

REVISTA DE LA SOCIEDAD CIENTIFICA DEL PARAGUAY

Tomo VII

Asunción, Abril de 1965

Número 2

SEGUNDA EPOCA

Homenaje de la SOCIEDAD CIENTIFICA DEL PARAGUAY a su fundador



Dr. ANDRES BARBERO

1877 • 1961

"VOLCANISMO POSTPLIOCENICO DEL PARAGUAY" (1)*Por el Dr. LUIGI MIRAGLIA*

SUMARIO: Cap. I Introducción.- Cap. II Cerro de Tacumbú.- Cap. III Cerrito de Trinidad y afloramiento de Yukyty.- Cap. IV Dique de Remanso Castillo y areniscas metamorfoseadas por el mismo.- Cap. V Cerro Confuso.- Cap. VI Cerro Verde.- Cap. VII Cerro Lambaré y afloramiento de Itá Enramada.- Cap. VIII Cerro Nemby y afloramiento del "Cerrito San Antonio".- Cap. IX Conos del Ypoá.- Cap. X Altura de areniscas metamorfoseadas.- Cap. XI Dinamismo magnético en el distrito volcánico estudiado.- Cap. XII El alineamiento de los volcanes estudiados pertenece geológicamente a los Andes.

CAPITULO I

INTRODUCCION

1 — Objeto de esta monografía.

Llevo 6 años estudiando sobre el terreno un alineamiento volcánico postpliocénico extinguido, descubierto por mí, a lo largo del río Paraguay, entre los 25° y 26° paralelos de lat. sur. (2)

Desde el norte hacia el sur los volcanes apagados constituidos por basalto son: 1) Cerro Verde, 2) Cerro Confuso, 3) Cerrito Trinidad, 4) Tacumbú, 5) Lambaré, 6) Nemby, 7) Islas cónicas del lago Ypoá. (Fig. 1)

Interpuestos a los conos están afloramientos de filones de rocas marrón anaranjado que tienen la misma edad del basalto gris-negro de los volcanes del cual representan una diferenciación.

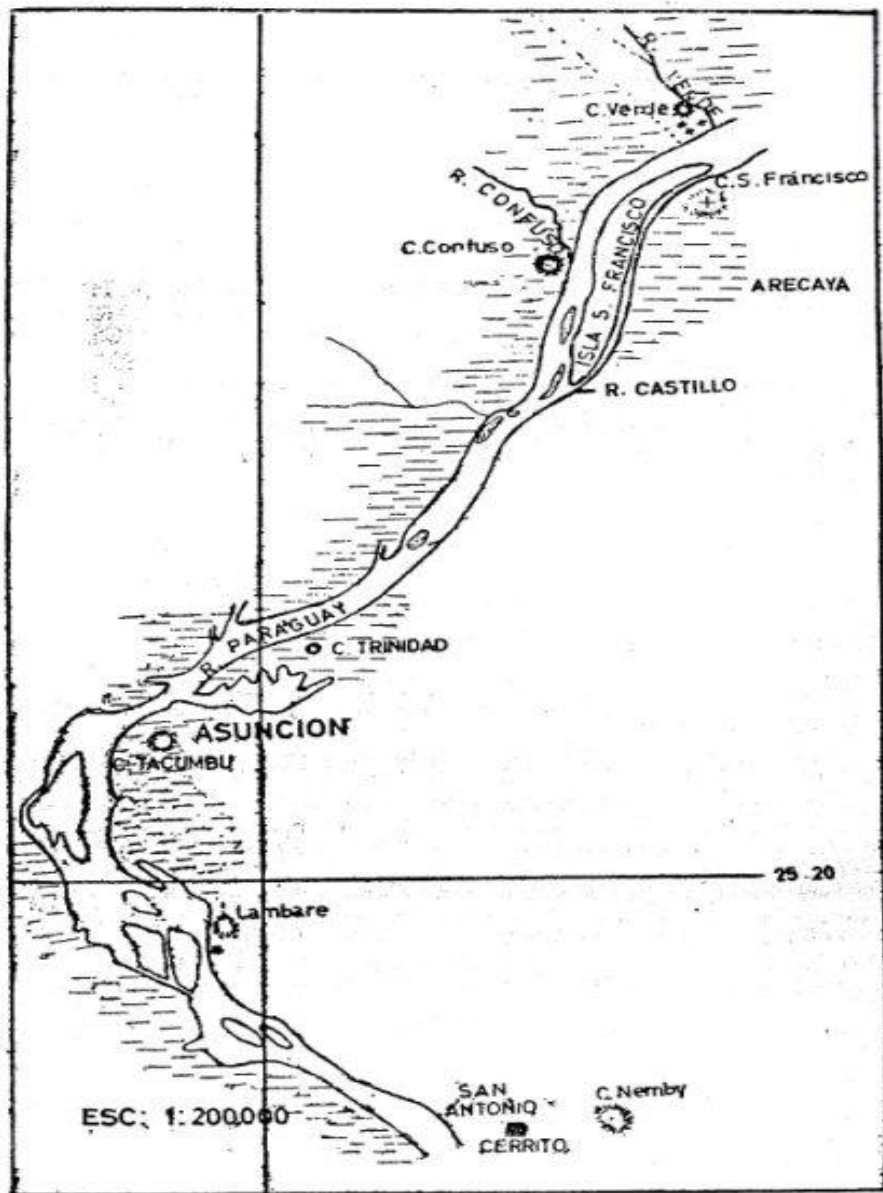
Sobre el alineamiento y en las cercanías de éste se hallan areniscas metamorfoseadas por el volcanismo.

El objeto de esta monografía es:

- a) Demostrar que los conos son verdaderos volcanes y que no solamente los filones sino también las areniscas metamorfoseadas están en relación con dichos volcanes.
- b) Demostrar que las antedichas formaciones son de los últimos tiempos geológicos que algunos llaman cuaternario y otros, como yo, postplioceno.
- c) Demostrar que, contrariamente a las apariencias, los volcanes en estudio pertenecen geológicamente a los Andes, que distan 600 Km. y no al Paraguay oriental, parte del antiguo continente brasilero, sobre cuya costa occidental están alineados.

El autor ha hecho todos los dibujos y fotografías que figuran en este trabajo.

(1) Esta monografía fue entregada para su publicación en marzo de 1963.
(2) Dicho alineamiento probablemente es más largo.



I. DISTRITO VOLCANICO 1: 200.000 El meridiano 57-30 long. W. Greenwich pasa a 3500 mts. al este del aeropuerto de Asunción. Coincide con el lado derecho del rectángulo que encierra a la Fig. 1.
 Los círculos indican a los volcanes, los cuadrados a los afloramientos de magno amarrado y las cruces a las areniscas metamorfoseadas.

2 — Breves notas geológicas sobre las regiones que rodean el alineamiento volcánico estudiado.

El continente suramericano en las latitudes que interesan a nuestro estudio, presenta tres zonas: los Andes; el gran Chaco — que es una llanura aluvional postpliocénica — y el altiplano brasileiro, formado por rocas arcaicas, paleozoicas y mesozoicas.

El río Paraguay divide geológicamente a la república homónima en dos partes: la occidental o Chaco, y la región oriental la cual pertenece al altiplano brasileiro.

Región Oriental.

El antiquísimo continente austral llamado Godwana por Suess que llegó a comprender: gran parte de Australia, de la India, del Africa y de Sudamérica acabó por dividirse en pedazos, cada uno de los cuales recibieron muchas denominaciones.

Por brevedad y claridad llamaré, en el presente trabajo "continente paleo-brasilero, (es decir antiguo continente brasileiro) al resto triangular del Godwana que comprende, además de la mayor parte del Brasil, también al Paraguay oriental.

Este es una mesopotamia, incluida entre los ríos Paraguay y Paraná, en la cual las lluvias y la vegetación aumentan progresivamente hacia levante, en donde existe una de las más grandes selvas de Sudamérica.

A lo largo de la orilla derecha del Paraná existe una faja de meláfiro triásicos que pertenecen a la formación que los Autores brasileiros llaman "Serrageral". Dicha formación, que representa al volcanismo mesozoico, según Oliveira y Leonardos, es la más grande del mundo, pues ocupa en Sudamérica 1.200.000 Km², de los cuales 900.000 pertenecen solamente al Brasil.

Las aguas del Paraná y de sus afluentes cavaron escalinatas en la pila de las lavas melafíricas.

Estas escalinatas se denominan en geología, como es notorio, con el término sueco equivalente de "traps". No he observado en los meláfiro de los cuales se habla fisuración prismática que, en cambio, es muy común en los basaltos del Paraguay.

Hacia poniente, después de la faja de los meláfiro, los terrenos de la región oriental suben dulcemente hasta el borde de un peldaño, que serpentea a lo largo del meridiano 56° long. w., desde el cual las aguas fluyen hacia el este al Río Paraná y hacia el oeste al Río Paraguay.

Mirando desde poniente, el sobredicho peldaño aparece como una cordillera y recibe de norte al sur los nombres de Cordillera de: San Joaquín, Yhú, Caaguazú, Avaí y Tavai. En realidad, no se trata de una cadena montañosa corrugada, sino del borde del altiplano brasileiro que cae abruptamente hacia oeste y degrada dulcemente hacia el este. Principalmente por la erosión hídrica el borde de dicho altiplano se desplaza hacia levante, y deja restos tabulares, como las "amba" etiópicas, que generalmente tienen la misma altitud del planalto, desde el cual se separaron. Los más interesantes de los cerros (tendríamos que llamarlos pseudocerros) son aquellos formados por estratos de arenisca, los cuales no son plegados en sinclinales sino horizontales. Este hecho es una de las pruebas más evidentes de que

en esta zona no hubo orogénesis. La erosión del altiplano desnudó y dejó atrás también rocas olocristalinas y plutones que hoy surgen como cerros aislados. Algunos de ellos, a pesar de su forma cónica, no son volcanes, sino que representan las últimas fases erosivas. También la "cordillera central", que después de flanquear el lago de Ypacaraí termina en Paraguairí, es el borde de un gran hundimiento tectónico ("graben") como ha sido recientemente publicado en un interesante trabajo que será comentado.

Región Occidental o Chaco.

El Chaco es una vastísima llanura de 600 Kms. de ancho, comprendida entre la orilla derecha del Río Paraguay y la cordillera de los Andes.

El Chaco presenta vastísimas depresiones que actualmente están en plena fase de azolvamiento.

Las lluvias disminuyen progresivamente hacia oeste.

La vegetación es xerofita con formaciones de "islas de monte" sabanas y palmares.

Durante el mesozoico y el eoceno las olas del Océano Pacífico se rompían contra la costa occidental del continente paleobrasileño.

Cuando, al principio del mioceno, surgieron los Andes, entre estos y la costa occidental del continente paleobrasileño se formó un mar mediterráneo que yo en adelante llamaré "Mar chaqueño". (3)

La existencia de este mar está demostrada por fósiles de *Ostrea magellanica*, *Turritella* y por fragmentos de nummulitos descubiertos por W. Bertoni cerca de Villeta (ver "Informe sobre rocas conchillanas de Villeta" Rev. Soc. Cient. del Paraguay Tomo IV N° 4 — Asunción 1 de mayo de 1939).

Al principio del postplioceno el mar en cuestión había sido llenado y transformado en la actual llanura herbosa del Chaco. Este hecho está demostrado por el descubrimiento que Bergmam y Rochol hicieron en Reventón en la desembocadura del río Pilcomayo, en el Chaco paraguayo de fósiles de grandes mamíferos herbívoros (v. W. Bertoni "Notas Zoológicas" Rev. Soc. Cient. del Paraguay, Tomo II N° 4 — 1925).

En el museo del Jardín Botánico y en el museo Andrés Barbero se pueden ver restos de *Toxodon platensis* Owen, *Mastodon andinum*, *Mastodon platensis*, *Glyptodon* y *Macrauchenia*.

En el año (1963) Lucio Tarsia, doctorado en ciencias agrarias en la universidad de Portici (Nápoles), por encargo del Ministro de Agricultura del Paraguay, halló en el cauce del Pilcomayo, al norte de Galileo, numerosos restos fósiles, entre los cuales, a su regreso, yo pude reconocer: dos defensas y algunos molares de *Mastodon*, fragmentos del escudo de *Glyptodón* y dientes de *Megaterium Americanum*. (4)

(3) Además, de la paleontología la existencia del "mar chaqueño" está probada por la sal que aflora desde una larguísima, continua faja de estratos salíferos seguramente pliocénicos. El lector hallará noticias sobre yacimientos de sal-gema o sal fósil en el Cap. III — 2, Cap. V — 2 y Cap. VII — 1. En fin es evidente que olas marinas carcomieron las areniscas coloradas de la barranca entre Varadero y Puerto Sajonia. *

(4) Tarsia halló en pleno Chaco, a unos 100 Km. al oeste de la orilla derecha del Río Paraguay, un escudo casi completo de *glyptodon*. Este hecho demuestra que el *glyptodon* murió ahí en donde fué hallado porque si hubiera sido arrastrado por las aguas el escudo, muy frágil, se hubiera fraccionado en las placas óseas que lo constituyen.

Faja comprendida entre la región oriental y la occidental: toscas y bañados.

El curso del río Paraguay, por un trecho, tanto al norte como al sur de Asunción, sigue la costa del antiguo continente paleobrasileño, la cual está formada por areniscas de color anaranjado.

Estas areniscas contrastan con los aluviones, casi negros, indudablemente postpliocénicos, de los varios "bañados" que azolvieron los antiguos golfos del mar chaqueño. Por brevedad llamaré, convencionalmente, como los asuncenos, "tosca" a las areniscas y "bañado" a los aluviones cubiertos de agua esporádicamente.

El mapa (fig. 1) nos muestra claramente la ubicación de las dos sobremencionadas formaciones. Las áreas ocupadas hoy por la formación "bañado" y en el plioceno por el mar chaqueño están rayadas.

Al sur de Villa Hayes, sobre la orilla izquierda del Río Paraguay, se hallan tres antiguos golfos del continente paleobrasileño: el de Arecayá (frente a la isla San Francisco), el del Banco San Miguel (con el Cerrito) y el de Tacumbú. Sobre la orilla derecha (Chaco) frente a la loma de Piquete-cué, las toscas continúan en una antigua isla sobre la cual, además de los pueblos de Villas Hayes y Benjamín Aceval, está el Cerro Verde.

Dicha isla está rodeada por los bañados de los ríos Verde y Confuso como por las aguas del río Paraguay. (Fig. 1)

Todas las lomas sobre la orilla izquierda del Paraguay, un poco más arriba y abajo de Asunción, están formadas por tosca. Dichas lomas están desnudas en sus "lomos" y tienen sus "pies" cubiertos por la formación bañado.

Esta, por lo tanto es más joven que la tosca. Las estratificaciones de las dos formaciones están en discordancia.

El color de la tosca varía desde el de un ladrillo pasando por el marrón más o menos claro, hasta al anaranjado rojizo.

Desde las muy duras gradualmente se pasa a las tierras lateríticas. En su composición, además del hierro y del aluminio, es abundante el anhídrido silícico. Las toscas en varios lugares de la zona han sido metamorfoseadas por los basaltos como se dirá más adelante. En Asunción la tosca se encuentra en muchos pozos o aflorando en la parte más alta de las lomas, como por ejemplo bajo la iglesia de la Encarnación. También está cortada por las trincheras naturales del Mburicaó, del arroyo Tacumbú, y de las varias "Salamancas", como la existente al término de la calle Perú en el Parque Caballero.

La pintoresca costa del Varadero, con las dos puntas: Ñaró e Itá-pytá, también está formada por la tosca.

La tosca, que está muy erosionada, y por lo tanto, fue por larguísimo tiempo superficie continental, ha sido clasificada por distinguidos autores como triásica (serie "Misiones"). Esto es muy probable pues las arenas sin fósiles, que constituyen la tosca, como el Löss, han sido acumuladas por el viento procedente de los desiertos.

Los conos volcánicos sientan toda o parte de su base sobre la formación bañado.

Los necks perforan dicha formación "bañado", que es sin duda, postpliocénica.

Por lo tanto los conos volcánicos y los necks son también postpliocénicos. Además, si se llegara a demostrar que las toscas no fuesen triásicas, sino de cualquier otro período, Tacumbú y Lambaré serían siempre postpliocénicos, porque sus conos se superponen, no solamente a las mencionadas toscas, sino también a la formación bañado.

Más al sur de Villeta, la antigua costa del continente paleoamericano se aleja mucho de la orilla izquierda del Paraguay y es representada por un alineamiento de alturas, de rocas arcaicas, que llega cerca de Encarnación.

Entre el triángulo formado por dichas alturas y los ríos Paraguay y Paraná, están situados el lago Ypoá y el estero Ñembucú.

La llanura del Chaco fue, sin duda, hasta el postplioceno un mar, cuyo nivel no pudo coincidir con aquel del mar actual, porque hay evidentes pruebas, en muchísimas localidades del planeta, de que la superficie marina se levantó y se bajó, alternativamente repetidas veces.

Hubo pues "ingresiones" y "regresiones" marinas a las cuales respectivamente correspondieron sumersiones y emersiones continentales.

Isostasia fue llamado por el geólogo norteamericano Dutton este movimiento basculante a lo largo de las costas continentales. La isostasia, que presupone la plasticidad del planeta, se puede explicar sintéticamente como sigue: La erosión tiende a borrar los continentes rebajando progresivamente sus altitudes mientras deposita pilas de estratos cuyo peso hace hundir el fondo oceánico.

Para establecer el equilibrio así turbado el fondo del océano ejerce una enorme presión contra los sedimentos que están a lo largo de los zócalos continentales.

Dichos sedimentos se arrugan, emergen y reconstruyen los continentes aplicando sobre sus bordes sucesivas cadenas montañosas. No hay que olvidar que los movimientos isostáticos no fueron continuos y que sus fases no tuvieron igual duración. Además la sedimentación varió en el tiempo y en el espacio.

Hubo pues fases en las cuales la sedimentación fue ingente y rápida. En estas fases el agua de las intercomunicantes cuencas oceánicas rebosó (recubriendo vastas áreas continentales) como la de una palangana en la cual se echara una gruesa piedra.

No hay que caer en exageraciones y esquematismos atribuyendo las dislocaciones de la cáscara terrestre exclusivamente a la isostasia.

Esta es una de las causas reales accesorias, las cuales, siguiendo un criterio ecléctico y prudente, no solo no se excluyen sino admirablemente armonizan.

El gran geólogo vienés Suess (1875) niega las oscilaciones verticales de la litosfera.

Para este autor el nivel marino subiría por acumulación de sedimentos y bajaría por hundimientos debido al progresivo enfriamiento y contracción de la cáscara terrestre.

En la actualidad la isostasia es aceptada por la mayoría de los geólogos. Recapitulando, existen dos grandes movimientos de la costra terrestre: los epeirogenéticos, es decir generadores de continentes (denominación de los autores norteamericanos), y los orogenéticos, es decir generadores de montañas.

En estos últimos la litosfera se arruga. En cambio en los epeirogenéticos no ocurre tal cosa, de manera que los continentes suben y bajan como tablas rígidas.

Existe además una tercera categoría de movimientos de suba y baja limitados a pequeñas áreas continentales observados en trechos de las costas escandinavas e italianas.

El italiano Issel, que por primera vez los interpretó magistralmente, los denominó "bradisismi".

En los bradisismos, que no son causados por la isostasia, el nivel del mar queda invariado mientras que es la tierra que se hunde o se levanta lentísimamente.

Yo hallé las pruebas de la sumersión postpliocénica del cabo Vaticano en Calabria (ver mi monografía "Marmitta di giganti e bradisismi di capo Vaticano")

en Comentaciones de la Pontificia Academia Scientiarum — vol. XII N° 4 año 1947, Ciudad del Vaticano (Roma).

