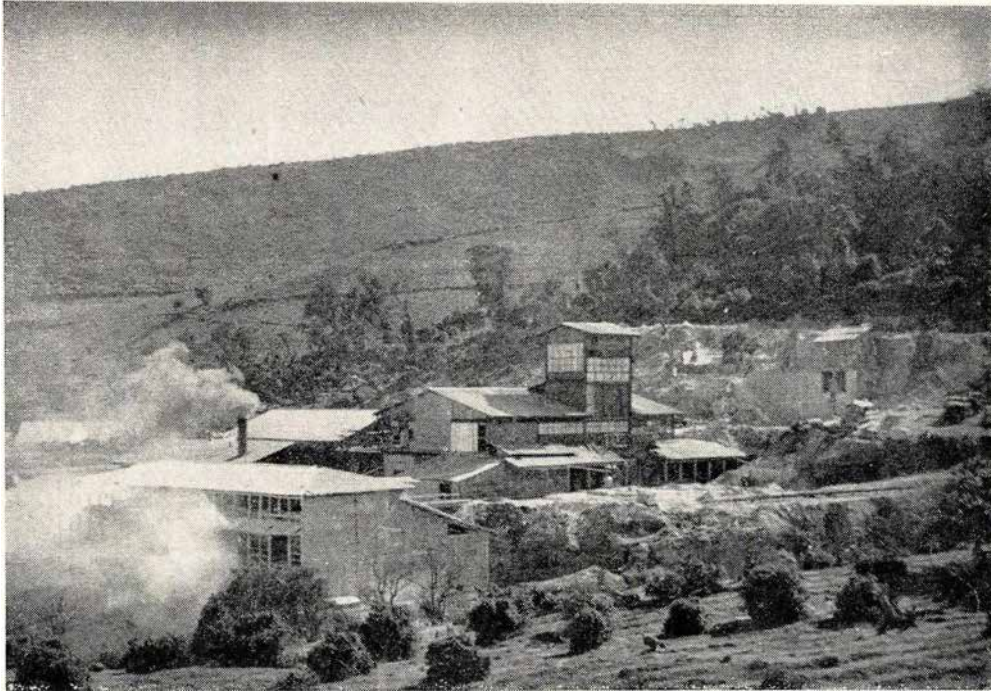


PERFORACIONES EN EL POZO DE LA MINA

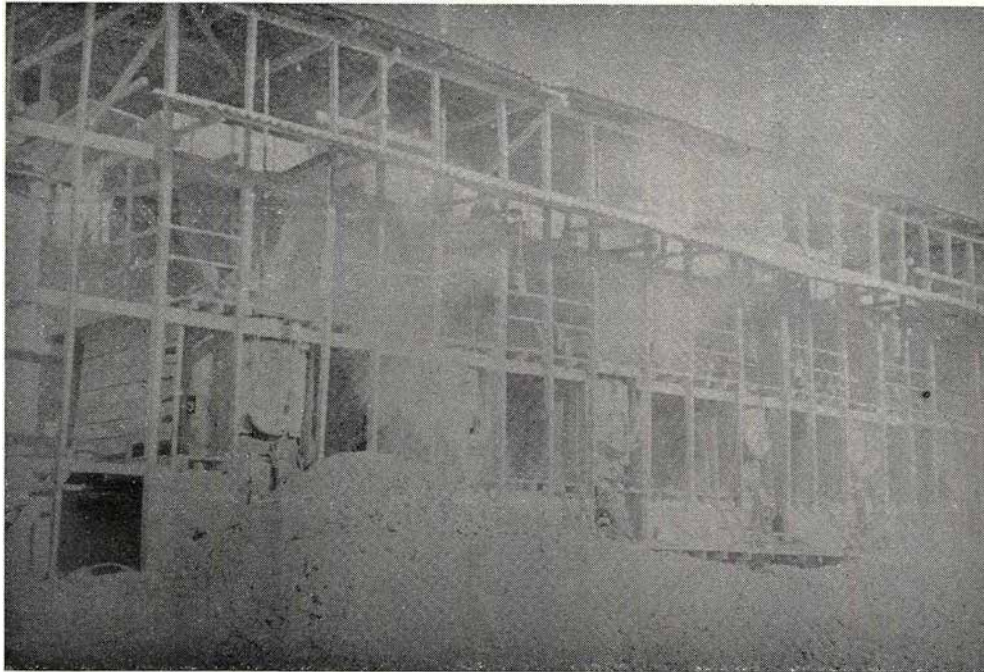


MINA DE AZUFRE EL VINAGRE (Puracé)

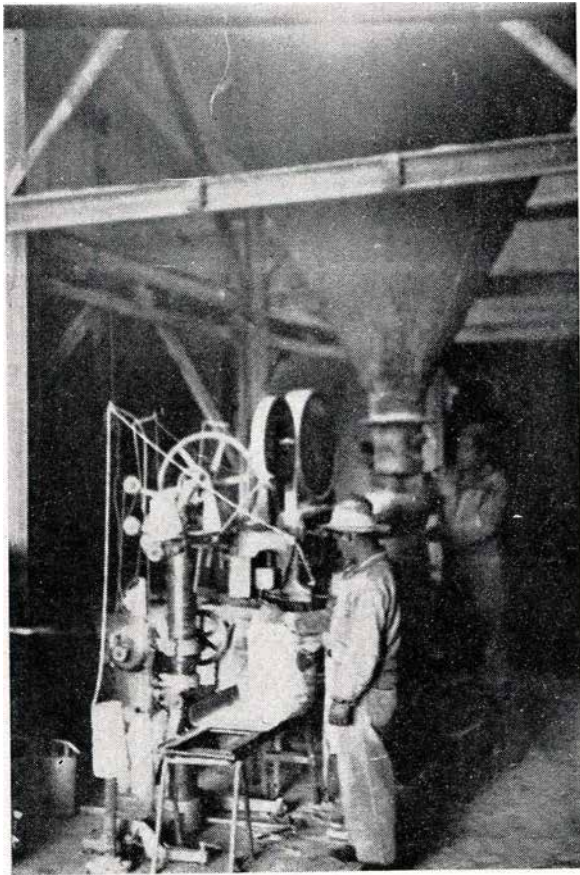




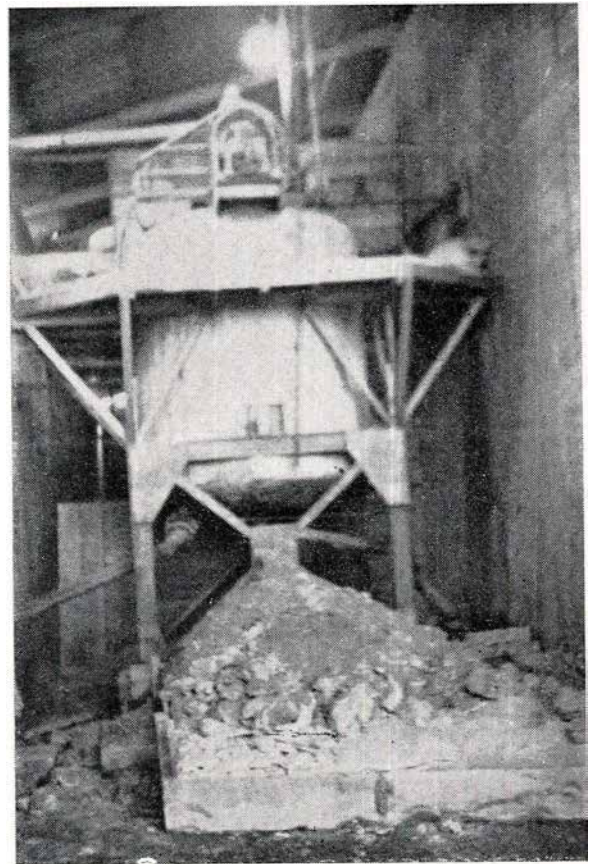
La planta de recuperación.



Autoclaves.



Empaque de azufre.



Autoclave japonés.

**CONTRIBUCION AL CONOCIMIENTO DE LA CORDILLERA CENTRAL
DE COLOMBIA SECCION ENTRE IBAGUE Y ARMENIA**

POR
H. WOLFGANG NELSON
PETROLOGO

INFORME No. 1000

SERVICIO GEOLOGICO NACIONAL
BOGOTA, 1962

CONTENIDO:

I. INTRODUCCIÓN	165
II. OBSERVACIONES GENERALES ACERCA DE LA REGIÓN RECORRIDA ..	167
III. LA SERIE DE CAJAMARCA	168
IV. LAS ROCAS INTRUSIVAS	183
V. FORMACIONES NEOTERCIARIAS Y CUATERNARIAS	188
VI. POSICIÓN ESTRATIGRÁFICA DE LA SERIE DE CAJAMARCA	192
VII. TECTÓNICA Y METAMORFISMO	196
VIII. ASPECTOS ECONÓMICOS	200
IX. RESUMEN	201

I — INTRODUCCION

El presente informe constituye la primera contribución a un proyectado estudio de la Cordillera Central y cuyo fin es obtener, por medio de una serie de estudios combinados, tanto en el campo como en el laboratorio, un concepto más amplio sobre la constitución petrológica y estructural de dicha Cordillera. Este trabajo se relaciona, también, con las labores de la Sección de Fotogeología, como complemento de los mapas fotogeológicos en aquellas regiones en donde las fotografías aéreas no permiten una interpretación clara. Dichas zonas son especialmente aquellas en las que asoman las rocas ígneas y metamórficas.

La Comisión en la cual se basa el presente informe, fue realizada del 10 al 29 de julio de 1952, bajo la dirección del suscrito. Se recorrió la carretera entre Ibagué y Armenia que ofrece un magnífico corte geológico a través de la Cordillera; además, se recorrieron algunos ramales que se desprenden de la carretera Ibagué-Armero hacia el W y que ofrecen datos adicionales en lo que corresponde a la parte baja del flanco oriental de la mencionada Cordillera.

El estudio microscópico detenido permitió profundizar los conceptos sobre la constitución de esta Cordillera, en especial, en cuanto a las rocas metamórficas. A propósito de este estudio, se vio la necesidad de hacer algunas observaciones adicionales en el campo, no sólo para tener un mejor conocimiento sobre la extensión de los grupos distinguidos al microscopio y sus transiciones, sino también para poder extender las observaciones tectónicas.

Quiero consignar en este sitio mis mayores agradecimientos a la Sección de Fotogeología y de manera especial al doctor Jan Keizer, quien eficazmente colaboró en el desarrollo del perfil geológico a base de los datos de campo y de laboratorio; además, confeccionó dos croquis fotogeológicos para ilustrar los datos sobre algunos sitios importantes, sin dejar de tomar parte en discusiones importantes sobre algunos problemas estratigráficos.

Finalmente, hago llegar mis agradecimientos a la señorita Blanca Gómez Martínez, quien colaboró con gran interés en el dibujo del perfil y del mapa índice de este informe. En la misma forma agradezco la colaboración del Petrólogo Aspirante, señor Alberto Restrepo Jaramillo, quien me ayudó en cuanto le fue posible en el campo y en el feliz éxito del informe.

II — OBSERVACIONES GENERALES ACERCA DE LA REGION RECORRIDA

Una de las partes más altas de la Cordillera Central es la que se halla en la ruta Ibagué-Armenia y en la ruta Mariquita-Manizales. En este sector la cumbre está dominada principalmente por los nevados del Ruiz, El Cisne, Santa Isabel, Quindío y Tolima, cuya altura sobrepasa los 5.000 metros. Al sur de los nevados del Quindío y del Tolima se extiende el páramo del Quindío cuya parte más baja es llamada la Depresión del Quindío, por donde pasa la carretera recorrida.

Adelante de Ibagué, la carretera cruza el río Coello y luego sube por la margen derecha del mismo río el cual, más arriba, se llama río Bermejón; éste conduce hasta cerca de la cumbre y desempeña el papel de desagüe del flanco oriental de este sector. El paso de la carretera por la cumbre de la Cordillera en la Depresión del Quindío, se llama La Línea, punto que se halla aproximadamente en el kilómetro 70 desde Ibagué, a una altura de 3.240 metros. De aquí la carretera baja rápidamente hacia Calarcá y Armenia (en el kilómetro 100), al pie occidental de la Cordillera. Es notorio que la pendiente oriental es mucho más ancha que la occidental. La misma observación se puede hacer en la Cordillera Occidental, al W de Cali, en donde la pendiente hacia el valle del río Cauca es más brusca que la pendiente occidental, hacia el Pacífico.

A grandes rasgos, en la carretera visitada se observan tres unidades geológicas, a saber:

a) Rocas intrusivas, que se extienden desde poco arriba de Ibagué hasta el cruce con la quebrada Perico, aproximadamente en el kilómetro 16 desde Ibagué;

b) Una formación de rocas metamórficas, que se extiende desde el contacto tectónico con la roca intrusiva, por todo el trayecto de la carretera hasta Calarcá;

c) Formaciones modernas, especialmente tobas, procedentes del neovolcanismo.

Mientras que el propio relieve de la Cordillera Central se debe al plegamiento andino y a la subsiguiente erosión de las formaciones más antiguas (en el sector visitado, principalmente esquistos), ese relieve ha obtenido una morfología más suave por los productos piroclásticos del neovolcanismo, procedentes, en gran parte, de los volcanes actualmente extinguidos y convertidos en nevados. Estos productos volcánicos cubren especialmente las partes alta y media de la Cordillera y rellenaron los valles existentes de donde las aguas se han llevado la mayor parte, dejando atrás sólo unos restos del antiguo relleno. La cubierta de tobas

es un factor adicional que dificulta la investigación fotogeológica de estas áreas metamórficas.

Durante las labores realizadas para este informe, se llegó a la evidencia de que en la Depresión del Quindío la cumbre misma está constituida por una gruesa y resistente capa de diabasas, capa que se halla intercalada en los esquistos y a la cual evidentemente hay que atribuir un significado morfológico.

Luégo fue posible hacer una subdivisión petrográfica en los esquistos, los cuales a primera vista parecen muy uniformes, con aspecto de esquistos cloríticos y —en menor cantidad— esquistos grafiticos. También nos pareció que la tectónica no ha perturbado caprichosamente tales esquistos sino que, por el contrario, es bien controlable y más bien demuestra un desarrollo poco complicado.

III — LA SERIE DE CAJAMARCA

1. CONSTITUCION GENERAL

La propia Cordillera Central, por lo que se refiere a la sección de la llamada Depresión del Quindío, está constituida por rocas metamórficas, en general esquistosas. Se extienden por toda la pendiente occidental y constituyen también el flanco oriental, desde la cumbre hasta cerca de la base, en donde están limitadas por un batolito de granodioritas. Al oeste de Ibagué este contacto es tectónico y pasa en dirección NE por las quebradas Perico, Guayabal y Animas.

En los esquistos se hallan intercaladas varias capas de rocas diabásicas, que al parecer presentan derrames volcánicos, normalmente interestratificados; tales derrames asoman en ciertos lugares de la pendiente occidental y además constituyen la propia cumbre a ambos lados de La Línea, el paso más alto de la carretera Ibagué-Armenia. Las diabasas no han sido observadas en el flanco oriental. Por el carácter similar que ofrecen todas estas rocas, las reunimos en una serie geológica, la cual indicamos en lo sucesivo con el nombre de la población de Cajamarca por hallarse en medio de la mencionada serie.

Las rocas citadas van recubiertas en grandes extensiones por tobas flojas procedentes del neovolcanismo, actualmente extinguido en esa parte de la Cordillera. Al mismo volcanismo se deben algunas rocas extrusivas que afloran arriba de Cajamarca y en la parte media del flanco occidental; allí la cubierta de tobas es tan gruesa que los afloramientos en el subsuelo resultan bastante escasos.

A primera vista, las rocas metamórficas que constituyen esta serie de Cajamarca parecen poco variadas. En parte la aparente uniformidad es causada por la meteorización bastante profunda que hace que sean más vagas las diferencias originales, convirtiéndose todo en un conjunto indefinido de esquistos verdes que alternan con esquistos grafiticos. La impresión recibida es evidentemente tan monótona que, hasta el presente estudio, tampoco se han distinguido las intercalaciones de diabasas en la misma cumbre y en la pendiente occidental a lo largo de la carretera a Armenia.

Sin embargo, un examen detenido en el terreno revela que no es tan caprichosa la variación en esta serie, sino que, en combinación con el estudio microscópico, se dejan distinguir varios grupos principales distintos y bien definidos. Parece que ni la sedimentación, ni la tectónica subsiguiente de este geosinclinal, presentan factores incontrolables; ambas se reflejan en el perfil que se anexa al presente informe.

Los principales grupos de roca distinguidos en la serie de Cajamarca son los siguientes (debe tenerse en cuenta que el orden de tales grupos no tiene relación con la posición estratigráfica):

- a) Esquistos verdes (prasinitas);
- b) Anfibolitas;
- c) Esquistos grafiticos;
- d) Filitas cuarzosas;
- e) Esquistos cuarzosos néisicos;
- f) Rocas de transición
- g) Diabasas.
- h) Calizas cristalinas.

En los párrafos siguientes se tratará más en detalle sobre la composición mineralógica y química de estos grupos principales.

En general, los estratos de la serie de Cajamarca tienen un rumbo más o menos N-S. Sin embargo, ocasionalmente el rumbo se desvía considerablemente de esta "dirección andina", especialmente en el flanco oriental, que ha sido más perturbado. El buzamiento es muy variable, pero prevalece el oriental. Del perfil adjunto se desprende que los estratos que asoman en el flanco occidental de la Cordillera buzanan bastante regularmente y con ángulo moderado hacia el Este; en igual dirección buzanan las diabasas, que se extienden en dirección NNE por la cumbre y constituyen en la Depresión del Quindío la cresta misma. En la parte superior de la pendiente oriental, el buzamiento es bastante suave hacia el Este; luego, la parte media del mismo flanco está bastante perturbada y presenta verdaderos pliegues; finalmente, en la parte baja, hacia el contacto con las rocas ígneas del pie oriental de la Cordillera, los estratos están fuertemente erguidos y en posición más o menos vertical.

2. LOS ESQUISTOS VERDES

Los esquistos ordenados en el presente informe bajo este grupo, no sólo se distinguen por su color verdoso de tonos claros u oscuros, sino también porque los caracteriza una determinada composición mineralógica, que varía dentro de ciertos límites.

La mayoría de estos esquistos verdes se presenta en forma bastante compacta, pero con esquistosidad muy notable; a veces la roca puede ser muy dura y hallarse en bancos macizos, en donde la esquistosidad se oculta o se confunde fácilmente con un sistema de diaclasas, como sucede arriba de Cajamarca (véase foto 3). Otros esquistos por el contrario, tie-

nen esquistosidad finamente hojosa; son más blandos y constituyen más bien filitas con un lustre mate sobre los planos de esquistosidad.

Haciendo el estudio bajo el microscopio, parece que en la mayoría de las muestras la composición mineralógica se halla dentro de límites muy estrechos; esas rocas corresponden a las llamadas *prasinitas*, que constituyen una subdivisión bien característica de los esquistos verdes. Las prasinitas más típicas las encontramos en aquellas rocas en que rige la combinación mineralógica hornblenda + clorita + epidota + albita. La transición a los demás esquistos verdes se efectúa mediante el predominio de unos (generalmente clorita), con la simultánea disminución o ausencia de otros de estos componentes característicos, o también por la asociación de mayores cantidades de otros minerales, especialmente cuarzo.

Las mutuas relaciones están expresadas muy bien en el diagrama de la página 10 de este informe, diagrama en el que los minerales verdes ocupan los vértices del triángulo y las prasinitas se encuentran en la región central por contener ellas estos minerales verdes en cantidades más o menos iguales. La albita no figura por suponerse presente siempre en alguna cantidad en las prasinitas típicas; puede faltar a veces en otros esquistos verdes.

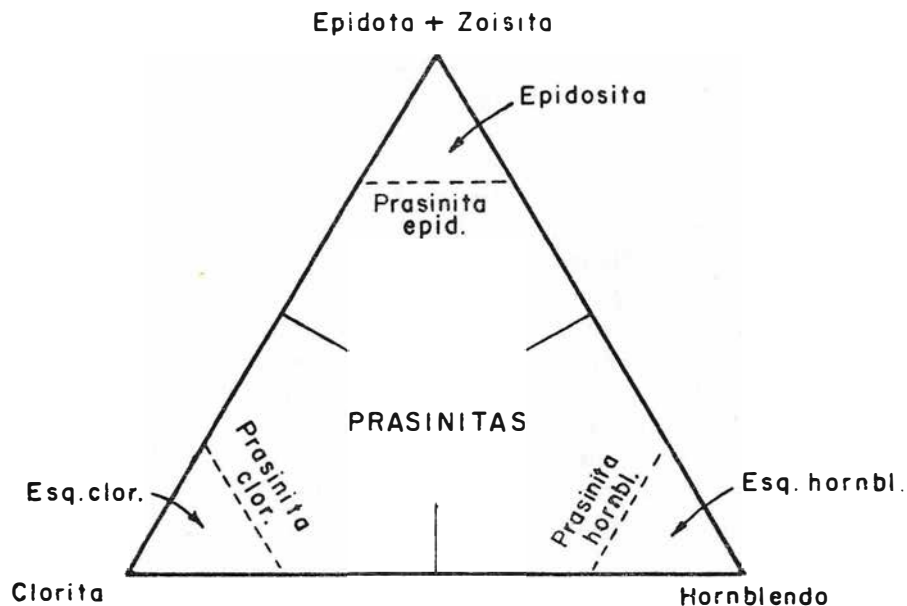


Diagrama que muestra la transición de las prasinitas típicas a otros esquistos verdes.
(Según Diehl, algo modificado).

La tabla de la página 171 reproduce los datos del examen microscópico de algunos esquistos verdes, dados en el orden de E. hacia W (Ibagué hacia Armenia).

Casi todos estos esquistos verdes corresponden a la composición típica de las prasinitas. Crece aún más la importancia de este grupo cuando se tiene en cuenta que las anfibolitas que se hallan cerca de la quebrada Perico representan los equivalentes contacto-metamórficos de los mismos esquistos verdes.

Muestra	Hornbl.	Epid.	Clorita	Albita	Accesorios importantes.
Ne-166	×	×	×	×	Biotita.
167	×	×	×	×	Calcita (15%), biotita.
169	×	×	×	×	Calcita, cuarzo.
170	×	×	×	—	
328	×	×	×	■	Cuarzo.
181	×	—	■	×	Abundant. menas metalif.
182	×	×	×	—	
183	■	×	×	—	
329	×	—	■	×	Abundant. menas metalif.
330	×	■	—	×	Abundant. menas metalif.
195		×	×		y biotita.
					Cuarzo.
203	—	×	×	×	
199	×	×	×	×	Cuarzo.
197	×	×	—	■	Bastante cuarzo.

× = Componente principal.

— = Cantidad subordinada.

■ = Sólo pequeña cantidad.

Al microscopio parece que la hornblenda de esas prasinitas generalmente es fibrosa y representa la variedad de actinolita; la epidota (a veces clinzoisita) se halla en granos pequeños entre la masa compuesta por los demás minerales; accesoriamente pueden asociarse cuarzo, calcita, biotita, titanita y menas de hierro.

Es especialmente notorio el contenido accidental de calcita. Las muestras Ne-169 y Ne-167 de la tabla anterior proceden respectivamente de la quebrada Cerrajosa y quebrada Curalito (canto rodado). Más abajo, ya cerca del contacto ígneo, se anotaron anfibolitas calcáreas, con diópsido como accesorio; es decir, los equivalentes contacto-metamórficos de las prasinitas calcáreas. Su proximidad con las calizas cristalinas llama la atención.

Se observaron, también, verdaderas filitas calcáreas en la pendiente occidental, cerca de la quebrada Plancha; el contenido en calcita sobrepasa el 30% y está principalmente concentrado en capas finas que alternan en la sección con capas ricas en sericita y albita, con menores cantidades de clorita y accesoriamente con pequeños cristales cúbicos de pirita. Las filitas calcáreas están interpuestas en filitas prasiníticas comunes. Dichas alternaciones, al menos la de escala megascópica, tenemos que atribuir las a variaciones en la sedimentación original; están bien ilustradas en el sector de la quebrada Plancha. Se nota ahí que las llamadas filitas, en parte calcáreas, pasan a esquistos cuarzosos grafíticos con lentes de cuarzo; y éstos, a poca distancia (unos pocos metros), a esquistos grafíticos comunes con cristales cúbicos de pirita bastante grandes (3 a 4 mm.); estas rocas a su vez alternan con filitas cloríticas; encima de éstas, finalmente, vienen filitas cuarzosas en una mayor extensión.

De las muestras citadas en la tabla de esta página, sólo las tres últimas proceden de la pendiente occidental de la Cordillera. Allí, la fuerte descomposición y además la cubierta extensa de tobas dificultan la investigación petrográfica. En parte los esquistos están convertidos en tierras lateríticas de tonos rojo-pardusco o carmelita. También en las muestras analizadas se aprecia la meteorización, la cual alteró la epidota en agregados de saussurita.

Probablemente las prasinitas quedan restringidas principalmente a la parte baja de este flanco. Los escasos afloramientos de más arriba indican más bien la presencia de esquistos grafiticos, esquistos grafitico-claríticos y filitas cuarzosas; rocas, pues, que representan una sedimentación original distinta y de las cuales trataremos más adelante.

En cuanto al lado oriental, las prasinitas se observan desde poco arriba de Cajamarca hasta cerca del contacto ígneo, y constituyen en este sector una parte integrante de la serie de Cajamarca. En los últimos dos kilómetros, hacia el contacto, se convirtieron en anfibolitas, evidentemente por el metamorfismo termal sufrido por la intrusión de las granodioritas. Esa zona de contacto tal vez fue más ancha pero probablemente quedó reducida por la falla que separa ahí ambas rocas.

3. LAS ANFIBOLITAS CERCA DEL CONTACTO IGNEO

Las anfibolitas constituyen una facies más elevada del metamorfismo, en comparación con los esquistos verdes (prasinitas) con los cuales se relacionan íntimamente; es decir, constituyen precisamente la transformación meso-zonar de los esquistos verdes epi-zonares. En vista de la proximidad del batolito ígneo, es evidente que las anfibolitas resultaron del metamorfismo termal producido por esa intrusión.

