Investigación Petrológica en las lavas del Pedregal de San Angel

por Eduardo Schmitter⁴, 1953.

INTRODUCCION

Varios estudios¹ teniendo como tema el Pedregal de San Angel, anteceden bien documentados al que hoy se presenta en ocasión de celebrar el Cuarto Centenario de nuestra Universidad, pero aun cuando fueran muchos más los trabajos ya presentados, es natural que los aspectos por tratar en relación con ese fenómeno volcánico, y los que se derivan de su influencia sobre la vida en nuestra bella cuenca, son inagotables. Por ser en parte el cimiento de nuestra futura Ciudad Universitaria que simbólicamente purificará su espíritu en un lago de lava, parece justificado el tema escogido. Por primera vez el agreste paisaje se alegra y tal vez la tradición se está cumpliendo: sobre las ruinas del templo de Cuicuilco se están levantando otros templos...

AGRADECIMIENTOS

Para las señoritas Honoria González y química Ruth Rojas; los señores, químico Ariel Hernández Velasco, dibujante Lauro Ramírez, Dr. Carl Fries Jr., Ing. A. R. V. Arellano, Ing. Teodoro Flores, estudiantes José Carrillo Felipe Méndez, Alberto Ferreiro, Sr. Manuel Mata y otras personas más que con su colaboración y critica hicieron posible la presentación de este trabajo.

SITUACION

El Pedregal de San Angel, o sea el conjunto de corrientes de lava hoy petrificada, que arrojó el volcán Xictli,² ocupa un área en parte correspondiente a las faldas septentrionales del volcán del Ajusco y en menor parte a los terrenos bajos que bordeaban hacia el SW. el antiguo lago. En el rincón sudoccidental de la actual cuenca de México, dicho pedregal hizo contacto hacia el NW. con las estribaciones del volcán del Ajusco, mismas que continúan al NW. con el nombre de Sierra de las Cruces. Las

principales poblaciones que se han establecido junto a los límites del Pedregal de San Angel, son las siguientes: Coyoacán, Villa Obregón y Contreras, al NE, N, y NW respectivamente; Tlalpan al SE. (véanse los planos núms. 1 y 2 dibujados de dos fotografías obtenidas por la Compañía Mexicana Aerofoto.

COMUNICACIONES

Al Pedregal de San Angel se puede llegar fácilmente. La comunicación principal con el centro de la Ciudad de México, se puede efectuar a través de la Ave. Insurgentes. misma que atravesando una parte del Pedregal, alcanza la población de Tlalpan y se continúa poco después por el camino que conduce al puerto de Acapulco. La otra comunicación que le sigue en importancia, es la Calzada de Tlalpan que en parte bordea el extremo oriental y sureste del Pedregal de San Angel. En el extremo sur de la Ave. Insurgentes y antes de que esta atraviese el Pedregal, dicha avenida se conecta con la pequeña carretera que hacia el suroeste bordea también en esa parte las lavas, hasta llegar al pueblo de Contreras, en donde se aparta del Pedregal para seguir por la barranca del mismo nombre. Un poco al norte del monumento al Gral. Alvaro Obregón, la Av. Insurgentes se conecta con la calzada de Tlalpan mediante la Avenida Taxqueña, que también bordea buena parte del extremo norte de las lavas. Los trenes eléctricos que conducen desde el Zócalo de la ciudad de México hasta las poblaciones de Tlalpan y Villa Obregón, son otro medio de comunicación fácil con las orillas del Pedregal de San Angel. El ferrocarril que de la estación de Buena Vista se dirige a la población de Balsas, en el Estado de Guerrero, es el mejor medio para recorrer el Pedregal de San Angel en su parte alta y central. Una estación de bandera llamada

Joco, es un lugar elevado desde donde con relativa facilidad se puede alcanzar la base del cono piroclástico del Xictli, aprovechando una fácil vereda de poca pendiente que, desde la vía hasta el pie del cono, tiene una longitud aproximada de 2.5 Km. Finalmente, existe un punto elevado de la carretera entre México y Tres cumbres (carretera México-Acapulco), una desviación hacia el pequeño pueblo del Ajusco. Es un camino de tierra que en tiempo de secas se puede transitar con facilidad hacia un punto hacia el sur del cono piroclástico, distante de ese unos 1,250 metros.