El distrito volcánico objeto de la presente monografía pudo ser sometido no solamente a los movimientos epirogenéticos y orogénicos sino también a los bradisismos.

Además que por las causas geológicas el nivel marino varió por otros factores cósmicos y meteóricos como la precesión de los equinoccios y las grandes glaciaciones.

Al aumento de los hielos polares corresponde una bajada de los océanos, al derretimiento una subida.

Hay que tener en debida cuenta que la boca del Río Paraguay, a medida que la cuenca del mar chaqueño se iba llenando, se desplazaba más hacia el sur, hasta a confluir con el Paraná.

Los aluviones del Paraguay y de sus afluentes se sobrepusieron por último a los sedimentos orgánicos y a las tierras que el viento había acumulado en la cuenca del mar chaqueño.

Concluyendo, por las razones expuestas, el hecho de que el nivel del Río Paraguay, cerca de Asunción actualmente se halle a 55 metros sobre el nivel marino no constituye ninguna prueba contraria a cuanto afirmo sobre las relaciones entre los continentes y los mares antiguos.

3 — Nota bibliográfica.

Sobre el tema de que trato la bibliografía se reduce exclusivamente a mi nota preliminar "Vulcanismo postpliocénico andino a lo largo del río Paraguay". Soc. Científica del Paraguay Conf. 1962. En este artículo por primera vez se publican sintéticamente algunas pruebas que los cerros estudiados son verdaderos volcanes y además que pertenecen geológicamente a los Andes.

Están dedicadas pocas palabras solamente sobre los dos cerros de Tacumbú y de Lambaré en los trabajos del argentino Horacio Harrington y del norteamericano E. B. Echel.

1950 — Horacio Harrington "Geología del Paraguay Oriental" contr. Cient. Serie E, Geología pág. Tomo 1 Univ. de Bs. Aires.

Trabajo de 82 pág. con: 2 perfiles, 2 mapas geológicos, 2 láminas fotográficas de fósiles.

En este trabajo están los resultados del primer reconocimiento geológico de la zona central del Paraguay oriental.

El autor además de descubrir nuevos horizontes fosilíferos establece las nuevas series de: Itapucumí, Caacupé, Itacurubí, Independencia y Misiones. Fué posible a Harrington recoger, en apenas dos meses de viaje, tan grande cantidad de observaciones porque —como el mismo recuerda— tuvo como guía al prof. Ricardo Boettner, de la Universidad de Asunción.

El autor nos informa que las noticias sobre la zona norte del Paraguay oriental, están tomadas del artículo de Boettner "Estudio geológico desde Puerto Fonciére hasta Toldo-cué" Rev. de Química y Farmacia Univ. Nac. del Paraguay V. 1 N° 2 pág. 25.

Harrington menciona que en las peripecias de su viaje, realizado durante la revolución del Paraguay, perdió sus muestras de rocas entre las cuales las de Tacumbú y Lambaré cerros que se hallaban en la zona menos indicada para efectuar tranquilamente un estudio.

Por este percance el autor, dando prueba de seriedad científica, advierte al lector que por las noticias contenidas en el párrafo "Neck y plutones de edad dudo-

sa", pág. 42 de su publicación, está obligado a conformarse con "transcribir algunas notas de campaña con simple descripción macroscópica de las rocas". Después de esta franca admisión, evitaré la crítica y la polémica, hija del orgullo, porque la geología, que me contraponen como un pigmeo a las gigantescas y misteriosas fuerzas de la naturaleza, me enseñó la humildad.

Harrington demuestra brillantemente, con pruebas estratigráficas que convencen, que el lago de Ypacaraí está entre dos fracturas, hecho muy interesante para nuestro estudio como se dirá más adelante.

1956 — Horacio Harrington "Paraguay" pág. 99 - 114 del Handbook of American Geology Gerl. Soc. Amer. Memor. 65.

1959 — E. B. Hechel "Geology and mineral resources of Paraguay" - Un. St. Ge v. Printing Office Washington.

Esta publicación ilustrada por muchas espléndidas microfotografías, trata particularmente de petrografía, y, sirve como complemento al estudio de Harrington.

Hechel publica una foto aérea del Cerro de Acahay para demostrar que se trata de un volcán a caldera. Además, presenta dos microfotografías: una de la lava y otra de la escoria del mismo cerro.

El mencionado autor, sin establecer la edad del volcán, dice que es muy joven.

No puedo opinar sobre el cerro de Acahay porque no lo he estudiado. De cualquier modo es interesante que otro investigador haya hallado un volcán un poco al Este del alineamiento estudiado por mí.

Estando mi trabajo especialmente dedicado al volcanismo no cito sino las obras estrictamente afines al tema y por mí consultadas, cuyas notas van intercaladas en el texto.

Cabe destacar, finalmente, que sobre los filones aflorantes de magma anaranjado así como sobre las areniscas metamorfoseadas de la zona estudiada, no existe referencia bibliográfica alguna.

CAPITULO II

CERRO DE TACUMBU (5)

I — Base del cono.

Para entender este capítulo además de las fig. I, III y XVIII observar particularmente la II (6)

El cerro de Tacumbú está en el radio urbano de Asunción, al borde de una zona de bañados que flanquean a la orilla izquierda del Río Paraguay.

El cerro se eleva solamente 90 ms. sobre el nivel del mar. La cumbre de Tacumbú es 35 metros más alta que el nivel medio del río. Este a su vez está en este trecho a 55 metros sobre el nivel del mar.

(5) Etimología del nombre "Tacumbú". El hecho de que el hombre no fué testigo de la erupción de Tacumbú no nos impide deducir que los guaraníes, por analogía a los volcanes dejados en el originario Caribe, llegando en presencia de un volcán apagado le dieran un nombre que, según el Dr. Gustavo González, presidente de la Sociedad Científica del Paraguay, es muy apropiado. En efecto: Itá-acú-mbú = Piedra-caliente-explodir. El precitado Dr. González, en ocasión de una conferencia que dió el 25 de Mayo de 1963, sobre el argumento tratado en la presente publicación, propuso la edificación de un monumento que perpetuará el lugar de la unión entre la hija del cacique Kupiraty y Juan de Salazar, por cuya base se utilizaría, in situ, un zócalo de basalto del Neck de Tacumbú en vía de destrucción.

La altura tiene la forma de un bajo troncocono, en cuyo borde superior aparecen, de manera discontinua, las paredes de un cilindro de rocas oscuras. Se llega a Tacumbú bajando la calle Colón y después de pasar un puente que flanquea una profunda zanja.

Desde la cumbre del cerro Lambaré (154 m. sobre el nivel del mar) se ve espléndidamente que el troncocono de Tacumbú hacia levante está arrimado a la costa de un antiguo golfo del continente paleoamericano, mientras hacia poniente surge de los aluviones que llenaron el antiguo mar pliocénico del Chaco.

Mirando desde la cumbre de Tacumbú —especialmente hacia N. E.— se vé claramente que, tanto las cuevas del cerro como las areniscas coloradas, sobre las cuales está edificada Asunción, están fuertemente inclinadas en sentido contrario, determinando entre ellas un pequeño valle.

Obsrvando desde lo alto de Tacumbú las alturas de arenisca colorada se nota que estas forman hacia el este un arco de círculo en cuya concavidad se insinúa la base del cono.

Hacia oeste y noroeste se ve que las cuevas del cono bajan rápidamente sobre la calle 22º (calle de los cuarteles) ; luego, insensiblemente, degradan hasta la laguna Yacaré Yrupé. (7)



Fig. II— MAPA DE TACUMBÚ 1: 10.000 - equidistancia mts. 5 P = postplioceno T = triás
 — límite entre el postplioceno y el triás.

(6) La fig. II es copia reducida a la mitad del "Plano General de Asunción" 1: 5.000 que levantaron B. Frey y V. Ospensky en 1956. Me he basado sobre el mencionado plano de la "Corposana" en el cual los cauces de los arroyos y las alturas están representadas con una máxima fidelidad pues la equidistancia entre las curvas de nivel es de un solo metro. Tanto el plano del cual se trata como la carta topográfica del Inst. Geog. Miñ. indicaban por Tacumbú en el 1956 la cota de m. 90.

(7) Yacaré-Yrupé = cocodrilo— tamiz. Nombre de la planta acuática Victoria regia.

Esta laguna, que nunca se seca completamente, es una depresión, correspondiente al antiguo curso del río Paraguay, que se desplaza continuamente hacia poniente.

En la actualidad la laguna de Yacaré Yrupé está en fase de azolvamiento.

Sobre las costas occidentales de Tacumbú dos pozos artesianos perforan hasta 100 ms. de profundidad el postplioceno. (Fig. II)

Hacia oeste y suroeste la base de Tacumbú, pues, indudablemente se asienta sobre terrenos postpliocénicos sobre los cuales se están depositando los aluviones actuales. (Fig. III)

Dichos terrenos además, sin interrupción, continúan por 600 Km. en el Chaco, hasta los pies de los Andes.

Estudiamos ahora las relaciones entre la base del cono de Tacumbú y el mencionado arco de círculo de alturas triásicas en el cual dicha base se insinúa entre S. E. y N. O.

Las alturas en cuestión son dos: una es la del parque C. A. López y la otra es la que yo denomino "Cota 120", desde cuya cumbre bajan divergiendo la Diagonal Tacumbú, la Av. Mallorquín, calle Yegros y Calle Yataty-corá.

Estas alturas están divididas por un curso de agua no permanente, que en un primer trecho está dirigido de N. E. - S. O., después de chocar contra la base de Tacumbú, dobla con un ángulo de 90° hacia N. O., rozando el cerro en una profunda zanja sobre la cual pasa el puente de la calle Colón. (Fig. II)

Este curso de agua, aparte de su importancia para el estudio de la base, es muy interesante —como se verá adelante— por las muchas otras observaciones que se pueden hacer a lo largo de su cauce.

Al arroyo de que se habla asignan diversos nombres tanto los nativos como los mapas. En la hoja Asunción del mapa 1:50000 del Instituto Geográfico Militar paraguayo está marcado, pero sin nombre.

En adelante, para evitar confusiones y, por razones de brevedad, lo denominaré "Arroyo Tacumbú".

Desde el puente de la calle Colón por un primer trecho de más o menos 450 ms. el arroyo cava su cauce en las areniscas; luego, hasta la desembocadura en el Río Paraguay, por igual distancia, en los terrenos postpliocénicos y actuales.

Hacia el este, entre las opuestas vertientes de Tacumbú y de la cota 120 ms. existe un paso sobre el cual se cruzan las calles Ayolas y Diagonal.

Desde este paraje, donde las aguas acumularon terrenos aluvionales que determinaron una pequeña elevación, bajan dos vallecitos con direcciones opuestas, una al N E y la otra a S O.

Observando el terreno y las curvas de nivel del mapa, resulta muy claro que Tacumbú surgió como un volcán costanero que el mar chaqueño rodeó con excepción del costado E. en que estaba unido por un istmo a la tierra firme.

Pozos. Observando con método y paciencia, los pozos de la zona, se llega a la conclusión de que las areniscas siguen el contorno general de las curvas de nivel y enseguida bajan en profundidad.

En efecto, subiendo por el pequeño valle que desde la calle 22°, con dirección S O — N E, termina en la encrucijada de la calle Ayolas con la Diagonal, se observa que los pozos de la derecha —es decir, aquellos de la cota 120— perforan las areniscas, mientras que los pozos de la izquierda, —es decir los que están sobre las cuestas de Tacumbú—, perforan terrenos aluvionales.

Los dos alineamientos convergen, siguiendo las curvas de nivel, en el paso existente entre Tacumbú y la cota 120 ms.

En este paraje existen dos pozos, ambos de 12 ms. de profundidad, situados uno frente al otro a 50 ms. de distancia. El que está sobre las cuestas de Tacumbú perfora terrenos aluvionales, mientras que el otro que está sobre las opuestas cuestas de la cota 120 perfora areniscas, demostrando que existe un plano divisorio entre las dos formaciones. (Fig. II y Fig. III)



Fig. III Corte geológico natural de la base de Tacumbú (no a escala) orientado de Este a Oeste (como la Avda. Diagonal de Tacumbú).

Desde el paso precitado una calle flanquea el cono de Tacumbú, siguiendo la curva de nivel de los 85 metros, y une la Diagonal con la calle Colón.

Los pozos situados en la vera inferior tienen una profundidad de 12 ms. mientras que los de la vera superior tienen 16 ms. perforando todos terrenos aluvionales.

En el punto donde el arroyo Tacumbú roza el cono, doblando su curso de 90° hacia el N O, las curvas de nivel de la altura del parque C. A. López dirigen marcadamente sus convexidades arrimándose al cerro Tacumbú.

En este punto hay arenisca bajo el cono pues, un pozo de 12 ms. nos lo demuestra con evidencia.

Enseguida las curvas de nivel de la altura de C. A. López se alejan de Tacumbú a quien muestran sus concavidades.

Un pozo de 12 ms. de profundidad situado sobre las cuestas de Tacumbú, casi enfrente al puente de Calle Colón, perfora terrenos aluvionales al lado mismo de las areniscas en las cuales el arroyo Tacumbú talló una profunda zanja.

Esto demuestra que las areniscas en este punto bajan enseguida verticalmente en profundidad.

Después del puente de la calle Colón los pozos que se encuentran más o menos a 50 ms. de la orilla izquierda del arroyo Tacumbú perforan terrenos postpliocénicos demostrando que las areniscas llegan solamente bajo la periferia del cono y luego se hunden.

En conclusión, la base del cono de Tacumbú se asienta, sin duda, sobre la línea divisoria entre la formación de tierras negras postpliocénicas chaqueñas y las areniscas coloradas triásicas. Por lo tanto, no es rigurosamente exacto afirmar apresuradamente, como hace Harrington, que Tacumbú perfora exclusivamente el triásico. Esto no lo digo para sofisticar sino porque tiene mucha importancia para nuestro estudio como se verá más adelante.

2 - Restos del cono.

Los restos del cono de Tacumbú muestran, con evidencia, estar constituidos por magma despedazado en: bombas, bloques, lapilli, arenas y cenizas. El "magma", como es sabido, es una mezcla de silicatos, licuados por la altísima temperatura, que contiene en solución gases, que llegan a ser explosivos por compresión y producen las erupciones volcánicas.

De los citados proyectiles solamente las bombas tienen forma determinada, los otros no la tienen. En volcanología se atribuye el término "bloque" a fragmentos de magma que presentan ángulos diedros y tienen un volumen variable, desde más de 1 metro cúbico, hasta el de un limón.

Los "lapilli", que en latín significa pequeñas piedras, son fragmentos de magma cuyo diámetro está comprendido entre 5 y 50 milímetros.

Los detritos de menos de 5 milímetros son llamados "arenas". Al polvo impalpable se lo denomina "ceniza".

Escorias son los proyectiles cuya superficie presenta cavernas debidas al desaprisionamiento de los gases.

Cuando los mencionados proyectiles están soldados en un conglomerado, más o menos compacto, como lo de Tacumbú, entonces estamos frente a una estructura llamada toba a la cual los vulcanólogos italianos denominan "tufo". En una toba volcánica los constituyentes están coáticamente dispuestos como los de una morena. Cuando el porcentaje de bloques y bombas aumenta mucho la toba se convierte en "ripió volcánico" al cual corresponde la denominación italiana "breccia volcánica". (Fig. IX)

Los obreros de la cantera de Tacumbú llaman ripio al conglomerado como a las piedras sueltas que lo constituyen.

El cono de Tacumbú es, pues, un "cono detrítico".

En este volcán, antes se abrió la boca eruptiva, y después, alrededor de esta boca fueron arrojados los fragmentos del magma. Según la potencia de las explosiones y el peso de los proyectiles, estos cayeron más o menos lejos de la boca eruptiva, construyendo un troncocono en el cual se abrió un cráter.

Los materiales proyectados se dispusieron en un conjunto de estratos inclinados regularmente tanto hacia la boca de la chimenea volcánica como hacia la circunferencia de la base del cono.

Los vulcanólogos italianos llaman al conjunto de dichos estratos "quacuaversale" — (pronuncie: cuacuaversal) — y hacen distinción entre cuacuaversal interna y externa. En sección la cuacuaversal aparece como una pila de M mayúsculas superpuestas. (Fig. IV — 1 y 2)

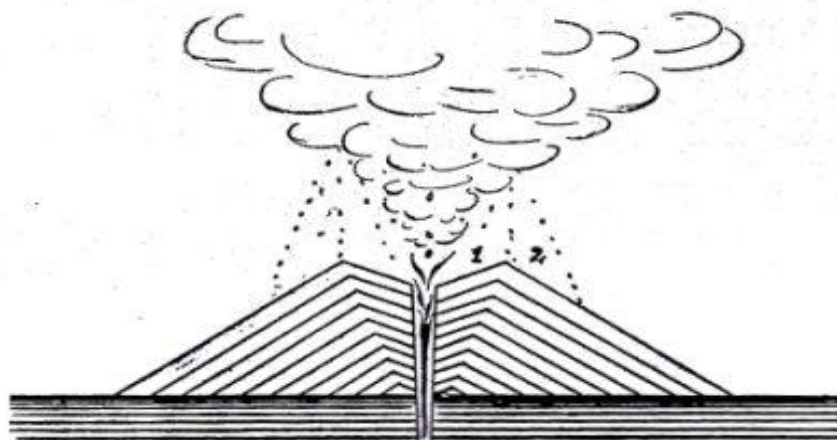


Fig. IV 1a. FASE: FORMACION DEL CONO cuacuaversal interna 1 cuacuaversal externa 2

De lo antedicho se deduce que tanto en la "cuacuaversal" externa como en la interna el estrato que está bajo todos los demás fue el primero en ser depositado; mientras aquel que está en la cumbre fue el último.

La vida de Tacumbú, como la de Monte Nuevo — que nació cerca de Nápoles en 1538, — se redujo a una sola erupción. Esta tuvo dos fases: en la primera, que fue explosiva, la altísima presión de los gases despedazó el magma en lapilli que forman la parte predominante del cono. En la segunda fase efusiva, disminuyó la tensión de los gases que tuvieron solamente la fuerza para hacer subir por la chimenea una columna de lava que no rebosó del cráter. Esta columna al subir declive es "monoclinal" (Fig. V)

ensanchó la chimenea destruyendo toda la cuacuaversal interna. Tacumbú, por el hecho de haber quedado con la sola cuacuaversal externa, es decir, con un solo

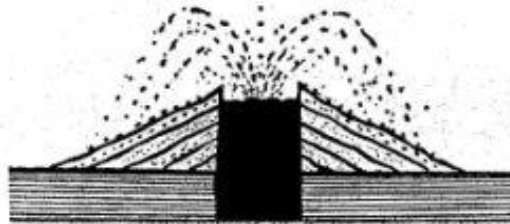


Fig. V 2a. FASE: la lava sube destruyendo la cuacuaversal interna (cono monoclinal)

En esta segunda fase, desde el cráter, además de bombas, fueron proyectados muchos bloques, que se dispusieron como un poncho sobre las espaldas del volcán.

Terminada la acción constructiva del fuego empezó la destructiva del agua. Desaparecieron primeramente los estratos superiores y por consecuencia el cráter. (Fig. VI)



Fig. VI 3a FASE: destrucción del cráter

Los bloques de los estratos superficiales rodaron por las cuestas del cono formando alrededor de su base un anillo que todos los pozos tienen que empezar a perforar.

Estos bloques muestran ángulos diedros redondeados y superficie lisa de color gris casi blanco. Este aspecto antiguo es debido a las acciones del sol, del viento y del agua, a las cuales fueron sometidos antes de rodar hasta la base del cono.