Sin embargo, debemos tener en cuenta que el metamorfismo dinámico, precisamente el correspondiente a la meso-zona, puede producir una transformación semejante. La sola observación de que más lejos del contacto rige en la serie de Cajamarca una transformación epi-zonar producida por las fuerzas orogénicas, no es suficiente prueba para excluir dichas fuerzas en cuanto a la explicación del metamorfismo más elevado de las anfibolitas; pues, de la misma manera que la presión orogénica logró en las granodioritas el efecto más alto cerca del contacto, donde se volvieron néisicas, la transformación máxima en la serie de Cajamarca, efectuada por esa dislocación, puede esperarse en el sector más cercano al contacto, o sea, en la heterogeneidad petrográfica. Es posible que un efecto se haya superpuesto al otro, pero que el del metamorfismo termal debe haber sido el más extenso. Las anfibolitas se observan no sólo al W de la quebrada Perico en la sección Ibagué-Armenia, sino también más al Norte. En esta relación nos referimos a las anfibolitas y neises de inyección al oeste de La Sierrita, que demuestran claramente el efecto del contacto magmático.

En el terreno, las anfibolitas en cuestión, suelen presentarse bastante macizas, a menudo atravesadas por un sistema de diaclasas. La roca se observa cinteada, es decir, que presenta finas franjas debido a la orientación paralela de los cristales de hornblenda; en las partes frescas es de color verde oscuro, pero en estado de descomposición puede tomar tonos más claros producidos por la saussuritización de las plagioclasas.

Bajo el microscopio se observan los componentes principales: hornblenda verde-pardusca y plagioclasas de composición andesina; se presentan en cantidades más o menos iguales o con un ligero predominio de la cantidad de hornblenda, mineral que casi siempre es fresco, mientras que las plagioclasas a menudo son turbias debido a productos secunda-

rios tales como saussurita, epidota, prehnita y calcita. Estos productos pueden reemplazar todo el feldespato y producir anfibolitas saussuríticas, zoisíticas, etc.; como elemento accesorio, casi nunca falta la titanita, que se presenta en granos finos, frecuentemente en asociación de ilménita con borde de leucóxeno; rara vez se observa cuarzo. La estructura varía en las distintas muestras, lo mismo el grano que va desde fino hasta bastante grueso. El desarrollo de la hornblenda es prismático, a menudo con extremos astillosos o mal definidos; la plagioclasa forma un mosaico granoblástico. La disposición de los componentes puede ser en capas alternantes, dando una notable esquistosidad, o presenta tan sólo una orientación paralela del anfíbol. En otras anfibolitas no se distingue orientación especial, hallándose los componentes en un desarrollo alotriomorfo, a veces con penetración mutua, dando estructura poiquilítica.

Es interesante una anfibolita calcárea que, en estructura granoblástica, contiene los minerales plagioclasa, hornblenda y calcita, con diópsido como elemento accesorio. Se la puede ver como equivalente contacto-metamórfico de las intercalaciones calcáreas en las prasinitas mencionadas anteriormente.

Se encuentran también anfibolitas como inclusiones de tamaños varios en la roca intrusiva. Además, se observan inclusiones de cornubianitas con desarrollo cristaloblástico de diópsido y de hiperstena. Obviamente fue incorporado en la intrusión un material semejante al material que dio origen a las prasinitas y a las anfibolitas en la zona del contacto. Ese material, en nuestro concepto, debe haber tenido más o menos la composición de una toba diabásica, contaminado en cantidad variable con material arcilloso o calcáreo. En el último párrafo de este capítulo trataremos en detalle sobre tal origen.

4. LOS ESQUISTOS GRAFÍTICOS

Los esquistos grafíticos en su forma más típica, están desarrollados como rocas de color gris oscuro y finamente esquistosas. Tales esquistos tienen un lustre mate sobre los planos de esquistosidad; otros tienen un lustre verdoso-filítico, debido a una mayor asociación de sericita o clorita.

La mayoría de estos esquistos grafíticos es bastante blanda, por lo cual, en el terreno, los afloramientos dan la impresión de estar más descompuestos y resaltan menos que los afloramientos de las prasinitas más duras. De este fenómeno puede resultar fácilmente un concepto erróneo sobre la distribución y magnitud de ambos grupos.

Según análisis microscópico, los esquistos grafíticos están constituidos principalmente por cantidades variables de cuarzo, grafito y sericita. El cuarzo se halla en estructura finamente granoblástica, al parecer en forma algo lamelar; el grafito y la sericita tienen orientación paralela u ondulosa, indicando la esquistosidad; accesoriamente se encuentran albíta y escamas de clorita.

Las transiciones de este a otros grupos se observan frecuentemente; así, por un aumento del componente de clorita y por la disminución del material de carbono, transitan a los esquistos verdes. Muy repartidos están los estratos gruesos, en los que se observan tales esquistos cloríticos

grafíticos que no representan ni verdaderos esquistos verdes, ni típicos esquistos grafíticos. Otras veces la sedimentación original fluctuaba constantemente, originando una alternación continua de varios esquistos. Tales formaciones se han unido en un grupo especial (véase el párrafo 7).

Otra transición es la que se observa hacia las filitas cuarzosas; se efectúa no sólo por la disminución de la proporción de grafito hasta la completa falta de este mineral, sino también por la aparente disposición del cuarzo muy fino y denso según cintas finas, a veces marcadas por agujas de clorita.

Los esquistos grafíticos están repartidos a ambos lados de la Cordillera Central, como lo demuestra el perfil. Generalmente la extensión de los afloramientos típicos está limitada debido a la variación de la roca hacia otros tipos, como se indicó más arriba. Es muy interesante el hecho de que parecen constituir tanto el infrayacente como el suprayacente de las diabasas que asoman en la cumbre de la Cordillera.

Merece mencionarse, también, un afloramiento en la parte media de la pendiente occidental. Asoma allí un esquisto grafítico duro, con esquistosidad hojosa y que contiene una proporción considerable de carbonato, probablemente tanto calcita como dolomita. En el mismo lugar se halla una roca arenosa negra que al microscopio revela su naturaleza triturada, debida a dislocaciones locales, por las cuales el grafito ha envuelto los granos fracturados de cuarzo con una película fina, dando a simple vista la impresión de tratarse de granos de cuarzo negro. El cemento entre estos granos está constituido en gran parte por un carbonato, frecuentemente en cristales romboédricos que representan probablemente el mineral dolomita. Es posible que esta dolomita se haya formado por sustitución metasomática de la calcita a causa de aguas meteóricas que circularon por la dislocación y deben su contenido en Mg. a los esquistos verdes vecinos.

5. LAS FILITAS CUARZOSAS

Se observan estas filitas a lo largo de una mayor extensión en la pendiente occidental de la Cordillera Central. Subrayamos nuevamente que esto no implica un cambio de facies entre esta pendiente y la oriental, pues, según la posición tectónica expresada en el perfil, el flanco oeste constituye la parte inferior y media de la "serie de Cajamarca" y sus estratos no parecen volver a presentarse en el flanco oriental.

La constitución característica es la de una roca gris-azulosa, compacta y bastante dura, con estratificación sumamente fina, filítica. Por alteración puede cubrirse con una película pardo clara o ferruginosa, color que puede llegar a teñir toda la roca, debido a la meteorización progresiva.

La misma esquistosidad finísima se observa al microscopio. El componente principal es el cuarzo que se halla en forma densa, finamente granoblástico con desarrollo más bien lamelar en una dirección, dando así la impresión de una fina esquistosidad, la cual resalta claramente por la asociación en cantidades subordinadas y variables de sericita, en agujas orientadas. También el grafito puede participar en la constitución de la roca, devolviéndole su color gris oscuro cuando aumenta la propor-

ción de este mineral o inclusive, llevándole hasta formar un esquisto grafitico.

La génesis de la roca es cosa difícil de determinar. La estructura finamente cristalina no denuncia claramente un carácter "clástico", sino que sugiere su precipitación de una substancia silicosa, ligeramente contaminada por material arcilloso y carbono, substancia silicosa que debe haber pasado posteriormente del estado amorfo al estado cristalino, para venir a sufrir finalmente un metamorfismo regional. La presentación bajo el microscopio recuerda un poco la de las liditas, aunque la masa cuarzosa de éstas es aún más fina, o sea, criptocristalina. Hay que contar con la posibilidad de que el origen de las filitas cuarzosas se relacione íntimamente con la génesis de las liditas pero que las circunstancias operantes durante la deposición, así como las transformaciones posteriores, fueron distintas. En el capítulo sobre la estratigrafía vemos que existen aún otros motivos, por los cuales la formación de parte de la serie de Cajamarca coincide con la formación de las liditas de la Cordillera Occidental.

6. LOS ESQUISTOS CUARZOSOS NEISICOS

Este grupo se distingue del anterior por su carácter neisico, producido por los lentes de cuarzo y por su estructura fuertemente foliada. Sin duda se relacionan genéticamente con las mismas filitas cuarzosas pero fueron más transformados que éstas.

Los esquistos cuarzosos néisicos se observan precisamente en aquellos sectores que sufrieron en mayor grado la presión orogénica. Mientras que las filitas cuarzosas, al parecer, sólo indican los efectos de un "stress", dándoles capas planas, los esquistos néisicos sufrieron la combinación de "stress" (tensión) y "shear" (cizallamiento). Las capas, por consiguiente, se foliaron fuertemente e incluyen concentraciones (lentes) de cuarzo, de tamaño distinto.

También las substancias accesorias recrystalizaron y se concentraron en cintas plegadas en la forma de sericita y grafito, dando a la roca, en general, un color gris azulado o también, un lustre gris oscuro sobre sus planos de exfoliación, cuando la roca transita a un esquisto grafitico néisico por el aumento de estos accesorios.

Los afloramientos más característicos se hallan en la parte alta de la pendiente oriental; allí, la roca muy dura se distingue en el terreno por una mayor resistencia a la erosión; sus pendientes escarpadas producen varios saltos pequeños, como se observan especialmente en el curso alto de la quebrada Los Chorros (véase foto). Es precisamente en esta región en donde las fuerzas orogénicas que plegaron evidentemente los esquistos más al Oriente, tropezaron con la resistencia ofrecida por la capa maciza y gruesa de diabasas que actualmente forman la cumbre.

7. ROCAS DE TRANSICION

A este grupo hemos atribuído las siguientes formaciones:

a) Las que, según su composición mineralógica, constituyen un término intermedio entre los tipos más característicos, mencionados en los párrafos anteriores;

b) Tales zonas en donde la sedimentación original cambiaba rápidamente, dando lugar a una alternación continua de los esquistos actuales;

c) Tales esquistos, cuya naturaleza está mal definida por razones de la fuerte descomposición. Tal vez en el curso de un estudio más detallado, también de regiones vecinas, se puedan precisar algunas zonas.

Petrologicamente sólo necesitan aclaración los esquistos colocados bajo el grupo a). Son aquellos cuya composición mineralógica no los deja pertenecer a uno de los grupos anteriores sino que constituyen más bien grupos de transición, generalmente entre los esquistos verdes (prasinitas) y los esquistos grafiticos, pero también entre éstos y las filitas cuarzosas. Están constituidos generalmente por cantidades variables de cuarzo, albita, clorita, sericita y grafito; rara vez se encuentran epidota (zoisita) u hornblenda (actinolita); su color es gris verdoso de tonos distintos, según la proporción de los componentes.

8. LAS DIABASAS

Las diabasas forman el elemento más característico de la serie de Cajamarca, tanto morfológica como geológicamente.

Morfológicamente, en la Depresión del Quindío, dominan la pura cumbre de la Cordillera Central. Sólo están cubiertas allí por una capa de cenizas volcánicas modernas. Esta posición morfológica la deben indudablemente a su gran tenacidad y resistencia contra la erosión.

Geológicamente son interesantes por el cambio que introducen en los estratos gruesos sedimentarios que constituyen la serie de Cajamarca. Además, estas interposiciones ofrecen ciertos aspectos estratigráficos en cuanto a la posición geológica y a la edad de esa serie, por facilitar una comparación con regiones vecinas, especialmente con la del valle del río Cauca.

En el terreno se presentan como rocas verdosas, macizas y muy densas, de carácter ígneo básico, cuya naturaleza no se puede precisar fácilmente sin la ayuda del microscopio, excepto cuando a veces se observa una descomposición en forma de bolas (véase la foto 6). La sección delgada revela los componentes de una roca diabásica, o de sus productos secundarios; se hallan en estructura ofítica residual, reflejando claramente la fuerte presión dinámica sufrida durante la fase orogénica; los cristales prismáticos de plagioclasas están fracturados; la augita corrió la misma suerte, pero en general se muestra algo más resistente debido a su desarrollo intersertal.

La plagioclasa está completamente albitizada; a veces se observan también saussurita, clorita y cuarzo, como productos secundarios; la augita (diópsido) se alteró parcialmente a clorita y a uralita (actinolita fibrosa); este último mineral se desarrolló especialmente en los extremos de la augita en donde forma una franja de fibras paralelas, las cuales pueden penetrar los cristales vecinos de plagioclasas; accesorariamente se encuentran sólo ilmenita y leucoxeno.

Es interesante la posición del afloramiento en la cumbre. Por los movimientos orogénicos la capa gruesa de diabasas (más o menos 100 metros de magnitud) no sólo ha sido inclinada junto con los estratos sedimen-

tarios vecinos, sino que también se rompió, dando lugar a un desplazamiento transversal considerable (cerca de 200 metros), por lo cual la parte meridional se trasladó (relativamente) hacia el Oeste.

La carretera de Ibagué hacia Armenia pasa en su trayecto más alto exactamente por esa falla y, viniendo de Ibagué, ofrece primeramente afloramientos al lado derecho (frente al primer retén), es decir, en los extremos del sector septentrional de dichas diabasas; luego las corta al lado izquierdo (ya bajando hacia Armenia), es decir, en los extremos del sector meridional de las diabasas.

La situación se refleja también en el mapa topográfico de escala 1:25.000 del Instituto Geográfico: las cotas más altas se desplazan súbita y exactamente en el paso de la carretera. Aún mejor se observa este fenómeno en las fotografías aéreas, examinadas por el doctor Jan Keizer. Gracias a la mayor resistencia a la erosión, la capa de diabasas forma escarpes muy notables, los cuales en dicho lugar demuestran el desplazamiento transversal. La situación geológica se puede apreciar en el correspondiente croquis fotogeológico del perfil adjunto. El significado de los demás escarpes se conocerá sólo después del examen en el terreno mismo.

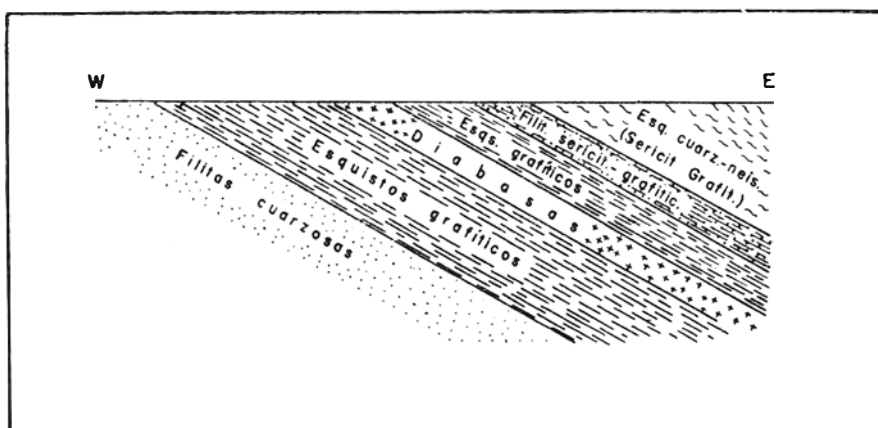
La situación tectónica en la cumbre está bien reflejada por la transformación de las rocas. En cuanto a las diabasas, en algunas se anota una deformación bastante débil (correspondiente sólo al dinamometamorfismo), en tanto que en otras se observa más bien una milonitización (producida por la dislocación ruptural).

Las diabasas están comprendidas entre esquistos grafiticos, con capas finamente hojosas y fuertemente foliadas. Tales esquistos grafiticos, más o menos cuarzosos, pasan hacia el W a filitas cuarzosas y hacia el E a filitas sericíticas, finamente onduladas, luego en los llamados esquistos cuarzosos néisicos. De estos últimos ya indicamos que se distinguen de las filitas cuarzosas sólo por haber sufrido un mayor grado de metamorfismo dinámico. Este hecho se debe a la fuerte resistencia ofrecida por la capa dura de diabasas contra las presiones orogénicas, las cuales, por consiguiente, causaron la fuerte compresión de los estratos suprayacentes contra esa capa resistente de diabasas (véase también el Capítulo VII). El croquis de la página 178 puede aclarar este orden litológico (croquis esquemático que no pasa por la falla del desplazamiento transversal).

Se observa que la sedimentación original pasa de muy cuarzosa a bastante arcilloso-carbonosa, estado este último que está interrumpido por la extrusión diabásica, para luego volver a ser cuarzosa, con una proporción variable en material arcilloso y carbono. Obviamente este derrame diabásico se intercala tranquilamente en la sedimentación existente, sin que lo acompañen derrames tobáceos. No es posible deducir conclusiones acerca del lugar del foco volcánico que produjo estos derrames.

En cuanto a las demás formaciones de diabasas indicadas en el perfil, sólo la más próxima a Calarcá se deja determinar con seguridad. En el afloramiento se anota también la tendencia a una descomposición en bolas. La roca misma tiene los componentes ordinarios, bastante alterados, de acuerdo con la meteorización profunda de esta pendiente.

Subiendo, ya pronto se encuentra otro afloramiento que probablemente constituye una diabasa; pero allí la alteración es tan fuerte que es difícil dictaminar sobre este afloramiento con seguridad,



El siguiente afloramiento, por fin, ya más arriba, se localizó en el terreno por la presencia de enormes bloques que se hallan allí y cuya posición no hace probable que procedan de la diabasa de la cumbre. En dicho lugar la cubierta gruesa de tobas modernas dificulta la exploración.

9. LAS CALIZAS CRISTALINAS Y LA ZONA DE CONTACTO

Hacia el límite de la serie de Cajamarca con el macizo ígneo, asoman en varios lugares interposiciones de caliza cristalina. Parece que no se trata de horizontes continuos, sino más bien de cuerpos aislados que se hallan en una zona limitada y que se extienden en dirección N-NNE. El tamaño de los cuerpos individuales varía mucho. Los que se encontraron al W de La Sierrita y entre Armero y Convenio son más o menos lentiformes y su diámetro alcanza unas pocas decenas de metros. Las interposiciones expuestas entre Ibagué y Cajamarca, cerca de la quebrada Perico, parecen ser más extensas.

La situación geológica en este último lugar es la siguiente: en el lecho de la misma quebrada aflora un neis granodiorítico que forma el límite del macizo ígneo y que se produjo en una zona ancha debido al metamorfismo sufrido. Subiendo desde aquí por la carretera hacia Cajamarca, se encuentra la misma roca ígnea, pero fuertemente milonitizada; luego afloran esquistos grafíticos néisicos y neises muy cuarzosos, con un contenido accesorio de grafito especialmente sobre los espejos de fricción. En tales neises se intercala, al parecer tectónicamente, una gran peña de granodiorita deformada y muy descompuesta. El fuerte efecto de la dislocación se manifiesta claramente en esta serie de rocas. Ascendiendo un poco más se observa el primer afloramiento de caliza cristalina, el cual es bastante ancho; está limitado por una cuarcita muy densa que recuerda las filitas cuarzosas. La caliza cristalina es un mármol muy denso, de color gris azulado; en la masa, finamente granoblástica, bajo el microscopio se distinguen las huellas de la dislocación, es decir, microfallas y maclas curvadas de calcita.

Continuando el ascenso por la carretera, se observa otra peña de granodiorita milonitizada; casi frente a ella, al lado del río y un poco por

debajo del nivel de la carretera, asoma nuevamente una intercalación de caliza entre los esquistos. Tiene una estratificación fina y es notoria por su color gris oscuro que se debe al contenido de grafito; después de esta intercalación de caliza que es más angosta que la anterior, ya pronto aparecen las anfibolitas; en éstas es notoria una intercalación de anfibolita calcárea.

Aunque la situación geológica es bastante complicada por la proximidad de la dislocación, nos parece que las calizas están interpuestas normalmente entre los demás esquistos. Estos están constituidos en el lugar descrito (quebrada Perico), principalmente, por esquistos grafiticos y cuarzosos.

La misma impresión se recibe de los lentes de caliza, que se observan al oeste de La Sierrita y entre Armero y Convenio. Las calizas observadas en estos lugares, sin embargo, se hallan intercaladas en anfibolitas. Es interesante la sucesión litológica al W de Armero; recuerda mucho la situación en la quebrada Perico, aunque es mucho más difícil de descifrar debido al fuerte dinamometamorfismo que evidentemente se operó en este sector y además por la fuerte meteorización que sólo permite hacer observaciones en las pocas quebradas que se encuentran.

En una de tales quebradas, más o menos a unos 3 kilómetros al W de la población de Armero, se encontró la roca ígnea del batolito, fuertemente deformada y néisica; parece tratarse de una diorita cuarzosa bastante pobre en cuarzo. A poca distancia de ésta, a unos 500 metros más hacia el SW, también afloran rocas néisicas, en una quebrada, pero que, según estudio microscópico, hay que atribuir un origen sedimentario. Se trata de neises cuarcíferos, constituidos principalmente por cuarzo y oligoclasa sericitizada luego por biotita cloritizada, a la cual a veces se asocia muscovita. Es característica la asociación de numerosos y pequeños cristales de granates (almandina) y de grafito cristalino en algunos de estos neises. Tales componentes se dejan observar también bajo el binocular como cristales rosados (granates) y como escamas con lustre mate argentífero (grafito) que más bien recuerdan un elemento metálico. En relación íntima con estos para-neises se hallan esquistos epidótico-calcáreos y anfibolitas cuyas plagioclasas se alteraron completamente a albita y prehnita. Aproximadamente a 1½ kilómetros más hacia el W, es decir, cerca del ramal que conduce a las minas de cal, se observó un lente grande de mármol grisáceo (también ha sido explotado), intercalado en anfibolitas. La caliza cristalina es impura y contiene hasta un 20% de los accesorios cuarzo, muscovita, tremolita, titanita y cubos pequeños de pirita. No fue posible visitar las minas de caliza, debido a los disturbios de orden público en esa región.

La sucesión litológica encontrada en los mencionados lugares parece indicar que, durante el período superior de la serie de Cajamarca, hubo un gran abastecimiento de material volcánico, el cual dominaba en la sedimentación y originó las prasinitas y anfibolitas. Entretanto se modificó la facies en la cuenca sedimentaria y se observan anfibolitas calcáreas y lentes más o menos aislados de caliza. Finalmente disminuyó el abastecimiento de material tobáceo y prevaleció una sedimentación arenosa, alternada por depósitos más o menos extensos de calizas. Esta facies arenoso-calcárea parece indicar un levantamiento de la cuenca geo-

sinclinal, en la cual se depositaron los gruesos estratos de la serie de Cajamarca. El levantamiento probablemente se relaciona con la intrusión de las granodioritas en los estratos de este geosinclinal. Para un mejor conocimiento de los sucesos geológicos sería necesario intensificar las observaciones de campo en esta región y en regiones vecinas, en especial en lo que se refiere a las intercalaciones de caliza.

10. FACIES DE LA SERIE DE CAJAMARCA

El estudio detenido de los grupos petrográficos que constituyen la serie de Cajamarca, demuestra las relaciones muy estrechas que existen entre ellos. Ya anotamos que los esquistos verdes pueden traspasar gradualmente a esquistos grafiticos, lo que se efectúa por la asociación de grafito, simultáneamente con la substitución de parte de la albita por cuarzo y con la disminución de la epidota hasta la ausencia completa de este mineral. En los puros esquistos grafiticos también va escaseando la clorita y la actinolita y en su lugar se observa sericita.

Otra transición frecuente se efectúa de los esquistos grafiticos a las filitas cuarzosas y luego a sus equivalentes más matemórficos, a saber, los esquistos cuarzosos néisicos. Se efectúa simplemente por el fuerte predominio del cuarzo sobre los demás elementos constituyentes, que acaso sólo se hallan accesoriamente.

Es evidente que estas alternaciones se deben a un cambio en la sedimentación original. Las diferencias en la sedimentación se manifestaron más claramente después de la fase orogénica, cuyo metamorfismo produjo rocas muy diferentes.

El origen de los esquistos grafiticos debemos buscarlo en los sedimentos arcillosos o finamente cuarzosos que se depositaron junto con material orgánico y cuyos productos de descomposición finalmente produjeron el carbono. Aunque por falta de fósiles no hay indicaciones seguras, parece muy probable que toda la serie de Cajamarca se depositó en facies marina. Tanto el espesor enorme, como el hecho de que en ninguna parte se encontraron intercalaciones de conglomerados, hablan en favor de tal suposición.

En cuanto a los esquistos verdes, ya anotamos que representan en su mayor parte prasinitas típicas. Su asociación mineralógica no puede resultar del metamorfismo de sedimentos arcillo-arenosos, pues las prasinitas son pobres en sílice y, por otra parte, más ricas en calcio y magnesio. Dentro del cuadro de los sedimentos comunes, sólo una marga dolomítica podría corresponder a la composición de las prasinitas. Es poco probable que esta clase de sedimento, bastante raro, se haya depositado en estratos tan gruesos como los encontramos actualmente en los esquistos verdes.

En nuestro concepto, tenemos que considerar como "materia prima" las tobas volcánicas básicas, cuya composición corresponde a los elementos que componen las prasinitas. La suposición de este origen está respaldada por las siguientes razones:

a) Tanto la formación de los estratos gruesos de prasinitas como la de las zonas de alternaciones continuas con otros sedimentos, se explican

fácilmente por medio de acciones volcánicas que, según su duración y violencia, produjeron un abastecimiento muy variable de tobas. Durante una fase eruptiva los productos piroclásticos dominaban fuertemente en grandes áreas sobre los productos de la sedimentación existente. Al disminuir la actividad volcánica, estos productos recuperaron el predominio. Se entiende que, según la facies existente en el momento de la actividad volcánica, se puede formar cada clase de sedimento mixto. Luégo se reflejan claramente las repetidas erupciones, especialmente en áreas próximas al volcanismo. Las alternaciones continuas y rápidas observadas en ciertos estratos de los esquistos, no dependen de alternaciones en la facies marina, sino, en primer lugar, del abastecimiento variable del material piroclástico;

b) Una prueba de las actividades volcánicas, durante la formación de la serie de Cajamarca, la encontramos también en los derrames de diabasa, que están intercalados normalmente entre los estratos de dicha serie. Ellos se hallan en varios niveles estratigráficos, indicando la acción volcánica repetida;

c) La conformidad notoria de la composición química entre las diabasas y las prasinitas está apoyando la suposición de que las prasinitas tuvieron su origen en tobas diabásicas.