HISTORIA

Estudios anteriores a los realizados por Kirk Bryan,³ A. R. V. Arellano⁴ y Helmut De Terra,⁵ asignan para la edad del Pedregal de San Angel hasta más de 10,000 años.⁶

PETROLOGIA

En 1946 el autor, interesado en utilizar métodos petrográficos para determinar la edad del Pedregal de San Angel, presentó al Segundo Congreso de Ingeniería de Minas y Geología reunido en Río de Janeiro, el trabajo titulado: "Determinaciones Geológicopetrográficas para fijar la edad de las lavas del Pedregal de San Angel". La síntesis de posibilidades para tal objeto, es la siguiente: a) Investigación petrográfica de las cenizas y arenas del Xictli, con el propósito de localizarlas in situ, ya sea en la desembocadura de los arroyos hacia el antiguo lago y en el seno de éste (las también transportadas por el diferenciándolas de otras procedentes de otros volcanes; b) con el levantamiento de un plano, localizar los puntos más apropiados para hacer perforaciones o utilizar el material cuidadosamente conservado de algunas de las ya hechas, para hacer posible la investigación petrográfica; c) con dicha investigación. determinar el ritmo sedimentación posterior a la erupción del Xictli, de preferencia en el seno del lago, a continuación calcular la edad para dichas arenas y cenizas. Se tomaron en cuenta para calcular el limite superior de sedimentación, los datos de estaciones de aforo. nivelaciones topográficas, la evidencia de

que el nivel del lago estuvo ligeramente más bajo que la base de la corriente de lava (ausencia de suficiente tetzontle), fluctuaciones que dicho nivel experimentó por la intervención del hombre prehispánico y la actual aportación anual de sedimentos. Para reforzar tales posibilidades, también se consideró evidente que la aportación de sedimentos durante la época de la erupción, fue notable; por lo mismo, el horizonte cinerítico del Xictli en el centro del lago puede identificarse con relativa facilidad. Durante la preparación de dicho trabajo y para completarlo con datos estratioráficos recientes, el autor, ayudado por el Ing. Rolando Martínez Ruiz, pudo confirmar la existencia de las formaciones Tacubaya, Becerra y Totolzingo, infrayacentes a las lavas del Pedregal de San Angel. Por lo tanto, teniendo en cuenta la edad que se le considera a la formación Totolzingo (la más reciente de las tres anteriores) se estimó tentativamente una edad máxima para dichas lavas de 5000 años y una mínima (la más probable) de 2500 años.

Con las investigaciones modernas del carbono 14, y aprovechando el estudio de restos vegetales carbonizados por las lavas del Pedregal de San Angel, que los doctores Helmut de Terra y Manuel Maldonado Koerdell han colectado, será tal vez posible la resolución del problema, utilizando estos métodos más elegantes y sencillos.

Por otra parte, la historia más reciente, presente y futura de las lavas del Pedregal de San Angel, ha sido y el autor cree que seguirá siendo de grandes beneficios: dique poderoso contra la erosión de las tierras que se encuentran arriba de él sobre las faldas elevadas del Ajusco; vaso colector de aguas potables; amplio campo de estudio para la espeleología que el autor sugiere tome bajo su cuidado la Universidad, iluminándolos y poniendoles sus puertas de acceso controlado, para evitar el deterioro de sus modestas piroestalactitas, piroestalacmitas, pirocarámbanos y gotas de lava; justificado motivo de estudio para saber mas sobre el vulcanismo reciente de la cuenca en donde nuestra capital sigue viviendo...; fuente inagotable de piedra para la construcción y últimamente asiento de nuestra Ciudad

Universitaria, lo mismo que de una interesante colonia residencial. Su fauna y su flora no deben ser poco interesantes y bajo austero manto de sus lavas, en un tiempo incandescentes, aún se conservan para el antropólogo, muchos sepulcros y misterios de nuestros hombre antiguos.