Dichos bloques están sueltos; forman una acumulación pero no un conglomerado, ya que los lapilli, las arenas y las cenizas que los rodeaban fueron llevados por las aguas. Los bloques que estudiamos se pueden observar no solamente en los pozos sino también en excavaciones existentes alrededor de la base de Tacumbú.

En una fase de erosión más adelantada desaparecieron los estratos de toba situados en la parte más alta del cono y empezó a aflorar el "neck" es decir la columna lávica incluida en dicho cono. (Fig. VII)



Fig. VII 4a. FASE: aparición del Neck

En la actualidad, la obra del hombre mucho más destructiva que las fuerzas de la erosión natural, está por borrar al cerro de Tacumbú. En 1928, cuando yo dirigía la Chacra Experimental de Tacumbú, subía a menudo sobre el cerro, todavía recubierto por un bosque, y me acuerdo, que mi mirada podía abarcar un horizonte más vasto que el actual.

En el Instituto Geográfico Militar y en otros Entes no pude hallar noticias sobre la altitud de Tacumbú anterior a la explotación. Según me han dicho viejos mineros el cerro desde 1928 bajó más de 10 mts.

Antes de iniciarse la explotación Tacumbú con mucha probabilidad tuvo una altitud de 130 mts. sobre el nivel del mar.

El hombre, como un gusano, rechazando la cáscara, carcomió la columna lávica incluida en el cono. El corte de la cantera se realiza de norte hacia sur; desde la calle Colón hacia la Calle Ayolas. Sobre esta última calle se halla la parte más alta de Tacumbú. Del antiguo bosque quedó solo hacia poniente una zona recubierta por yerbas y arbustos.

La cantera tiene la forma de un enorme pozo cuya parte más honda se halla hoy a más de 10 metros bajo el nivel de la calle Colón. (Fig. II)

En la actualidad tres trincheras cortadas en una altura en forma de hoz, alta más o menos 15 metros, ponen en comunicación el pozo de la cantera con el último trecho de la calle Colón, comprendido entre el puente y el cuartel del R. I. 14.

La dicha altura en forma de hoz es el resto del cono. Su concavidad, que corresponde a la chimenea, baja casi verticalmente en la cantera mientras su convexidad declina hacia la calle Colón al norte.

La constitución del cono se puede estudiar espléndidamente caminando por la más estrecha de las tres trincheras mencionadas sobre cuyo piso están los rieles que ponen en comunicación la trituradora de piedra instalada en la calle Colón, con el interior de la cantera. (Fig. II)

En las dos secciones que flanquean dicha trinchera se ven unos bancos constituidos principalmente por lapilli de color herrumbre, con poca arena, inclinados hacia el norte. (Fig. VIII)

Los bancos están separados entre sí por estratos de ceniza amarillenta de un centímetro de espesor, inclinados igualmente hacia el norte, los cuales nos indican las explosiones más potentes, que llegaron a pulverizar el magma. Los bancos de lapilli en discurso representan a los estratos más profundos de la cuacuaversal que se depositaron inmediatamente alrededor de la boca eruptiva y son los más antiguos.



Fig. VIII PARED DE LA TRINCHERA ENTRE C. COLON y EL INTERIOR DE LA CANTERA (ver fig. II)
El obrero muestra un grupo de bloques incrustados en la pared. Entre ellos hallé la bomba No. 1 de la fig. XIII

Mirando el perfil de la trinchera se nota que: al sur, hacia el interior de la cantera, es decir hacia la chimenea del volcán, los lapilli, las bombas, las escorias y los bloques, los cuales abundan, son metamorfoseados y cementados en el conglomerado compacto que los obreros llaman ripio. (Fig. IX)

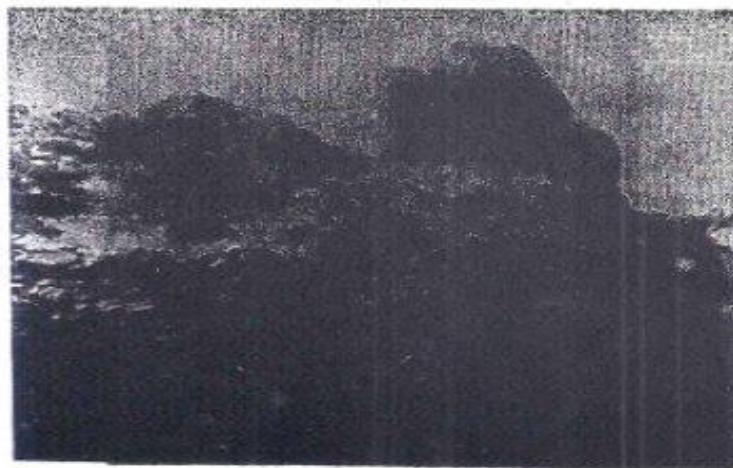


Fig. IX RÍPIO DE LA PARED DE LA CHIMENEA VOLCÁNICA

Este se transforma gradualmente, hacia la calle Colón al norte, es decir hacia la periferia del cono, en una toba poco cementada la que apretada entre los dedos, se divide en los lapilli, que en prevalencia la constituyen. Las bombas, incrustadas en las paredes de la trinchera son pequeñas y recubiertas por óxido de hierro. Sus dimensiones varían entre las de una nuez y la de una naranja. Una de las más grandes de ellas estaba cementada en la toba de la pared de la trinchera con una superficie plana. Por lo tanto esta bomba cuando cayó estaba todavía semi-fluida pues se acható. Hacia oeste en una trinchera, que pone en comunicación calle 22° con la cantera, se ven muy claramente unos bancos de lapilli inclinados hacia el poniente.

En las cuevas meridionales y orientales del cono, en excavaciones existentes entre las casas se ven también bancos de lapilli inclinados respectivamente hacia el sur y el este. Los estratos de lapilli están pues inclinados hacia los 360° grados de la circunferencia basal del cono como es ley de la cuacuaversal.

Los restos del cono de toba constituyen la demostración más segura de que Tacumbú es un verdadero y completo volcán.

Estos restos, además, como se demostrará más adelante, nos indican, con seguridad, que Tacumbú es postpliocénico.

3 — Fisuración prismática del cilindro lávico enfriado en la chimenea.

Entrando en el enorme pozo de la cantera, que está cavada en el cilindro de lava enfriado en la chimenea, y, mirando todo a la redonda, la primera cosa que enseguida atrae la atención, es que casi toda la roca está fisurada en gruesas columnas prismáticas, de las cuales muchas llegan a 4 metros de altura. La mayoría son pentagonales; pero no faltan las de otra forma. (Fig. X)



Fig. X FISURACION PRISMÁTICA DEL BASALTO EN LA CANTERA DE TACUMBU

Estos prismas prueban la naturaleza volcánica de Tacumbú, pues, se forman por enfriamiento y contracción que pueden tener una sola causante: la erupción.

Sobre este particular todos los geólogos concuerdan:

La contracción que sigue al enfriamiento para algunos autores es muy rápida y para otros muy lenta. De Laparent opina que las lavas basálticas se fracturan rápidamente sólo cuando entran en las aguas.

Mi maestro Giuseppe De Lorenzo en su trabajo sobre el neck subétnico di Motta San Anastasia (Rend. Ac. Lincei 1907) demuestra que la fracturación puede efectuarse también sobre la tierra. Según el precitado autor la fisuración prismática se produce muy lentamente después que el basalto se ha recubierto de una cáscara cohibente, la cual — además del calor — conserva también una parte de los gases, que con su presión influyen en el fenómeno.

De estos estudios nació la ley que "los prismas son perpendiculares a la superficie principal de enfriamiento". Con respecto a la superficie terrestre son verticales en los expandimientos lávicos y horizontales en los diques.

Desde el punto más bajo de la cantera se observa que las columnas en que está fisurado el basalto — que son todas paralelas entre sí y perpendiculares a la superficie terrestre — disminuyen progresivamente en número y dimensión hacia el fondo y el perímetro de la excavación, perímetro y fondo que están formados por basalto compacto.

Dicha disposición resulta mucho más clara si nos hacemos la imagen mental de Tacumbú al emerger de las entrañas de la tierra con una copa negra y compacta de basalto levantada al cielo que lleva en su seno las inflorescencias de sus prismas de fuego.

Esta selva de columnas son para H. Harrington "una incipiente tendencia a disjunción columnar vertical" (v. op. cit. pág. 42).

Esto se puede explicar solamente con una distracción de dicho autor en la transcripción de las notas.

De cualquier modo, por intuición, se puede afirmar que el basalto de Tacumbú presenta fisuración prismática, también sin llegar al cerro, porque en muchos bloques que provienen de la cantera se observan ángulos diedros.

4 — Bombas intercratéricas.

En Tacumbú, además de las pequeñas bombas ya mencionadas caídas sobre el cono, hallé grandes bombas que evidentemente cayeron en la misma boca del cráter que las había lanzado.

Estos proyectiles volcánicos habían sido devueltos a la luz pocos días antes de mi visita, en perforaciones hechas en el punto más profundo del piso de basalto compacto de la cantera que se encuentra a 20 metros bajo la cumbre. Esta ubicación excluye de manera absoluta que pueda tratarse de deshacimiento actuado en superficie por el agua, el viento o el sol, como observaran De Lorenzo en el hauymoño del Vulture, Sabatini en la leucotefrite de Vico, y, se nota, también muy a menudo, en una roca ígnea, pero no volcánica, como es el granito. (Fig. XI)



Fig. XI DOS BOMBAS EN SUS SITIOS

Las bombas están constituidas por basalto. La mayor parte de ellas tiene forma esférica y elipsoidal, pocas la de una pera. Muchas, todavía en su sitio, sobresalían más o menos de las superficies laterales y basales de las excavaciones. Algunas habían sido seccionadas, y, mostraban con la máxima evidencia, el núcleo y su envoltorio pluriestrificado. (Fig. XII — XIII y XIV)

Otras, que el pico de los mineros había aislado de la roca que las incluía, estaban alrededor de los pozos juntos con fragmentos de sus involucros, parecidos a los de cántaros.

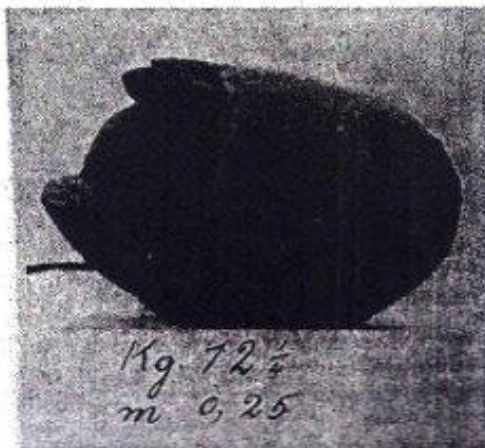


Fig. XII BOMBA SECCIONADA QUE MUESTRA SU NUCLEO Y SU ENVOLTORIO

Muchísimas habían sido apiladas, junto a piedras sin forma especial, listas para la venta. Entre el material más interesante que encontré, figuran muchos bloques de magma en los cuales las bombas habían dejado sus huellas. Algunas de estas huellas, las más cóncavas, fueron producidas por el impacto de las bombas que caían sobre la lava todavía no solidificada que llenaba el cráter.

Otras huellas representan el molde exterior de las bombas que se formó cuando estas fueron sumergidas por sucesivos flujos lávicos.

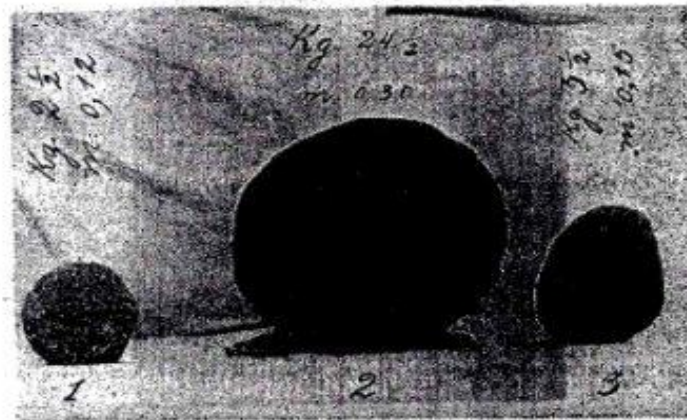


Fig. XIII - TRES BOMBAS: la 1a. hallada en el cono, la 2a. y la 3a. en el cráter

Las bombas después de caer no se derritieron por los fenómenos físico-químicos que se producen cuando la lava se arrima a un obstáculo.

Sobre la lava, tanto cuando sube en el interior de un cráter como cuando baja por las cuestas de un cono, se forma enseguida, por enfriamiento, una cáscara rígida, como una bóveda, sobre la cual, yo, como muchos otros, he caminado sin peligro mientras un poco más abajo de mis pies, fluía el magma a más de 1000° de temperatura.

La marcha de la lava no es continua.

Después de una pausa el forro rígido que la encubre se despedaza por el empuje de sucesivos flujos y el movimiento recomienza. Las escorias producidas por el resquebrajamiento del envoltorio son empujadas hacia adelante como la morena frontal de un glaciar.

Desde el frente de lava se desaprisiona una densa nube de vapores con altísima tensión. La lava al llegar a la proximidad de un obstáculo no lo choca; sino que queda unos centímetros alejada de él. El contacto entre la lava y el obstáculo encuentra un impedimento envencible en la presión de los gases interpuestos. En los pueblos circunvesubianos y circunméneos es de rutina desviar a una corriente de lava, con ciertos muros de piedras sin cal, acumulados apuradamente por todos los vecinos amenazados.

También en el cráter de Tacumbú la presión de los gases hizo imposible el contacto entre las bombas y la lava, la que, a pesar de eso, pasó sobre ellas a la manera de un puente. Quedó, así entre las bombas y su estuche un vacío. Este vacío me permitió extraer algunas bombas; como una nuez de su endocarpio leñoso, quebrando a martillazos la cáscara rocosa que las envolvía. Estos fragmentos del



Fig. XIV BOMBA GRANDE INTERCRATERICA

envoltorio muestran en sus superficies internas cóncavas un estrato cavernoso. Esto se formó por soldadura de pequeñas escorias empujadas adelante por la lava en marcha como antes se ha dicho.

Como es notorio las bombas se forman por el envolvimiento de la lava fluida alrededor de un núcleo de lava solidificada. Dicho envolvimiento es causado por las rotaciones del proyectil en su trayectoria. Para que se forme un envoltorio de muchos estratos es necesario que la bomba tenga una gran velocidad y sea disparada a gran altitud viajando en el aire por un tiempo relativamente largo. Estos hechos pueden ser causados solamente por las potentes explosiones de un volcán.

Además las bombas son admirablemente esféricas y ovoidales. Por lo tanto cayeron después de enfriarse, de lo contrario se hubieran achatadas. Por caer frías tuvieron que recorrer una trayectoria por un tiempo también relativamente largo. Así, siguiendo otro razonamiento, se llega también a la conclusión de que las bombas fueron disparadas por los gases que explotaron en el caño de una chimenea volcánica. Concluyendo la historia de las bombas halladas en el cerro de Tacumbú prueba luminosamente que este fué un volcán.

5 — Notas petrográficas sobre el magma de Tacumbú.

También la estructura del magma de Tacumbú nos indica, sin duda, su naturaleza volcánica.

Como es notorio cuando un magma se enfría en profundidad, bajo fortísimas presiones, está formado exclusivamente por cristales todos visibles sin microscopio.

Si en cambio el magma hizo erupción como en el caso de Tacumbú, entonces está constituido por una pasta fundamental que parece amorfa; pero que en realidad está formada por microcristales de una generación más joven subaérea, en la cual se destacan gruesos cristales de una generación más vieja subterránea.

Las rocas ígneas se diferencian pues sustancialmente según si hicieron erupción o no la hicieron. En la clasificación y denominación de las rocas ígneas hay muchos sinónimos que se usan sin mayor precisión.

Una muestra de la piedra de Tacumbú enviada por A. Linder a L. Milch en Viena fue clasificada por este último en 1905, como limburgite.

E. B. Heckel (V. op. cit.) ha confirmado en 1959 esta clasificación.

La limburgite, según Ettore Artini, ("Le rocce". Manuali, Hoepli, Milán), es un basalto básico constituido por grandes cristales de olivina y augita, incluidos en un cemento de microcristales, también de olivina y augita con substancia vítrea.

Como es notorio las diabasas, los meláfiros y los basaltos forman un grupo sistemático bien definido.

Los primeros son paleozoicos, los segundos mesozoicos y los terceros existen en todo el cenozoico y abundan en el postplioceno. (8)

Concluyendo, también las pruebas petrográficas concuerdan y concurren, con otras más decisivas a indicar que Tacumbú es un nuevo volcán postpliocénico.

6 — Tacumbú es un neck. Consideraciones morfológicas que derivan de este hecho.

En la actualidad, como se dijo, la erosión destruyendo el cono, puso al descubierto la columna lávica en él incluida. (Fig. III y VII)

Semejantes columnas fueron llamadas por Archibald Geikie, que por primera vez las describió, con el término inglés de neck que se traduce en castellano por "cuello" y también por "tapón". Yo sigo el criterio ortodoxo de Gaetano Rovereto que en su muy claro "Trattato di geologia morfológica" dice que el uso impropio de los vocablos "neck" y "laccolito" es ahora muy frecuente.

El citado autor aclara que los neck hicieron erupción por chimeneas anteriormente abiertas y por lo tanto se trata de rocas eruptivas en el sentido estricto de la palabra.

Siempre Rovereto advierte de no confundir los neck con los filones columnares que quedaron bajo la cáscara terrestre y que después fueron descubiertos por la acción del agua.

Para cerciorarse de esto dice que hay que indagar con método y paciencia.

Un neck aparece sólo cuando el cono que lo recubre es de material incoherente; y las aguas prontamente lo destruyen.

Por lo tanto Lambaré, cuyo cono es de dura lava, no puede ser denominado neck como hace H. Harrington.

También no constituyen necks las alturas existentes cerca del altiplano de Ybyturuzú y de Mbocayaty porque, como dice el mismo H. Harrington, están constituidas por sienitas y gabros que son típicas rocas intrusivas.

(8) Los magmas, en lo que se refiere a la distribución geográfica, a la composición química y a la edad, después de Becke, han sido divididos por muchos geólogos en: circumatlánticos, exclusivamente alcalinos y circumpacíficos, alcali-cálcicos. Los primeros serían más antiguos que los segundos.

Esta división no tiene ningún valor como ha sido demostrado, ya hace tiempo, por Washington que halló, en la Isla de Cerdeña, alrededor del cráter del mismo volcán de Monte Ferru, lavas de tipo "pacífico" al lado de lavas de tipo "atlántico".

Probablemente dichas alturas son laccolitos descubiertos en el borde del altiplano que por la erosión retrocede hacia levante. El Cerro de Areguá no es un neck, porque — como estableció Eckel — es de arcosa, roca metamórfica y no volcánica.

Teóricamente un neck, en su última fase erosiva, queda como una columna completamente aislada. Tacumbú no está en esta fase porque conserva todavía un cuello desgarrado representado por las ruinas del cono.

Por el hecho de que Tacumbú es un neck debe tener una chimenea cilíndrica y, siguiendo a Giuseppe Mercalli, es un "neovolcán". Mercalli, que fue director del observatorio vesuviano por muchos años y que puede ser considerado el fundador de la volcanología moderna, establece en su obra fundamental "I vulcani attivi della terra" Milano 1907 E. Hoepli, dos tipos de volcanes: "con chimenea cilíndrica" y con "chimenea a fisura".

A los primeros pone también el nombre de neovolcanes" y a los segundos denomina también "paleovolcanes" o de "tipo islándico".

Alrededor de las bocas de los neovolcanes las erupciones acumulan sus productos que terminan por formar conos que pueden ser de toba, de lava o mixtos.