Esa conformidad nos la demuestra claramente el cuadro de la página 181, en el cual figuran los “índices moleculares” de dos prasinitas, dos anfibolitas y dos diabasas. En cuanto a las anfibolitas, ya observamos que representan un mayor grado del metamorfismo, en comparación con las prasinitas, debido a su proximidad al contacto intrusivo.

La identidad en el carácter petro-químico es obvia. Los valores de los índices se hallan dentro de límites muy restringidos y son típicos para equivalentes de rocas gábricas o gábrico-dioríticas. Conforme a este tipo de magma el valor del cuarzo libre (qz) es negativo, e indica la subsaturación en sílice de estas rocas.

Las diferencias menores existen principalmente en un “si” algo elevado y un “c” más bajo en las diabasas. Es posible que haya relación con la completa albitización de las plagioclasas en las diabasas, como lo reveló el estudio de las secciones delgadas. Teniendo en cuenta que las diabasas se hallan intercaladas en formaciones de cuya facies marina apenas se puede dudar, esas extrusiones se efectuaron en forma subacuática. Por consiguiente, es posible que la albitización se deba a una soda-metasomatosis (espilitización) durante la extensión o después de ella, por lo cual fue substituída en los feldespatos parte del calcio por sodio.

	<i>Prasinitas</i>		<i>Anfibolitas</i>		<i>Diabasas</i>	
	Ne-328	Ne-182	Ne-297	Ne-314	Ne-339	Ne-216
si	111,7	102,3	118,4	112,2	122,0	127,4
al	19,4	21,4	21,7	23,4	23,0	23,0
fm	50,4	43,0	40,7	43,2	49,1	50,8
c	22,0	29,5	30,4	28,2	18,3	16,4
alk	8,2	6,1	7,2	5,2	9,6	9,8
k	0,07	0,02	0,04	0,05	0,03	0,07
mg	0,58	0,54	0,50	0,60	0,48	0,54
qz	— 21,1	— 22,1	— 10,4	— 8,6	— 16,4	— 11,8

La procedencia de las seis muestras que figuran en el cuadro anterior, es la siguiente:

- Ne-328: Un poco abajo de Cajamarca.
- Ne-182: Un poco arriba de Cajamarca.
- Ne-297: A media vía entre La Sierrita y Junín.
- Ne-314: Al NW de Armero (Estación Agropecuaria).
- Ne-339: La Línea. Carretera Ibagué-Armenia.
- Ne-216: La Línea. Carretera Ibagué-Armenia.

El concepto del origen tobáceo de los esquistos verdes, en especial de las prasinitas típicas, apoya también la explicación de ciertos problemas estratigráficos. Como se verá en un capítulo siguiente, hay motivos para conceder una edad Jurásica y Cretácico Inferior a la mayor parte de la serie de Cajamarca. La magnitud considerable de esta serie, en relación con dicho intervalo de tiempo, se comprende más fácilmente, aceptando una fuente extraordinaria en el abastecimiento del material depositado. Esa fuente la constituye el volcanismo, que, en un tiempo relativamente corto, puede producir enormes masas de material, hasta tal punto que la sedimentación existente va escondida por los productos volcánicos.

Más difícil que determinar el origen de las rocas verdes, es investigar la facies de las filitas cuarzosas. Ya anotamos en el párrafo correspondiente que es muy notoria su constitución por una masa cuarzosa y finamente granoblástica. En esa masa, finamente esquistosa, no observamos ningún residuo de granos más gruesos que pudiera indicar una formación antiguamente "clástica", análoga a los depósitos de arenas finas. La estructura sugiere más bien un origen por precipitación de una sustancia silicosa, comparable con un "gel". Es decir, nos parece probable un origen muy análogo al de las liditas. Si acaso ciertos organismos desempeñaron papel en la precipitación de la sílice, esto es un problema aparte que no se deja resolver en filitas metamórficas. Otro problema es el de la fuente de la sílice; a este respecto se puede pensar en dos posibilidades: primeramente en una relación estrecha con el volcanismo. En segundo lugar, suponer una meteorización profunda en el "Hinterland", que causó la disolución de gran parte de la sílice de las rocas y su transporte hacia el mar. Aunque no hay indicaciones concretas en favor de la primera suposición y tampoco en favor de la segunda, nos parece más aceptable la última. Pues, es poco probable que el volcanismo diabásico, que era tan constante en sus productos extrusivos durante toda la formación de la serie de Cajamarca, haya dado lugar a soluciones hidrotermales silicosas en escala grande. Además, se conocen liditas de otra parte, que no parecen tener relación con la actividad volcánica.

Lo dicho arriba sobre la facies de las filitas cuarzosas, probablemente vale también para gran parte de los esquistos cuarzosos néisicos, los cuales, en nuestro concepto, obtuvieron la estructura néisica sólo por sufrir mayor grado de dinamometamorfismo (véase el párrafo correspondiente).

Parece que la facies en la cuenca geosinclinal, que produjo los estratos de la serie de Cajamarca, fue determinada esencialmente por la alteración o combinación de los siguientes factores:

- a) Sedimentación arcillosa o finamente cuarzosa; a veces con abundancia del material de carbono;
- b) Precipitación de material silicoso, con contaminaciones arcilloso-carbonosas;
- c) Derrames tobáceos;
- d) Extrusiones de diabasas.

Hacia el final de la serie de Cajamarca se distingue un cambio de facies que viene a ser calcáreo-arenosa. Su modo de presentarse ya lo explicamos con motivo de la discusión de las calizas, en párrafo anterior. Parece que el hundimiento de la cuenca geosinclinal se convirtió en un levantamiento. En nuestro concepto, esta conversión se relaciona con la intrusión del batolito por dioritas cuarzosas. Es difícil decidir si este levantamiento sólo afectó una zona estrecha del geosinclinal (a saber, la parte baja del flanco oriental de la actual Cordillera Central) o si se realizó en una zona más ancha. En este punto llamamos la atención sobre el hecho de que —por lo que se refiere al corte Ibagué-Armenia— es imposible comparar la facies del flanco occidental de la Cordillera Central con la facies del flanco oriental. Si se hace tal comparación, resulta que, debido a la constitución tectónica, estamos comparando la facies de los estratos inferiores y medios (que afloran al W) con la facies de los estratos superiores (que afloran al E), dentro de la serie de Cajamarca.

IV — LAS ROCAS INTRUSIVAS

a) EXTENSION DENTRO DEL AREA VISITADA

Saliendo de Ibagué hacia la Cordillera Central la carretera de Armenia atraviesa, sobre una distancia considerable hasta la quebrada Perico, al W del río Coello, un batolito granítico, el cual parece extenderse más o menos en dirección norte-sur, a lo largo de la parte baja del flanco oriental de esta Cordillera; fue estudiado también al NE de la población de El Salado, en donde se halla muy bien expuesto en la quebrada La Chumba; se le encontró luego en la carretera entre Venadillo y Lérída, en el cruce con el río Recio y desde allí por el río, hacia arriba, hasta La Sierrita. Finalmente se observan las rocas ígneas un poco al oeste de Armero, pero allí son néisicas debido al dinamometamorfismo sufrido.

Hacia el Occidente está limitado por los esquistos, que en esta sección constituyen la mayor parte de dicha Cordillera y en los cuales se intruyeron las granodioritas. Por el lado oriental las rocas intrusivas se hallan cubiertas por formaciones sedimentarias más modernas, especialmente por el abanico de Ibagué. Al sur de Alvarado y al oeste de Piedras, la roca ígnea emerge por entre este abanico y forma cerros pequeños y aislados en el terreno.

b) CONSTITUCION GENERAL DE LA ROCA INTRUSIVA

A grandes rasgos, este batolito tiene un carácter petrográfico bastante uniforme y está constituido en forma preponderante por cuarzo-

dioritas. Por hallarse cierta proporción subordinada de feldespato potásico, la roca puede traspasar regionalmente a una granodiorita, lo que evidentemente ocurre en la región al oeste de Ibagué, mientras que más al Norte se observaron sólo las cuarzdioritas.

Como elementos melanocratos se encuentran biotita y hornblenda, generalmente en cantidades más o menos iguales. Las rocas tienen estructura granitoide, variando el tamaño de su grano de bastante fino hasta medio y ocasionalmente grueso. En tanto que a primera vista el macizo parece bastante homogéneo, en menor escala ofrece numerosas variaciones, cuyo estudio es de importancia desde el punto de vista genético. En el último párrafo serán tratadas algunas de sus características, tanto mineralógicas como petroquímicas.

En varios afloramientos al oeste de Ibagué, la roca ígnea se presenta bastante esquistoseada; evidentemente a causa de una gran falla que pasa por el lecho del río Cocora en dirección ENE, hacia Ibagué, y la cual se deja seguir hasta cerca de Piedras (véase el mapa fotogeológico del Tolima). En esta parte esquistosa también se presentan varias vetas de aplita y micropegmatita; en estas últimas se encuentran vestigios de una ligera mineralización en la forma de mineral de molibdenita.

Rocas hipoabisales se encuentran también en otra parte. Especialmente se las anotó en una sección interesante al W de La Sierrita. Un poco al oeste de la población se encuentra un dique de porfirita cuarzdiorítica, el cual llega a tener unos 3 metros de espesor y se halla en la roca vecina la cual se transformó en anfibolita por el metamorfismo de contacto sufrido por el batolito cercano. Algo más arriba, hacia Junín, aflora una intercalación de mármol en estas anfibolitas, que se presenta en bancos más o menos grandes y de forma lenticular. A poca distancia de este afloramiento se encuentra otra intercalación. Su límite occidental está en contacto con un dique de aplita diorítica de color gris blanco que está constituido casi exclusivamente por feldespato sódico-cálcico. Otro dique semejante se encuentra a poca distancia, pero inyectado en la anfibolita. Luego se anotan vetas de aplita diorítica sobre una distancia considerable a lo largo de dicha carretera hacia Junín. El contenido abundante o exclusivo de plagioclasas (oligoclasa andesina) les concede un color muy claro, en general gris blanco; al feldespato pueden asociarse cantidades menores (hasta 15%) de una hornblenda verde y alotriomorfa, luego cuarzo intersticial o también poiquilítico en las plagioclasas. La estructura cataclástica de estas aplitas dioríticas demuestra claramente las huellas de la presión orogénica sufrida.

En algunos lugares, la anfibolita está tan fuertemente inyectada por tales aplitas, que vienen a representar más bien un neis de inyección. Estos fenómenos, producidos por el metamorfismo de contacto, y además la gran extensión de las anfibolitas, hacen sospechar que en este sector la roca intrusiva se halla a poca profundidad debajo de estas rocas metamórficas.

Es posible que esta suposición se pueda hacer también respecto de otros sectores de la región recorrida. Un poco al oeste de San Felipe, subiendo por el carretable a Falan, en el cruce con el río Guamo, afloran anfibolitas que buzan regularmente con unos 20° hacia el Oeste y se dejan seguir (generalmente en estado más descompuesto) a lo largo de cierta

distancia. Parecen estar interrumpidas por una roca néisica de color verde claro que aflora por lo menos en unos 30 metros y que se distingue por su gran dureza. Al microscopio parece tratarse de una roca ígnea cuyos elementos (plagioclasas, cuarzo y probablemente algunos melancratos) fueron fuertemente milonitizados. Puede ser que se relacione con la misma roca intrusiva cuarzodiorítica y fuese intercalada tectónicamente. Sin embargo, es más probable que se trate de un cuerpo hipoabisal producido por el batolito e inyectado en los esquistos donde participó del dinamometamorfismo. Probablemente no tiene más conexión directa con el batolito mismo.

En esta relación nos referimos también a la peña de granito, encontrada por O. STUTZER en el trayecto entre Cajamarca y La Línea (véase Comp. Est. Geológicos Oficiales en Col., tomo II, pág. 19). En la comisión a la cual se refiere el presente informe también fue colectada una roca granítica más o menos esquistoseada, de color rosado, que procede precisamente del punto La Paloma, unos 4 o 5 kilómetros abajo del cruce de la carretera con el río Bermellón; aparentemente se trata del mismo lugar.

Examinada al microscopio, está constituida principalmente por cuarzo y oligoclasa, en proporciones más o menos iguales y en estructura alotriomórfica. Esta constitución indica más bien un origen hipoabisal que plutónico; la roca sufrió cierta esquistosidad durante la fase orogénica. Debemos recordar que E. A. SCHEIBE descubrió dos lugares, antes del cruce del río Bermellón, en los que se presenta la roca. Finalmente, el suscrito encontró en días pasados varios cantos de una roca ígnea, algo esquistoseada, en el lado oriental de la cumbre misma de La Línea, casi frente al retén. Contiene, fuera de cuarzo y plagioclasa sericitizada, bastantes escamas pequeñas de biotita cloritizada; es muy probable su procedencia de un cuerpo hipoabisal.

Estas formaciones hipoabisales probablemente se relacionan con las mineralizaciones cuarzo-auríferas que se conocen cerca de Cajamarca; fueron estudiadas por R. SCHEIBE (Comp. Est. Geológicos Oficiales en Colombia, tomo I, pág. 371). En su informe, él observa: "...cuerpos filonianos de carácter granítico, sienítico y diorito-porfirítico, que ascienden en el valle del Bermellón, al oeste de San Miguel (Cajamarca)", lo que apoya nuestra suposición sobre la naturaleza hipoabisal de las rocas en cuestión.

e) INCLUSIONES

Conviene agregar una palabra sobre las inclusiones que están incorporadas en la roca ígnea. Varían en su tamaño desde unos pocos centímetros hasta algunos metros; las pequeñas tienen, a menudo, una forma alargada o casi lentiforme, pudiéndose observar en muchos lugares cerca del contacto. Son compactas o también con fina esquistosidad; su color es verde oscuro o negro. Bajo el microscopio se clasifican en su mayoría como anfibolitas, compuestas por hornblenda verde pardusca y plagioclasas, minerales a los cuales se asocia rara vez diópsido; la estructura consta de un mosaico granoblástico o, en otras, demuestra orientación paralela de sus componentes.

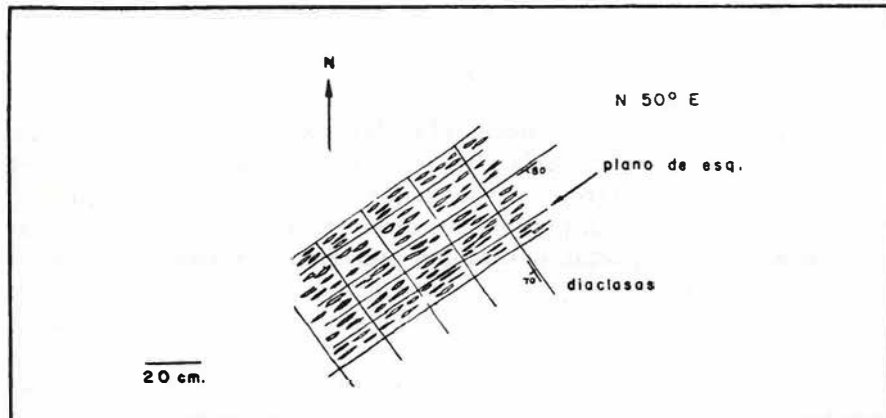
En cuanto a las inclusiones mayores, son verdaderas cornubianitas densas o de grano fino, de color oscuro. Estudiadas microscópicamente, tienen una asociación mineralógica muy típica, a saber, un mosaico en el que entran plagioclasas básicas, diópsido, hiperstena (con su pleocroísmo típico), hornblenda verde pardusca y en menor cantidad biotita. Representan la transición más alta que puede producir el metamorfismo termal en la roca original, que hemos tomado por una toba básica, tal vez más o menos contaminada por un sedimento arcilloso (véase la serie de Cajamarca).

d) CONTACTO

Al W de Ibagué, el batolito está en contacto tectónico con los esquistos metamórficos situados más al Occidente. La falla corta la carretera a Armenia a una distancia aproximada de 16 kilómetros de Ibagué y pasa allí por el lecho de la quebrada Perico; se la puede seguir en dirección NE por las quebradas Guayacal y Animas; hacia el SW se reúne con la falla mencionada que pasa por el río Cocora.

Aproximándose a la falla, la roca ígnea se pone gradualmente más esquistosa y finalmente pasa a ser un verdadero neis. Esta zona néisica es bastante ancha y cerca de la quebrada Perico llega a tener por lo menos unas cuantas decenas de metros; está muy bien expuesta en la quebrada misma, un poco arriba de la carretera. Los minerales se hallan orientados más o menos paralelamente; en especial la hornblenda indica muy bien los planos de esquistosidad, los cuales tienen posición casi vertical o más bien inclinados fuertemente hacia el SE, siendo la dirección N 50° E. Muy notorio es el desarrollo de un sistema de diaclasas paralelas que reparten el neis en fajas de unos 2 decímetros de espesor, más o menos perpendiculares a los planos de esquistosidad (véase la figura de esta página).

La zona néisica sugiere una fuerte presión dinámica lateral contra las formaciones sedimentarias más al Occidente, a causa de la cual los sedimentos fueron plegados. También se anotan los vestigios de la dislocación más o menos vertical, a lo largo de las fallas. Allí hay una zona bastante ancha de rocas perturbadas y trituradas, zona en donde se encuentran tanto fragmentos grandes arrastrados desde el batolito como



esquistos deformados de la formación sedimentaria. En tanto que los componentes de la roca ígnea demuestran al microscopio una completa milonización, los componentes de los esquistos se distribuyeron más bien en estructura lenticular, hallándose entre los ojos de cuarzo (con albita como accesorio) una substancia verde oscura y laminada de clorita, sericita y una cantidad variable de grafito. Es muy notorio que frecuentemente se observan afloramientos de caliza cristalina cerca del contacto; estos afloramientos están discutidos en el capítulo sobre la serie de Cajamarca.

e) ASPECTO MINERALOGICO Y COMPOSICION QUIMICA
DE LAS INTRUSIVAS

Ya concluimos en párrafos anteriores que, a grandes rasgos, la intrusión diorítica cuarzosa tiene un carácter bastante bien definido. Sin embargo, haciendo un estudio en detalle, algunas diferencias menores llaman la atención desde el punto de vista petrológico. Los magníficos afloramientos en la quebrada La Chumba, cerca del caserío La Flor, en jurisdicción de El Salado, son muy adecuados para un estudio de tal índole.

En el lecho de dicha quebrada, la roca ígnea se presenta en dos tipos distintos que se hallan en íntima y mutua relación. El primer tipo es de aspecto "granítico", de color claro y de grano medio a grueso, compuesto por plagioclasa blanca y cristales prismáticos (hasta de 8 mm.) de hornblenda y hojas de biotita. El segundo tipo es de aspecto más bien "diorítico", de color bastante oscuro y de grano más fino; sin embargo, consta de los mismos componentes.

En cuanto a su extensión y posición mutua, es difícil decidir sobre este particular con base en las observaciones hechas en la parte recorrida de la quebrada; ambos tipos se presentan uno al lado del otro y se incluyen mutuamente, en masas irregulares que miden desde pocos decímetros hasta varios metros; dan la impresión de formar a distancias mayores un sistema coherente en sentido tridimensional. El límite es, en general, bien definido, sin zona clara de transición ni aun haciendo la observación en menor escala.

Los datos del examen microscópico y del análisis petro-químico (en índices moleculares) de ambos tipos de roca se dan en los cuadros siguientes:

	<i>Tipo grueso</i>	<i>Tipos finos</i>	
	Ne-262	Ne-263	Ne-264
Cuarzo	25	15	10
Plagioclasas	55	60	66
Hornblenda	8	15	12
Biotita.	12	10	10

Cuadro 1. — Cantidad proporcional de los minerales constituyentes de dos tipos de cuarzodioritas, procedentes de la quebrada La Chumba. (Según examen microscópico).

Ne - 262				Ne - 263							
si	=	229,3	k	=	0,30	si	=	207,6	k	=	0,14
al	=	33,0	mg	=	0,40	al	=	33,1	mg	=	0,44
fm	=	30,4				fm	=	28,8			
c	=	21,9	qz	=	70,5	c	=	26,0	qz	=	59,2
alk	=	14,7				alk	=	12,1			

Cuadro 2. — Indices moleculares (índices de Niggli) de ambos tipos de cuarzdioritas. (Según análisis químico).

Las diferencias entre ambos tipos están restringidas principalmente a un mayor contenido en cuarzo del tipo grueso y a un porcentaje ligeramente elevado en elementos melanocratos del tipo "diorítico". Ambos tipos se clasifican como dioritas cuarzosas. En otras palabras, las diferencias mineralógicas y petroquímicas son menores que las que se sospechan por el aspecto diferente de ambas rocas. Evidentemente el color oscuro en la roca "diorítica" se debe en gran parte a la mayor difusión de sus melanocratos, gracias a un grano más fino.

Sin embargo, fuera del tamaño del grano, parece existir otra diferencia estructural entre ambos tipos. Al microscopio se observa en la roca "diorítica" de grano fino, en general, un desarrollo xenomórfico de los melanocratos, tanto de la hornblenda como de la biotita; se presentan en cristales y escamas muy irregulares, a menudo en crecimiento mutuo. Por otra parte, estos melanocratos pueden encerrar pequeños cristales bien desarrollados de plagioclasas, dando así una estructura poiquilítica notoria; a menudo se tiene la impresión de que los feldespatos substituyen parte de los melanocratos. Luégo, las plagioclasas son en general zonares; el centro de estos cristales frecuentemente ha sido sericitizado y puede estar corroído. La comparación con las secciones del tipo "granítico", de grano grueso, demuestra que en éstas la estructura es más bien la "granítica" común con un desarrollo hipidiomórfico de los melanocratos y de las plagioclasas, también zonares, pero en general sin núcleo sericitizado. Estructura poiquilítica sólo se observa rara vez.

Aunque no es posible, a base de los pocos datos, hacer especulaciones sobre la génesis de la roca diorítica cuarzosa, se tiene la impresión de que las partes oscuras representen partes de origen sedimentario (esquistos), en las cuales la granitización ha sido incompleta; fueron impregnadas por un líquido magmático que causó transformaciones incompletas.

V — FORMACIONES NEOTerciarias y Cuaternarias

Las rocas pre-andinas que constituyen la actual Cordillera Central están cubiertas en su mayor extensión por formaciones modernas; en la discusión de éstas prescindimos de las tierras lateríticas u otros productos de descomposición "in situ", producidos por la fuerte meteorización y los cuales se encuentran especialmente en la pendiente occidental de la Cordillera.

Las formaciones modernas, a las cuales nos referimos en seguida, se deben en parte al neovolcanismo que probablemente fue activo desde

el Terciario Superior hasta los tiempos de que data la historia humana. Por otra parte, se deben a la erosión mecánica que indudablemente actuaba más intensamente durante el Pleistoceno. Tales formaciones son las siguientes:

1. ROCAS EXTRUSIVAS

Afloran en varios lugares a ambos lados de la Cordillera Central. Son de tipo muy diferente y también varían considerablemente en cuanto a la extensión; la mayoría de ellas se presenta sólo en forma muy local.

a) *Dacitas hornbléndicas.*

Están expuestas a lo largo de la carretera entre Cajamarca y La Línea sobre una distancia de unos 2 kilómetros, más o menos, en el sitio en donde esta carretera corta el río Bermellón. Se hallan en capas de poco espesor que a veces están ligeramente inclinadas y también fracturadas por fallas de menor importancia pero que indican claramente los movimientos tectónicos post-genéticos. (Véase foto 8).

La dacita es de color gris azulado; tiene estructura porfirítica bien marcada, especialmente por el desarrollo de los cristales de plagioclasa (andesina) que alcanzan un tamaño aproximado de 1 centímetro; luego se distinguen fenocristales pequeños y prismáticos de hornblenda. La masa es finamente granular y está constituida por los mismos elementos, a los cuales se asocian un poco de cuarzo y cristales de piritita.

La acción termal sobre los esquistos verdes y grafiticos de la serie de Cajamarca apenas se distingue. Es decir, en el contacto mismo tales esquistos se transformaron en rocas córneas densas y oscuras, en las cuales se observa al microscopio una fina infiltración de lava vítrea que contiene en suspensión numerosas partículas finas de magnetita.

b) *Andesita hornbléndica.*

Aflora en la vertiente occidental de la Cordillera, más o menos, a medio camino en la bajada de La Línea hacia Calarcá. La roca gris azulada es áspera y porosa al tacto; se emplea como balasto por ser fácilmente triturable pero ofrece el inconveniente de descomponerse pronto en la banca de las carreteras. Macroscópicamente sólo se distinguen en ella agujas muy finas y negras de hornblenda, las cuales bajo el microscopio se identifican como oxi-hornblendas con borde metalífero; la masa es vítrea y contiene numerosos y pequeños cristales (microlitos) de plagioclasas (andesina); luego se distinguen en la sección, fuera de los cristales de oxi-hornblenda, unos pocos de augita (diopsítica).

La extensión de esta andesita es muy limitada; tiene una forma más o menos circular, con un diámetro de unos 300 metros. No hay indicaciones que permitan afirmar que se trate de restos de erosión de una capa mayor; parece más probable que se haya originado por una explosión volcánica corta y poco intensa, tal vez semejante a las que origina-

ron las "maares" en el Eifel (Alemania), al final de la explosión la chimenea se relleno con lava andesítica. Podría datar del final del Cuaternario.

c) *Andesitas hipersteno-augíticas.*

Aunque en la región visitada sólo fueron encontradas en un solo sitio, las andesitas hipersténicas tal vez representan los productos más característicos del neovolcanismo. Se las observó a mitad de camino entre Armero y Convenio, en donde forman pequeños cerros aislados, los cuales están constituidos completamente por bloques más o menos redondos de esa roca. No fue posible determinar aquí si se trata de bombas o de restos de una desintegración boliforme; lo primero nos parece lo más probable.

Al microscopio la roca demuestra fenocristales de plagioclasas (andesina básica), hiperstena y augita, a los cuales puede asociarse oxi-hornblenda. La pasta es vítrea y contiene numerosos microlitos.

Las andesitas hipersténicas son consideradas como un elemento típico del neovolcanismo circumpacífico y son conocidas en las cordilleras de ambas Américas. También en el sur de Colombia, precisamente en el Departamento de Nariño, parece que se hallan tales rocas y fueron observadas por el suscrito en una colección petrográfica procedente de la ruta El Tambo-Policarpa (Véase el informe correspondiente a noviembre de 1953). GROSSE menciona rocas semejantes en su estudio del "Terciario Carbonífero de Antioquia" (año de 1926).