Por encontrarse el Xictli dentro de la zona Neo-volcánica de México, como uno de los olcanes adventicios del Ajusco, el autor considera muy oportuno transcribir parte de algunos capítulos que Howel Williams7 cita en su trabajo Historia Prevolcánica "De acuerdo con los mapas paleogeográficos preparados por Kellum (1944), casi toda la zona neo-volcánica de México..." "Fue una tierra seca durante los tiempos Pérmico, Triásico y Jurásico Inferior". "Por otra parte, de acuerdo con Robles (1943), los mares del Geosinclinal cubrieron a Michoacán en forma intermitente desde el tiempo Triásico hasta cerca del término del tiempo Cretácico". "De acuerdo con Kellum, un canal marino conectó el Océano Pacífico con un antiguo Golfo de México más amplio que el actual..." "Cubriendo el borde oriental de la Zona Neovolcánica durante los tiempos del Jurásico Superior y del Cretácico Inferior". Estudio efectuados por el Dr. Carl Fries Jr. y Carl Bauman (estudiante de la Universidad de Columbia), en la región donde el autor⁸ localizó la especie mineralógica Portlandita, confirman la presencia de calizas y lutitas correspondientes al Cretácico Medio y Superior, por ejemplo, en la pequeña serranía que se encuentra a unos 10 Km al oriente de la ciudad de Cuernavaca "Un amplio combamiento del continente durante el tiempo Creácico Superior, dice Kellum, marca el principio de la Revolución Laramide que alcanza su máxima intensidad después del tiempo Maestrichiano y continuó con vigor decreciente en el principio del Terciario". "Durante la época del Cretácico Superior, los mares que cubrían la región del Paricutín, probablemente desde el tiempo Triásico, seguramente desde el tiempo Jurásico Superior, fueron desalojados por grandes levantamientos acompañados de instrucciones igneas en grande escala".

"la zona Neo-volcánica de México", "Todavía permanece incierto el tiempo preciso con el

que principió la actividad volcánica en la Zona Neo-volcánica". "Con excepción de pocas áreas, aún se mantiene dudosa la sucesión de los varios tipos de lava".

"Robles (1943) establece que las lavas más antiquas son generalmente las andesitas, dacitas y riolitas del Eoceno, pero entre ellas incluye las lavas del Tancítaro, que como se indica más adelante. son mucho más ióvenes". "Basado en las supuestas erupciones del Eoceno, de acuerdo con Robles, las andesitas y los basaltos son de edad Pliocénica; después siguen las latitas, andesitas y basaltos del Pleistoceno y finalmente los basaltos de olivino de la edad Reciente". "De la O. Carreño (1943) presenta sucesión ligeramente diferente. principiando con diabasas en los primeros tiempos del Cenozoico, seguidas andesitas propilitizadas en el Mioceno. andesitas y riolitas en el Plioceno y finalmente en el Pleistoceno y Reciente, corrientes de basalto". "Concordando con Ordóñez, él asigna a los grandes conos del Tancitaro, Orizaba, Nevado de Toluca. Nevado de Colima e Iztaccíhuatl, la época Pliocénica."

"Robles (1943) cita a Ordóñez con el propósito de indicar que las lavas del Eoceno son principalmente andesitas de hornblenda y que algunas de edad Pliocénica incluyen andesitas de hornblenda y piroxena y basaltos, en tanto que las lavas del Tiempo Reciente son latitas, andesitas basálticas y basaltos". "De acuerdo con Blázquez (1946), en el Estado de Tlaxcala las primeras erupciones que siguieron a la emergencia del área en lugar del mar Cretácico, fueron andesíticas y no hubo erupciones de basalto sino hasta el tiempo Pleistocénico"

"Del sumario anterior, es aparente que se mantiene mucha incertidumbre en relación con la edad y la secuencia de las lavas Terciarias y sólo hasta que se estudien las floras y faunas fósiles de tobas las intercaladas, las dudas se podrán disipar". "La impresión general entre los geólogos mexicanos es de que las primeras erupciones Terciario fueron dominantemente andesiticas y algunas de las últimas principalmente basálticas". "Esto puede

parecer correcto en general para la Zona Neo-volcánica, como lo que sucede en Nicaragua, pero tal cosa es cierta solamente en un tosco sentido, para lo que se refiere a la región que rodea al Paricutín".

Finalmente, los últimos párrafos que Howel Williams⁷ escribe de su exposición general acerca de la formación Zumpinito, dicen: "Probablemente la formación Zumpinito es equivalente a la gran masa de lavas predominantemente andesíticas que caracterizan la escabrosa fisonomía de la comarca entre Morelia y Zitácuaro y también se le presume correlativa con las rocas volcánicas primarias que bordean el Valle de México".

"Para los que están familiarizados con la Sierra de las Cascadas en los Estados Unidos, la formación Zumpinito les hará recordar las rocas volcánicas que desde el Eoceno hasta el Mioceno se encuentran representadas en las Cascadas Occidentales, así como los volcanes jóvenes de la región del Paricutín, los conos del Plioceno, Pleistoceno y Reciente de las altas Cascadas".