En los paleovolcanes, también en la misma erupción, los flujos de lava muy líquida se desplazaron continuamente a lo largo de toda la fisura de muchos kilómetros, inundando — a la redonda de sus labios — vastas zonas de manera que no se pudieron formar conos. Las fisuras fueron llenadas por la lava cuando los volcanes se apagaron y por lo tanto, no existen mas rastros de tales fisuras.

Los expandimientos de meláfiros del Alto Paraná en la República del Paraguay han sido producidos por paleovolcanes.

El cono no se forma tampoco en los volcanes submarinos de mar profundo porque, según Mercalli, las pomez y las cenizas son dispersadas por las olas y las corrientes marinas, mientras las lavas son aplastadas sobre el fondo por la presión del agua.

Puesto que el cono puede faltar, Mercalli hace notar que las partes esenciales de un volcán son el fogón y la chimenea desde cuya fisura el magma llega a contacto del aire o del mar.

Concluyo estas consideraciones morfológicas haciendo notar que el hecho de que los volcanes con "chimenea cilíndrica" aumentan progresivamente de número durante el cenozoico, para llegar a ser la forma predominante en la actualidad; es un indicio de que Tacumbú, con mucha probabilidad, es postpliocénico.

Puesto que el volcanismo mesozoico, no solamente en el Paraguay, sino también en todo el mundo, es un volcanismo por "fisura", no puede ser posible que un volcán a "chimenea cilíndrica" sea triásico.

A pesar que ésta, por si sola, no constituye una prueba para establecer con precisión la edad de un volcán, sin embargo concuerda y concurre con otras a demostrar que Tacumbú es postpliocénico.

7 — Tacumbú es postpliocénico.

Tacumbú no puede ser mesozoico por su naturaleza petrográfica, por la forma de la chimenea y porque surgió sobre el borde de la geosinclinal que engendró a los Andes, en el Mioceno.

Pruebas de que Tacumbú es postpliocénico:

1º) *El cono de Tacumbú asienta su base sobre el triásico y el postplioceno, por lo tanto tuvo que ser edificado después de la formación de ambos terrenos. (Fig. II — P — T y Fig. III).*

2º) *Un pequeño cono de toba, tan poco compacta que, apretándola entre los dedos, se divide en los lapilli que la constituyen, es una de aquellas formas efímeras, que la erosión enseguida destruye, y, por lo tanto, no puede ser más antigua que el postplioceno.*

Un cono detrítico poco coherente lleva escrita, pues sobre sí mismo la edad de su nacimiento, que es indudablemente postpliocénica.

Por esta razón, Tacumbú sería igualmente postpliocénica — también si la boca de su chimenea se hubiera abierta mucho más al este — de manera que su cono efímero se hubiera sentado únicamente sobre el triásico.

Todo cuanto arriba se ha dicho sobre este argumento no es solamente una opinión mía, sino que está establecido en principios que son aceptados unánimemente no solamente por autores de monografías como De Lorenzo, Moderni, Sabatini, y otros que han estudiado los efectos de la erosión sobre los conos de toba, sino también por todos los volcanólogos, geomorfólogos y tratadistas de geología general.

3º) *Tacumbú es postpliocénica también si se considera como un neck completamente desnudo, es decir si se niega la evidente existencia del cono.*

La chimenea de Tacumbú, como se demostró, perfora la cáscara terrestre en el plano divisorio entre el triásico y el postplioceno.

Por lo tanto, una mitad de su caño, en sentido longitudinal, está en el triásico y la otra en el postplioceno. Es absurdo que las dos mitades longitudinales de un mismo caño, producido por la misma explosión volcánica sean de edades diferentes. Es igualmente absurdo que las dos mitades, en sentido longitudinal, del cilindro de lava — que después subió y se enfrió en la chimenea — sean de edades diferentes. (Fig. III)

Una ley, aceptada por todos los geólogos, dice "Una formación ígnea es siempre más joven que las dos formaciones sedimentarias entre las cuales se insinúa". Por lo tanto el neck de Tacumbú es también más joven que la formación Bañado que se depositara en el postplioceno y pertenece a los últimos tiempos geológicos.

Cuanto acabo de exponer nos obliga a admitir la siguiente sucesión de hechos:

Primeramente se formaron las areniscas coloradas que en estas latitudes constituyeron la costa del continente paleoamericano; después se depositaron los sedimentos postpliocénicos que abarcaron con llenar el mar pliocénico chaqueño; y, finalmente, la chimenea volcánica de Tacumbú perforó la litosfera sobre el plano de separación entre los terrenos postpliocénicos y los triásicos. Ver (Fig. III)

4º) *Tacumbú es postpliocénica también si se considera como una formación ígnea columnar que no llegó a hacer erupción y que — solo largo tiempo después — fue llevada a la luz, principalmente por la obra erosiva del agua.*

Esto es cierto por la misma prueba que acabo de presentar.

En este caso la sucesión de los hechos sería la siguiente: antes se habrían formado las areniscas triásicas, después se habrían depositado los sedimentos postpliocénicos; luego, en profundidad, sobre el plan de división entre dichos terrenos, se habría encañado la columna basáltica, la cual, por fin, habría sido llevada a la luz, principalmente por la acción erosiva de las aguas.

Se trataría, pues de una formación columnar postpliocénica intrusiva a la cual por lo antedicho no se podría denominar neck.

Para Harrington, Tacumbú sería un neck completamente desnudo, es decir no rodeado por las ruinas del cono, y además perforaría el centro de una vasta zona de areniscas triásicas.

El resultado anterior, guiado por estas premisas — que la observación sobre el terreno demuestra ser falsa — coloca en su sistema publicada en el "Handbook

of South American Geology", en el párrafo "Mesozoico", a todos los conos del área incluida entre Asunción y la depresión de Ypacaraí. Pero, a pesar de esto, luego agrega que son de edad dudosa.

Por las razones expuestas en la nota bibliográfica, parece que Harrington vió de lejos tanto Tacumbú como Lambaré, porque si un geólogo de su capacidad hubiera caminado sobre dichos cerros, hubiera seguramente observado las ruinas del cono indudablemente postpliocénicas, las bombas, las grandes columnas de basalto y, por fin, hubiera visto sobre cuales terrenos asientan sus bases los dos conos en cuestión.

8 — Tacumbú no puede ser el resto de una corriente superficial triásica y tampoco un filón-estrato o un laccolito del mismo período.

Esto no se puede admitir por las pruebas decisivas hasta aquí expuestas siguiendo el método inductivo.

Para eliminar todas las posibles dudas residuales, siguiendo ahora el método deductivo, presento otras pruebas que excluyen la posibilidad de que Tacumbú sea una corriente lávica, un estrato o un laccolito triásico.

E. B. Heckel (Ver. op. citada p. 39) en el párrafo "Olivine Basalt near Asunción" a pesar de que no excluye que dichos basaltos sean "intrusivos" estos le "aparecen como extensas corrientes lávicas".

En el mapa puesto al fin del trabajo de Heckel, al lado de cada una de las ruinas volcánicas objeto de mi monografía está un signo cuya explicación aquí transcribo: "Triásico o jurásico, rocas diabásicas, diabasa y rocas del mismo género en dique, capas intrusivas y corrientes, probablemente estrechamente relacionadas en edad y origen con las lavas de Serra geral".

A) Tacumbú no puede ser el resto de una corriente lávica superficial triásica.

1º) Tacumbú y los otros conos no pueden ser restos de una gran corriente proveniente de levante porque no es posible que de esta grandiosa inundación lávica la erosión haya dejado subsistir solamente una faja a lo largo del Río Paraná y pocos y pequeños rastros aislados sobre el Río Paraguay, borrando completamente toda la parte restante.

2º) Petrográficamente, como ya se dijo, Tacumbú es una roca basáltica neovolcánica que no puede ser confundida con el magma de las grandes inundaciones lávicas del Alto Paraná que además de los autores brasileiros, M. Bertoni, Gaetano Rovereto y el mismo Heckel clasifican como meláfiro, y, por lo tanto, indirectamente como paleovolcanes mesozoicos.

3º) Morfológicamente Tacumbú, — un neck que surge aislado, sobre terrenos no volcánicos — no puede ser confundido con un chato expandimiento lávico.

B) Tacumbú y los otros cerros no pueden ser considerados ni como un filón-estrato ni como un laccolito desnudados por la erosión.

I. Tacumbú no puede ser el resto de un filón-estrato porque recorriendo las trincheras naturales cortadas por el Mburicaó, por la zanja Ferreira y por las "Salamancas", especialmente la más larga y profunda que termina bajo la cárcel, no hallé ningún rastro de dichos bancos de magma intrusivo.

II. Tacumbú no puede ser tampoco un laccolito, es decir una formación ígnea intrusiva que se insinúa en profundidad entre los estratos sedimentarios para después hincharse a manera de escudo o de cúpula.

Tacumbú no es laccolito por las siguientes razones:

1º) No es admisible que un laccolito se haya podido insinuar y formar bajo la delgada y superficial capa postpliocénica sin despedazarla.

2º) Un laccolito es siempre posterior a los terrenos que sublevó e inclinó. Si Tacumbú fuera un laccolito tendrían que verse formaciones dislocadas y levantadas alrededor de su base, especialmente al N. E. donde ésta es cortada por la profunda zanja del arroyo Tacumbú; en cambio esto no se observa en el terreno.

3º) En la precedente hipótesis un laccolito hubiera metamorfoseado profundamente las adyacentes y preexistentes rocas, hecho que no se verificó como claramente se puede ver caminando por el cauce del Arroyo Tacumbú.

4º) La bóveda del hipotético laccolito hubiera aflorado por la erosión a lo largo de la ribera de la laguna Yacaré Yrupé y del cauce del arroyo Tacumbú. Este hecho no se ha verificado.

5º) Por fin los pozos cavados alrededor de la base de Tacumbú no han hallado el basalto como hubiera acontecido existiendo un hipotético laccolito a poca profundidad.

Tacumbú es pues un cilindro lávico que se abisma en las entrañas de la tierra porque solamente la superficie lateral de un cilindro recto puede ser paralela a las perforaciones de los pozos. (Fig. III)

Parece que Heckel se hubiera limitado a estudiar esmeradamente la naturaleza petrográfica de Tacumbú porque si le ha sido suficiente clasificar el Cerro de Acahay como volcán a caldera, sobrevolándolo, con más razón caminando sobre Tacumbú hubiera visto que se trataba de un volcán postpliocénico.

De este estudio teórico sacamos una conclusión práctica: la piedra de Tacumbú no se acabó como muchos creen.

La piedra ya explotada es una cantidad insignificante en relación con la que está todavía enterrada en la columna del neck.

Estas consideraciones sugieren ahondar el pozo de la cantera desde cuyo fondo se podría elevar la piedra a sus bordes superiores con una funicular a contrapesos, de precio reducido, como aquellas utilizadas en Italia para bajar a la llanura los árboles cortados en la cumbre de los cerros.

RESTOS VOLCANICOS SITUADOS AL NORTE DE TACUMBU

CAPITULO III

CERRITO DE TRINIDAD Y AFLORAMIENTO DE YVYKU'ITY

1 — Ubicación.

El cerrito de Trinidad, situado cerca del pueblo homónimo, a ocho kilómetros y medio al norte de Tacumbú, a más o menos ochocientos metros de la orilla izquierda del Río Paraguay, es un neck de unos veinte metros de alto, cuya base circular de unos 300 ms. de diámetro, surge en el centro de una llanura anegadiza llamada "Bañado". (Fig. I)

2 — Base del Cerrito de Trinidad.

Desde el techo del Hotel Guarani, de más de 50 ms. de altura, se ve que las areniscas rojas triásicas forman un arco comprendido entre la loma del Botánico y la altura del parque C. A. López que baja sobre la barranca del Varadero.

La concavidad de este arco está dirigida hacia la orilla izquierda del río Paraguay que constituye su cuerda, delimitando una llanura anegadiza, que tiene más de tres kilómetros de ancho. La tierra negra de las aluviones postpliocénicas que constituyen la mencionada llanura, contrasta con las areniscas coloradas que bajan sobre ella con un alto peldaño.

La llanura en estudio, en la que —además de la Bahía de Asunción— existen muchas lagunas, queda casi toda bajo las aguas durante las crecientes.

El mencionado arco de las areniscas fue un golfo del continente paleo-brasilero contra el cual se quebraban las olas del mar chaqueño hasta el principio del postplioceno. Durante este período las aluviones acabaron azolvando dicho mar para dejarlo reducido a las actuales condiciones. (9)

Esta mirada de conjunto sería suficiente para clasificar como postpliocénico a la base del cerrito de Trinidad; pero observando los terrenos alrededor del camino que a él conduce, todas las dudas quedan eliminadas. Saliendo desde Asunción para llegar al Cerrito hay que seguir primero la avenida Artigas, después —doblando a la izquierda— hay que andar por calle Bañado hasta donde dicha calle termina frente a un pantanal. La calle Bañado, poco después de su encrucijada con la avenida Artigas —cortando una trinchera en las areniscas coloradas— baja al plano de tierra negra del Bañado— A la mitad del camino entre la avenida Artigas y el Cerrito, la calle Bañado atraviesa sobre un terraplen un brazo muerto del río Paraguay, que, como se dijo antes, se desplaza hacia poniente.

Recorriendo pues el trecho terminal de las tantas veces mencionadas calle Bañado se constata que la base del cerrito está de 800 a 1000 ms. distante de las areniscas coloradas, que se ven tanto a la izquierda como a la derecha de la avenida Artigas, yendo de Asunción al Botánico.

3 — Diferenciación en el magma del Cerrito.

En el Cerrito hay tres canteras municipales. La más interesante es la más grande, que tiene la forma de herradura con la concavidad hacia el Río Paraguay. Una excavación, en el centro del piso de la cantera, que está casi al nivel de los pantanos que la rodean, muestra que el basalto se abisma en las entrañas de la tierra. El cerrito es pues un nek. Las paredes de la cantera bajan verticalmente sobre el piso de la excavación.

En el centro, donde son más altas, miden una quincena de metros.

Estas paredes muestran espléndidamente que el Cerrito de Trinidad está formado en prevalencia, por un magma gris, casi negro, como el de Tacumbú el cual rodea completamente unas rocas incluídas, que resaltan sobre el fondo oscuro, siendo de color marrón anaranjado.

Dado que el neck perfora terrenos postpliocénicos aluvionales sueltos hay que excluir que las rocas incluídas hayan sido arrancadas de las paredes de la chimenea volcánica. Estas inclusiones son pues autígenas, es decir que se formaron allí donde actualmente se encuentran.

Además, dado que no hay rastros de apófisis que unan las sobredichas inclusiones con el subyacentes fogón lávico, es evidente que el magma que las constituye no se encunó posteriormente en el magma gris-negro que forma prevalentemente el neck. Concluyendo, las intrusiones en cuestión son, sin duda, una diferenciación del magma producida en una misma erupción.

Sobre la diferenciación magmática concuerdan todos los autores; pues es un fenómeno general el hecho de que en un mismo magma la composición química y cristalina varían de punto a punto.

(9) En el banco San Miguel la sal aflora sobre extensas superficies.

Sobre la causa de la diferenciación los hipótesis son muchas.

También se suma a la diferenciación la alteración. En efecto, es sabido que la olivina, que es uno de los constituyentes principales de los basaltos, es muy alterable.

El análisis óptico, químico cuantitativo y cualitativo de la diferenciación en cuestión, como también la indagación de las causas que la produjeron, indagación que nos lleva al campo inseguro de las hipótesis, excede los límites de una monografía de geomorfología volcánica.

De las observaciones que preceden se deduce que, tanto el magma gris-negro basáltico-olivínico, que por brevedad denominaré "tipo Tacumbú", como su diferenciación marrón-anaranjada, que por la misma razón llamaré "tipo inclusiones trinidadenses", son indudablemente de la misma edad, dado que existen, una al lado de la otra, en el mismo eflujo lávico.

El cerrito de San Antonio, al O. del cono de Nemby; Itá Enramada, un poco al S. de Lambaré; la cantera de Yvyku'ity, un poco al N. del cerrito de Trinidad y la cantera de la base del cerro Verde están constituidos por un magma marrón anaranjado idéntico al de las "inclusiones trinidadenses". (10)

Por consiguiente, tanto los conos de basalto negro como las formaciones filonianas intrusivas de roca marrón-anaranjado son manifestaciones de un mismo volcanismo y constituyen un distrito volcánico bien caracterizado.

Además, las rocas de tipo Tacumbú y las de tipo "inclusiones trinidadenses" se pueden clasificar, siguiendo al petrógrafo norteamericano Washington, como "con-sanguíneas" o "comagmáticas".

Estas constituyen, entre el 25º y el 26º paralelo lat. Sud, a lo largo del río Paraguay, una "provincia petrográfica" bien definida.

La pasta fundamental del magma tipo "inclusiones trinidadenses" tiene una estructura más fina y mucho más substancia vítrea que el magma de Tacumbú.

La roca en cuestión es más frágil que el basalto negro. Martillándola se desprenden astillas convexo-concavas, las cuales dan un sonido parecido a los fragmentos de vidrio, si se las golpea.

También en el magma tipo "inclusiones trinidadenses" resaltan gruesos cristales (fenocristales), de color verde botella, que, con toda probabilidad, son de olivina. Es interesante notar que el magma marrón-anaranjado no presenta fisuración prismática que —en cambio— es tan común en el magma tipo Tacumbú.

4 — Los esferolitos que recubren al Cerrito de Trinidad.

El cerrito de Trinidad está recubierto por un estrato de piedras, casi todas del mismo tamaño, y de forma más o menos esférica.

Estas no constituyen un depósito morénico porque no presenten rayas y no están caóticamente mezcladas a grandes bloques y a limo. También no son un depósito fluvial pues tendrían que faltar en el lado opuesto a la hipotética corriente, en cambio, recubren alrededor todas las cuestas del cerrito.

Los esferolitos en cuestión están dispuestos como las piedras de un empedrado; pues en las concavidades de unos entran las convexidades de los otros.

Estos esferolitos se formaron allí donde ahora están. Se originaron en la lucha entre los gases que se desaprisionaban de la superficie de las lavas basálticas y el agua que las encubría.

(10) Winkelried Bertoni me ha dicho que por el año 1920 tanto el basalto negro como el anaranjado existían, uno al lado de otro, en una misma cúpula, que antes de ser eliminada, afloraba en terminación de la calle Hermandarias, bajo la altura del parque C. A. López a 1½ Km. al N. E. de Tacumbú.

Se trata de un fenómeno muy conocido y se pueden ver espléndidas fotografías de esferolitos sobre lavas basálticas, que han hecho erupción bajo las aguas no solamente en los tratados de volcanología, sino también en aquellos de petrografía y de geología general.

Los esferolitos en estudio tienen en general más o menos la forma y las dimensiones de un huevo gallina; pero no faltan los esféricos.

Están constituidos por un magma muy duro. Martillándolos dan astillas convexo-concavas. En el magma que los forma y, que tiene una estructura más gruesa que la roca que constituye el neck, se notan fenocristales. Los esferolitos en la superficie son de color gris casi blanco mientras que en el interior son gris-café que no llega al gris casi negro de la roca que encubren.

5 — Historia del Cerrito de Trinidad.

El hecho de que en el cerrito de Trinidad no existen rastros de material piroclástico, nos hace deducir que este volcancito nació en una sola y débil explosión, que se limitó a taladrar y despedazar la fina capa de terrenos postpliocénicos, dispersándolos en el poco profundo golfo del mar chaqueño. Por lo tanto no pudo formarse un verdadero cono. En el lugar de esto, los productos de la explosión construyeron un anillo que apenas emergía de las agua circundantes. Este anillo fue en poco tiempo destruido por la erosión.

A la explosión siguió una extrusión de lava, que, siendo densa y pobre en gases, tuvo solo la fuerza para elevarse unos pocos metros sobre la superficie terrestre.