Es interesante el hecho de que obviamente estas rocas extrusivas se presenten también en la hoya del Magdalena. Aunque en la pendiente oriental de la Cordillera Central se las encontró sólo en un sitio, deben haber tenido una distribución considerable en este flanco. Esto lo demuestra claramente el estudio de unos cantos rodados del abanico de Ibagué, en el cual se hallan, al parecer, en proporción considerable.

Es difícil extraer conclusiones sobre la edad geológica relativa de las extrusiones mencionadas. Sin embargo, nos parece probable que las andesitas hipersteno-augíticas estén clasificadas entre los productos neovolcánicos más antiguos, pues se hallan en gran número en el abanico de Ibagué. Los demás tipos mencionados (dacita y andesita hornbléndica) podrían tener una edad más moderna; indicaciones precisas sobre su posición geológica relativa faltan en este sector.

d) *Porfirita basáltico-olivínica.*

Finalmente, merece mencionarse una roca procedente de cerca de Cajamarca, colectada por el Servicio Geológico Minero de Ibagué y que me fue mostrada por el señor Rincón, Conservador de Petrografía del Museo.

Se trata de una roca de estructura porfirítica, de color gris pardusco, en la cual se distinguieron numerosos y pequeños fenocristales de olivina. En la sección delgada se la clasifica como una roca basáltico-olivínica. Está constituida por fenocristales bien desarrollados de olivina, generalmente con borde alterado de iddingsita, luego por fenocristales más pe-

queños y menos frecuentes de augita; este mineral se halla principalmente en la masa en forma de granos pequeños, junto con microlitos de plagioclasas y cristales de magnetita.

Desgraciadamente, faltan datos precisos sobre la posición en el campo. Se trata indudablemente de una roca post-andina. Lo más probable es que provenga de una formación hipoabisal, es decir, representa un dique de porfirita basáltico-olivínica.

e) *El carácter petro-químico de las extrusivas encontradas.*

De los tres primeros tipos de rocas extrusivas se elaboró un análisis químico, con el objeto de establecer las relaciones magmáticas; los datos, expresados en "índices moleculares", están contenidos en la tabla o cuadro de esta página.

Conforme a su composición mineralógica, la dacita corresponde a un tipo de magma diorítico cuarzoso. El índice de cuarzo libre ($qz = 43,2$) es bastante alto; es decir, la proporción de este mineral en la pasta granuda debe ser considerable.

En los demás tipos el índice qz también es positivo, pero más bajo; el mineral no fue encontrado bajo el microscopio. Sin embargo, merece mencionarse aquí una andesita con fenocristales de hornblenda basáltica que se encontró como canto en el abanico de Ibagué; esta andesita contiene varios fenocristales grandes de cuarzo, los cuales demuestran una notable corrosión magmática.

	Dacita	Andesita oxi-hornbl.	Andesita hip. - aug.
si	196,0	177,1	179,4
al	28,9	20,8	31,0
fm	39,3	41,2	32,0
c	18,6	22,3	21,9
alk	13,2	15,7	15,1
k	0,15	0,22	0,14
mg	0,34	0,46	0,45
qz	43,2	14,3	19,0

El tercer tipo, el que constituye los cerros al oeste de Armero, se confunde en el terreno fácilmente con un basalto debido a su color azulado oscuro. Tanto la sección como el análisis químico lo clasifican entre las andesitas o más bien al tipo "peleítico" de los magmas diorítico-cuarzosos; su importancia en el volcanismo neoterciario en Los Andes ya se subrayó en el párrafo anterior.

2. LAS TOBAS

Una capa extensa de tobas cubre gran parte de la sección visitada en la Cordillera Central, en especial sus flancos medios y altos. El espesor de esta capa varía bastante, pero en general debe ser muy considerable; tanto, que superpone un relieve suave al relieve principal de las

rocas del fundamento andino. Esta cubierta gruesa impide, o al menos dificulta, la investigación fotogeológica, aparte de que las rocas metamórficas de este subsuelo tampoco son objeto apropiado para el análisis estructural a base de fotografías aéreas.

Las tobas están constituidas por cenizas, lapilis y piedra pómez, hasta del tamaño de un puño; su composición corresponde a la de andesitas, al parecer bastante ácidas. Los ríos han arrastrado mucho del material piroclástico que antes parece haber rellenado sus valles hasta un nivel bastante alto. Todavía se observan en varias partes restos de erosión de un relleno antiguo, especialmente un poco abajo de Cajamarca, en el valle del río Bermellón y río Toche (véase foto 11 en la página siguiente). La misma población de Cajamarca se halla sobre una terraza que probablemente está constituida por material piroclástico redepositado. Es de suponer que las tobas transportadas se acumularon en gran parte en los abanicos que se extienden radialmente desde el pie de la Cordillera, tanto hacia el Oriente como hacia el Occidente. Aún falta un estudio detenido no sólo de las formaciones piroclásticas sino también de los abanicos.

3. LOS ABANICOS AL PIE DE LA CORDILLERA

El abanico de Ibagué se corta en el trayecto de la carretera entre esta ciudad y Gualanday. Especialmente saliendo de Gualanday a Ibagué, la subida ofrece un corte claro de esta formación. Se compone de cantos de diferentes tamaños, luego de cascajos y de arena gruesa; materiales que, en general, son poco coherentes. El estudio microscópico de algunos cantos probó la variación petrográfica en cuanto a los componentes. Se encuentran tanto esquistos verdes y grafiticos, derivados evidentemente de la serie de Cajamarca, como rocas volcánicas procedentes del neovolcanismo andino. Entre estas últimas resalta la alta proporción de las andesitas hipersteno-augíticas, a veces con oxi-hornblenda; tales extrusivas deben haber estado bastante repartidas en la Cordillera Central.

Es difícil figurarse la acumulación de estos enormes estratos de guijos sin aceptar circunstancias especiales durante su formación, especialmente en cuanto a un drenaje extraordinario. Tales circunstancias reinaron durante el Pleistoceno. Sus cambios climatológicos sin duda aumentaron considerablemente el drenaje durante ciertos intervalos y además el "Hinterland" produjo material volcánico y sufrió una erosión intensa. Es posible que las tobas llevadas por las aguas facilitaron el transporte por suspensión en ellas de los guijos que actualmente constituyen los abanicos.

VI — POSICION ESTRATIGRAFICA DE LA SERIE DE CAJAMARCA

Aparte de la constitución estructural, el perfil adjunto proporciona a grandes rasgos una idea de la sucesión litológica en la serie de Cajamarca; además, permite hacer un cálculo aproximado en cuanto a la magnitud de esta serie. No trataremos aquí de establecer una tabla detallada del orden estratigráfico, pues, como se observa, en ciertos sectores los

datos litológicos son muy escasos, principalmente debido a la cubierta extensa de las tobas neovolcánicas.

El espesor total de los estratos que asoman en la pendiente occidental, se establece aproximadamente en 6.000 metros¹; el de los estratos que afloran en la pendiente opuesta, se calcula en unos 7.000 metros aproximadamente. De modo que toda la serie, en cuanto está representada en este corte, alcanza la magnitud muy considerable de 13.000 metros, aproximadamente.

En cuanto a la distribución de los estratos, parece que los que asoman en el flanco occidental no vuelven a aflorar en el flanco oriental. Este hecho dificulta controlar el desarrollo de la facies en sentido lateral de W a E, y no permite derivar conclusiones a este respecto a base de diferencias en la litología de ambas pendientes. Por el mismo motivo, la magnitud calculada en 13.000 metros, hay que considerarla con reserva, pues ella podría variar también notablemente en sentido lateral, en vista de la gran distancia, mayor de 50 kilómetros.

En general, parecen predominar en la base de la serie rocas prasiniticas en las que se intercalan por lo menos dos derrames de diabasas. Luégo está expuesto un mayor afloramiento de filitas cuarzosas; el cambio a esta facies ya se anota por intercalaciones muy delgadas (cerca de 10 cm.) de esas filitas cuarzosas en las partes superiores de las prasinitas infrayacentes. Encima del mayor afloramiento de esas filitas cuarzosas vuelven las prasinitas, pero a veces notablemente calcáreas, de modo que pueden pasar a filitas calcáreas, o también, alternan con esquistos grafiticos.

De los estratos que siguen, gran parte está oculta bajo tobas neovolcánicas, pero es probable que en estos estratos los esquistos grafiticos y "rocas de transición" hayan desempeñado un papel importante.

Aproximándose a La Línea, es decir, subiendo en nivel estratigráfico, vienen afloramientos bien expuestos de filitas cuarzosas, luégo de esquistos grafiticos, en los cuales se ha intercalado el derrame de diabasa que actualmente constituye la cumbre misma. La línea divisoria entre ambas pendientes obviamente no tiene significación estratigráfica especial; es decir, bajando al lado oriental afloran rocas semejantes a las de la pendiente occidental pero pertenecientes a niveles estratigráficos superiores. Se observan primeramente esquistos grafiticos y luégo esquistos cuarzosos néisicos, que deben representar filitas cuarzosas más deformadas (véase el párrafo correspondiente). Los niveles de filitas cuarzosas y de esquistos grafiticos cerca de La Línea, son muy característicos y alcanzan un espesor notable (aproximadamente 1.500 metros).

Ascendiendo más en sentido estratigráfico se tiene la impresión de que prevalecen principalmente esquistos grafiticos (expuestos por ejemplo en el río Bermellón, debajo de las dacitas neovolcánicas), los cuales pueden traspasar a esquistos verdes.

¹ En unos pocos trayectos el espesor expresado en el perfil está exagerado, a causa del pequeño ángulo entre la línea del perfil y el rumbo de los estratos. (Véanse especialmente los trayectos X y XI).

Verdaderas prasinitas se distinguen luego en niveles más altos y, finalmente, constituyen casi todos los estratos superiores; el espesor total de estas prasinitas parece ser de varios miles de metros.

La serie de Cajamarca termina con esquistos grafiticos néisicos, cuarcitas e interposiciones de calizas cristalinas. Los precursores de esta facies calcáreo-arenosa ya se anotan en los estratos infrayacentes de prasinitas. Su espesor tiene alrededor de 300 o 400 metros.

La edad de las rocas metamórficas que constituyen la Cordillera Central ha sido considerada muy distintamente. Tanto la ausencia de fósiles, como el estado metamórfico dificultan establecer su posición estratigráfica. Al revisar la literatura se observa que las opiniones varían desde Arcaico hasta Mesozoico.

Sin embargo, las rocas metamórficas en la zona estudiada, tienen varios elementos característicos que podrían llevar a una correlación con regiones vecinas; tales elementos son los siguientes:

a) El volcanismo diabásico, especialmente de productos piroclásticos, que originó los estratos potentes de prasinitas, etc.;

b) La facies silíceo, en la que se originaron probablemente las filitas cuarzosas;

c) La importancia de los esquistos grafiticos, cuya facies a veces está oculta por la cubierta de material tobáceo.

Estos elementos característicos son muy semejantes a los que desempeñan un papel importante en la constitución de la Cordillera Occidental. Luego, recuerdan inmediatamente la "Formación Porfirítica" distinguida por E. GROSSE en el SW de Antioquia, sobre la banda derecha del río Cauca.

En la obra "El Terciario Carbonífero de Antioquia" (1926), GROSSE llama la atención sobre el hecho de que el Mesozoico del geosinclinal andino se caracteriza por derrames submarinos enormes de extrusivas y de tobas, productos que se hallan intercalados en los sedimentos marinos desde el Triásico Superior hasta el Cretáceo Superior. Mientras que el volcanismo del Triásico Superior produjo derrames de carácter ácido, los del volcanismo Jura-Cretáceo son básicos. Estas formaciones básicas se conocen desde la Patagonia meridional hasta el territorio colombiano en donde han sido reconocidas por TULLIO OSPINA y por R. SCHEIBE.

GROSSE subdivide la "Formación Porfirítica", según el aspecto de las rocas constituyentes, en tres niveles, a saber:

La Formación Porfirítica Moderna.

La Formación Porfirítica Antigua.

La Formación Porfirítica Más Antigua, metamórfica.

A base de fósiles encontrados en las intercalaciones sedimentarias, GROSSE establece la edad de la Formación Porfirítica Moderna como Cretáceo Inferior. Según lo observa, el "Cretáceo Superior no existe en esta región. Luego, supone una edad precretácea para la "Formación Porfirítica Antigua", tal vez Jurásica. Sin embargo, hay que advertir que GROSSE interpreta la edad según grados de metamorfismo.

Nos parece muy probable que también haya que atribuir a la "Formación Porfirítica" de edad Jura-Cretácea, los esquistos verdes, esquis-

tos arcilloso-filíticos, etc., indicados por GROSSE como Precámbrico. La necesidad de separar de la "Formación Porfirítica Antigua" una "Formación Porfirítica Más Antigua, metamórfica" que contiene rocas iguales pero notablemente apizarradas, ya es una indicación en este sentido, aunque GROSSE observa que no alcanzan el grado de metamorfismo de los llamados esquistos verdes, etc., del Precámbrico. Sin embargo, la facies de estas rocas tiene tanta semejanza con la de la "formación Porfirítica", que induce a suponer que se trata de equivalentes en estado metamórfico elevado, lo cual se debe tal vez a condiciones un poco distintas durante el hundimiento geosinclinal o durante los movimientos orogénicos en relación con la constitución estructural.

Una observación semejante se puede hacer acerca de los estratos de Chita, distinguidos por GROSSE en la cuenca del Patía. Las rocas porfiríticas del conjunto III son tan idénticas a las del "Cretácico Porfirítico", que no hay motivos (por lo menos petrográficos) para suponer una edad paleozoica para ellos. (Véase el correspondiente informe del suscrito).

Derrames diabásicos muy potentes se observan al W de Cali. HUBACH y ALVARADO (véase Comp. de Est. Geológicos Oficiales en Col., Tomo VI, pág. 47), mencionan hallazgos de fósiles mal conservados, procedentes de intercalaciones sedimentarias en estas diabasas, fósiles que tal vez indican una edad del Jurásico Superior o Cretáceo Inferior. Por debajo de la formación diabásica se hallan esquistos grafiticos, en parte silíceos, y lilitas negras, como se observan, por ejemplo, al W del Dagua. Parece que en otra parte tienen interposiciones de derrames volcánicos. La edad de esta formación —llamada por HUBACH Formación del Espinal— es probablemente Jurásico. Hay que considerar con alguna reserva la correlación de esta formación con la "Formación Porfirítica Antigua" de GROSSE (Antioquia), pues, como ya observamos arriba, este autor ha basado su concepto de la edad principalmente sobre el aspecto metamórfico de la roca, el cual —según nuestra observación— en gran parte es función de las circunstancias tectónicas especiales; de modo que la "Formación Porfirítica Antigua" tal vez no siempre represente determinado horizonte estratigráfico, inferior a la "Formación Porfirítica Moderna".

Luégo, tenemos que mencionar la llamada formación de Dagua, distinguida por HUBACH en la angostura del río Dagua, al norte de la misma población. Parece que yace concordantemente por debajo de la formación anterior. Posiblemente tiene equivalentes entre Queremal y el Pacífico, en la forma de esquistos cloríticos (en parte calcáreos), esquistos pizarrosos y esquistos grafiticos. Esta formación se caracteriza por su enorme espesor.

La correlación de nuestra región con las regiones vecinas mencionadas, tal vez debe verse así:

a) Los equivalentes de la Formación Diabásica al W de Cali y de la Formación Porfirítica "Moderna" (eventualmente con parte de la Formación Porfirítica "Antigua" y de los esquistos verdes precámbricos) debemos buscarlos en los niveles superiores de nuestro perfil y parecen reflejarse muy bien en los estratos potentes de prasinitas, que actualmente afloran desde cerca de Cajamarca hasta cerca de la quebrada Perico. Tal vez debemos correlacionar con estas formaciones (¿principalmente

las del Cretáceo Inferior?), también el conjunto III de los estratos de Chita. Mientras que en la parte occidental del geosinclinal andino se encuentran principalmente derrames de rocas extrusivas (diabasas) o productos piroclásticos aglomeráceos (Nariño), más hacia el Este se encuentran tobas diabásicas más finas.

b) Las filitas cuarzosas y los esquistos grafiticos, con la intercalación de diabasas, que actualmente afloran en la Depresión del Quindío, representan niveles inferiores. Pueden ser en parte los equivalentes de las liditas y de los esquistos grafiticos (en parte silíceos), de la "Formación del Espinal". También el conjunto IV de los estratos de Chita, compuesto casi exclusivamente por liditas y pizarras negras silíceas, podría corresponder a esta edad geológica que probablemente es el Jurásico. Del mismo tiempo (tal vez Jurásico Inferior, en vista del desarrollo volcánico en el geosinclinal andino al sur del territorio colombiano) debieron ser las prasinitas y derrames diabásicos de los niveles inferiores y que están expuestos actualmente en el pie occidental de la Cordillera Central, por lo que se refiere a nuestra sección.

La facies calcáreo-arenosa, con la que termina la serie de Cajamarca, se puede comprobar sólo para el oriente de la Cordillera Central. Seguramente indica un levantamiento del geosinclinal andino, al menos en la parte que corresponde al flanco oriental de la actual Cordillera Central. Tal vez ese levantamiento se relaciona con la intrusión de las granodioritas y cuarzodioritas. Sobre la edad geológica no hay indicaciones en la sección estudiada, pero en vista de lo dicho arriba, los paroxismos mencionados debieron haber accionado, más o menos, al final del Cretáceo Inferior.

Interesante en esta relación es un hallazgo de Cycadáceas, hecho por el suscrito al este de San Félix, en los páramos al norte de Manizales, en la cima de la Cordillera Central. Se encuentran en capas delgadas de esquistos arcillosos intercalados en capas más gruesas de conglomerados cuaríferos. El examen de las impresiones de hojas, hecho por el doctor VAN DER HAMMEN, las atribuyó al género Otozamites, bien conocido de las Wealden-facies del Cretáceo.

La investigación en otros sectores tal vez pueda aclarar mejor la posición stratigráfica de la serie de Cajamarca y las formaciones cretáceas más al Oriente. La sección estudiada no ofrece datos a este respecto.

VII — TECTONICA Y METAMORFISMO

Haciendo el recorrido por la ruta entre Ibagué y Armenia, se impone la idea de que la tectónica del basamento es poco controlable. Tanto la distribución de los "esquistos cloríticos" y de los "esquistos grafiticos" como los buzamientos de ellos parecen a primera vista caprichosos. Sin embargo, se anotará que predomina el buzamiento hacia el Este y que el rumbo generalmente coincide con la "dirección andina", es decir, tiene dirección general N - S.

La observación más detenida de las posiciones tectónicas, en combinación con la subdivisión de las rocas en varios grupos genéticamente

distintos, revela pronto los grandes rasgos de la constitución tectónica de este sector. El perfil adjunto es el resultado de un gran número de observaciones combinadas. Examinando ese perfil, sorprende en primer término, el desarrollo tectónico poco complicado. Apenas se justifica hablar aquí de un "basamento", en el sentido de los núcleos antiguos fuertemente plegados y altamente metamórficos, conocidos de otras serranías. Luego parece que la constitución estructural se relacione íntimamente con las propiedades físicas de las rocas, especialmente en cuanto a su resistencia contra deformaciones.

La más sencilla parece ser la constitución tectónica de la parte occidental de la Cordillera Central. Los estratos que asoman en este flanco tienen buzamientos invariables hacia el Este, con ángulos bastante fuertes. Esta posición poco variable y, además, la sucesión petrográfica aparentemente normal y sin repetición, no hacen lógico suponer en este flanco un sistema de anticlinales y sinclinales invertidos. El concepto de una sucesión normal implica un espesor muy considerable de estos estratos, que alcanza uno 6.000 metros, medido desde los afloramientos en el pie de esa pendiente hasta las diabasas en la cumbre.

El buzamiento bastante fuerte hacia el Este parece disminuir gradualmente, pasando del flanco occidental al flanco oriental de la Cordillera y es de unos 35° para las diabasas en la cumbre y aún menor para los esquistos cuarzosos néisicos, los cuales en el salto de la quebrada Los Chorros sólo tienen un leve buzamiento oriental.

Una configuración tectónica más variada es la que ofrece la parte media del flanco oriental, a partir de La Paloma en dirección hacia la quebrada Tigre. Los estratos se han plegado aquí en anticlinales y sinclinales bien desarrollados. Lo que no expresa el perfil es que los ejes de los pliegues no sean completamente paralelos entre sí, sino que tienen rumbos variados y se caracterizan, al parecer, por su considerable buzamiento, razón por la cual la extensión de cada estructura es limitada. En otras palabras, las medidas efectuadas en esa parte sugieren más bien un cierto arrugamiento de los estratos, dando lugar a culminaciones y depresiones en escala media de las líneas tectónicas.

La parte baja de este flanco, finalmente, está caracterizada por estratos muy erguidos, especialmente cerca del contacto tectónico con las granodioritas. Esta zona del contacto ya la hemos descrito en el párrafo correspondiente a la serie de Cajamarca. La dislocación que separa ambas formaciones constituye aquí cierta zona angosta, pero se observa también fuera de la propia zona, como lo demuestran varios ejemplares con microfallas o zonas trituradas de anfibolitas.

Aunque la extensión de los esquistos en el flanco oriental es más o menos el doble de la extensión que tienen en el flanco occidental, el espesor de los estratos expuestos aquí es aproximadamente igual, más o menos 7.000 metros. De modo que la magnitud total de la serie de Cajamarca, por lo que concierne a este corte, se puede establecer en unos 13.000 metros.

La constitución estructural expresada en el perfil, sugiere una estrecha relación entre ésta y la litología de los estratos dislocados. Parece muy probable que durante la fase orogénica presiones laterales, al parecer desde el Oriente, desempeñaron un papel importante. A causa de estas

presiones el macizo ígneo se desplazó durante determinado intervalo del movimiento orogénico contra los estratos de Cajamarca.

La presión ejercida encontró principalmente la resistencia de la capa gruesa y dura de las diabasas, las cuales actualmente afloran en la cumbre y cuyo espesor sobrepasa los 100 metros. Probablemente los estratos ya se hallaban en posición más o menos erguida al desplegarse dicha presión lateral. A consecuencia de ésta se fracturó la capa de diabasas y se produjo el desplazamiento transversal de ella. La fuerte resistencia ofrecida por la capa de diabasas fue causa de un mayor efecto del metamorfismo dinámico en los estratos suprayacentes que fueron comprimidos contra ella. Así, los esquistos grafiticos que encierran las diabasas, están finamente ondulados. El efecto elevado se distingue aún más en los esquistos cuarzosos néisicos suprayacentes, los cuales deben su estructura néisica a dicho metamorfismo elevado.

Mientras que los estratos más próximos sufrieron una fuerte compresión, los más retirados de la capa de diabasas pudieron rehuir la presión plegadora dinámica. Los pliegues tal vez se entienden mejor como un arrugamiento de esos estratos sobre la capa resistente de diabasas, dando lugar a anticlinales y sinclinales de extensión moderada y con buzamientos notorios de sus ejes.

De acuerdo con el desarrollo tectónico bastante sencillo, está el bajo grado de metamorfismo encontrado en las rocas de la serie de Cajamarca. En primer lugar se anota que la estratificación sedimentaria y original se ha conservado muy bien y precisamente constituye la llamada "esquistosidad" de estas rocas. El fenómeno es especialmente notorio en las zonas de frecuente alternación litológica, la cual debemos atribuir a alternaciones en la facies del material depositado. Obviamente el dinamometamorfismo durante la fase orogénica, en general, no logró desarrollar una propia esquistosidad ("cleavage" o "schistosité"), sino principalmente efectuó una dislocación de los estratos que tal vez ya sufrieron una mayor transformación durante el hundimiento profundo.

La asociación mineralógica encontrada en las rocas de la serie de Cajamarca, indica generalmente un metamorfismo epi-zonar. A esta zona corresponden las prasinitas, los esquistos grafiticos, las filitas cuarzosas y también los esquistos cuarzoso-néisicos, aunque en los esquistos néisicos el dinamometamorfismo produjo alteraciones mayores en la estructura de la roca. También tenemos que atribuir a esta zona las diabasas, cuya transformación se restringe, principalmente, a la fractura de los componentes mineralógicos por el dinamometamorfismo.

El metamorfismo meso-zonar sólo rigió obviamente en ciertas zonas. A esta transformación elevada corresponden las anfibolitas, que se hallan cerca del contacto ígneo. Probablemente también las calizas cristalinas de cerca del contacto. Luego tenemos que atribuir a la meso-zona los orto-neises y los para-neises (neis granatífero-grafítico), que asoman al W de Armero, región que aparentemente sufrió un dinamometamorfismo elevado.

Finalmente, tenemos los representantes de la cata-zona en la forma de las cornubianitas diópsido-hipersténicas, y que se hallan como inclusiones en la granodiorita. También las inclusiones de anfibolitas debieron representar aquí la cata-zona.

En general, las circunstancias especiales del metamorfismo efectúan parcial o completamente una recrystalización y transcristalización en toda clase de roca. Se origina una asociación mineralógica que es estable para determinada zona del metamorfismo y cuyos minerales dependen de la composición química de la roca. De todas las rocas metamorfoseadas en la serie de Cajamarca, las tobas diabásicas indudablemente constituyen las más sencillas, en cuanto a las transformaciones metamórficas. Así, las mismas tobas diabásicas se convirtieron en la epizona en prasinitas, con la asociación característica: actinolita + epidota + clorita + albita. Luégo, en algunos lugares se transformaron en la meso-zona a anfibolitas, con la asociación característica: hornblenda + plagioclasas sódico-cálcicas. Finalmente, se las encuentra en transformación cata-zonar, en las cornubianitas con los minerales típicos diópsido e hiperstena.

En el trayecto entre Cajamarca y La Luisa, se observan alteraciones ligeras en las prasinitas, producidas por soluciones minerales que penetraron principalmente por las grietas y diaclasas, causando una ligera mineralización en éstas y sobre los planos de esquistosidad. Se trata probablemente de los minerales pirita, arsenopirita y tal vez pirrotina. Las prasinitas mismas están finamente estratificadas y se volvieron muy duras y macizas, con peso específico notablemente elevado. Al microscopio, están constituídas principalmente por actinolita y soda-plagioclasa, minerales a los cuales se asocian accesoriamente clinozoisita, titanita y una mayor cantidad de menas de hierro. Indudablemente estas mineralizaciones se relacionan con los filones auríferos, conocidos al sur de Cajamarca, en la margen derecha del río Anaime y los cuales fueron estudiados por R. SCHEIBE.

Se entiende que, a partir de cierto grado del metamorfismo, rocas de origen diferente pero de igual composición química pueden desarrollar una asociación mineralógica muy semejante; en otras palabras, el metamorfismo puede efectuar una convergencia entre rocas originalmente muy distintas en cuanto a su origen, de modo que los productos metamórficos no se distinguen más entre sí. Tal convergencia puede ocurrir entre las tobas diabásicas y las diabasas u otras rocas gábricas de origen ígneo. Ambas clases de rocas, por su composición química, igual, pueden transformarse en "esquistos verdes" o "prasinitas", luégo a anfibolitas, etc., cuyo origen a veces sólo puede deducirse en combinación con causas geológicas.

Así, W. RINTISCH atribuyó un origen ígneo a la serie de esquistos cloríticos y anfibolitas que colectó R. SCHEIBE en esta parte de la Cordillera Central, en relación con su estudio de la mina de oro "El Recreo", situada en la región mineralizada al sur de Cajamarca (véase Comp. Est. Geológicos Oficiales en Col., Tomo I, págs. 369 y 407). El autor basa esta conclusión en la investigación microscópica de las muestras y encuentra en los resultados del análisis petro-químico, que indican claramente la composición de una roca gábrica, una confirmación de tal suposición. Le parece que las anfibolitas constituyen el primer término en la transformación de la roca gábrica y que las zonas de esquistos cloríticos se deben a efectos de movimientos tectónicos, es decir, que constituyen un producto aún más transformado. Es ésta, pues, una interpretación totalmente contraria a nuestro concepto bajo el cual las anfibolitas sólo se ori-

ginan en aquellas zonas que sufrieron un mayor grado de metamorfismo y se originan por vía de transición de prasinitas en rocas piroclásticas. Tenemos un ejemplo palpable de las conclusiones erróneas a que se puede llegar por la sola investigación microscópica, sin conocimiento del terreno en estudio, método que en tiempos pasados se practicaba frecuentemente.

VIII — ASPECTOS ECONOMICOS

Los siguientes objetos merecen una atención especial porque son susceptibles de interés económico:

a) *Mineralizaciones en los esquistos verdes.*

Cerca de Cajamarca se halla una área mineralizada. A lo largo de la carretera, arriba de tal población, las soluciones minerales han penetrado los esquistos verdes transformándolos en rocas muy duras y macizas. La mineralización se halla principalmente en pequeñas grietas y en diaclasas; al parecer, consta de pirita, arsenopirita y pirrotina. No tiene importancia desde el punto de vista económico. Sin embargo, un poco al sur de Cajamarca se hallan filones auríferos (Mina El Recreo) que han producido cantidades considerables del metal precioso y que fueron estudiados por R. SCHEIBE (1923). Es recomendable extender el estudio por toda la región mineralizada.

b) *Mineralizaciones en el macizo ígneo.*

Al W de Ibagué, más o menos en el kilómetro 13 por la carretera hacia Armenia, se observaron vestigios de molibdenita, que se hallan en diques de micropegmatita que atraviesan ahí el batolito ígneo. Hay que investigar más detenidamente los numerosos diques aplíticos y pegmatíticos de este lugar para poder determinar su posible valor económico.

c) *Rocas para construcción.*

La roca diorítica cuarzosa del batolito ígneo ofrece, para fines de construcción, un elemento de aspecto excepcionalmente bueno. Los sitios apropiados para hacer canteras tal vez no se los encuentra a lo largo de la carretera Ibagué-Armenia por motivos de la falla tectónica que sigue en un gran trayecto casi paralelamente a esta carretera (falla del río Cocora) y ha efectuado un mayor número de grietas, o cierta esquistosidad, o acaso trituración de los componentes. Rocas frescas, muy macizas y apropiadas para buen pulimento se observaron fuera de las zonas disturbadas, especialmente en el lecho de la quebrada La Chumba. Esta región, sin duda, ofrece sitios favorables para la explotación de la roca; desde este sitio (caserío La Flor) existe un buen ramal hasta la carretera Ibagué-Armero.

d) *Rocas para balasto.*

Una roca no muy adecuada para este objeto es la andesita neovolcánica que se halla a media vía entre La Línea y Calarcá. La roca ya se halla en explotación.

e) *Calizas (mármol).*

Calizas cristalinas (mármol) se encuentran en varios sitios favorables para realizar la explotación; en parte ya están en explotación, como sucede al W de La Sierrita. En general, debido a su proximidad al contacto, la roca está atravesada por numerosas grietas finas que reducen su valor como piedra para tallarla o pulirla. Se explotan especialmente para cal industrial o cal agrícola.

IX — RESUMEN

En los capítulos anteriores se trata sobre las formaciones que constituyen la Cordillera Central en la sección entre Ibagué y Armenia. En la formación de rocas metamórficas que se denominó preliminarmente “serie de Cajamarca” se distinguen los siguientes grupos: Esquistos verdes (prasinitas), anfibolitas, filitas cuarzosas, esquistos cuarzosos néisicos, esquistos grafiticos, rocas de transición, diabasas y calizas cristalinas. De las prasinitas se comprobó su origen de tobas diabásicas por metamorfismo epi-zonar; las anfibolitas representan una transformación mesozonar, probablemente debido a la proximidad de las rocas intrusivas; los demás esquistos se deben a la facies marina corriente, que a veces fue notablemente silíceo y a veces va oculta por el abastecimiento de tobas básicas. Las rocas mencionadas están normalmente interpuestas por derrames de diabasas, las cuales demuestran las huellas del movimiento orogénico posterior. Un fenómeno morfológico consiste en que una capa gruesa de diabasas constituye actualmente la cumbre de la Depresión del Quindío.

En el capítulo sobre las rocas ígneas se discutieron las variaciones menores en el tipo de las intrusivas. Luégo se trató sobre las inclusiones de rocas esquistosas que, en parte, se transformaron en verdaderas cornubianitas.

En el capítulo sobre la estratigrafía se expuso la probabilidad de la edad Jura-Cretácea de la serie de Cajamarca, así como la correlación con las rocas de la misma edad en la Cordillera Occidental y sobre la formación Porfirítica distinguida por E. GROSSE en Antioquia.

En el capítulo sobre la tectónica y el metamorfismo se demostró la íntima relación que existe entre el grado del metamorfismo, la resistencia de los estratos contra deformaciones y la constitución estructural. Esta última implica que en la pendiente occidental afloran los niveles inferiores de la serie mientras que en la pendiente oriental asoman los niveles superiores.

Finalmente, se hace mención de algunos aspectos económicos que se reducen a ligeras mineralizaciones y al uso de rocas para piedras talladas, balasto y obtención de cal.



Foto 3.—Aspecto de prasinitas macizas, arriba de Cajamarca. Las diaclasas que, en el lugar de la foto, se entrecruzan, en otra parte se confunden fácilmente con la esquistosidad; esta última está más oculta pero se aprecia en la gráfica en el plano más o menos vertical, marcado por el martillo.



Foto 4.—El mismo afloramiento que se ve en la foto 3. Muestra el contacto de las prasinitas (a la izquierda, con una navaja) con los esquistos grafiticos. Las capas de prasinitas duras están fracturadas por el plegamiento. Obsérvese que la “esquistosidad” coincide con la estratificación sedimentaria original.

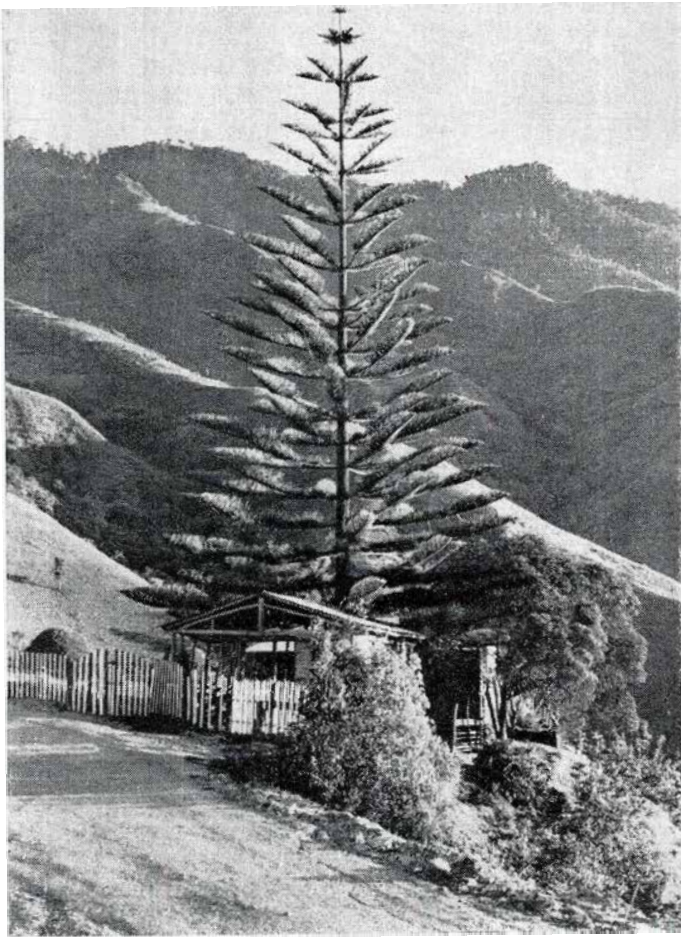


Foto 1.—Aspecto de la Cordillera Central cerca de La Luisa (arriba de Cajamarca). Carretera entre Ibagué y Armenia.

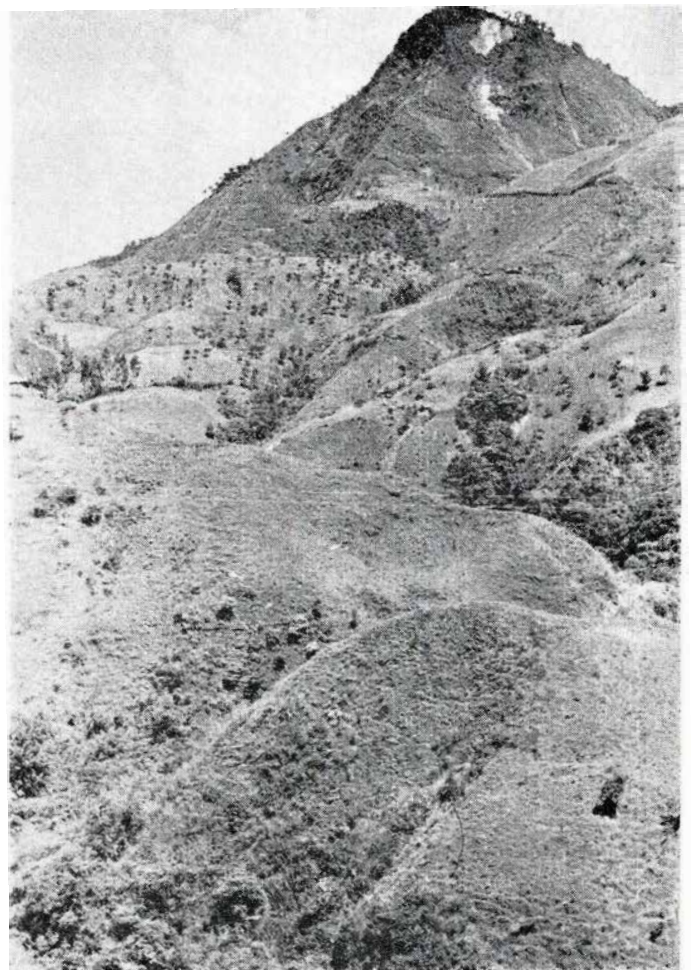


Foto 2.—Paisaje tomado un poco arriba de Cajamarca, hacia el Alto de la Guala. Nótese cómo la cubierta de tobas suaviza el relieve montañoso.

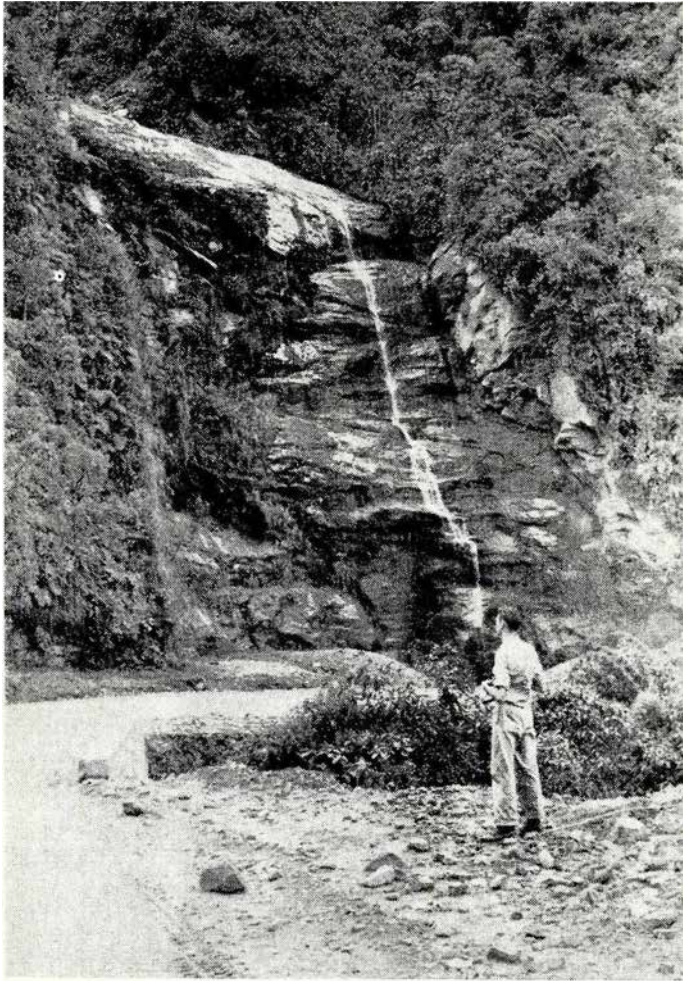


Foto 5.—Salto en el curso superior de la quebrada Los Chorros, formado por los esquistos cuarzosos néisicos muy duros.

Foto 6. — Descomposición en bolas de las diabasas que constituyen la cumbre de la Cordillera Central en la Depresión del Quindío.





Foto 7.—El macizo ígneo, visto desde poco arriba de la quebrada Perico, hacia Ibagué.

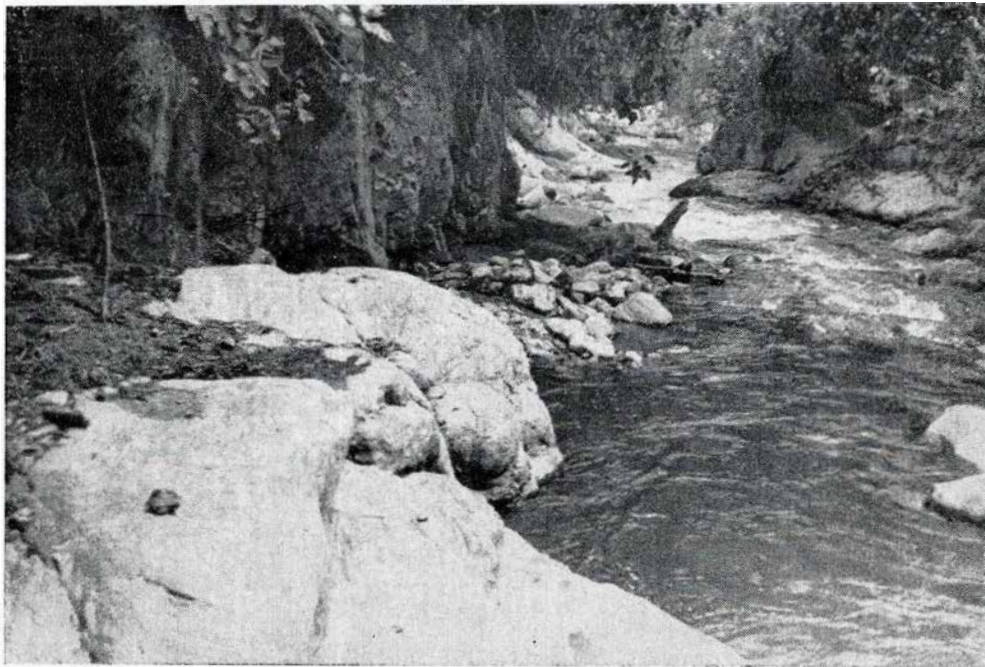


Foto 8.—Río Bermellón, cerca del cruce con la carretera, arriba de Cajamarca. La gráfica demuestra capas de dacita neovolcánica (color oscuro), reposando sobre los esquistos de la serie de Cajamarca (color claro).

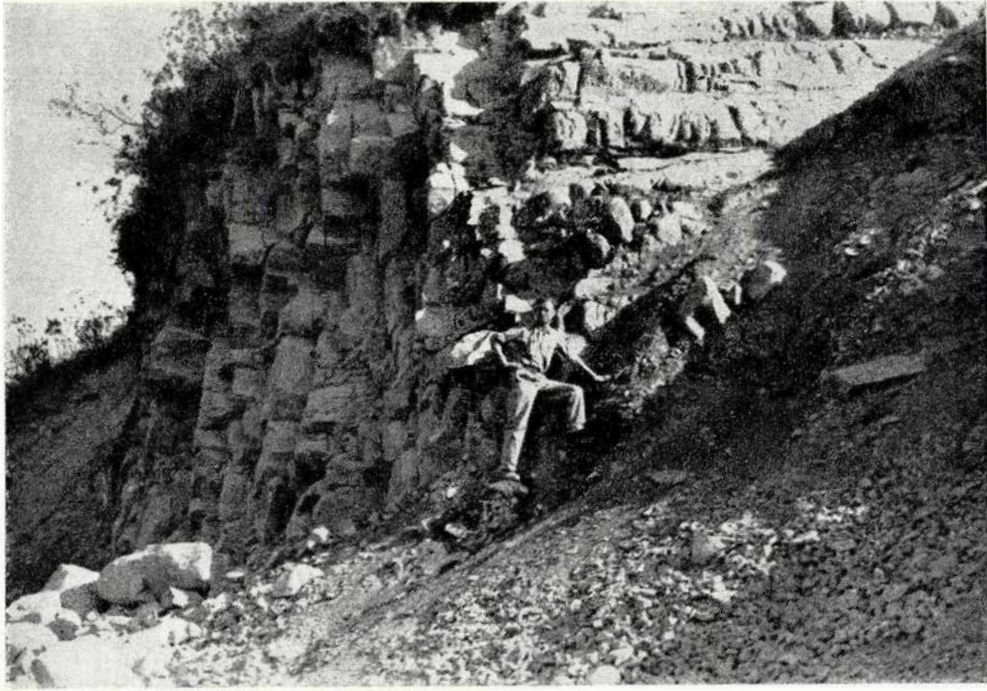


Foto 9.—Cantera en la andesita hornbléndica a media vía entre La Línea y Calarcá.

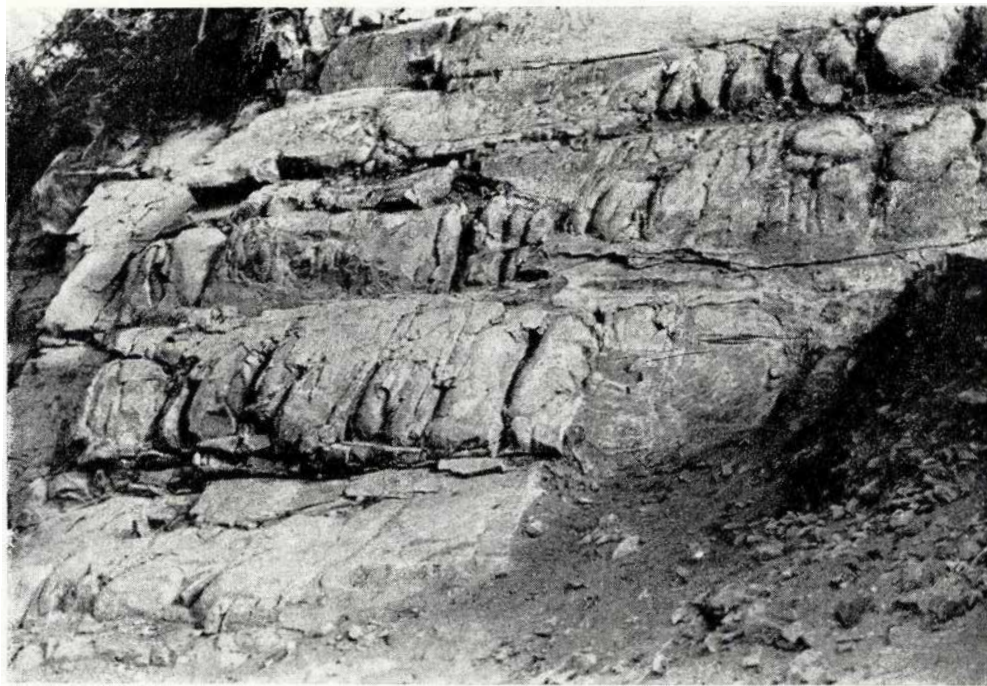


Foto 10.—Detalle del afloramiento de la foto anterior. Nótese la descomposición en forma de bolas, ordenadas en capas.

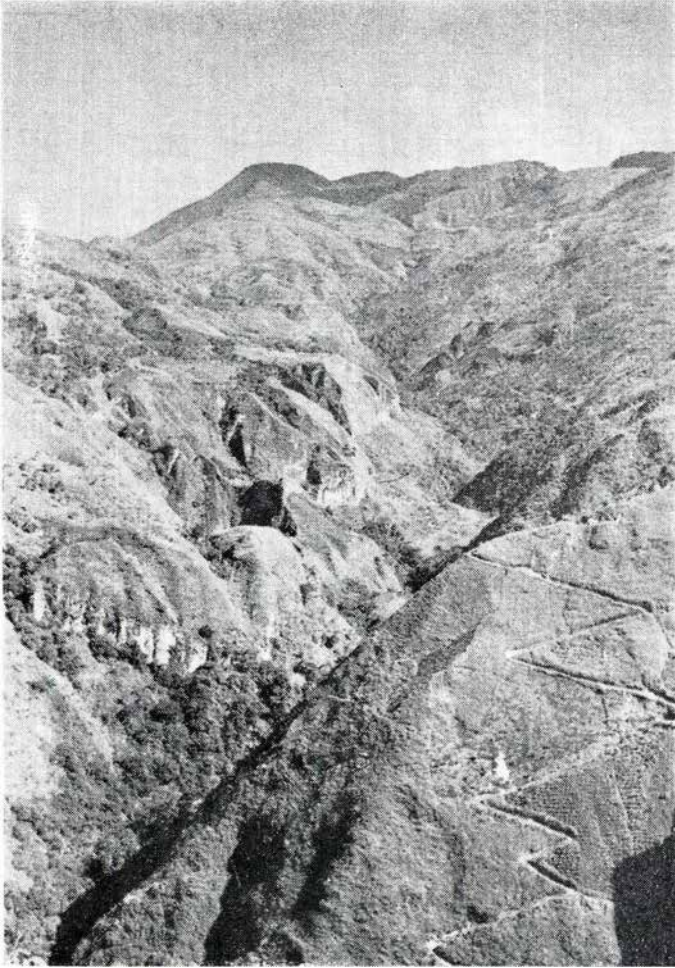
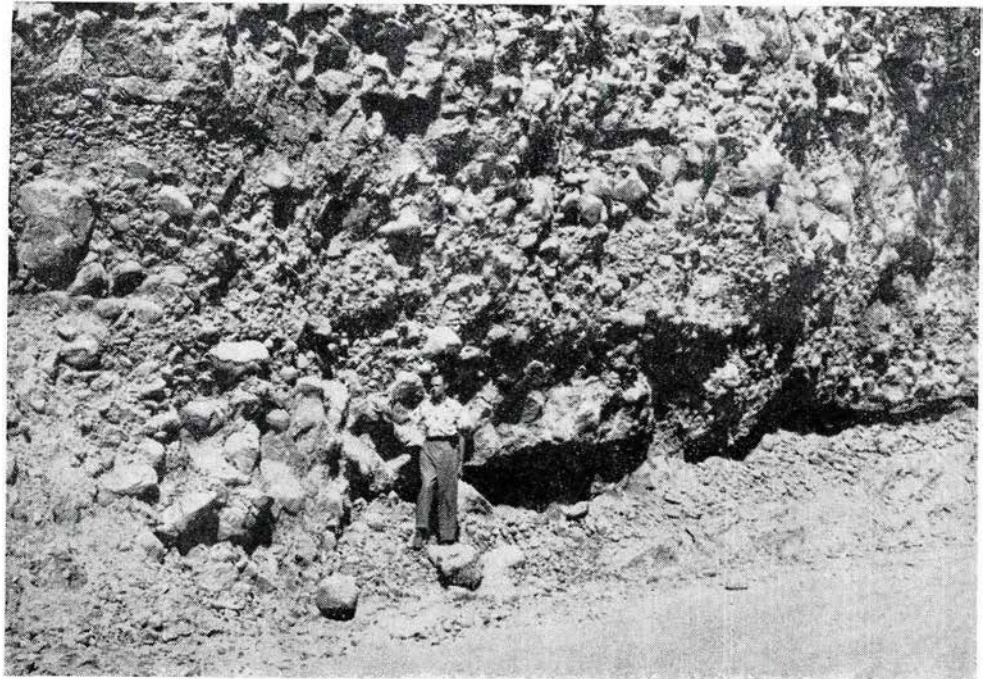


Foto 11.—El valle del río Toche y el volcán Machín, al fondo. Obsérvense los restos del relleno con tobas volcánicas en el valle del río.

Foto 12.— Aspecto del abanico de Ibagué, arriba de Gualanday.



**ESTUDIO SOBRE LA EROSION EN EL CERRO
DE LA POPA, CARTAGENA**

POR
MARINO ARCE HERRERA
GEOLOGO

INFORME No. 1413

SERVICIO GEOLOGICO NACIONAL
BOGOTA, 1962

CONTENIDO:

RESUMEN	207
INTRODUCCIÓN	209
GEOLOGÍA	211
EROSIÓN. ANÁLISIS DEL PROBLEMA Y SUS CAUSAS	212
SOLUCIONES	213

R E S U M E N

Se efectúa un estudio sobre las causas de la erosión en el Cerro de La Popa en Cartagena, se pone de relieve la gravedad del problema y se hacen algunas recomendaciones para controlar sus efectos.