Con lo dicho se puede considerar al cerrito de Trinidad como una ruina volcánica que fué reducida a un neck completamente desnudo, inmediatamente después de su nacimiento.

El cerrito de Trinidad representa un estadio intermedio entre el filón que queda bajo la superficie terrestre y el cono que se eleva imponente sobre la misma. En el magma del neck no se nota la fisuración prismática sino únicamente unas pocas grietas con diferentes inclinaciones. Esta falta, puede, con mucha probabilidad, atribuirse al hecho de que no existe el cono, el cual impide dispersarse al calor y a los gases, de manera que la fisuración pueda producirse muy lentamente, como estableció G. De Lorenzo.

El neck del cerrito de Trinidad es, indudablemente, postpliocénico, pues, ésta es la formación que por último perforó surgiendo como una islita costanera.

6 — Afloramiento de Ybycuity.

A dos kilómetros al noroeste del cerrito de Trinidad, cerca de una capilla con cúpula, situada a la izquierda de la ruta Asunción-Piquete cué, existe un afloramiento de magma tipo "inclusiones trinidenses".

La piedra, que es compacta, con estructura fina, es extraída de manera primitiva de excavaciones poco profundas; y tiene un color marrón-anaranjado apagado, debido probablemente a la alteración producida por la atmósfera.

CAPITULO IV

DIQUE DE REMANSO CASTILLO Y ARENISCAS METAMORFOSEADAS POR EL MISMO

Cerca de Remanso Castillo; sobre la orilla izquierda del Río Paraguay, un dique de basalto tipo Tacumbú forma un promontorio que continúa bajo las aguas del río y determina dos ensenadas. (Fig. I y Fig. XXII)

El dique aflora por más de un kilómetro con dirección N.O. - S.E., 40°, entre dos largas lomadas de arenisca colorada, que forman un pequeño valle por el cual fluye un arroyuelo.

El dique en cuestión, de 5 a 6 metros de espesor, no presenta inclinación respecto al terreno basal.

Sobre sus dos caras más extensas, según la ley enunciada adelante, están emplantados perpendicularmente los prismas que resultan horizontales al terreno.

Tales prismas, que prueban la erupción del dique, son delgados, de 100 a 150 cms. de longitud, con base triangular, cuadrada, pentagonal y caras irregularmente extensas.

El dique en estudio está tal vez unido a un escudo de basalto que aflora apenas en las chacras de la localidad "Remansito" sobre la opuesta barranca chaqueña.

El dique, como un largo muro dirigido 40° a S. E., sin la mínima desviación, con toda probabilidad indica la presencia de una fractura que facilitó su erupción.

A unos 200 metros del dique está una pequeña cantera, cavada en la cúpula de una roca de color rosado, de estructura gruesa, poco compacta, completamente fisurada en delgados o irregulares prismas paralelos entre sí y perpendiculares al terreno.

Dicha roca, que ha sido evidentemente metamorfoseada por contacto de una apofisis del cercano dique, es una arenisca, más o menos silicica, cuyo cemento ha sido parcialmente vitrificado.

Es particularmente interesante porque explica espléndidamente, como se dirá más adelante, otras formaciones similares.

CAPITULO V

CERRO CONFUSO

1 — Ubicación. (Fig. 1)

En el Chaco, desde la misma orilla derecha del Río Paraguay, inmediatamente al sud de la confluencia con el Confuso, surge un cerro troncocónico, formado por la sobreposición caótica de ciclópicas rocas de magma tipo Tacumbú. La altura, que es llamada Cerro Confuso, está situada a cinco kilómetros al sud de Villa Hayes y a igual distancia al norte de Remanso Castillo. El Cerro se eleva unos treinta metros sobre los terrenos que los rodean; pero parece más alto porque está recubierto por un bosque en el cual prevalecen gigantes lapachos que cuando florecen resaltan como manchas rosadas sobre el fondo obscuro de las rocas.

2 — La base de Cerro Confuso.

Las cuevas del cerro hacia el este se precipitan sobre el Río Paraguay al norte se sumergen en las aguas del río Confuso; al N. O. bajan sobre una pequeña terraza fluvial, que el Confuso dejó sobre su orilla derecha cavando los sedimentos postpliocénicos; al oeste degradan dulcemente sobre la llanura del Chaco y —en fin— al sur se inclinan, con fuerte pendiente, sobre un pequeño llano también postpliocénico. Sobre este llano, por el hecho de elevarse un poco sobre los pantanales, ha sido edificada la casa principal de la estancia De los Ríos.

Esta es la descripción de cuanto se ve caminando alrededor de la base del cerro Confuso. Subiendo a la cumbre se sufre una desilusión porque la tupida vegetación impide la vista del panorama.

Hay que trepar árboles oportunamente elegidos para gozar de espléndidos horizontes parciales. Tanto hacia el norte como hacia el sur pueden verse sendos esteros de 5 kms. que separan el cerro Confuso de Villa Hayes, y Remansito. Hacia el

oeste se extiende el Chaco, chato como un océano en calma, recubierto por interminables palmares de "caranday" (*Copernicia Australis*). Hacia el este, fluye el imponente R. Paraguay dividido en dos brazos por la isla San Francisco, de dos kilómetros de ancho. Desde la orilla izquierda del riacho San Francisco, brazo secundario del gran río, se extiende hacia el levante, una llanura, de mas de una legua de ancho, que termina bajo el arco de alturas de Arecayá, cuya concavidad está dirigida al oeste. Esta llanura pantanosa, recubierta por típica flora chaqueña, es cruzada con puentes y terraplenes por la ruta Asunción-Piquete cué.

En la mencionada llanura aflora en gran cantidad la sal. Esta que se extrae por evaporación del agua en la cual está derretida, es de color herrumbre por contener óxido de hierro hidratado.

Los yacimientos de sal gema o sal fósil son, como es sabido, de dos tipos:

- a) puro, en bancos de gran espesor, como en: Wieliczka (Polonia), Northwich (Inglaterra), Lungro (Italia).
- b) en pequeños fragmentos mezclados con otros de diferentes minerales, débilmente cementados por un fango salado como en: Salzburg (Austria) y Bex (Suiza).

Probablemente al primer tipo pertenece la sal de Lambaré (Cap. VII — 1, nota 16) y al segundo la de Arecayá.

Nos hallamos frente a otro golfo del mar chaqueño que tuvo la misma historia que el Bañado en el cual surgió el cerrito de Trinidad. (Fig. 1)

El cerro Confuso y el cerro Verde son los solos conos existentes sobre la orilla derecha del Río Paraguay.

Concluyendo se ve, con la máxima evidencia, que la base del Confuso surge sobre terrenos postpliocénicos. Además entre todos los volcanes estudiados la base del Confuso es la que más está alejada de las areniscas coloradas triásicas que constituyen la costa del antiguo continente paleo-brasilero.

3 — El volcán Confuso es postpliocénico.

Los grandes herbívoros hallados en Reventón, sobre el Pilcomayo, cerca de la superficie en los mismos parajes en donde vivieron, murieron y se fosilizaron, en medio de los árboles lignificados, cuya posición perpendicular al terreno excluye que hayan sido arrastrados por las aguas, prueban que el Chaco existía desde el principio del postplioceno, y era una llanura herbosa y anegadiza como en la actualidad. El cono Confuso debe ser mas joven que los ante mencionados terrenos chaqueños sobre los cuales se asienta su base.

No es posible que el volcán Confuso haya nacido con una erupción submarina en el plioceno y tanto menos en el mioceno.

En efecto, como ya se dijo y se repetirá, a una tan grande distancia de la costa continental un pequeño flujo de lava que hubiera manado desde el fondo marino hubiera sido aplastado por la presión de las aguas.

4 — Inferiormente a Cerro Confuso los aluviones postpliocénicos y cenozoicos, llegan hasta gran profundidad.

Esto está probado por los hechos que siguen: El cerro actúa como un muelle, contra el cual se acumulan los sedimentos, cuando las aguas del Río Paraguay se retiran después de las crecientes.

Cuando el gran río está en bajante sus aguas no obstaculizan el flujo de las del Confuso, el cual cava veloz y profundamente su propio cauce.

Cuando la bajante del río Paraguay coincide con un largo período de sequía del Chaco el curso del Confuso se fracciona en pozos que comunican entre sí por medio de un hilo de agua que fluye serpenteando sobre el fondo del cauce.

En esta oportunidad se ve con evidencia que tanto las barrancas como el fondo del cauce están formados por terrenos postpliocénicos y se puede también constatar que en ningún punto afloran areniscas triásicas.

El corte de E. a O. del Chaco, como nos demuestran los pozos perforados por la "Unión oil company", tiene la forma de una U que contiene terrenos postpliocénicos, pliocénicos, y miocénicos.

Los dos brazos de esta U formados por areniscas enseguida bajan en profundidad (Ver Echel op. citada). (11)

5 — Demostración por el absurdo.

Establezcamos, como en un teorema de geometría, la tesis siguiente: el cerro Confuso desde el triásico siempre ha existido allí en donde ahora se halla. Entonces llegaremos a demostrar por "absurdo" que no es posible que pocas rocas de mínima espesura hayan sido subtraídas al ciclo de la erosión, mientras alrededor de ellas desaparecían y volvían a aparecer los continentes; y nacían los Andes.

Concluyendo, las aisladas rocas negras del Cerro Confuso, de cualquier modo que las interroguemos nos dan siempre la misma contestación.

7 — Cúpula del Confuso.

El cerro Confuso, más bien que un cono, es una cúpula lávica, constituida por rocas, las más grandes de las cuales se hallan en la periferia.

En cambio, en las más comunes erupciones explosivas los proyectiles más livianos se hallan en la periferia.

Además, en el cerro Confuso faltan los materiales piroclásticos.

8 — Historia del volcán apagado del Confuso.

De estos hechos se deduce que la historia del volcán tuvo que desarrollarse como a continuación se indica: Los gases que explotaron desde el fogón magnético del Confuso tenían poca tensión; por lo tanto, después de perforar los sedimentos postpliocénicos, hicieron subir por la chimenea volcánica la lava que se acumuló alrededor de su boca como un tapón en forma de hongo. Los gases fisuraban continuamente dicho tapón lávico, con bocas temporáneas, que dejaban abierta la comunicación entre el fogón volcánico y la atmósfera.

Estas bocas, cuando el magma enfriándose llegó a ser muy espeso no se cerraron más. Así se explica que la cúpula lávica es fracturada en grandes bloques.

(11) En Asunción el pozo de la Curva San Miguel adyacente a la costa occidental triásica del continente paleobrasileño llega a la profundidad de 179 metros, hallando exclusivamente aluviones postpliocénicos. Esto demuestra que hacia poniente la antigua costa brasileña bajaba en el mar, perpendicularmente, como una pared, sin presentar una platea continental, y muestra además que los aluviones tienen una grande potencia. El pozo de la curva San Miguel ha sido objeto de una publicación ilustrada por un interesante corte por el Dr. B. Guggiari y por el Ing. Zimowzky en la Rev. de la Soc. Cient. del Parag. N° 4 año 1928. El pozo de Orinuela de la U. Oil Comp., en el cual se encontró el Triásico a 500 m. de profundidad, está situado a 150 Km. a W. de Concepción. Estos hechos indican, en latitud de Concepción, la probable presencia de una platea continental y una menor potencia de los aluviones.

La cantidad ocupada por el antiguo mar Chaqueño está en la actualidad en muy activa fase de embalsamiento, como claramente lo indica el río Pilcomayo que en estos últimos años, después de llegar al estero Patiño, empezó a depositar sus aluviones en el estero Tinfunque. Para la relación, muy interesante, existente entre las curvas de nivel y las areniscas triásicas coloradas (ver Cap. II — 1; y Cap. VII — 1.

Concluyendo, la cúpula del Confuso nació de una erupción efusiva lenta y débilmente dinámica del tipo de aquellas que edificaron sobre el Vesubio entre 1891 y 1894 el cerro "Margherita" y entre 1895 y el 1899 el Cerro "Humberto I".

Mercalli, durante estas largas erupciones, observó que en la espesa lava de dichos cerros se abrían fisuras que denominó "pseudobocas".

En la cúpulas vesuvianas las pseudobocas acabaron por cerrarse de manera que sus bóvedas no quedaron fisuradas como la del Confuso.

De estas observaciones se deduce que tampoco para explicar el origen de las cúpulas vesuvianas y del Confuso hay que seguir la teoría del "levantamiento" de Leopoldo von Buch, Alexandro von Humbolt, Elia de Beaumont y De Lapparent. Según esta teoría en los volcanes antes se formarían los conos por levantamiento de la superficie terrestre y después se abrirían los cráteres, análogamente al desarrollo de los forúnculos sobre el cuerpo humano. En cambio, después de la explosión inicial que perfora la chimenea, alrededor de su boca, nace un cono por acumulación sucesiva de lava, como en el cerro Confuso; de bloques escoriaceos, como en Lambaré, Nemby y cerro Verde y de "lapilli, arenas y cenizas como en Tacumbú.

Cuanto arriba se afirmó es demostrando por secciones naturales de algunos volcanes extinguidos: célebre aquella producida por las olas del mar en el tufa de Capo Miseno en el golfo de Nápoles.

Además la base del templo romano de Apolo no se inclinó al nacer el volcán de "Monte Nuovo" en 1538 cerca de Nápoles.

Si los volcanes surgieran por "levantamiento" de la cáscara terrestre entonces dicho templo, que se halla ahora sobre la base de Monte Nuovo, debía estar inclinado como la famosa Torre de Pisa.

La manera de como nace un cono volcánico queda indeleblemente impresa en los ojos de aquellos, que, como yo, han observado el aumento progresivo del "conetto", (12) durante las largas erupciones intercratéricas de tipo Stromboliano del Vesuvio, siguiendo, sobre la pantalla negra del embudo cratérico, en las noches sin luna, las trayectorias rojas de fuego de las escorias, las cuales, sin intervalo, se siguen tan rápidamente que no se pueden distinguir y trazan continuamente una M mayúscula.

CAPITULO VI

CERRO VERDE

El cerro Verde es un tranco-cono formado por bloques de todo tamaño, más o menos escoriaceos, de magma tipo Tacumbú, como en Lambaré y Nemby por las explosiones de una larga erupción de tipo stromboliana.

El cerro surge frente a Piquete cué, a un kilómetro de distancia tanto de las casas más septentrionales de Villa Hayes como de la ribera derecha del río Paraguay. Hacia el norte, noroeste y noreste las cuesta del cerro Verde se inmergen en los últimos meandros que el río Verde excava en los terrenos negros postpliocénicos antes de desembocar en el río Paraguay. (Fig. 1)

(12) La palabra "conetto" se traduce en castellano por pequeño cono. Este pequeño cono rodea la boca de la chimenea volcánica del Vesubio y está en el centro de la llanura circular existente en el fondo del cráter, el cual — como es sabido — tiene forma de embudo. Dicha cavidad, después de muchas erupciones normales se va llenando y el "conetto" crece alcanzando una mayor altitud del borde cratérico de manera que es visible desde Nápoles.

Siempre hacia el norte, noreste y noroeste, después de los meandros del río Verde, se ve un grandísimo estero. En los otros puntos cardinales la base del Cerro Verde se asienta sobre una angosta isla del continente paleobrasileño, — continuación de la cuchilla de Piquete cué, — dirigida al oeste hasta terminar en Benjamín Aceval. El cerro está cubierto por una muy tupida vegetación, a excepción del lado suroeste donde existe una plantación de caña de azúcar.

Entre las raíces de las cañas afloran bloques de basalto escoriáceo, los cuales, a medida que se sube, aumentan de tamaño como se observa en todos los conos volcánicos.

Arriba de tres apófisis de lava, comunicantes con la chimeneas del volcán de Cerro Verde, se hallan:

- a) Al sureste, al lado de la misma base del cono, un afloramiento de magma tipo "inclusiones trinidenses".;
- b) hacia el este una loma elíptica de arenisca metamorfoseada, sin nombre, que yo denominé "loma de Villa Hayes" por el hecho de que sobre ella están edificadas muchas casas de dicho pueblo; esta loma, larga y relativamente alta, forma con el cono de Cerro Verde un valle sobre cuyo fondo pasa la ruta Transchaco; (Fig. 1 — +)
- c) hacia el noreste, en la confluencia de los ríos Verde y Paraguay, una pequeña cúpula también formada por arenisca metamorfoseada. (Fig. 1 — +)

Probablemente están en comunicación con el fogón volcánico de Cerro Verde las rocas del Peñón y aquellas intrusivas que metamorfosearon las areniscas del Cerro San Francisco.

Concluyendo, entre todos los volcanes del alineamiento, el Verde es el que con más evidencia nos muestra su acción metamorfoseante sobre las areniscas y al mismo tiempo nos hace ver que de su chimenea, además del magma gris negro, salió también el magma marrón anaranjado, que afloró sobre su base.

RESTOS VOLCANICOS SITUADOS AL SUR DE TACUMBU

CAPITULO VII

CERRO LAMBARE Y AFLORAMIENTO DE ITA ENRAMADA

1 — Ubicación. Base del Cerro Lambaré.

Lambaré es un cono perfecto y escarpado, de 154 metros de alto sobre el nivel del mar (punto trigonométrico. (Fig. XV)

Está recubierto por un bosque tupido. Sus cuestas hacia el poniente se imergen a pique en las aguas del río Paraguay, también hacia el norte bajan a precipicio sobre una profunda ensenada de la orilla izquierda del río Paraguay, en la cual desemboca el arroyo, Ysaty. Esta ensenada queda casi siempre bajo agua; solamente durante las grandes bajantes es ocupada por la playa de Yuky-ty. (13)

Hacia el sur el cono baja abruptamente sobre terrenos sedimentarios post-pliocénicos pantanosos, los cuales también durante las crecientes quedan bajo agua.

(13) Yukyty (= sal — mucha) es una zona al norte de la base de Lambaré cuya superficie es blanca por los afloramientos de Sal. En algunos mapas el arroyo Ysaty es llamado también Yuky-ty.

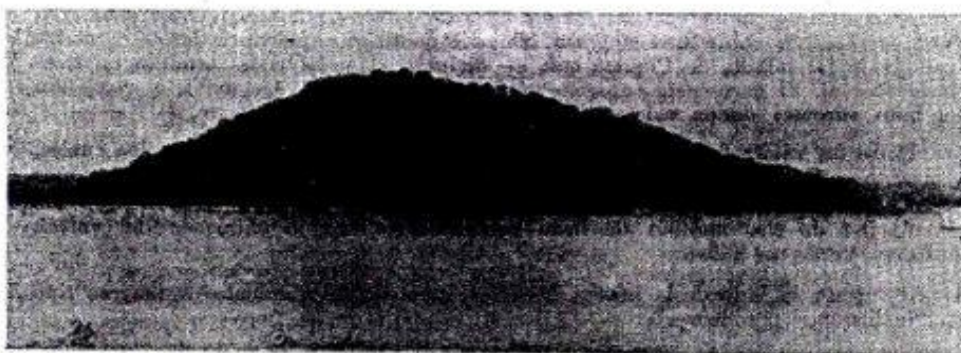


Fig. XV CONO DE LAMBARE. El cono fué fotografiado desde el banco aflorado A N-W en la bajante de 1964. En primer plano la vegetación del sobre mencionado banco (Fig. XVI). A la izquierda: playa Yuky-ty. A la derecha casa de Puerto Casaccia. Al centro: el resguardo con 4 ruinas del muelle-cué totalmente emergidas y con sus bases a 5 metros de distancia del río.