Tales recomendaciones pueden resumirse así: construcción de obras que ayuden a disminuir la fuerza de las aguas que bajan por las laderas del cerro; siembra de yerba, rastrojos y árboles que defiendan las laderas; revestimiento del llamado "Salto del Cabrón" con mortero de cemento, destrucción de la vegetación inadecuada y control de la acción de hombres y animales.

INTRODUCCION

Desde hace largo tiempo se han presentado fenómenos de erosión en el Cerro de La Popa, en la ciudad de Cartagena.

En los últimos años estos fenómenos han adquirido proporciones tales, que ponen en peligro el Monasterio y eventualmente la iglesia, situados en la cima del cerro, reliquias de gran valor histórico y atractivo turístico que pueden desaparecer destruídos por la erosión de los terrenos sobre los cuales están edificados.

El Gobierno Nacional, hondamente preocupado por el problema, destacó a fines de marzo de 1962 una comisión del Ministerio de Minas y Petróleos, con la asesoría de funcionarios del Ministerio de Agricultura para estudiarlo y proponer las soluciones que fueren del caso.

El presente informe es el resultado de los estudios realizados por dicha comisión.

G E O L O G I A

La geología del área en general, fue estudiada en 1950 por ROYO Y GÓMEZ, quien sitúa la formación La Popa, cuya localidad tipo es el Cerro del mismo nombre, en el Mioceno Medio y Superior. Sin embargo, H. BÜRCEL, en estudios más recientes, asigna a la formación edad Pliocena y la describe así:

“Plioceno. Los depósitos de este piso constan en su parte baja de arcillas micáceas de color gris oscuro (Arcillas de la Popa), y en su parte alta, de calizas arrecifales (Calizas de la Popa). Entre estos dos estratos no hay un límite, más bien existe una transición gradual de las arcillas hacia las calizas. El sitio donde se puede observar esta transición de la mejor manera es La Popa en Cartagena, el *locus typicus* de estas formaciones. Allí observamos de arriba hacia abajo.

Nivel e) Caliza maciza de arrecifes coralinos.

Nivel d) Caliza porosa arrecifal.

Nivel c) Caliche amarillo con bloques de arrecifes coralinos.

Nivel b) Arcillas arenosas con bloques y grumos de calizas arrecifales.

Nivel a) Arcillas micáceas gris oscuras, con yeso.

El espesor total de esta serie Pliocena es de 150 m.

El nivel a) está bien expuesto solamente al pie de La Popa. Allí las arcillas relativamente puras contienen una microfauna pobre, de la cual determinamos:

Nonion scaphum (FICHTEL & MOLL).

+ Elphidium brooklynense SHUPAK.

+ Virgulina aff. squamosa D'ORBIGNY.

Bolivina advena ornata CUSHMAN.

Pyrgo bulloides (D'ORBIGNY).

Globigerina trilocularis D'ORBIGNY.

+ Streblus turgidus HOFKER.

Radiolarios.

Otolitos.

Gasterópodos juveniles.

Apéndices de crustáceos.

Las especies marcadas con una cruz hablan en favor de una edad post-miocena.

El nivel b) de arcillas arenosas con grumos y bloques de calizas arrecifales está expuesto con frecuencia al sureste de Cartagena alrededor del Club Campestre y se extiende aparentemente por toda la planicie al este de Mamonal, Pasacaballo y Leticia. Los cristales de yeso que se hallan en esta región con cierta frecuencia, provienen de dicho nivel o de la parte alta del nivel a), entre los cuales no hay un límite preciso. En el nivel b) los foraminíferos son relativamente raros y corresponden a la fauna

citada al pie de La Popa. Los fotogeólogos del Instituto Geológico Nacional suponen que las arcillas de la Isla de Tierra Bomba y de la Isla de Barú pertenecen a este nivel, pero aún carecemos de una prueba definitiva.

Los niveles arcillosos a) y b) ocupan las depresiones morfológicas mientras que los niveles más altos del Plioceno son más resistentes contra la erosión y forman colinas llamativas, las cuales están muy bien representadas en La Popa.

El Plioceno reposa aparentemente con disconformidad angular sobre el Mioceno plegado. Sin embargo, el Plioceno también está ligeramente dislocado por fallas y forma ondulaciones. En La Popa, el Plioceno tiene un buzamiento de 6° hacia NW..."

EROSION. ANALISIS DEL PROBLEMA Y SUS CAUSAS

El fenómeno de la erosión en el Cerro de La Popa, no es cosa nueva. Sin embargo, se ha hecho más notorio debido a que su avance ha minado las bases del convento y puesto en peligro su estabilidad. La rata de erosión se ha intensificado también, debido a factores coadyuvantes como son la destrucción de la vegetación en las laderas del cerro, la acción de hombres y animales, arborización inadecuada, etc.

Analizando cada uno de estos factores se encuentra:

DESTRUCCION DE VEGETACION

Al destruir la vegetación que protege las vertientes del cerro, se ha dejado la superficie deleznable en contacto directo con los agentes de erosión principales, como son el agua y el viento. La primera durante las lluvias torrenciales y frecuentes en Cartagena, baja por las pendientes en abundancia y a gran velocidad, colectando considerable cantidad de sedimentos, casi todos procedentes de las áreas *desprovistas de vegetación* y se recoge en los cañones ya profundos cavados por las mismas aguas, ahora cargadas de sedimentos, que aumentan su poder erosivo y que, a su vez, producen nueva profundización de esos canales y su avance cerro arriba.

Este fenómeno, aunque en proporciones inferiores, se repite con las lluvias de menor intensidad durante toda la época lluviosa.

Por su parte, el viento es un agente de importancia en el arrastre de las partículas que se aflojan de la superficie sin defensa vegetal por las diferentes causas de desintegración y descomposición.

ACCION DE HOMBRES Y ANIMALES

Los habitantes de los barrios construídos al pie del cerro y sus vecindades, juegan un papel importante en la actividad erosiva. En primer lugar, sea por ignorancia, por falta de la debida vigilancia, por imprevisión o por cualquier otra causa, estas personas contribuyen a destruir la vegetación de las faldas del cerro. Por otra parte, ellos y los animales domésticos al hacer sus caminos para movilizarse de un lugar a otro por la ruta más corta, o hacia la cumbre del cerro, inician las primeras

vías para el encauzamiento de las aguas, que con el tiempo van a convertirse en los profundos cañones que cortan las laderas de abajo hacia arriba.

Los animales salvajes como los lagartos y otros reptiles, hacen sus cuevas en las laderas facilitando el acceso a los agentes atmosféricos y constituyéndose así en factores activos de erosión.

Al construir la carretera que conduce a la cima del cerro, se dejaron taludes altos e indefensos y en ellos ha avanzado la erosión en forma considerable. También las cunetas se han ido profundizando hasta el punto de que en ciertos sectores se han convertido en cañadas profundas que son un peligro no sólo para los vehículos que transitan por la carretera, sino para la estabilidad de ellas y eventualmente del cerro mismo.

ARBORIZACION INADECUADA

Parte de la vegetación del cerro está formada por árboles de "mataratón". Este árbol, con grandes cualidades por su vitalidad, frescura, hermosura y resistencia, es inadecuado para control de la erosión, ya que sus raíces se extienden superficialmente, se introducen en las pequeñas grietas de las rocas y al robustecerse las amplían constituyéndose en agentes poderosos de desintegración.

Este aspecto es especialmente grave en la parte alta del cerro donde afloran las calizas que están siendo destruidas en la forma descrita y donde aun los mismos cimientos del antiguo monasterio han sido afectados.

ASENTAMIENTOS

La penetración y circulación de agua en las calizas, debida principalmente a infiltración de aguas lluvias y quizá algo de las almacenadas en los tanques subterráneos que se encuentran en la cima del cerro, bajo los patios del monasterio, han producido parcial solución de las calizas y como consecuencia, pequeños asentamientos que se traducen en grietas en los muros de la edificación. Aparentemente esta solución y asentamientos no han adquirido proporciones mayores que puedan por el momento poner en peligro la estabilidad de los edificios, pero es necesario tenerlos en cuenta para prevenir su intensificación y consecuencias futuras.

SOLUCIONES

Los trabajos que deben efectuarse son de dos clases:

- a) Trabajos de corrección y reparación de los daños causados por la erosión, y
- b) Prevención de nuevos daños por la misma causa.

A continuación se indican las obras que se consideran más aconsejables en el caso presente, para llenar esa doble finalidad.

La erosión ha avanzado más intensa y espectacularmente en la parte sureste del cerro conocida como el "Salto del Cabrón" donde ella actúa desde el pie del cerro hacia la cima formando cañones profundos de paredes muy pendientes y sección en V, como se puede apreciar en el plano adjunto. La reparación de estos daños es muy difícil y sólo se puede corregir en parte y controlar el avance por medio de obras tendientes a disminuir la velocidad del agua y por consiguiente, su poder erosivo y provocar el depósito de los sedimentos que haya podido recoger, en lugares adecuados.

Para ello se recomienda la construcción de una serie de pequeñas presas a través de los cañones que se ven en el mapa adjunto número 1, distribuidas de la manera como se indica en los perfiles números 1-1, 2-2 y 3-3. Estas defensas pueden estar constituidas por cercas de madera (mangle) en la forma como se detalla en la figura número 1. En la base de la cerca deben colocarse piedras hasta una altura de unos 30 centímetros formando una especie de dique para disminuir la velocidad de las aguas.

Estas obras deben complementarse con la siembra de vegetación herbácea, tanto en el fondo como en las paredes de los cañones, para prevenir la continuación del trabajo erosivo de las aguas.

Sin duda, el mayor peligro lo constituye la erosión en el escarpe de la parte alta del cerro hacia el Sur, donde el avance ha puesto en peligro la estabilidad del convento. La corrección de los daños ocasionados y prevención de los futuros que puedan ocasionarse, supone obras costosas y de difícil ejecución.

Como medida inmediata se debe revestir la totalidad del escarpe con concreto, arrojado a presión, previa la calzada de las cuevas que se han formado y la remoción de la parte superficial meteorizada. El calce de las cuevas se puede hacer con ladrillos de buena calidad, no huecos, o con bloques de concreto.

En cuanto al revestimiento del escarpe, debe hacerse con maquinaria apropiada y por alguna firma especializada en esta clase de trabajos.

La superficie por revestir es de unos 650 a 700 metros cuadrados.

Para complementar la obra anterior, es conveniente practicar en la terraza o patio que da al "Salto del Cabrón", unas inyecciones de concreto (grouting) a presión por medio de perforaciones, a fin de llenar las fracturas y canales de solución que se hayan presentado. Las perforaciones no deben ser de profundidad inferior a 30 metros.

Este trabajo debe ser ejecutado también por una firma especializada. El número y disposición de las perforaciones serán indicados por la primera que se ejecute, que será de carácter exploratorio y dependerán del estado de la roca, distribución y tamaño de las fracturas, etc.

En el lado noreste, es preciso remediar los daños causados por la carretera, para lo cual se recomienda la defensa de los taludes por medio de vegetación herbácea, la reconstrucción de las cunetas rellenando los zanjones cavados en ellas por la erosión y para prevenir nuevos daños, su revestimiento en concreto. Las cunetas deben mantenerse rigurosamente limpias. Simultáneamente, debe procederse a la total destrucción de los matarratones para reemplazarlos por árboles de raíces profundas que sin causar los daños que ellos producen, ayuden a controlar la velo-

cidad de las aguas, detener los sedimentos y en un caso dado, prevenir en parte los deslizamientos.

Todo el cerro debe revestirse con plantas herbáceas que protejan su superficie y sobre todo, plantar cuanto antes las partes que actualmente carecen de ellas.

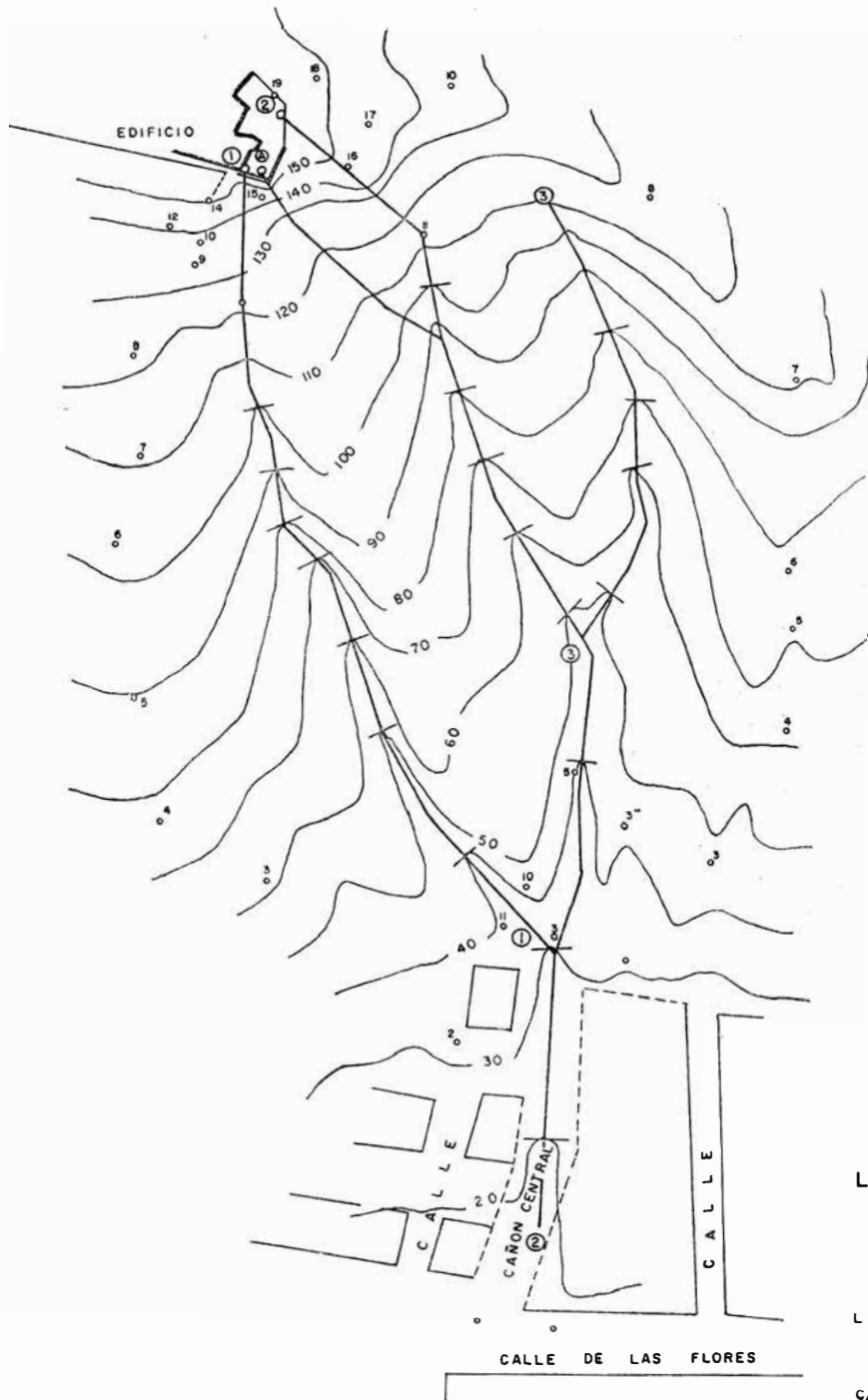
La vegetación actual no parece ser la más adecuada, ya que no resiste muy bien las sequías y previo cuidadoso estudio, por parte del personal técnico del Ministerio de Agricultura, debe procederse a reemplazarse por otra que se adapte mejor a las condiciones del suelo y clima.

Fuera de esta clase, es conveniente plantar también vegetación arbustiva o de rastrojo para complementar la acción protectora de la yerba y terminar con una arborización que al mismo tiempo que la protección del cerro, tenga una función ornamental.

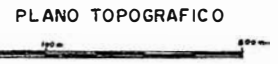
Es preciso mantener un control permanente sobre algunas explotaciones de materiales rocosos que se efectúan hacia la parte sur del cerro, con el fin de no permitir su avance cuando se observe que van a causar perjuicios. Para prevenir la destrucción de la vegetación también es conveniente desde todo punto de vista, una estricta vigilancia sobre los habitantes de las vecindades, quienes ya sea por proveerse de leña o por el tránsito constante por los senderos existentes, o los nuevos que puedan construir, contribuyen en forma directa o indirecta a la erosión. Asimismo, los animales, tanto domésticos como salvajes, deben ser desterrados de las laderas del cerro.

Algunas obras más localizadas son: En los sitios donde las raíces de los matarratones han penetrado en los cimientos del convento, es necesario inyectar concreto en las fracturas y al mismo tiempo, destruir los árboles desde la raíz, a fin de reconstruir el cimiento y evitar nuevas averías.

El mismo tratamiento debe hacerse donde las raíces han penetrado en las calizas, en la parte alta del cerro, fracturándolas y exponiéndolas a la destrucción completa.



CERRO DE LA POPA
 EXTREMO SUR ... SECTOR
 LLAMADO "SALTO DEL CABRON"



LEV: GILBERTO ALVARES M.
 GUSTABO TORRES

C/geno Diciembre / 61 Dibujó G. Leño

ESTUDIO SOBRE LA EROSION EN EL
CERRO DE LA POPA

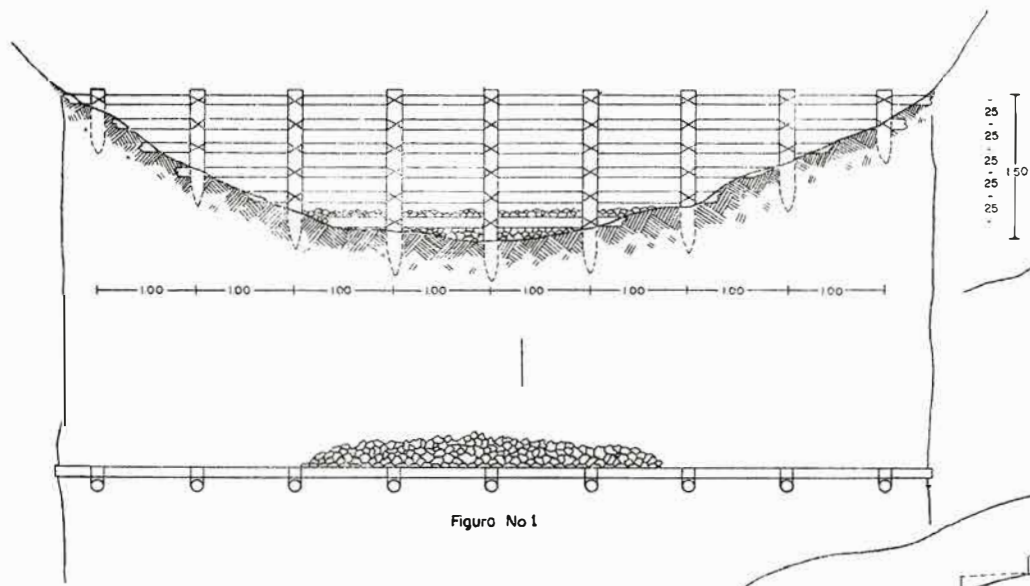
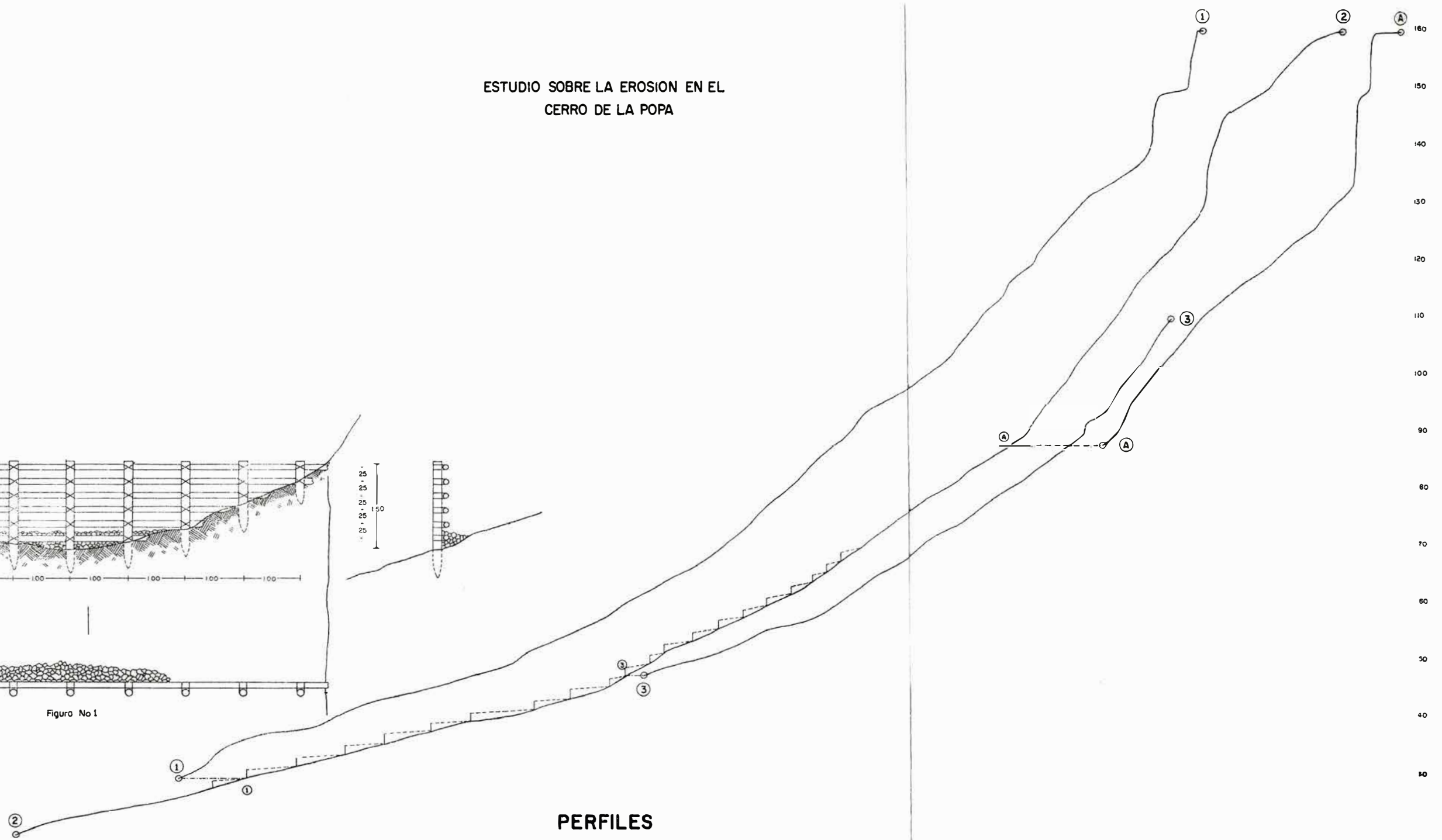


Figura No 1



PERFILES

**INFORME DE LA MINA "EL SOCORRO", MERCURIO, MUNICIPIO
DE AGUADAS, DEPARTAMENTO DE CALDAS**

POR
JEAN JACQUES MORER
Y
EDUARDO NICHOLLS V.

INFORME No. 1355

SERVICIO GEOLOGICO NACIONAL
BOGOTA, 1962

CONTENIDO:

RESUMEN	221
GEOLOGÍA GENERAL	223
MINERALIZACIÓN — TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN	223
ORIGEN DEL MERCURIO LIBRE	224
ORIGEN DEL CINABRIO	224
CONCLUSIONES - RECOMENDACIONES	224
CONCLUSIÓN FINAL	225
ADICIONES DEL TRADUCTOR	226
BIBLIÓGRAFÍA	227

R E S U M E N

El presente es un estudio de las manifestaciones de cinabrio y mercurio libre, del paraje "El Socorro", proximidades de la quebrada El Mico, Municipio de Aguadas, Departamento de Caldas.

Cuatro planchas indican la posición geográfica de la zona estudiada.

Se trata de manchas de cinabrio en lentecitos de cuarzo lechoso acompañado de carbonato y gotas de mercurio libre en cavidades.

A nuestro juicio, se trata de un yacimiento económico de muy poca importancia, si es que la tiene, pues nos inclinamos a creer que no posee ningún valor.

Se recomienda la apertura de un pozo de 2 a 3 metros de profundidad, en el lecho de la quebrada El Mico, para lo cual se requiere desviar el curso de la misma; habrá dificultades en la excavación del pozo: se necesitará instalar bombas para extraer el agua. Estos trabajos indicarán mejor la importancia del yacimiento.

GEOLOGIA GENERAL

En las quebradas La Castrillona y El Mico se encuentran excelentes afloramientos del metamórfico representado allí por esquistos clorítico - talcoso - calcáreos con nódulos de cuarzo, esquistos cuarzo-serítico-calcáreos. La dirección de la esquistosidad es generalmente NS y los esquistos son verticales, a veces se presentan plegados.

La orientación de estas rocas parece ser el resultado de una reagrupación de los elementos durante una fase orogénica (dinamometamorfismo). Es muy posible que las rocas eruptivas sean la emanación de un batolito que se extiende desde el centro del Departamento de Caldas hasta el sureste antioqueño.

Vimos afloramientos importantes de rocas eruptivas medias a básicas muy alterados al subir la quebrada El Mico, pero no hicimos un levantamiento geológico lo suficientemente detallado para poder afirmar tal cosa. No parece, en todo caso, que estas rocas eruptivas estén intercaladas según la esquistosidad como el gabro leucocrático de la muestra JM - 25.

MINERALIZACION - TRABAJOS DE INVESTIGACION

En los esquistos talcosos y grafiticos se pueden observar pequeños lentes de cuarzo lechoso de un espesor máximo de 5 cms. y de pequeña longitud: algunos centímetros a pocos metros. Por regla general dichos lenticitos siguen la esquistosidad pero frecuentemente la cortan bajo ángulo débil (15° a 25°). Es frecuente el caso de que los esquistos cloríticos talcosos contengan cantidades apreciables de calcita, o mejor, calcita y dolomita: CaCO_3 ; CaMgCO_3 . Muy pocos de esos lenticitos están mineralizados; su mineralización es discontinua y consiste en manchas irregulares de cinabrio (HgS); muy raramente se encuentran venillas del mismo mineral. También se presenta mercurio libre bajo la forma de gotas de diferentes diámetros, depositadas en las pequeñas cavidades o vesículas de los esquistos; algunas veces se hallan alojadas en las fisuras de los metasedimentos, filoncitos de cuarzo lechoso acompañado, a menudo, de carbonatos; otro mineral que se halla frecuentemente en los esquistos y vetillas de cuarzo es la pirita a manera de manchas.

El lenticito mejor mineralizado que pudimos observar está situado en el lecho de la quebrada El Mico, en la parte superior de un espolón rocoso de 1 metro de altura; su dirección es S 20° W N 20° E magnéticos y su extensión longitudinal es de algunos metros, es vertical y se puede

seguir muy bien hasta la base del espolón que se hunde en las arenas del río; su espesor es muy variable de 1 a 5 cms. El señor Raúl Gómez Echeverri nos afirmó que él mismo había cavado en las arenas una especie de pequeño pozo, más o menos, de 1 metro de profundidad; que después de varios días de acumulación, retiró de ese pozo unas 18 libras de mercurio nativo. También es cierto el hecho de que al pie del espolón rocoso sobre la ribera oriental del río, a pocos metros en la prolongación del filoncito, se ha construido una pequeña galería en esquisto grafitico-sericítico, de apenas 1 metro de avance; en época de nuestra visita estaba derrumbada por completo, pero según testimonio del mismo señor Raúl Gómez Echeverri, quien dirigió los trabajos de apertura, era estéril por completo.

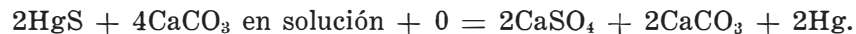
Estudiamos cuidadosamente dicha margen este para tratar de encontrar la prolongación del filoncito que aflora en el lecho del río, o para localizar nuevas vetillas que no se relacionan con tal prolongación. Sin embargo, no pudimos observar nada interesante que nos condujera a conclusiones más o menos precisas.

ORIGEN DEL MERCURIO LIBRE

El origen de las gotas de mercurio depositado en las cavidades y fisuras en los esquistos y filoncitos de cuarzo, puede ser el siguiente:

a) Las aguas disuelven el carbonato de calcio.

b) Estas aguas carbonatadas reaccionan con el cinabrio en presencia de oxígeno (aire) y se puede producir la siguiente reacción:



ORIGEN DEL CINABRIO

A nuestro juicio, el origen del cinabrio pudo haber sido el siguiente: Al originarse los metasedimentos (metamorfismo intenso de sedimentos), se formaron fisuras y cavidades en los esquistos. Estas fisuras y cavidades fueron rellenadas con sílice coloidal, carbonatos y, en parte, cinabrio y pirita, minerales que estaban contenidos en soluciones acuosas mineralizantes posiblemente en la facies epitermal a teletermal. Estas soluciones mineralizantes debieron producirse quizás a raíz de la gran actividad volcánica del Neoterciario que afectó gran parte de la Cordillera Central colombiana que originó la formación andesítica.

La pirita puede ser primaria o secundaria.

CONCLUSIONES - RECOMENDACIONES

Las posibilidades de que exista un yacimiento de alguna importancia económica en el sector visitado, parecen muy débiles por las razones siguientes:

a) La mineralización en cinabrio está localizada en lentecitos de cuarzo de muy escasa extensión longitudinal, lo que deja pocas esperanzas de una extensión considerable hacia profundidad.

b) Los lentecitos de cuarzo no son muy abundantes, y muy pocos de ellos se presentan mineralizados, aunque no es difícil precisar, diríamos, que en aquella parte del curso de la quebrada El Mico ocupada por esquistos, apenas el 1% de la superficie aflorante está formada por lentecitos de cuarzo, de los cuales apenas 1 de 10 muestra manchas de cinabrio y gotas de mercurio libre.

Nuestro deber era hacer conocer del señor Raúl Gómez E., uno de los propietarios de la posible mina, nuestras conclusiones muy pesimistas que ni siquiera parecieron convencerle. Para permitirle formarse por sí mismo una idea exacta acerca de la ninguna posibilidad económica del yacimiento en que él estaba tan esperanzado, le recomendamos excavar aún más el pozo que se encontraba lleno de arena, en la época en que las aguas de la quebrada tengan su nivel más bajo, desviando, para tal fin, el curso de la quebrada. Este pozo deberá alcanzar una profundidad entre 2 y 3 metros hasta alcanzar la roca madre que debe encontrarse muy superficial. Es interesante hacer notar aquí las dificultades que pueden presentarse en este pozo debido al hecho de que se va a trabajar por debajo del nivel freático, por lo cual habrá que instalar bombas para extraer el agua y poder realizar la excavación del pozo, y la misma dificultad se presentará al pretender continuar la galería derrumbada una vez hecha la limpieza de la misma o en la excavación de nuevas galerías. Las galerías que se proyectan deberán abrirse con una pendiente normal ascendente de $\frac{1}{2}\%$ para permitir el drenaje natural de las mismas y facilitar el transporte de las rocas extraídas.

Cualesquiera que sean los resultados obtenidos al abrir el pozo mencionado, deberá solicitarse al Servicio Geológico Nacional el envío de un geólogo de la Sección de Geología Económica con el objeto primordial de estudiar mejor el lentecito mineralizado y aconsejar la suspensión de los trabajos, la continuación de los mismos o la construcción de nuevos pozos o galerías.

Creemos que al hacer tal pozo, por lo menos una apreciable parte de los costos se recuperará por el hecho de que varios kilogramos de mercurio libre se recogerán de las arenas del río, pero será necesario demostrar que este mercurio no constituye sino una concentración secundaria que tiene poca significación para el porvenir de la mina.

Conclusión final.

Se trata, a nuestro juicio, de manifestaciones de cinabrio y mercurio libre de muy escaso o de ningún valor económico.

Bogotá, marzo de 1960.

* * *

ADICIONES DEL TRADUCTOR

El traductor se responsabiliza totalmente de los conceptos emitidos en las páginas siguientes:

G E O M O R F O L O G I A

Saliendo de Aguadas hacia la mina, se encuentra una pequeña alti-planicie formada por la erosión continua de la formación andesítica terciaria que aflora en las afueras de la población; luego se comienza a descender por el camino construido en la vertiente, la que presenta inicialmente pendientes de más o menos 40° , que van creciendo más y más hasta llegar a un 100% (45°) y pasar de esa cifra, puesto que también se presentan vertientes de 45° a 60° . Las vertientes más escarpadas son características, en la región, de la formación metamórfica que posiblemente corresponden al grupo llamado por H. W. NELSON Grupo Cajamarca que el mismo autor denomina *Basamento Cristalino*. NELSON asigna al Grupo Cajamarca edad Paleozoica, pero el autor del presente informe opina que puede ser Ordovícica, esto es, contemporánea de la formación cristalina que aflora cerca a Puerto Berrío.

El traductor asegura haber encontrado al sur del Departamento del Cauca, en los Municipios de Almaguer y Bolívar (río Sambingo), afloramientos de un sistema metamórfico, esquistos - filitas clorítico - talcosos, sericíticos, grafiticos, etc., que pueden corresponder a la misma formación Cajamarca y que en algunos sitios están en contacto con la formación diabásica y en otros (Bolívar y Almaguer), con intrusiones andesíticas neoterciarias.

Habría que preguntar cómo pueden correlacionarse estratigráficamente la formación Cajamarca de la Cordillera Central, la formación cristalina de Puerto Berrío y el llamado macizo de Quetame. ¿Son estas tres, grupo Contemporáneo y posiblemente Ordoviciano? Son Precámbricos el primero y el último. Parece que la cuenca del río Cauca podría considerarse como un graben, más o menos amplio en el valle del Cauca y que luego se estrecha en Antioquia y Caldas; si tal hecho es cierto no es raro encontrar a ambas márgenes del mismo río, frente a frente, a distancias considerables, afloramientos de los esquistos y filitas del Grupo Cajamarca.

Las vertientes pertenecen a flancos de la porción occidental de la Cordillera Central.

Suelos.

Dos tipos completamente diferentes de suelo se presentan en el Municipio:

a) Los provenientes de la descomposición andesítica, arcillosas de colores amarillo claro a amarillo encendido, carentes por completo, como su formación, de carbonatos. Estos suelos son de buena fertilidad.

b) Los provenientes de la meteorización de los esquistos, que generalmente están balanceados de manera satisfactoria, puesto que los esquistos contienen suficientes cantidades de carbonatos de calcio y de magnesio. Son suelos de una fertilidad apreciable; las arcillas que en ellas se encuentran son pardo-oscuras, grises y negras.

Geología General.

En las quebradas La Castrillona y El Mico se encuentran excelentes afloramientos del metamórfico representado allí por esquistos clorítico-talcoso-calcáreos con nódulos de cuarzo, esquistos cuarzo-serítico-calcáreos. La dirección de la esquistosidad es generalmente NS y los esquistos son verticales, a veces se presentan plegados.

E. NICHOLLS opina que estos esquistos forman parte del llamado por H. W. NELSON Grupo Cajamarca, que está representado por excelentes afloramientos a lo largo de la carretera Ibagué-Armenia y al que el mismo autor asigna edad Paleozoica. Intercaladas con los esquistos y con la misma dirección (N-S) se encuentran rocas eruptivas, cuyos elementos, en especial los feldespatos, muestran alguna orientación. Correspondiente a estas rocas eruptivas es el gabro leucocrático que constituye la muestra JM-25. La sección delgada de tal muestra contiene los elementos siguientes: Feldespatos completamente Met., Piroxenos (augita) en proceso de alteración, filoncitos de cuarzo.

* * *

BIBLIOGRAFIA

1957 - H. W. NELSON. — Contribution to the Geology of the Central and Western Cordillera of Colombia in the sector between Ibagué and Cali.

BOLETIN GEOLOGICO

CONTENIDO DE LOS VOLUMENES ANTERIORES

Año I, 1953. — Volumen I.

*Número 1. Enero.**

HUBACH, ENRIQUE. — Yacimientos de mineral de hierro, de carbón y de caliza en Colombia, como base de la industria siderúrgica.

BUENO, JESÚS A.—Informe sobre algunos yacimientos calcáreos de posible aplicación para producir cal agrícola, para el Departamento de Nariño.

Número 2. Febrero.

SUESCÚN, DARÍO.—Contribución al conocimiento de la Geología Económica del Tolima.

Número 3. Marzo.

HUBACH, ENRIQUE. — Estado actual de la exploración de fosfatos en Colombia.

SARMIENTO SOTO, ROBERTO.—Fosfatos en el Páramo de Pisba. Municipio de Socotá, Departamento de Boyacá.

SUÁREZ, VICENTE.—Comisión Geológica de la Guajira (fosfatos).

SARMIENTO ALARCÓN, ALBERTO.—Comisión a la isla de Malpelo.

SARMIENTO ALARCÓN, ALBERTO.—Fosfatos en los ríos Catatumbo y Orú.

HUBACH, ENRIQUE.—Informe de las labores del Servicio Geológico en el mes de febrero de 1953.

Número 4. Abril.

WOKITTEL, ROBERTO y LÓPEZ, JAIME.—Estudios mineros y geológicos del Guavío y de los Farallones de Medina, Cundinamarca.

NELSON, HANS WOLFGANG.—Estudio petrográfico de cinco rocas provenientes de las cabeceras del río Humea Chico.

HUBACH, ENRIQUE.—Labores del Servicio Geológico Nacional en marzo de 1953.

Número 5. Mayo.

- HUBACH, ENRIQUE.—Carbón del Páramo del Almorzadero y carbón y fuentes de agua-sal de Molagavita en el Departamento de Santander.
- WOKITTEL, ROBERTO.—Aspectos del yacimiento de caliza en la Hoya del Cobre, Páramo de Sumapaz, al sur de Bogotá.
- HUBACH, ENRIQUE.—El yacimiento de cinabrio de “La Esperanza”. Municipio de Salamina, Departamento de Caldas.
- BUENO, JESÚS A.—La región metalífera de San Joaquín, Municipio de Mercaderes, Departamento del Cauca.
- HUBACH, ENRIQUE.—Labores del Instituto Geológico Nacional en el mes de abril de 1953.

Números 6, 7. Junio y julio.

- DIEZEMANN, WOLFGANG y LÓPEZ, JAIME.—Consideraciones sobre la hidrogeología oficial.
- DIEZEMANN, WOLFGANG.—Abastecimiento de agua para el Municipio de Chía.
- DIEZEMANN, WOLFGANG.—El problema de agua potable para la urbanización nueva en la isla del Morro, Municipio de Tumaco, Departamento de Nariño.
- DIEZEMANN, WOLFGANG.—El posible abastecimiento de Tumaco y de la urbanización nueva, en la isla del Morro con agua de dunas y de lluvias.
- DIEZEMANN, WOLFGANG.—Posibilidades geohidrológicas para la construcción de un acueducto de aguas subterráneas en Sincelejo, y algunas observaciones en Corozal y Tolú, Departamento de Bolívar.
- MONTENEGRO, BRAULIO C.—Estudio sobre algunas aguas minerales de Nariño.
- BUENO, JESÚS A.—Labores del Instituto Geológico Nacional en el mes de mayo de 1953.

Números 8, 9 y 10. Agosto, septiembre, octubre.

- VAN DER HAMMEN, THOMAS.—Informe preliminar sobre los yacimientos de carbón de Quinchía-Río Sucio, Departamento de Caldas.
- SARMIENTO, ALBERTO.—Comisión para localizar caliza en el Departamento del Cauca.
- SANDOVAL, JOSÉ.—Yacimientos de diatomita en el Valle del Cauca.

Números 11 y 12. Noviembre - diciembre.

- SARMIENTO, ALBERTO y ARCE, MARINO.—Estudio de carbón en la región del Bajo Cauca.
- SARMIENTO, ALBERTO y SANDOVAL, JOSÉ.—Comisión Geológica de San Andrés y Providencia.
- SARMIENTO, ALBERTO.—Prospección de yacimientos de cobre, plomo y zinc. (Departamento del Tolima).

Año II, 1954. — Volumen II.

- BÜRGL, HANS.—El Cretáceo Inferior en los alrededores de Villa de Leiva, Boyacá.
- BÜRGL, HANS y DUMIT, YOLANDA.—El Cretáceo Superior en la Región de Girardot.
- VAN DER HAMMEN, THOMAS.—El desarrollo de la flora colombiana en los periodos geológicos. 1. Maestrichtiano hasta Terciario más Inferior (una investigación palinológica de la Formación Guaduas y equivalentes).
- SALAS, GUILLERMO P. — Fotogeología y su aplicación a la exploración petrolera (tomado del "Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros". Volumen VI, números 1 - 2).

Número 2. Mayo - septiembre.

- VAN DER HAMMEN, THOMAS.—Principios para la nomenclatura palinológica sistemática.

Año 1955. — Volumen III.

*Número 1. Junio.**

- BÜRGL, HANS, BARRIOS M., MARGOTH y RÖSTROM, A. M. — Micropaleontología y estratigrafía de la sección Arroyo Saco, Departamento del Atlántico.

Número 2. Septiembre.

- BÜRGL, HANS.—El anticlinal de Apulo.
- BÜRGL, HANS.—La Formación Guadalupe entre Tabio y Chía en la Sabana de Bogotá.
- BÜRGL, HANS.—Globorotalia fohsi en la Formación de Usme.

Número 3. Diciembre.

- BUENO, JESÚS A.—Yacimientos de uranio y otros metales en la region de La Baja, Municipio de California, Departamento de Santander.

A N E X O 1

NELSON, WOLFGANG H.—Examen petrográfico de las muestras radioactivas procedentes de California, La Baja, Santander.

A N E X O 2

ATOMIC ENERGY COMMISSION OF U.S.A.—Estudios mineralógicos realizados en los laboratorios de la “Atomic Energy Commission de Estados Unidos”, sobre muestras uraníferas de la región de La Baja, Santander.

A N E X O 3

BUENO, JESÚS A. — Estudios preliminares de tratamiento del mineral urano-argentífero de San Celestino.

Año 1956. — Volumen IV.

Número 1. Abril.

BÜRGL, HANS. — Catálogo de las amonitas de Colombia. Parte I, Pulchellidae.

Números 2 - 3. Agosto, diciembre.

BÜRGL, HANS.—La variabilidad de la amonita Dufrenoya Texana Burckhardt.

VAN DER HAMMEN, THOMAS.—Nomenclatura palinológica sistemática. A palynological systematic nomenclature.

VAN DER HAMMEN, THOMAS.—Descripción de algunos géneros y especies de polen y esporas fósiles.
Description of some genera and species of fossil pollen and spores.

Año 1957. — Volumen V.

Número 1. Enero - abril.

LÓPEZ CASAS, JAIME.—Resultados prácticos de los trabajos de la Sección de Hidrogeología del Instituto Geológico Nacional en tres años de labores.

LÓPEZ, JAIME.—Bibliografía de los estudios referentes a aguas subterráneas, que pueden ser consultados en el Instituto Geológico Nacional.

DELGADO, CARLOS I.—Química de las aguas subterráneas y su importancia desde el punto de vista de potabilidad e higiene.

LÓPEZ, JAIME.—El ensayo de bombeo en las captaciones de agua subterránea.

- DIEZEMANN, WOLFGANG y DELGADO, CARLOS I.—Aprovechamiento del depósito de agua subterránea dulce en la isla de San Andrés.
- DELGADO, CARLOS I.—Calidad del agua en el acueducto de "El Centro". Barrancabermeja, Departamento de Santander.
- DELGADO, CARLOS I.—Calidad del agua en el acueducto de San Antonio de California, Departamento de Santander.

Número 2. Mayo - agosto.

- VAN DER HAMMEN, THOMAS.—Periodicidad climática y evolución de floras suramericanas del Maestrichtiano y del Terciario.
Climatic Periodicity and evolution of South American Maestrichtian and Tertiary Floras.
- HUBACH, ENRIQUE.—Estratigrafía de la Sabana de Bogotá y alrededores.
- BÜRGL, HANS.—Biostratigrafía de la Sabana de Bogotá y sus alrededores.
- VAN DER HAMMEN, THOMAS.—Estratigrafía palinológica de la Sabana de Bogotá. (Cordillera Oriental de Colombia).

Número 3. Septiembre - diciembre.

- WOKITTEL, ROBERTO.—Problemas de la Geología Económica de Colombia.
- WOKITTEL, ROBERTO.—Bosquejo geográfico y geológico de la Sierra Nevada de Santa Marta y la Serranía de Perijá.
- WOKITTEL, ROBERTO.—La formación cuprífera de la Serranía de Perijá. (Intendencia de la Guajira y Departamento del Magdalena).

Año 1958. — Volumen VI.

Números 1 - 3. Enero - diciembre.

- PABA, FERNANDO y VAN DER HAMMEN, THOMAS.—Sobre la geología de la parte sur de La Macarena.
- MANJARRÉS, GILBERTO.—Calizas en el Departamento del Cauca.
- MANJARRÉS, GILBERTO.—Minerales de hierro en Cerros Chancos, Municipio de Dagua, Departamento del Valle del Cauca.
- VAN DER HAMMEN, THOMAS.—Estratigrafía del Terciario y Maestrichtiano continental, y tectogénesis de los Andes colombianos.
- BÜRGL, HANS.—Geología de la Península de la Guajira.
- BÜRGL, HANS.—El Jurásico e Infracretáceo del río Batá, Departamento de Boyacá.
- BARRIOS M., MARGOTH.—Algunos moluscos del Terciario Medio de Colombia.

Año 1959. — Volumen VII.

Números 1 - 3. Enero - diciembre.

- BÜRGL, HANS.—Contribución a la estratigrafía y litogénesis de la isla de San Andrés.
- DE LA ESPRIELLA, RICARDO.—Investigaciones sobre caliza al oriente de la Sabana de Bogotá.
- RESTREPO, HERNÁN.—Reconocimiento de las minas de esmeraldas de Muzo, Departamento de Boyacá.
- BÜRGL, HANS.—Sedimentación cíclica en el Geosinclinal Cretáceo de la Cordillera Oriental de Colombia.
- WOKITTEL, ROBERTO.—Geología económica del Chocó. Bibliografía geológica-minera del Chocó.
- LÓPEZ, JAIME.—Estudio hidrogeológico preliminar del norte del Departamento del Huila, con sugerencias para estudios definitivos.
- VAN DER HAMMEN, THOMAS.—Deposición reciente de polen atmosférico en la Sabana de Bogotá y alrededores.
- RESTREPO, HERNÁN.—Mina de carbón "La Vieja", Municipio de Zipaquirá, Departamento de Cundinamarca.

Año 1960. — Volumen VIII.

Números 1 - 3. Enero - diciembre.

- RADELLI, L.—El basamento cristalino de la Península de la Guajira (con cinco figuras).
- RAASVELDT, H. C.—Conglomerados, transgresiones, regresiones, hiatos y facies en relación con sollevamientos tectónicos (con veintiuna figuras).
- SOLÉ DE PORTA, N.—Contribución a la palinología del Terciario del norte de Colombia (con cinco planchas y sesenta y una figuras).
- LANGENHEIM, JEAN H.—Late paleozoic and early mesozoic plant fossils from the Cordillera Oriental of Colombia and correlation of the Girón Formation (con cinco planchas y treinta y seis figuras).
- RESTREPO A., HERNÁN.—Reconocimiento geológico de la región Boavita-La Uvita, Departamento de Boyacá (con dos fotografías, cuatro planchas y siete esquemas).
- SARMIENTO ALARCÓN, ALBERTO.—Estudio experimental de abrasión en guijarros (con veintisiete figuras).

Año 1961. — Volumen IX.

Números 1 - 3. Enero - diciembre.

NOTAS CIENTÍFICAS:

RADELLI, L.—Epocas magmáticas y metalogenéticas en los Andes colombianos: Un cuadro preliminar.

ESTUDIOS GEOLOGICOS:

UJUETA LOZANO, GUILLERMO.—Geología del noreste de Bogotá (con un mapa índice, siete fotografías, siete láminas y 5 figuras).

LÓPEZ CASAS, JAIME.—Informe preliminar sobre irrigación con agua subterránea, del Municipio de Codazzi, Departamento del Magdalena (con dos mapas y tres dibujos).

NELSON, H. WOLFGANG.—Observaciones geológicas y estudio petrográfico sobre 54 muestras colectadas por el doctor Laureano Rincón, en el Departamento de Nariño, en la vía Tambo, Peñol, Policarpa (con siete fotografías).

MORER, JEAN JACQUES y NICHOLLS V., EDUARDO.—Calizas de la región de Cartagena (con cuatro planchas).

MORER, J. J. y NICHOLLS V., E.—Levantamiento geológico de la carretera Riohacha-Puente Bomba-Río Ancho (con un gráfico).

RESTREPO A., HERNÁN.—Informe geológico del páramo al este de Bogotá (con un mapa índice y tres planchas).

RESTREPO A., HERNÁN.—Algunas calizas del Departamento del Tolima para la obtención de cal agrícola (con un mapa índice y tres planchas).

**BOLETIN GEOLOGICO — VOLUMEN X — ENERO-DICIEMBRE — 1962
NUMEROS 1-3**

La impresión de esta obra se concluyó en octubre de 1963,
en los Talleres Editoriales de la Imprenta Nacional de Colombia.

Los originales de los trabajos de este Boletín
fueron entregados a la Dirección del Servicio Geológico
en las siguientes fechas:

Diciembre de 1962 — RENZONI, GIANCARLO.
Apuntes acerca de la litología y tectónica
de la zona al este y sureste de Bogotá (con una plancha).

NELSON, H. WOLFGANG.
Contribución al conocimiento de la Cordillera Occidental.
Sección carretera Cali-Buenaventura (con doce fotos).

Julio de 1962 — MEGYESI, IMRE.
Estudios sobre los depósitos de azufre en la mina de "El Vinagre",
Puracé (con cuatro fotos, tres figuras y cinco mapas).

Febrero de 1954 — NELSON, H. WOLFGANG.
Contribución al conocimiento de la Cordillera Central de Colombia.
Sección entre Ibagué y Armenia (con tres figuras y doce fotos).

Mayo de 1962 — ARCE HERRERA, MARINO.
Estudio sobre la erosión en el Cerro de la Popa, Cartagena
(con dos planchas).

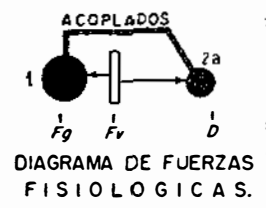
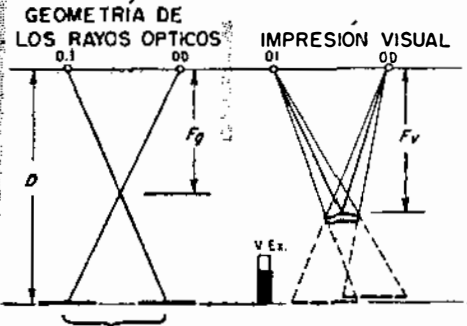
Marzo de 1960 — MORER, JEAN JACQUES, Y NICHOLLS V., EDUARDO.
Informe de la mina "El Socorro", Mercurio, Municipio de Aguadas,
Departamento de Caldas.