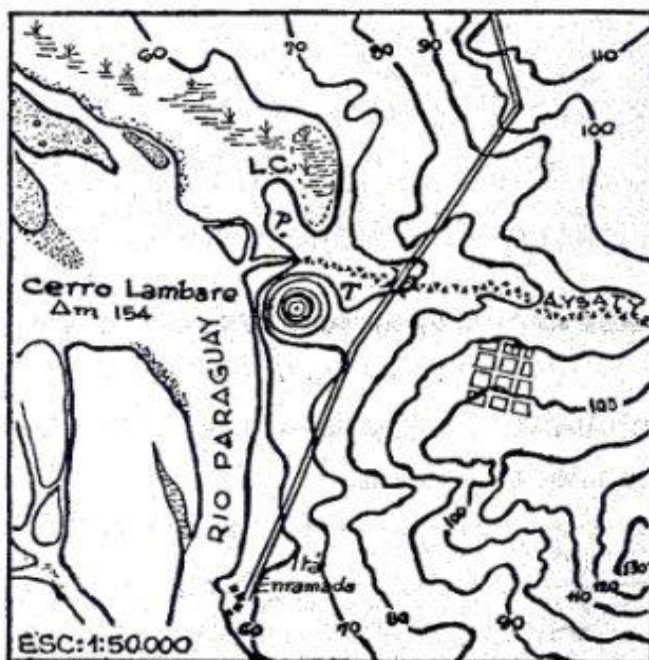


Fig. XVI CERRO LAMBARE. MAPA 1:50000. Inst. Geog. Mil. Las curvas de nivel señalan un ítimo al Este de C. Lambaré. El Rio Paraguay en las crecientes llega casi a la isocipsa de los 70metros T=terrazza fluvial L.C.=Laguna Ceteura. P=pozo de Salina cué.

Sobre este lado la avenida José Félix Bogado, que une Asunción con el puerto de Itá-Enramada, costea la base del cerro.

Concluyendo, Lambaré es como una península rodeada por las aguas, a excepción del levante donde está unida a la tierra firme. (Fig. XVI)

El centro de Asunción se halla a 7 kilómetros al norte de Lambaré y a 9 kilómetros de Itá-Enramada.

Caminando por la avenida José Félix Bogado se ve que el cono, al este, se asienta sobre terrenos aluvionales recientes de color oscuro.

La cumbre de Lambaré es un espléndido observatorio para indagar la geomorfología de la región. Desde arriba se ve que las areniscas rojas forman un arco, con la concavidad dirigida hacia el río Paraguay, comprendido entre Itá-pytá (piedras rojas) y la misma base del cono de Lambaré. Este arco y su cuerda, representada por la orilla izquierda del gran río, encierran una llanura pantanosa de más o menos tres kilómetros de anchura, en la cual, de sur a norte se notan las lagunas: Cateura, Pucú y Yacaré-Yrupé. (14) (Fig. XVII y XVIII)



Fig. XVII PRISMAS BASÁLTICOS EN LA CUMBRE DEL C. LAMBARÉ. En segundo plano Arroyo Ysaty y bañados pospliocénicos de Yakyty al N. de C. Lambaré.

En el lugar de dicha llanura hasta el fin del plioceno existió el mar chaqueño, cuyas olas golpeaban las costas del golfo del continente paleo-brasilero comprendidas entre Itá-pytá y Lambaré. (Fig. XVIII — 5)

Parece que la costa a pique, como un murallón, a norte y a sur de Itá-pytá haya sido producida por olas marinas que golpeaban perpendicularmente las areniscas y la cavaban en sus base determinando los grandes desprendimientos que todavía existen.

La erosión fluvial hubiera moldeado la barranca de manera diferente. A la sobredicha interpretación no se opone, por las razones expuestas en el capítulo I párrafo 2, el hecho de que el nivel del río frente a Itá-pytá está a 55 metros sobre el nivel del mar actual. (15)

Desde la cumbre de Lambaré se ve, a cinco kilómetros, más al norte, el cerro de Tacumbú — 64 metros más bajo — y se nota enseguida que su base a levante es adyacente al peldaño de las areniscas coloradas mientras que hacia po-

(14) 1) Cateura = Nombre de un poblador.

(15) En la bajante del 1964 puede observarse:

a) que, el piso de todas las muchas grutas, existentes en la abrupta barranca entre el Varadero y Puerto Sajoná, se hallan al mismo nivel.

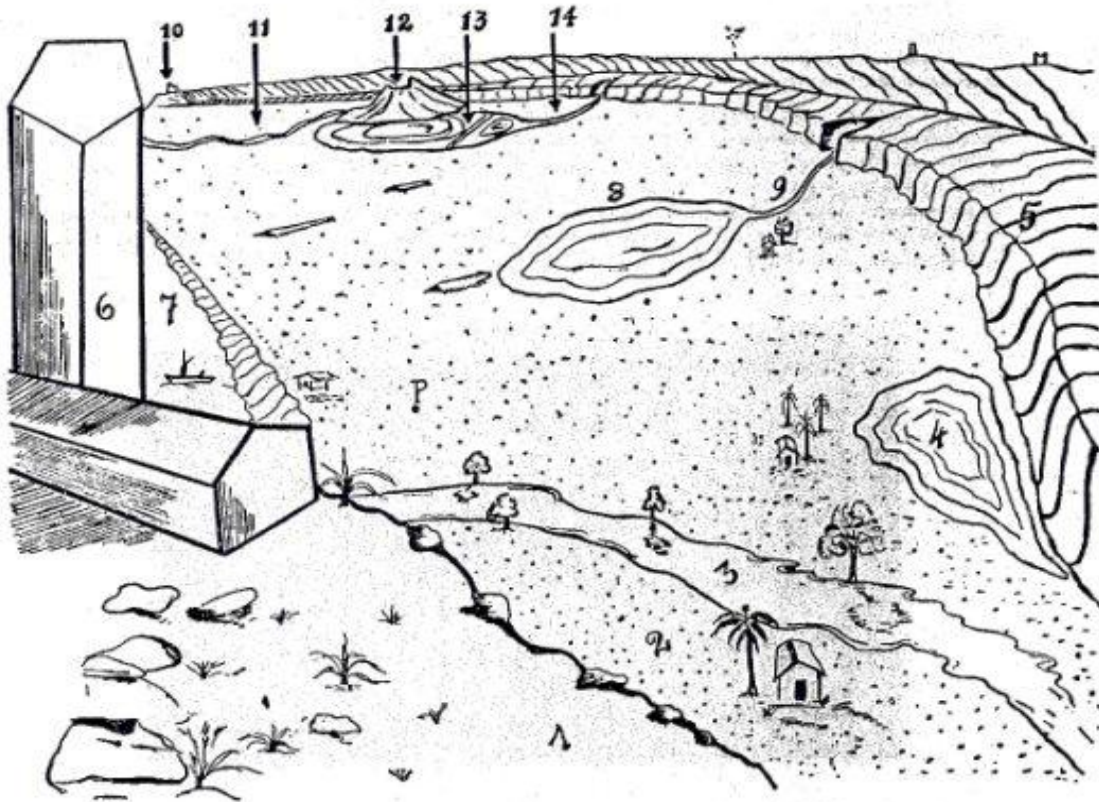


Fig. XVIII PANORAMA HACIA N-NE y ESTE DESDE LA CUMBRE DE C. LAMBARE (besquejo natural).
 1. Cumbre de C. Lambaré — 2 Terraza fluvial — 3 Arroyo Ysaty — 4 Laguna Cateura — 5 Peldaño de tosca triásica formando un arco (golfo pliocénico) — 6 Prisma de basalto — 7 Rio Paraguay — 8 Laguna Pucú — 9 Arroyo Ferreira — 10 Molino (Molino situado arriba de la punta de Itá-pytá) — 11 Arroyo Tacumbá — 12 C. Yacumbá — 13 Laguna Yacaré-yrupé — 14 Arroyo Salamanca P= pozo Salina-cué.
 El postplioceno está representado por una superficie punteada.

niente está sobrepuesta a los sedimentos postpliocénicos de la laguna Yacaré-Yrupé. (Fig. XVIII — 13)

Desde el principio del postplioceno, hasta hoy la topografía de la región cambió muy poco. En efecto, del primitivo gran lago costanero quedaron tres pequeñas lagunas y una llanura pantanosa que las crecientes todavía sumergen.

b) que en el medio del R. Paraguay emergió el banco pedregoso de Itatí, entre la boca del Riacho Negro (Chaco) y Zanja-soró (a N. de Itá-pytá sobre la orilla izquierda del Río Paraguay).

El banco de Itatí, representa, con mucha probabilidad, el resto del cabo de Itá-pytá, que, antes de ser destruido por las olas, se prolongaba mucho más al oeste en el mar pliocénico chaqueño. Las grutas, como es sabido, representan fases del retroceso progresivo de las costas a pique. Se producen más fácilmente, en las rocas blandas, estratificadas y sucesivamente fracturadas, como las areniscas de Asunción y las tobas volcánicas del golfo de Nápoles. En la isla de Prócida situada en el sobremencionado golfo, Antonio Parascandola ilustró magistralmente el origen de dichas grutas.

El cono volcánico de Lambaré surgió del mar postpliocénico como un islote costanero frente al cabo meridional del antiguo golfo de Tacumbú.

Dicho cabo está ahora representado por una loma de tosca que termina a 250 metros al noreste de la base del cerro Lambaré donde la avenida José Félix Bogado baja sobre el puente del arroyo Ysaty.

La isla de Lambaré actuó como un muelle sobre cuyo lado de levante se acumularon las aluviones cuando las aguas del Paraguay volvían a su cauce después de las crecientes.

Este muelle también detuvo las tierras arrastradas por el arroyo Ysaty. De esta manera se construyó un istmo que juntó la isla de Lambaré a la tierra firme.

Es interesante observar al respecto en el mapa levantado en 1957 por el Instituto Geográfico Militar Paraguayo, cuyo título es "San Lorenzo del Campo Grande" que las curvas de nivel señalan al este del cerro Lambaré la existencia del mencionado istmo. (Fig. XVI).

Desde el mencionado puente de la avenida José Félix Bogado, se ve espléndidamente que el arroyo Ysaty cavó profundamente los sedimentos postpliocénicos dejando sobre su orilla izquierda una terraza fluvial. (Fig. XVI — T y Fig. XVIII — 2)

A la acción erosiva natural se añadió la de un salto artificial, generado por una barrera construida bajo el puente para mover una turbina.

En este punto las aguas han cortado toda la pila sedimentaria, con una profunda trinchera, no descubriendo areniscas triásicas en el medio del cauce del arroyo pero solamente las cuevas basálticas del cerro Lambaré inclinadas hacia el noreste.

De una observación no apresurada resulta que Lambaré como Tacumbú pertenecen a los últimos tiempos geológicos, pues, sus conos — además de asentarse sobre las toscas triásicas — están sobrepuestos en gran parte, a la formación "bañado" que es indudablemente postpliocénica. (16)

(16) La bajante de 1964 y la nueva perforación en Yuky-ty contribuyeron a completar el conocimiento de la base del Cº Lambaré.

Tratando de la base de Tacumbú he probado que las toscas triásicas siguen el contorno de las curvas de nivel y luego se abisman casi perpendicularmente. Esto se verifica también alrededor de la base de Cº Lambaré como pude comprobar, siguiendo la playa del río Paraguay en la grande bajante del 1964. En efecto planchones de tosca habían aflorado bajo la casa de Pto. Casaccia (a la derecha de la fig. XV) situada sobre las cuevas S. W. de Lambaré, donde las curvas de nivel arriman sus convexidades al río como claramente se ve en la fig. XVI.

Bajo el resguardo (al centro de la fig. XV) noté solamente los basaltos del cono de Lambaré que se imergían en las aguas del Paraguay.

Frente a la playa de Yuky-ty las curvas de nivel se alejan del río al cual muestran sus concavidades. En la bajante del 1964 yo he visto que el arroyo Ysaty en su confluencia con el Paraguay, había ahondado su cauce en la playa de Yuky-ty, mostrando espléndidamente que la base del cono de Lambaré a N. y N. E. se asienta sobre el Postplioceno.

Esto es un hecho establecido, sin duda, por el pozo de 200 metros taladrado con el equipo del Cuerpo de Ingeniería. Esta nueva perforación, inaugurada por el Presidente de la República el 2 de Octubre 1964 está al lado del pozo de la "Salina:cué" de C. A. López, pozo que, hace más de un siglo, suministraba agua salada, que llevada a evaporar en piletas abastecía de sal a la nación.

La Sociedad "Ceisa", de Asunción concesionaria de la mina de Yuky-ty en mayo de este año (1964) encargó al ingeniero hidrogeólogo-geofísico alemán Hans Nothardt de realizar estudios en la zona. El amigo, Capitán Jesús Blanco Sánchez, autor de monografías hidrográficas y miembro del Directorio de la CEISA amablemente me prestó la relación con los mapas del Ing. Hans Nothardt que en la búsqueda usó también las ondas electromagnéticas de reflexión. Según el mencionado investigador las fuertes presiones dislocaron los estratos sedimentarios y la sal contra el borde oriental de la geosinclinal (ver. cap. XII),

2 — El cono de Lambaré.

El cono de Lambaré resulta formado por bloques y escorias de lava basáltica gris negra y no "púrpura pardoso o violeta parduzco" como dice Harrington en la pág. 42 de su citado trabajo.

Los más pesados de estos proyectiles, según la ley general, se hallan alrededor de la cumbre y los otros están distribuidos, a medida que sus pesos disminuyen, sobre las laderas del cono y alrededor de su base.

Cerca de la cumbre existe un columnado de prismas. Estos son en su mayoría pentagonales; pero no faltan de otras formas. Son de un metro y medio hasta tres metros de alto y de 0,25 hasta 0,50 cms. de ancho. (Fig. XVII)

La acción del agua, del viento y del asoleamiento redondeó los ángulos diedros de la mayor parte de ellos pero se encuentran todavía algunos con aristas vivas.

Muchos de los prismas de la periferia del columnado no están ya verticalmente en su sitio, pues cayeron y se quebraron. (Fig. XVII)

Sobre la cumbre del cono, que es truncado por un llano de unos cincuenta metros cuadrados, las bases superiores de los prismas afloran entre la tierra de depósito eólico.

La circunferencia del mencionado plano representa el borde del cráter.

3 — Historia de la erupción de Lambaré.

De la observación del cono de Lambaré se deduce que este fue acumulado por una larga fase explosiva de tipo stromboliano durante la cual los gases no tuvieron la fuerza para despedazar el magma en "lapilli", arenas, y cenizas como aconteció en Tacumbú, y se limitaron a lanzar gruesos pedazos de lava no solidificada todavía, los cuales, según su peso y la potencia de las explosiones, cayeron más o menos alejados del cráter.

Para explicar la presencia de los grandes bloques que están en la base del cono, no hay que recurrir a la hipótesis de paroxismos de tipo pliniano. En efecto, durante la fase explosiva de la erupción de 1944 he visto — desde el llano del "Valle del Infierno" situada a 900 ms. de altitud entre el Vesubio y el extinguido Somma — que también las explosiones menores lograban levantar bloques de muchas toneladas hasta el borde del cráter, para rodar por las cuestas del cono y detenerse en el medio del valle citado.

En una segunda fase efusiva, más corta, Lambaré tuvo apenas la fuerza para hacer subir una columna de lava espesa hasta el borde del cráter.

Esta columna se soldó a las paredes de la chimenea y su ápice, al contacto con la atmósfera, se fracturó en prismas.

4 — Afloramiento filoniano de Itá-Enramada.

Itá-Enramada es un afloramiento filoniano de roca tipo "inclusiones trinidadenses" que las aguas del Río Paraguay han puesto al descubierto sobre la orilla izquierda, a un kilómetro y medio al sur de Lambaré. (Fig. I)

produciendo fallas por las cuales sube el agua salada. El ingeniero Nothardt estableció en la "Salina-cué" de Yuky-ty, situada inmediatamente a N. de C^o Lambaré, que, desde la superficie hacia el centro de la tierra se suceden los siguientes terrenos: 1^o) 60 metros de postplioceno; 2^o) 180 metros de plioceno con estratos salíferos; 3^o) Mioceno que sigue después de los 600 metros de profundidad.

Por lo tanto se puede concluir con certeza que:

I) — La existencia del antiguo golfo pliocénico del mar chaqueño, del cual emergieron Tacumbú y Lambaré está demostrando por los estratos salíferos subyacentes.

II) — La base del cono de Lambaré a N. y N. E. se asienta sobre el postplioceno. No existe el Triásico tampoco en profundidad.

Una larga cuchilla rocosa que se prolonga hacia el norte bajo las aguas del gran río delimita dos ensenadas. Dicha cuchilla indica, con toda probabilidad, la existencia de una fractura sobre la cual nacieron tanto Lambaré como Itá-Enramada. Alrededor de dicho afloramiento existen terrenos negros aluvionales postpliocénicos.

CAPITULO VIII

CERRO ÑEMBY Y AFLORAMIENTO DEL "CERRITO SAN ANTONIO"

1 — Ubicación — Base.

El cerro Ñemby de 206 ms. de alto sobre el nivel del mar (punto trigonométrico está situado a $12\frac{1}{2}$ kms. al sureste de Lambaré, a $1\frac{1}{2}$ Kms. al sureste del pueblito homónimo, y a 4 Kms. al este de la ribera izquierda del río Paraguay.

El cerro surge en un pequeño valle, formado por dos lomas de areniscas coloradas, entre las cuales fluye el arroyo Ñemby. (Fig. I)

Hacia el norte tiene su mayor altitud. Visto desde el pueblito de Ñemby aparece como un perfecto cono, mientras que desde la calle Asunción — San Antonio, el cerro aparece como una altura elíptica.

También en esta zona las areniscas coloradas bajan con un peldaño sobre las tierras negras aluvionales postpliocénicas que forman un llano angosto sobre la orilla izquierda del río Paraguay. Saliendo de Asunción, la calle después de la base del cono pasa arriba de un escudo de roca tipo inclusiones trinidadenses, llamado Cerrito San Antonio, situado sobre el mismo borde del antedicho peldaño. (Fig. I)

Obreros que trabajaban en la cantera del cerrito me dijeron que formaciones semejantes siguen alineadas hasta Villeta.

De lo expuesto resalta que con toda probabilidad, tanto el cerro de Ñemby como el cerrito de San Antonio surgieron sobre una misma fractura dirigida de noroeste a suroeste. Esto está probado, como se dijo antes, por la existencia de otras fracturas. Volveremos sobre este argumento en el capítulo XII. 3

2 — El cono de Ñemby.

Desde el año 1963 una compañía argentina explota la piedra de Ñemby para la pavimentación de la ruta 11 de la vecina República.

El cerro de Ñemby, como todo los demás, estuvo cubierto por un tupido bosque hasta fin del año 1962. Su constitución se puede observar en las excavaciones que los habitantes de la zona practicaron todo alrededor de su base para extraer material de construcción. Estas excavaciones muestran que las laderas del cono de Ñemby están recubiertas por una capa de bloques, no cementados entre sí, como se observa alrededor de las bases de Tacumbú, Lambaré y Cerro Verde. La cantera empezó a cortarse en la cumbre al norte.

La cumbre del cerro está constituida por magma compacto, como puede constatar en pozos que la firma argentina mandó abrir a fines explorativos.

3 — Erupción del cerro Ñemby.

El cerro Ñemby ha sido acumulado por las explosiones de una fase stromboliana todavía más larga que aquella que levantó Lambaré. A esta siguió una fase efusiva que hizo subir por la chimenea una columna de lava muy espesa, que después de haber reventado la cumbre del cono al suroeste se acumuló sobre sí misma enfriándose sin dar lugar a una corriente descendente.

La lava, después de soldarse a la paredes de la chimenea, no se fisuró en prismas como aconteció en Lambaré.

4 — Edad del cerro Ñemby.

Una altura lávica, como el cerro de Ñemby, que surge sobre areniscas triásicas, podría ser un volcán jurásico o un plutón de la misma edad, aislado por la erosión, si no fuera parte de un evidente alineamiento de conos todos postpliocénicos.