Vision estereoscópica se pierde

Vision estereoscópica se pierde

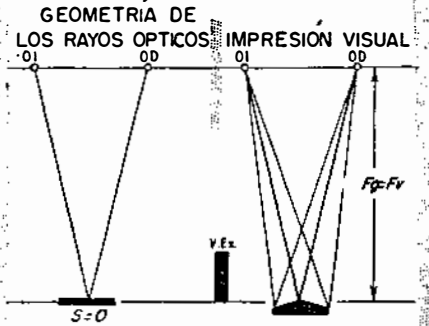
I
 $s < 0$

EJES VISUALES CRUZADOS



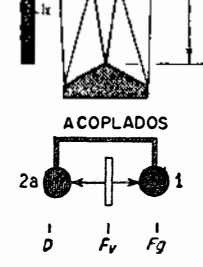
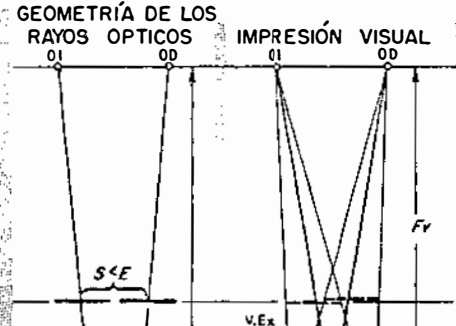
II
 $s = 0$

ANAGLIFOS



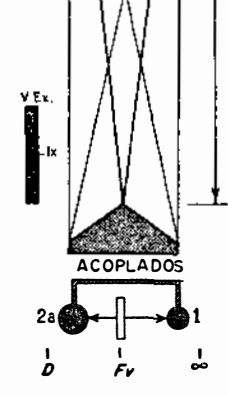
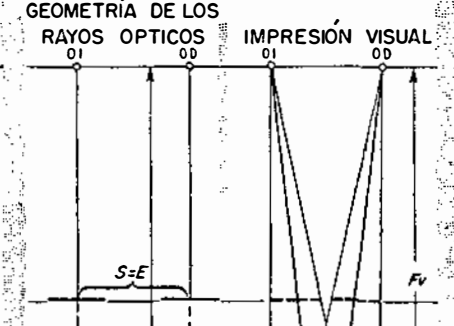
III
 $E > S > 0$

EJES VISUALES INTERSECTADOS



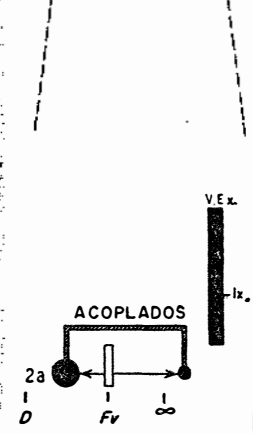
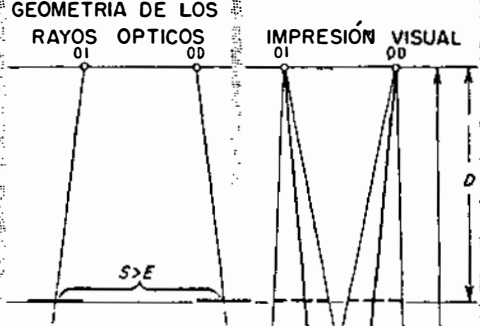
IV
 $s = E$

EJES VISUALES PARALELOS



V
 $s > E$

EJES VISUALES DIVERGENTES

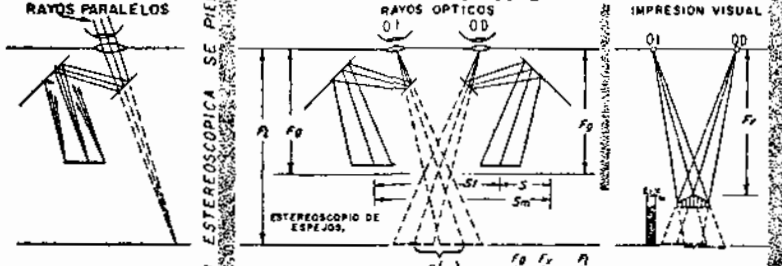


VISION ESTEREOCOPICA SE PIERDE

VISION ESTEREOCOPICA SE PIERDE

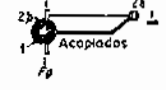
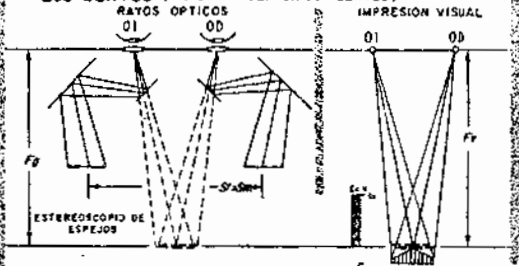
I
 $s < 0$

LOS EJES VISUALES SE INTERSECAN ENCIMA DEL PLANO FOCAL DE LAS LENTES



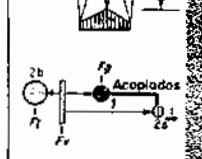
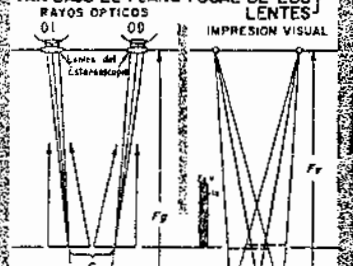
II
 $s = 0$

LOS EJES VISUALES INTERSECAN EN EL PLANO FOCAL DE LAS LENTES (VISION ANAGLIFICA CON LENTES)



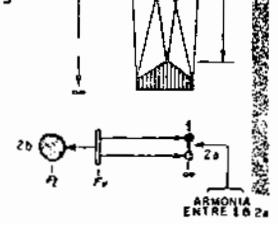
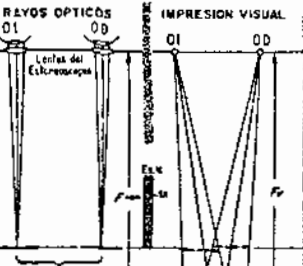
III
 $E > S > 0$

LOS EJES VISUALES SE INTERSECAN BAJA EL PLANO FOCAL DE LAS LENTES



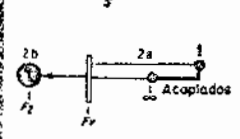
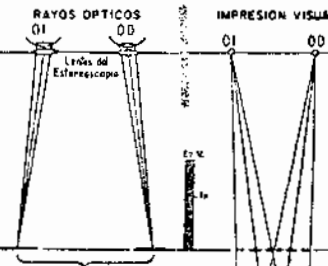
IV
 $s = E$

EJES VISUALES PARALELOS



V
 $s > E$

EJES VISUALES DIVERGENTES



ABREVIATURAS:

- O.I. y O.D. Ojo izquierdo y ojo derecho.
- Fg . Distancia desde los ojos a la intersección de los ejes visuales.
- $F1$. Distancia focal de las lentes del estereoscopio.
- Fv . Distancia del punto virtual de fijación.
- E . Base visual o distancia interpupilar.
- S . Separación de las fotografías; puede ser negativa (I), más pequeña que la base visual (III), igual a la base visual (IV) o más grande que la base visual (V).

- Sm . Separación causada por la reflexión de los espejos.
- St . Separación total como se mide bajo un estereoscopio de espejos.
- $St = Sm - S$.
- $Ex. V$. Exageración vertical en el estereomodelo observado, comparado con el modelo anaglífico.

CROQUIS QUE INDICA LA SITUACION GEOLOGICA
EN EL SECTOR CALI - QUEREMAL - LA ELSA - DAGUA
(CORDILLERA OCCIDENTAL)

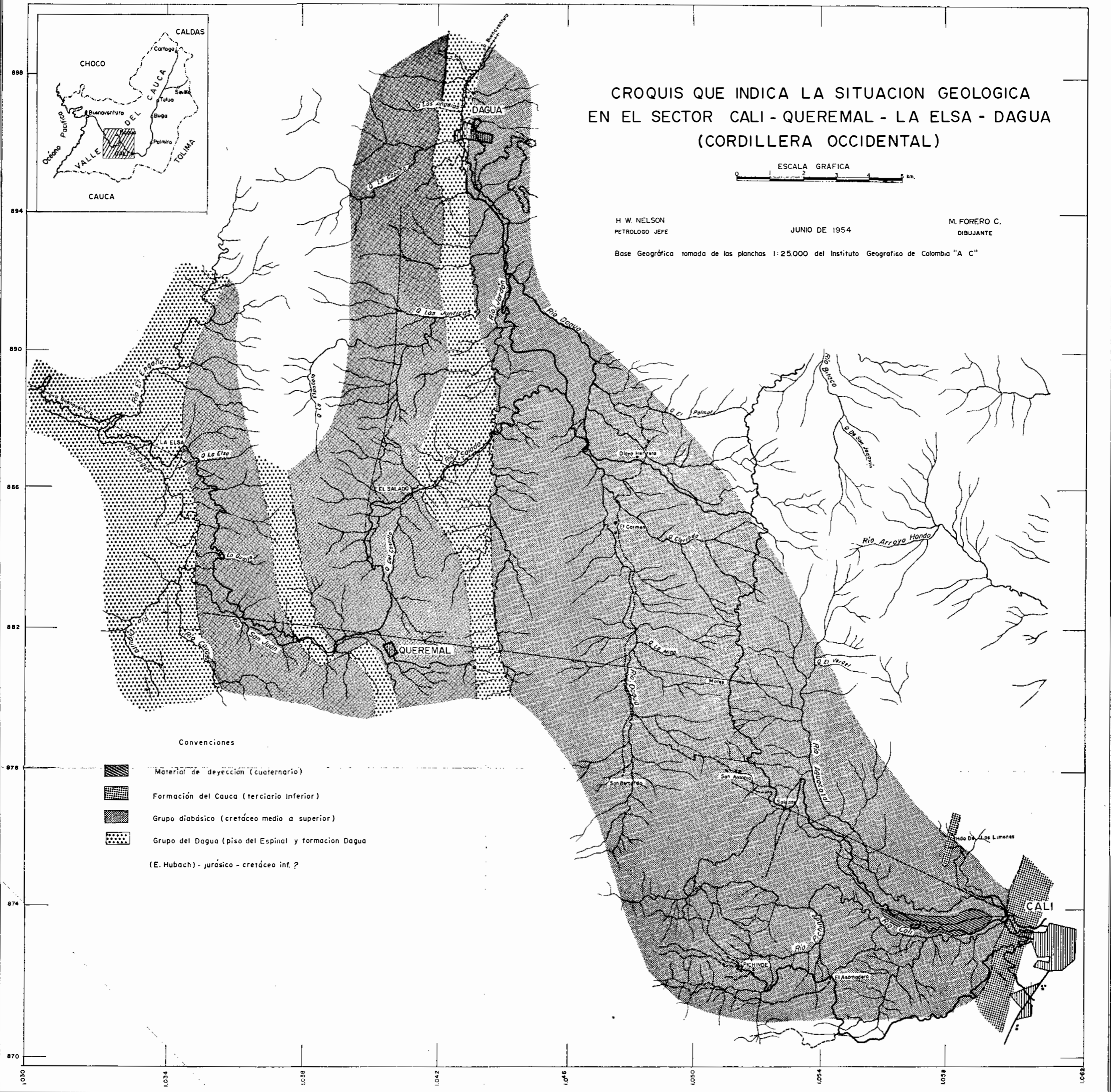
ESCALA GRAFICA
0 1 2 3 4 5 km.

H. W. NELSON
PETROLOGO JEFE

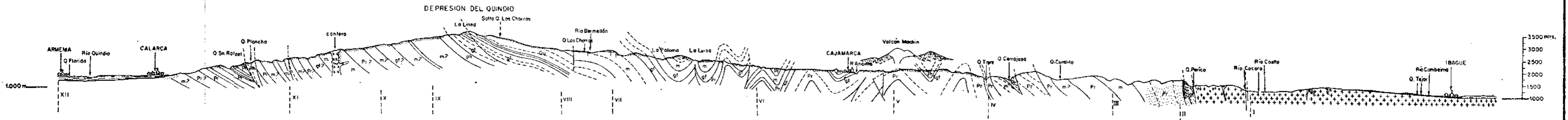
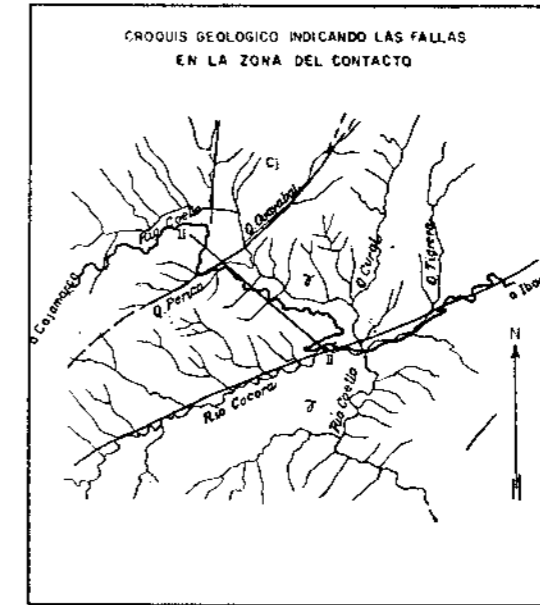
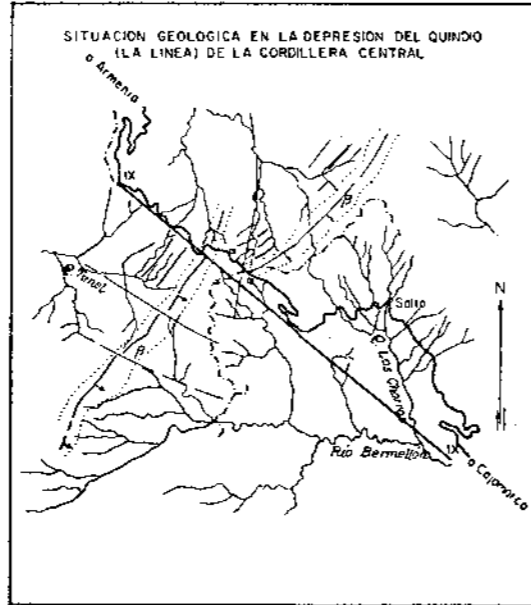
JUNIO DE 1954

M. FORERO C.
DIBUJANTE

Base Geográfica tomada de las planchas 1:25.000 del Instituto Geográfico de Colombia "A C"

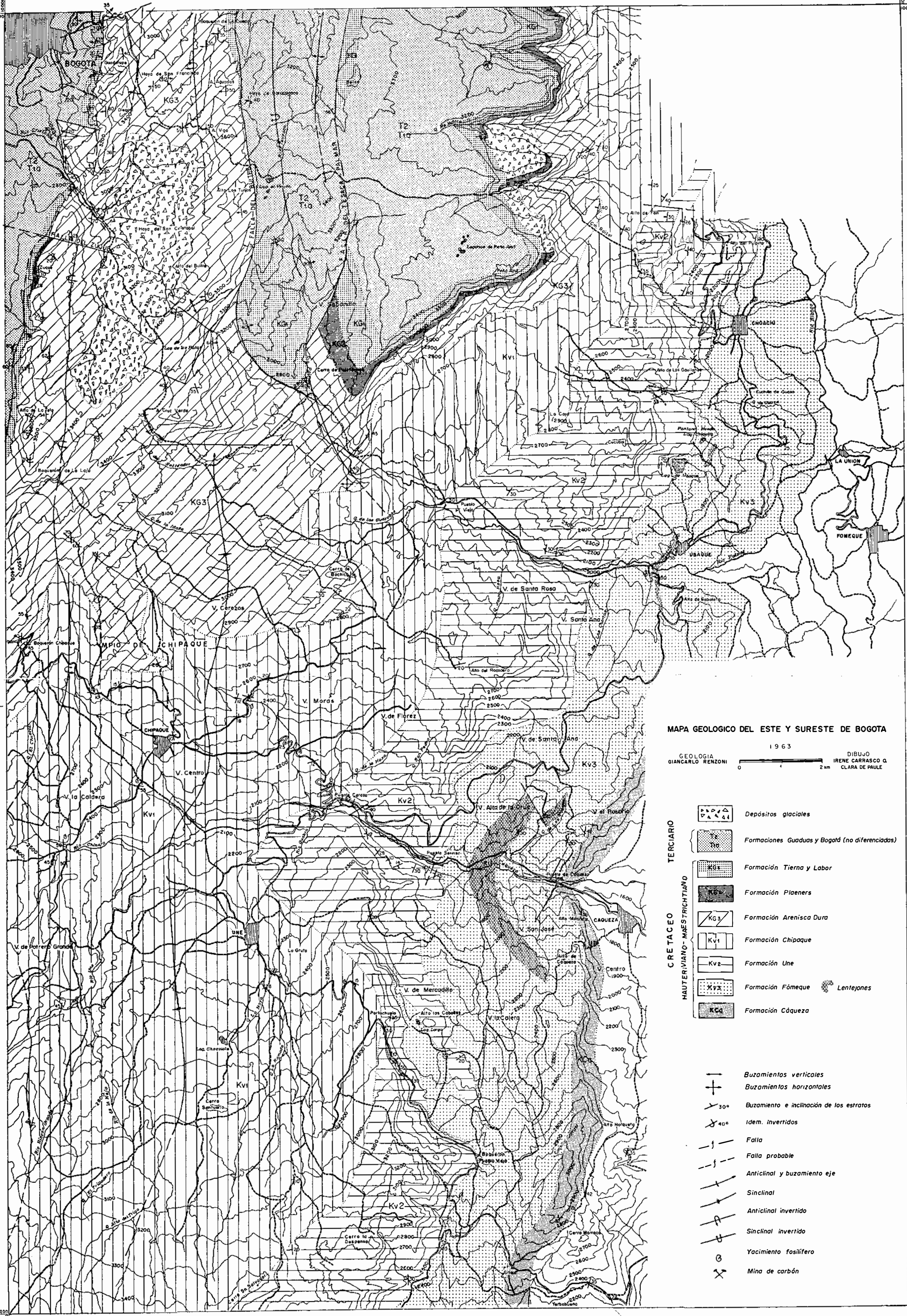


CORTE GEOLOGICO POR LA CORDILLERA CENTRAL ENTRE IBAGUE Y ARMENIA



FORMACIONES NEOTERCIARIA Y CUATERNARIA		abanicos de Ibagué y Armenia
		tobos andesíticos
		rocas volcánicas (andesitos y dacitas)
INTRUSIONES PALEOZOICAS		granodioritas
		velos opálticos
		inclusiones de esquistos
SERIE DE CAJAMARCA (PALEOZOICO)		Esquistos verdes (prosnitas)
		Esquistos gráficos
		Filitas cuarzosas
		esquistos cuarzosos néscicos
		diabasas
		alternación de esq. verdes gráficos y cuarzoso
	coliza cristalina	
	fallas	
	zona del contacto	

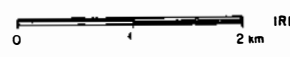
Dibujo Clara Q. de Paule



MAPA GEOLOGICO DEL ESTE Y SURESTE DE BOGOTA

1963

GEOLOGIA: GIANCARLO RENZONI
 DIBUJO: IRENE CARRASCO Q. CLARA DE PAULE



- TERCIARIO**
- Depósitos glaciales
 - Formaciones Guaduas y Bogotá (no diferenciadas)
 - Formación Tierna y Labor
 - Formación Plainers
- CRETACEO**
- Formación Arenisca Dura
 - Formación Chipaque
 - Formación Une
 - Formación Fomeque
 - Formación Cáqueza
- HAUTERVIANO-MAESTRICHTIANO**
- Lentejones

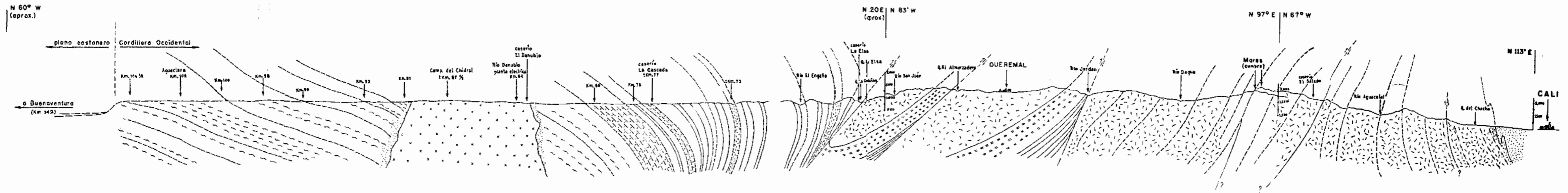
- Buzamientos verticales
- Buzamientos horizontales
- Buzamiento e inclinación de los estratos
- Idem. invertidos
- Falla
- Falla probable
- Anticinal y buzamiento eje
- Sinclinal
- Anticinal invertido
- Sinclinal invertido
- Yacimiento fosilifero
- Mina de carbón

CORTE GEOLOGICO (PRELIMINAR) POR LA CORDILLERA OCCIDENTAL ENTRE CALI Y BUENAVENTURA

ESCALA



Elaborado por
H. W. NELSON, PETROLOGO
DIBUJO: BLANCA GOMEZ



CONVENCIONES

TERCIARIO

- Terciario superior
- Terciario inferior (formación del Cauca)

tonalita

GRUPO DIABÁSICO

- idem, con intercalaciones de lídita, etc.
- idem, parcialmente propilinizada

MESOZOICO

GRUPO DEL DAGUA (form. del Espinal y Dagua (Hubach)

- idem, miembro silicificado: esq. graf. y plz.; lídita negra (form. del Espinal (Hubach)
- idem, miembro arcilloso-tobáceo: altern. de esq. y li. verdes con esq. plz. graf. plz. var., etc.; hacia arriba esq. volcánicos.
- idem, miembro calcáreo: esq. y fil. calc.; a veces silic. ("cheri" o "cuorzo blanco")
- idem, miembro grafítico: esq. graf.; hacia arriba empobrecen en mat. carbono.
- idem, en facies contacto-metamórfico: micacitas, esq. andal. (quistalita)
- idem, derrames de diabásico.

Fallas

Topografía según las cotas de los mapas geográficos (1:25.000)

Topografía desconocida

Km. 80 Kilómetros en la carretera al mar a partir de Cali

ESTUDIO SOBRE LA EROSION EN EL
CERRO DE LA POPA

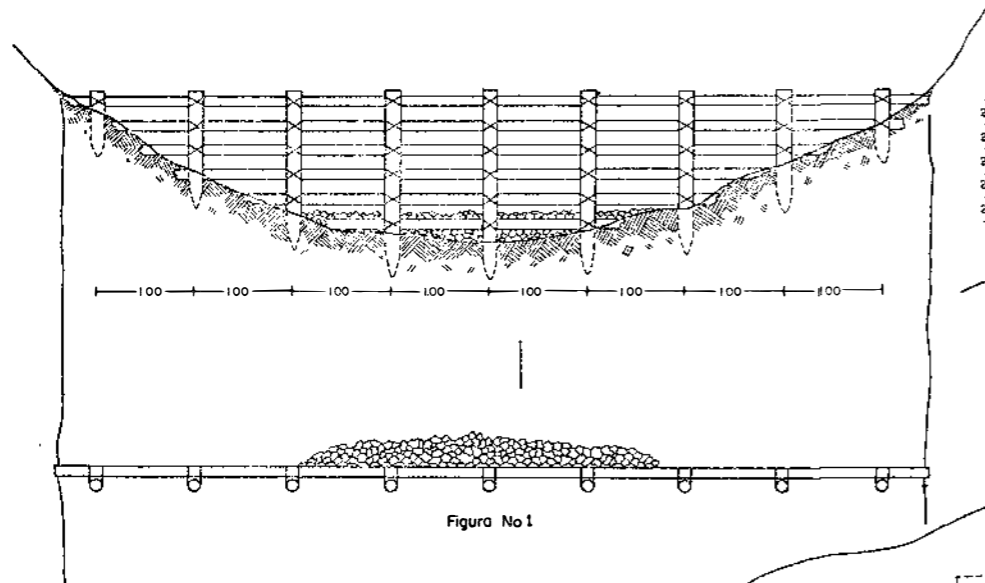
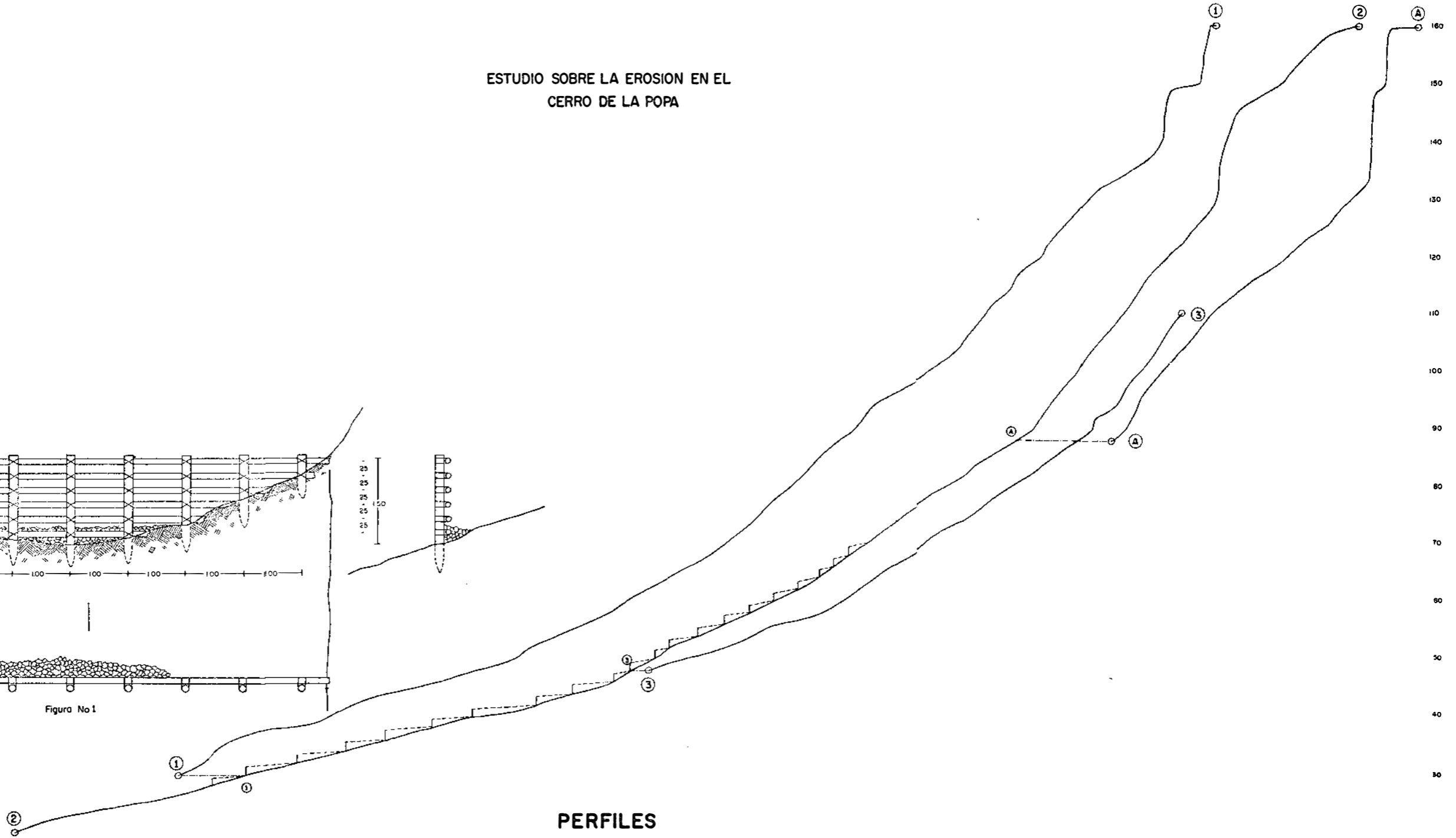


Figura No 1



PERFILES