Querer afirmar la edad jurásica del cerro Ñemby sería lo mismo que sostener que una vértebra es mucho más antigua que todas las demás que la preceden y la siguen a lo largo de la columna vertebral de un mismo animal.

C A P I T U L O IX

CONOS DEL YPOÁ

A 70 Kms. al sur de Ñemby, sobre el mismo alineamiento volcánico hasta aquí descrito, en el centro del lago Ypoá, surge el cono basáltico de la "Isla Valdéz", muy parecido a la cúpula del cerro Confuso, de la cual, probablemente tuvo también el mismo origen. Llegué a la dicha isla en piragua, atravesando un canal de más de dos kilómetros abierto entre el impenetrable "pirizal" que bordea ininterrumpidamente el inmenso estero, por mis compañeros de cacería paraguayos, habitantes de la isla Flete. Desde la cumbre del cerro Valdéz he visto hacia el sur un alineamiento de islas cónicas, entre las cuales la más elevada es la de Cabral. El verde sombrío de sus bosques contrasta con el color amarillento del "mar" de los "piri" que las rodea. (17)

No pude llegar a estas islas por causa del fango traicionero que había quedado después de una de las periódicas bajantes de las aguas del lago.

Las bases de todas estas islas, que son muy probablemente volcánicas, se asientan sobre terrenos aluvionales depositados por el mar chaqueño. En efecto, la isla Cabral está separada de la costa oriental del lago y de la orilla izquierda del río Paraguay respectivamente por 15 y 45 kilómetros de pantanales. Los terre-

(17) Piri = *Cyperus giganteus* Vahl, planta acuática del mismo género del Papiro egipcio de la familia de las Cyperaceas y del Orden de las Gramíneas. Sus fustos herbáceos que llegan a 4 m. de alto se usan en Paraguay para fabricar esteras. Pirizal y Purity son sinónimos; el primero hispano-guaraní y el segundo guaraní puro significan gran asociación de piri. El Ing. Agrónomo H. Almada Sapriza (Rev. de Agric. y Ganadería, N° 5 año 1938) observando desde Villa Oliva parte del mismo alineamiento de islas cree que es "determinante de la extensión del continente de Gondwana y del posible piso pérmico de la zona del Ypoá". Sin embargo, por las pruebas expuestas en el Cap. V, 3 me inclino a considerar dichas islas como volcánicas y postpliocénicas, pues, no creo que exista una tan vasta plataforma continental. Me parece además que el borde del continente paleobrasileño no coincide con dicho alineamiento, continuando — en cambio — en forma de cordillera paleozóica de N. E. a S. E. hasta cerca de Encarnación.

nos postpliocénicos continúan, sin interrupción, al sur del Ypoá con el estero Ñeembucú. Este ocupa toda la llanura triangular comprendida entre los ríos Paraguay y Paraná y las alturas dirigidas desde el noroeste hacia el suroeste. Dichas alturas, que representan la costa del continente paleobrasileño, están constituidas, según E. Heckel, por rocas arcáicas y paleozoicas.

El lago Ypoá se formó por la deposición de un cordón litoral a lo largo de la línea donde las aguas de los antiguos afluentes chocaban contra las del río Paraguay.

Los aluviones están en la actualidad llenando el Ypoá, y, en un tiempo geológicamente breve, acabarán por transformarlo en una llanura, como es el destino de todos los lagos.

C A P I T U L O X

ALTURAS DE ARENISCAS METAMORFOSEADAS

1 — Loma de Villa Hayes. (Fig. I — +)

Esta loma muestra en donde la trinchera de una calle la corta y en una pequeña cantera, de ser formada por una cáscara de arenisca amorfa, porosa, fracturada en gruesos bloques, que cubre un núcleo constituido por prismas también de arenisca.

2 — La cúpula de la boca del Río Verde. (Fig. I y Fig. XIX)

Está situada inmediatamente al norte del muelle de la balsa a motor. Bajo su bóveda de arenisca amorfa, que ha sido en gran parte asportada, se hallan prismas, también de arenisca, que son los más chicos de todo el distrito volcánico. Desde el centro de la cúpula hemisférica se ven estos prismas divergir hacia todos los puntos de la circunferencia basal. Alrededor de la base de la cúpula quedan fragmentos de su envoltorio. De algunos bloques de este envoltorio he sacado astillas de una quarcite de color amarillo-limón, las cuales, golpeadas con un pedazo de acero, producen chispas.

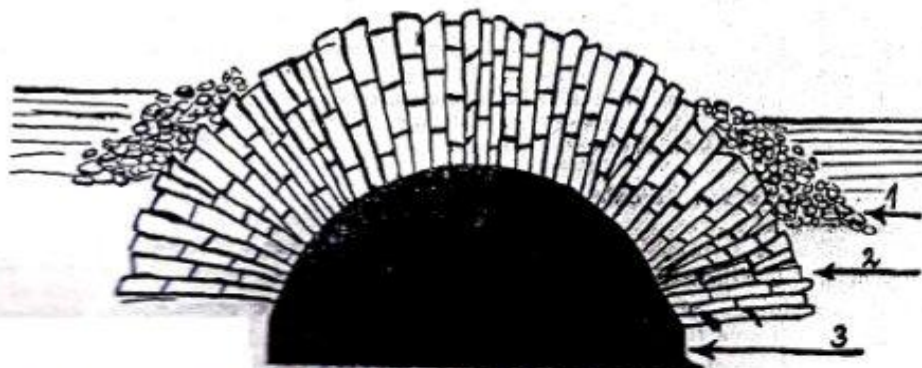


Fig. XIX. CORTE DE LA CÚPULA DEL RÍO VERDE 1 "Cáscara" 2 prismas metamorfoseados 3 Núcleo basal.

3 — Cerro Boliviano.

Este cerro está ubicado cerca de 6 kilómetros de la orilla derecha del río Paraguay. Está separado del cerro Confuso, que surge al sureste, por unos ocho kilómetros de pantanales. El cerro Boliviano se eleva sobre la costa de la isla del continente paleobrasileño que llega hasta Benjamín Aceval.

Este cerro es perfectamente visible desde la ruta transchaco. Para llegar a Cerro Boliviano desde Villa Hayes, hay que seguir la mencionada ruta por 7 kilómetros y después, doblando a la izquierda, cruzar un campo de un kilómetro de ancho. La elevación en estudio es una gran cúpula formada externamente por una acumulación de bloques de areniscas metamorfoseadas, duras y cavernosas. En el cerro no hay canteras. De su cumbre, privada de vegetación menos hacia el poniente, se goza un panorama muy interesante por indagar la geomorfología de la región.

4 — Isla-Itá.

Saliendo de Villa Hayes, a siete kilómetros y medio, sobre el borde derecho de la ruta transchaco, está ubicada Isla-Itá (isla-piedra).

Esta tiene la forma de un escudo, que sobresale pocos metros del terreno que lo rodea, y está cubierta por una capa de areniscas metamorfoseada, porosa, cuyo espesor varía de 1 ms. a 0,70 cms. Las excavaciones en este estrato cortical han puesto al descubierto los subyacentes estratos de prismas constituidos también por arenisca metamorfoseada.

5 — Cerro San Francisco.

El cerro San Francisco está frente al cerro Verde. Entre los dos fluye el río Paraguay. Esta elevación está situada sobre la orilla izquierda del riacho San Francisco frente a la punta septentrional de la isla homónima, (Fig. 1)

El cerro surge sobre el mismo borde del peldaño con el cual las areniscas coloradas bajan sobre la formación de las tierras negras postpliocénicas del Chaco. Por esta razón Cerro San Francisco visto desde el río Paraguay, aparece mucho más alto de lo que es en realidad. Saliendo de Asunción para llegar al cerro en estudio hay que seguir la ruta hasta dos kilómetros antes de alcanzar Piquete Cué.

Después, doblando a la izquierda, hay que caminar por un sendero de más o menos un kilómetro.

Entre las raíces de los árboles que cubren el cerro San Francisco, afloran los bloques de arenisca porosa metamorfoseada, que como en los otros cerros, constituyen la cubierta de los prismas. Estos se pueden ver en una pequeña cantera abierta en las laderas del cerro. Es probable, como se dijo antes, que las areniscas en estudio hayan sido metamorfoseadas por un conducto en comunicación con la chimenea del volcán del cerro Verde.

6 — Cerro de San Gerónimo.

El cerro de San Gerónimo no está sobre el alineamiento volcánico en estudio y dista diez kilómetros tanto del cerro de Areguá como del volcán Nemby.

La altura de San Gerónimo es muy interesante por comprender el origen de las otras formaciones de areniscas metamorfoseadas.

En el kilómetro 16 de la ruta Asunción-Encarnación, a la izquierda hay un camino que en breve tiempo conduce a la cantera de San Jerónimo. Esta es una profunda y ancha trinchera, en forma de herradura, que rodea en parte el cerro,

sobre el cual está una pequeña capilla blanca. En las secciones de la cantera se observa perfectamente que la altura está formada por estratos de arenisca compacta, metamorfoseada, amorfa, alternados regularmente con otros estratos constituidos exclusivamente por prismas también de areniscas metamorfoseadas.

Tanto los unos como los otros están curvados en forma de cúpulas. Estas se adelgazan progresivamente hacia la cumbre de sus bóvedas. Es evidente que una fuerza dirigida desde las entrañas hacia la superficie de la tierra las moldeó curvándolas, y, estirándolas. (Fig. XX)

Los prismas están implantados perpendicularmente en la parte más alta de las cúpulas y están inclinados hacia sus bases. Este hecho indica que la primitiva perpendicularidad de los prismas ha sido modificada por un lento movimiento ascensional.

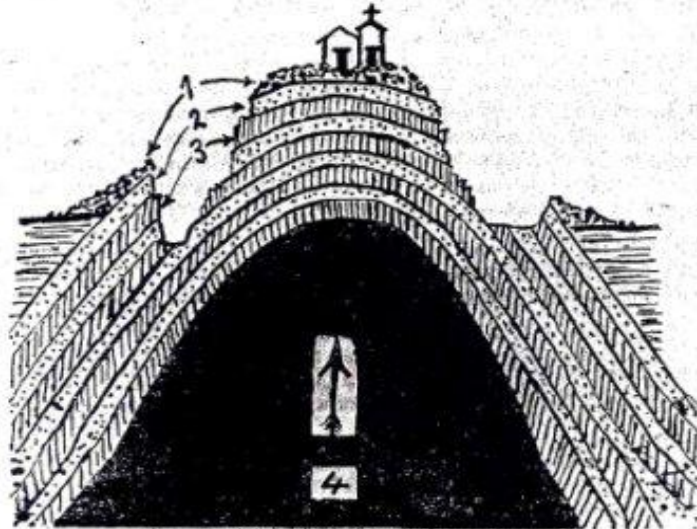


Fig. XX. CORTE DE LA CÚPULA DE SAN JERÓNIMO
1 "Cascara" 2 estrato de arenisca amorfa. 3 estrato de prismas de arenisca 4 Nucleo basáltico

7 - Cerro de Areguá.

Como se dirá más adelante (cap. XII-3-a) hay serios indicios que nos autorizan a atribuir la metamorfosis de las areniscas del cerro de Areguá al volcanismo del cual se trata.

De todos modos, este cerro sirve para interpretar la estructura de otras alturas semejantes que surgen a poca distancia sobre el alineamiento volcánico propiamente dicho.

Se llega al cerro de Areguá recorriendo, antes, la ruta internacional Mariscal Estigarribia, Asunción-Pto. Stroessner, hasta Capiatá, después, doblando a la izquierda, se toma el camino para Areguá hasta dos kilómetros antes del pueblo. En este punto está la entrada de la cantera, que es también camionable y que después de unos cincuenta metros se bifurca.

Ambos senderos suben, rodeando el cerro, hasta dos plazoletas situadas a unos veinte metros bajo la cumbre. Desde este observatorio, se goza de un espléndido panorama, que incluye también todo el lago Ypacaraí.

Los estratos de los prismas de areniscas, los cuales están inclinados 45° , tanto hacia el levante como hacia el poniente, convergen en la cumbre del cerro como los dos planos inclinados de un techo. (Fig. XXI)

Los prismas afloran en la parte alta del cerro mientras alrededor del perímetro basal están sepultados profundamente bajo la superficie terrestre. Por lo tanto, la explotación de la cantera se hace desde la cumbre hacia la base del cerro. Este, que era cónico, hoy, después de dieciocho años de trabajo, es tronco-cónico y su altitud disminuyó de veintiseis metros. Como los prismas se usan para el empedrado y para la construcción de muros no se les extraen con dinamita que los desmenuzarían. Los obreros introducen sus barras de hierro entre los prismas y palanqueando los hacen precipitar en las plazoletas en donde se cargan.

Estos prismas son de termino medio de tres metros de largo pero algunos llegan a 6 y también 7 metros. Su grosor está comprendido entre 0,05 y 0,25 cms. Son muy regulares, generalmente pentagonales, pero no faltan aquellos de otras formas. Quebrándolos muestran estar formadas en su interior por una roca rosa o gris claro. Los de este último color son menos abundantes pero más duros y por lo tanto más requeridos. El cerro de Areguá; además de la cantera principal hasta aquí descripta, está explotado también por otras canteras mucho más chicas en las cuales se trabaja esporádicamente.

Inmediatamente al norte del cerro de Areguá existe una lomada recubierta por un bosque. A un kilómetro más al norte de dicha lomada surge un perfecto cono aislado recubierto por vegetación muy tupida de color verde oscuro.

En estos dos cerros, que tienen la misma composición de aquel de Areguá, no hay canteras. De la descripción que precede resulta que los cerros de Areguá están constituidos por areniscas metamorfoseadas y no por roca volcánica y por lo tanto no son neck como H. Harrington afirma en su citado trabajo, pág. 42.

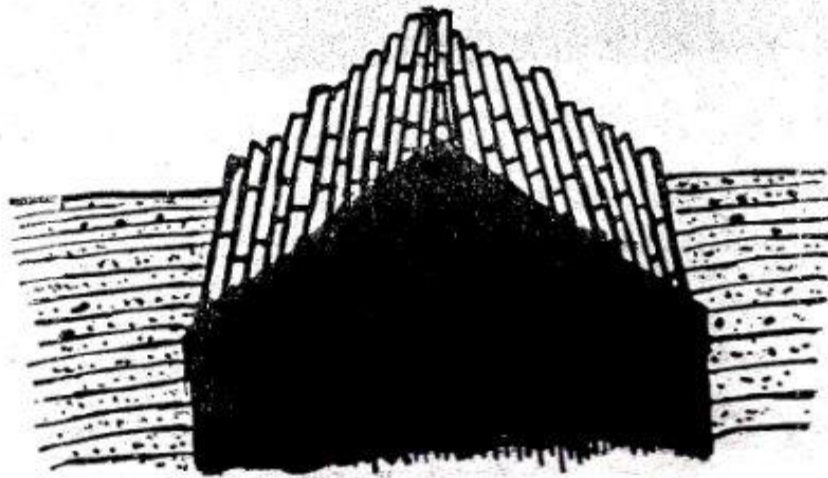


Fig. XXI CORTE ESQUEMATICO DEL CERRO DE AREGUA

8 — Conclusión.

El hecho que las areniscas sean metamorfoseadas por pneumatolisi y por contacto con los basaltos es un fenómeno general y no una exclusividad del distrito volcánico en estudio.

Traduzco aquí lo que Ettore Artini, una autoridad en petrografía, dice en la pág. 316 de su manual "Le rocce": "Las areniscas en contacto con los basaltos son semivitrificadas por fusión del cemento, y presentan una bellísima fisuración prismática, debida a contracción del volumen". El ilustre A, para comprobar esta afirmación publica una fotografía original.

En todos los cerros descriptos hasta ahora, tanto el estrato amorfo superficial como la subyacente masa principal fracturada en prismas, están constituidas por una roca dura, frágil, de color generalmente rosado, menos frecuentemente rosa pálido o gris muy claro, de estructura gruesa, áspera al tacto, entre cuyos elementos, sin microscopio, se ven muchos cristales y gránulos de cuarzo. (18)

Es muy interesante constatar que todas las areniscas en estudio, a medida que se baja en profundidad, son más metamorfoseadas, más duras, y más vitrificadas.

E. Heckel, pág. 34 de su citado trabajo denominó "pseudotraquita" a la roca que constituye los prismas de Areguá y a continuación agrega que al microscopio se le ha presentado indudablemente como arcosa, que, como es notorio, es un arenisca silícica de origen metamórfico.

El A. nota, con maravilla, que los prismas no son perpendiculares al terreno e induce a los sucesivos investigadores a resolver el problema de si el cerro de Areguá es una roca, "piroclástica intrusiva" o es una formación sedimentaria metamorfoseada por los vecinos basaltos.

La primera hipótesis, para mí, que observé detenidamente todas las formaciones de areniscas metamorfoseadas del distrito volcánico, hay que descartarla.

También hay que descartar la denominación "pseudotrachita" a pesar de que indique muy bien una calidad de esta roca que es muy áspera al tacto. La roca que constituye los prismas de Areguá y de todos los otros cerros de arenisca metamorfoseada es, como vió al microscopio Heckel, y como muy claramente la describió, una Arcose; y no una traquiandesita, como opina Harrington, el cual admite que por la pérdida de las muestras fue obligado a limitarse a la descripción macroscópica de las rocas.

Síntesis. — Las elevaciones descriptas en este capítulo están formadas desde la superficie hacia el interior por:

- 1c) Un estrato superficial amorfo. (corteza)
- 2º) Muchos estratos de prismas.
- 3º) Un núcleo basáltico.

Este causó la metamorfosis en las sobrepuestas areniscas pero no tuvo la energía de perforarlas haciendo erupción. Se trató de una apofisis en comunicación con un subyacente fogón volcánico como nos inducen a considerar las areniscas metamorfoseadas de la loma de Villa Hayes, de la cúpula de la boca de río Verde y del cerro San Francisco.

En la cúpula de Remanso Castillo se ve claramente que la apofisis metamorfoseante sale lateralmente de un dique basáltico que aflora acerca de un Km.

(18) Las diferencias en la composición de los prismas de Areguá es debida a la variable intensidad y proveniencias del viento —que transportó las arenas del Loess y también al hecho que los gases se desaprisionaron, desde los distintos puntos del núcleo basáltico en cantidad, tiempo y temperatura variables.

Esta apofisis, en un corto trecho, en donde ha sido descubierta por las aguas de un arroyo, es paralela a la superficie terrestre, y después, se dirige verticalmente hacia dicha superficie, terminando bajo la cúpula de arenisca metamorfoseada. (ver Fig. XXI)

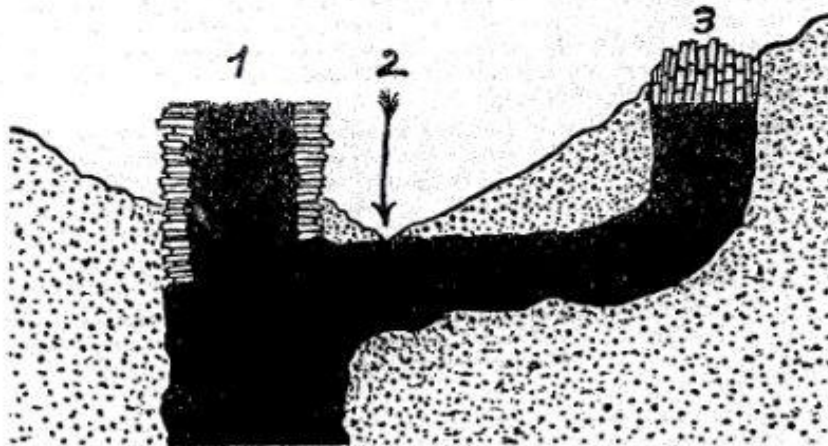


Fig. XXII CORTE DE DIQUE DE REMANSO CASTILLO
1 dique y prismas de basalto - 2 Arroyo - 3 prismas de arenisca metamorfoseada por una apofisis

La cantera de San Jerónimo nos muestra claramente cómo estos cerros han sido levantados por la acción de los núcleos basálticos que encierran. Este levantamiento ha sido determinado por la acción pneumatolítica de los gases que atravesando la capa de arena cuarcifera la cementaron transformándola en una arenisca compacta en la cual produjeron un gran aumento de volumen. Los gases actuaron con poco dinamismo pero por muchísimo tiempo, porque el magma de las apofisis no perdía su calor por estar en comunicación con los fogones volcánicos del distrito.

Sobre las alturas en estudio se formó una cáscara porosa que conservó el calor de manera que la metamorfosis se cumplió lentamente.

Después, por enfriamiento y por contracción de volumen, como acontece en los basaltos, se formaron los prismas de areniscas.

Estos están implantados sobre la superficie principal de enfriamiento como los de basalto y presentan en el distrito volcánico en estudio las siguientes disposiciones:

- 1º) Cuando la superficie principal de enfriamiento es llana, los prismas están implantados perpendicularmente en esta superficie y son también ortogonales a la superficie terrestre.
Es el caso de la cúpula de Remanso Castillo. (Fig. XXII)
- 2º) Cuando la superficie principal de enfriamiento es una media esfera, como en la cúpula de la boca de río Verde, entonces los prismas se irradian hacia todos los puntos de dicha emisfera. (Fig. XIX)
- 3º) Cuando la superficie principal de enfriamiento es una cúpula muy convexa entonces los prismas presentan una tendencia a converger hacia la cumbre de la bóveda como en San Jerónimo. (Fig. XX)
- 4º) Cuando la superficie de enfriamiento principal tiene forma cónica entonces los prismas convergen hacia el vértice del cono. (Fig. XXII)

Las investigaciones de Heckel, de Harrington y las mías se complementan. Pues Heckel vió al microscopio que la roca que constituye las elevaciones en cuestión es arcose, arenisca producida por metamorfosis.

Yo creo haber demostrado que esta metamorfosis, en el distrito volcánico que hallé, es debida a la acción de magmas basálticos que subieron casi hasta la superficie terrestre utilizando numerosas fracturas.

Harrington demostró la existencia de dos de estas fracturas entre las cuales está comprendido el lago de Ypacaráí.

C A P I T U L O X I

EL DINAMISMO MAGMATICO EN EL DISTRITO VOLCANICO ESTUDIADO

1 — Formaciones engendradas por este dinamismo.

La tensión de los gases contenidos en los fogones volcánicos, aún más que la naturaleza del magma, es la que determina el tipo de la erupción, y por consiguiente, la estructura del cono.

Cuando la tensión de los gases es débil se producen erupciones llamadas efusivas, porque desde las bocas volcánicas fluye la lava, la cual, si es muy líquida, se esparce sobre vastas superficies, como aconteció en el Alto Paraná.

Si en cambio la lava es muy espesa, se acumula sobre si misma, formando cúpulas, como la del cerro Confuso.

Se producen erupciones llamadas explosivas cuando los gases tienen fuerte tensión y fragmentan al magma en pedazos que lanzan con una sucesión de explosiones alrededor de los cráteres.

Cuando las explosiones son fuertes entonces producen bloques escoriáceos, que acumulándose forman conos como los de Lambaré, Nemby y Cerro Verde.

Cuando las explosiones son muy fuertes entonces el magma es despedazado en pequeños "lapilli" y pulverizado en arenas y cenizas formándose conos como el de Tacumbú.

Concluyendo, los volcanes apagados del Paraguay son de cuatro tipos:

- 1º) Expansiones lávicas de los volcanes a "chimenea a fisura" como los del Alto Paraná.
- 2º) Cúpulas lávicas como la del Confuso.
- 3º) Conos de escorias como los de Lambaré, Nemby y Cerro Verde.
- 4º) Conos de toba como el de Tacumbú.

La erupción del Confuso tuvo solamente una fase efusiva de larga duración. La erupción del Tacumbú, Lambaré, cerro Verde y Nemby tuvo dos fases: la primera explosiva y la segunda efusiva.

La fase explosiva en Tacumbú fue violenta y breve y construyó un cono bajo y ancho; en Lambaré y Nemby fue mucho menos dinámica y acumuló con un prolongado lance de escorias los dos mas altos conos del distrito volcánico.

La fase efusiva fue más breve que la explosiva que la precedió y levantó una columna de lava que se retiró en la chimenea.

En Lambaré, Ñemby y cerro Verde la columna de lava se soldó a las paredes de la chimenea constituidas también por materiales lávicos.

Sobre ninguno de los conos estudiados se notan corrientes de lava. La actividad de todos estos volcanes se redujo a una sola erupción que duró algunos días en Tacumbú; algunos meses en Lambaré, Cerro Verde y Ñemby y tal vez algunos años en la cúpula del Confuso.

En Tacumbú el cilindro de lava después de la destrucción casi completa del inconsistente cono de toba emerge hoy como un neck.

Concluyendo los volcanes hasta aquí tratados tuvieron una actividad muy uniforme. Los magmas del distrito volcánico estudiados con respecto a la superficie terrestre se dividen en: aquellos que quedaron bajo la misma y aquellos que después de perforarla acumularon sus conos sobre ella.

Los primeros son de roca marrón-anaranjada tipo "inclusiones trinidadense" y los segundos son de basalto gris-negro "tipo Tacumbú".

Entre estas dos formaciones el cerrito de Trinidad representa una fase intermedia. El magma marrón-anaranjado probablemente, disminuyendo la presión, debida a la gravedad de las rocas que lo recubren, se diferencia en basalto tipo Tacumbú.

2 — La erupción inicial del magma aconteció en una fase tardía de su consolidación.

Según una corriente de pensamiento eclética que va aumentando en estos últimos tiempos, los magmas no son "exprimidos" pasivamente por las fuerzas orogénicas sino que en muchísimos casos, hacen erupción porque la tensión de los gases que contienen, llega a ser explosiva.

Niggli, demostró un hecho que parece una contradicción: los magmas enfriándose llegan a ser explosivos.

En efecto, en los fogones magmáticos, y también en el laboratorio, disminuyendo la temperatura se producen siempre más cristales, los cuales expulsan de las mallas de sus retículos a los gases, comprimiéndolos, en espacios progresivamente menores, de manera que aumenta la presión.

Si un magma se encuentra a gran profundidad la presión de sus gases no podrá nunca vencer a la de litosfera que lo cubre y se consolidará en las entrañas de la tierra formando un plutón. Si en cambio un magma, pasiva o activamente, sube, hasta poca distancia de la superficie terrestre, la presión de sus gases puede vencer a la del tapón que lo cubre y acontece la erupción.

Un fogón magmático pasa, como es notorio, por las siguientes fases en las cuales la temperatura disminuye progresivamente: 1ª fase del magma supercalentado, 2ª fase ortomagmática, 3ª fase pegmatítica, 4ª fase pneumatolítica, 5ª fase hidrotermal.

La tensión, en cambio, que es nula en la primera y en la última fase; empieza a crecer en la segunda, llega a su máximo en la tercera, y disminuye en la cuarta.

La vida de un volcán será tanto más larga cuanto más grande es su fogón, cosa muy fácil de comprenderse.

Alfredo Rittman, de la universidad de Basilea, en su libro "Vulcani-attività ed origine", editado por la casa Editrice politecnica en el año 1944 en Nápoles, establece que la vida de un volcán depende también de la fase precoz o tardía de la consolidación del magma en la cual aconteció la erupción inicial.

En los volcanes con grandes fogones, si la erupción inicial acontece en una fase precoz entonces generalmente el volcán tendrá una actividad larguísima; si

en cambio acontece en una faz tardía, la vida del volcán se acabará en una sola explosión pliniana con hundimiento a caldera.

En los volcanes con fogones muy chicos, si la erupción inicial es tardía se formarán pequeños conos con una estrusión lávica intercratérica después de la cual toda actividad se acabará para siempre.

A esta última categoría establecida por el ilustre petrógrafo y volcanólogo nombrado, pertenecen los volcanes estudiados en esta monografía.

El hecho de que en estos volcanes, alimentados por pequeños fogones, los magmas hicieron erupción en una fase tardía de su consolidación prueba —además de su efímera actividad que se redujo a una sola erupción— su reciente nacimiento.

Este pudo acontecer solamente después de una larguísima gestación pues ante las atriciones de las dislocaciones, que se producen en las geosinclinal, tuvieron que engendrar las temperaturas que derritiendo los silicados dieron vida a los magmas. Después estos activa o pasivamente llegaron en "fogones" situados a relativa poca distancia de la cáscara terrestre, donde, mientras se enfriaban, sus gases se volvían explosivos.

Los volcanes, a pesar de que en su origen sean manifestaciones de las mismas causas que originaron las cordilleras, tienen después una vida independiente de ellas. Por lo tanto, concluyendo se puede afirmar que los volcanes estudiados son postpliocénicos pero sin establecer a cual de las últimas fases del corrugamiento andino pertenecen.

CAPITULO XII

EL ALINEAMIENTO DE LOS VOLCANES ESTUDIADOS PERTENECE GEOLOGICAMENTE A LOS ANDES.

1 — Vulcanismo y Orogénesis.

Los volcanes apagados estudiados nos revelan su naturaleza y su origen solamente si, siguiendo la regla del método inductivo: "Similia similibus cognoscuntur", los comparamos entre sí.

Ellos forman un todo indivisible que debe ser estudiado conjuntamente como las vértebras, que morfológicamente están constituidas por partes iguales, químicamente son idénticas por su composición, genéticamente tienen un origen común en la "cuerda dorsal" y por lo tanto, no solamente son todas de una misma edad, sino también forman un alineamiento que no es debido al azar.

Que este alineamiento es determinado por leyes tectónicas se busca demostrar en este capítulo.

El hecho incontestable de que no existen cadenas montañosas importantes sobre las cuales no surjan volcanes, los cuales muy a menudo forman dos alineamientos, cada uno paralelo a una de sus dos vertientes, prueba que orogénesis y vulcanismo son dos fenómenos concomitantes indudablemente ligados.

El alineamiento de los volcanes apagados en estudio, dirigido desde septentrión a mediodía tiene que pertenecer por lo tanto a una cordillera que debe estar paralela al predicho alineamiento o hacia levante o hacia poniente. A primera vista pareciera que los restos volcánicos alineados a lo largo del río Paraguay, entre el 25 y 26º paralelo latitud sur, pertenecen geológicamente a la inmediatamente contigua región oriental; es decir al continente paleoamericano, formado principalmente por rocas mesozoicas y paleozoicas y no a los Andes que surgen a 600 kilómetros a poniente después de la llanura postpliocénica del Chaco. Sin embargo, la región oriental no presenta el menor rastro de corrugamiento.

Los seudos cerros y las seudas cordilleras son restos separados de un altiplano cuyo borde va retrocediendo hacia levante. Además los fuegos hipogeos de esta tierra primigenia se han apagado desde el antiquísimo triásico.

En conclusión, el continente paleobrasileño es un "cratogene" es decir, una superficie de la litosfera, que se levantó y bajó, como una tabla rígida sin corrugarse, con aquellos lentos movimientos generadores de continentes que los geólogos norteamericanos han llamado epirogenéticos.

Es evidente en cambio, que los volcanes, objeto de nuestro estudio, nacieron sobre el joven "orogene" andino, en el cual los movimientos de corrugamiento todavía no han terminado, como lo demuestran el reciente gran terremoto de los Andes chilenos y la erupción simultánea de sus volcanes.

2 — La Geosinclinal que engendró a los Andes.

Durante los larguísimos tiempos anteriores al mioceno los ríos de la costa occidental del continente paleobrasileño llevaron sus aluviones al Océano Pacífico. El fondo de dicho océano a medida que se depositaban los sedimentos, se iba encorvando bajo el peso de ellos. Se formó así, bajo las aguas del Océano Pacífico, paralelamente a la costa occidental del continente paleobrasileño una geosinclinal, es decir un larguísimo semicilindro de rocas sedimentarias, enterrado horizontalmente hasta su cara llana superior, la cual estaba pues al mismo nivel del fondo oceánico.

Al principio del mioceno las rocas pesadas del cratogene, situados en el fondo del Océano Pacífico, al oeste de la geosinclinal, empujaron contra la costa del continente paleobrasileño a los estratos sedimentarios que dicha geosinclinal contenía. Estos estratos, verdadero "embrión de la cordillera", apretados como en una prensa, fueron obligados a arrugarse y emergieron del mar. Nacieron así los Andes.

La geosinclinal no es una hipótesis, es un hecho. En efecto, se nota que en todas las cordilleras las montañas sedimentarias presentan en toda la enorme pila de sus estratos, los mismos fósiles marinos de profundidad (bentónicos). Esta uniformidad de fauna bentónica, demuestra que el fondo del océano se encorvó progresivamente bajo la carga de los sedimentos como se ha dicho.

En el caso contrario, en las montañas sedimentarias los estratos situados más bajo, y por lo tanto los más antiguos, tendrían que mostrar una fauna bentónica, los que ocupan la zona central de la pila, una fauna de mar menos profundo o "nerítica, y en los superiores, los últimos formados, cuya deposición hubiera llenado el mar en la proximidad de la costa, tendríamos que hallar una fauna lagunar reciente. (19)

Los Andes surgieron en el centro de la geosinclinal y la dividieron en dos geosinclinales de segundo orden como dos larguísimas cavidades semicilíndricas con los ejes longitudinales paralelos entre sí, a la cordillera y a la costa continental.

Se determinaron así una "fosa" a lo largo del Océano Pacífico y una "avanfosa" entre los Andes y el continente paleobrasileño.

Esta última estuvo bajo las olas del mar chaqueño durante todo el plioceno. Al principio del postplioceno el mar mediterráneo arriba mencionado había sido llenado por la sedimentación y transformado en la actual llanura herbosa sobre la cual pastaban los Mastodon Andinum, como se ha dicho en la premisa y en capítulo sobre el cerro Confuso.

Así, a lo largo de la costa occidental del continente paleobrasileño, el volcanismo y la orogenesis reconstruyeron lo que la erosión había destruido. Esta al-

(19) Los movimientos orogénicos, como es sabido, pueden a veces levantar y tumbar una pila de estratos. En este caso el estrato en la cumbre es el más viejo y el de la base el más joven.

ternación de fases contrarias, que es una ley general a la cual han sido y serán sometidas las costas de todos los continentes, es uno de los tantos ejemplos ofrecidos por la dinámica terrestre, de como del caos de las fuerzas en lucha nacen siempre un equilibrio y un orden admirable.

3 — Los volcanes referidos tuvieron que surgir sobre el borde oriental de la geosinclinal.

Este hecho se verificó porque dicho borde es la zona de menor resistencia tanto por las numerosas y evidentes fracturas como porque allí el espesor de los sedimentos a ser perforados es mínimo.

a) *Las fracturas sobre el borde oriental de la geosinclinal facilitaron la erupción del magma.*

Precedentemente se ha hablado de tres fracturas: aquella sobre la cual surgen Lambaré e Itá Enramada, otra que dió origen al cerro de Ñemby y al cerrito de San Antonio, y aquella en la cual se insinuó el dique de Remanso Castillo.

Harrington, como se ha dicho, demuestra la existencia de otras dos fracturas, entre las cuales el continente paleobrasileño se hundió, formándose así el "graben" de Ypacaraí. Por el citado A. los impulsos orogénicos determinantes de dichas fracturas provienen desde el este, para mí en cambio desde el oeste. Harrington cree que el Graben se ha formado en el trias, y, apesar de esto, no excluye que pueda haber nacido en el "terciario superior" como deduce del hecho de que las areniscas, mientras en los alrededores de Asunción y de Yaguarón son horizontales, entre Itaguá e Ypacaraí, es decir sobre el borde mismo de la fractura, han sido dislocadas y se hallan inclinadas 42° hacia el Oeste (op. cit. pág. 51).

Además, el citado A. dice que pertenece también al "terciario superior" (en otros términos al postplioceno) una pequeña altura de magma gris-negro que surge en el medio del "graben", sobre terrenos aluvionales recientes a dos kilómetros al sur de San Bernardino (ver op. cit. pág. 43-44 y 52).

Estas investigaciones del ilustre profesor me autorizan a considerar como relacionadas con el vulcanismo de que trato no sólo el cerrito al sur de San Bernardino sino también las areniscas metamorfoseadas de esta zona.

b) *Los magmas no pudieron hacer erupción en el fondo de la geosinclinal.*

Siguiendo a Giuseppe Mercalli (ver Cap. II 6°) estamos autorizados a creer que los magmas que se abrieron paso hacia el centro de la geosinclinal cuando sobre ella oleara el mar pliocénico del Chaco, fueron aplastados contra el fondo por la presión de las aguas, donde se extendieron en bancos.

Quando al principio del postplioceno la dicha geosinclinal fue terraplenada los magmas en la zona central, tampoco tuvieron la energía cinética suficiente para llegar a la luz y se insinuaron en la profundidad entre los estratos formando laccolitos. Por las razones expuestas los magmas talandraron los estratos sedimentarios en donde estos eran más delgados.

c) *Los aparatos volcánicos son muy superficiales.*

Giuseppe De Lorenzo en su monografía "Considerazioni sull'origine superficiale dei vulcani" (Ann. R. Acc. delle Sc. Fis e Mat. Soc. Reale di Nápoli Vol. XI serie 2 N° 7 anno 1903) con cálculos geométricos estableció que el fogón magmático de Monte Nuovo se halla a 1348 ms. bajo la superficie terrestre.

Por el citado A. la función de los volcanes se reduce, en último análisis, a una oxidación e hidratación de los metales de los alcali y de las tierras, que solo puede suceder en superficie en contacto con el aire o el mar.

Los conos en estudio, que son más chicos que lo de Monte Nuovo, nacen seguramente de fogones puestos a menor profundidad, y, por consiguiente situados poco más bajo del margen oriental de la geosinclinal.

d) *Comparación entre los Apeninos y los Andes.*

Todas las cadenas montañosas son asimétricas porque presentan una vertiente abrupta hacia los océanos, mientras la otra vertiente declina hacia el interior de los continentes. Las causas de este hecho pueden ser muchas, pero el efecto, fuera de duda, es único, y, es atribuido, después de Suess, a un impulso que actúa, como ya se dijo, desde el fondo oceánico de la geosinclinal hacia la costa del continente. En la vertiente dirigida hacia dicho impulso, la cordillera, además de elevarse a mayor altitud, está bordeada por muchos y grandes volcanes activos.

En la vertiente opuesta, el vulcanismo está generalmente extinguido. Las mencionadas leyes, y mis observaciones, se confirman recíprocamente. En efecto, si comparamos los Apeninos con los Andes, notamos que a los numerosos y gigantes-cos volcanes activos alineados sobre la vertiente occidental, la más elevada del corrugamiento, que cae sobre las fosas abismales del Pacífico y del Tirreno, se contraponen sobre la vertiente oriental declinante hacia el poco profundo Adriático y la llanura del Chaco un vulcanismo reducido a pocos conos extinguidos.

CONCLUSION

Todas las pruebas geomorfológicas, tectónicas, petrográficas y paleontológicas concuerdan y llegan a una conclusión: que el alineamiento de los volcanes extinguidos, de los filones y de las areniscas metamorfoseadas, objeto de esta monografía, representa el vulcanismo que se manifestó durante el postplioceno (cuaternario) contemporáneamente a las últimas fases del surgimiento de los Andes, hecho que hasta hoy no había sido mencionado.

LUIGI MIRAGLIA