En cuanto al volcán del Ajusco, fue opinión del maestro Aguilera que su formación es anterior a la del Iztaccihuatl, probablemente de los tiempos del Mioceno. La roca de aquel volcán está clasificada como Andesita de hornblenda e hiperstena. Un cono adventicio del Ajusco perteneciente al volcán de cráter doble llamado el cerro del Conejo, que fue rodeado por las primeras lavas del Xictli (véase plano Núm. 2), tiene una roca que ha sido clasificada como andesita hornblenda. El plano geológico y petrográfico de la parte SW. de la cuenca de México, por los Ings. Antonio del Castillo y Ezequiel Ordóñez (1893), la registra también como andesita de hornblenda.9 Por otro lado, los estudios de A. R. V. Arellano^{3,4,5} permiten asignarle edad pliocénica. Aparte de las tobas andesíticas pliocénicas según, 3,4,5 de los cerros de Zacatepetl y del Vivero, bien conocidas como rodeadas también por las lavas del Xictli, el autor estudió ejemplares correspondientes a un probable basalto andesítico de olivino y augita que se encuentra rodeado y casi cubierto por dicha

lava precisamente en el puerto que se forma entre los dos cerros mencionados. A esta roca se le puede considerar tentativamente como de edad pleistocénica. La presencia de minerales secundarios en las pocas y pequeñas amigdalas que presentan los ejemplares estudiados, ayudan a suponer un nivel hidrostático bajo cuya acción fue posible la mineralización de la roca. De lo anterior se deduce que cuando menos, hubo tres procesos eruptivos anteriores a la erupción del Xictli y que en la misma región tuvieron lugar desde el tiempo Miocénico hasta el tiempo Reciente (contando la erupción del Xictli). Por consiguiente, parece que se ha confirmado una vez más que en una parte de la Zona Neo-volcánica, las erupciones basálticas han tenido lugar en tiempos más recientes. Sin embargo, el autor está de acuerdo con lo que dice Howell Williams,7 pues en realidad existe alguna incertidumbre en lo que se refiere a la edad y la secuencia de nuestras lavas terciarias, por eso considera de mucha importancia los estudios emprendidos para la cuenca de México^{3,4,5} y los que se continúen por igual camino; así como la necesidad de establecer definitivamente una clasificación cuantitativa de nuestras rocas igneas y desarrollar bastante nuestra petrografía sedimentaria. Considera que la incertidumbre en la frecuencia de nuestras lavas terciarias, se ha debido principalmente a que una gran mayoría de nuestras clasificaciones petrográficas no cuenta con suficientes datos analíticos químicos cuantitativos. En su mismo trabajo Howell Williams, indica la dificultad que en ocasiones se ha tenido para establecer una clasificación puramente microscópica para ciertos tipos de lavas basálticas y andesítico-basálticas. Con los datos del análisis químico cuantitativo se nuestras pueden ajustar muchas de clasificaciones que han sido hechas por el simple estudio de una lámina en el microscopio. En ocasiones, no son suficientes el estudio microscópico y el químico, sobre todo no sólo es necesaria la clasificación de la roca sino de uno de sus raros constituyentes. Tal es el caso de una roca "alcalina" de la Cuenca de México que el autor ha estado estudiando durante muchas horas. El primer ejemplar fue colectado por el Ing. Ramiro Robles y uno de los subsecuentes, colectado por el autor está siendo estudiado por la

Ecología, Historia Natural y Manejo.

señorita J. J. Glass, petróloga del U.S.G.S., a través de los magníficos oficios de nuestro amigo y colaborador Carl Fries, Jr. Con reciente comunicación dicha señorita nos informa que el problema será estudiado en el espectrógrafo y con rayos X... Es necesario que nuestras autoridades científicas procuren la dotación oportuna del equipo y los elementos humanos especializados que están urgiendo en muchos de nuestros laboratorios... si existe el sincero deseo de que en nuestro país se haga más amplia la investigación. En cuanto a nuestros geólogos, que palpen la urgente necesidad de contar entre sus compañeros investigación, con físicos y químicos analistas especializados, sin considerarlos simples máquinas para hacer análisis, sino profesionistas interesados en los problemas geológicos, colocándolos a su misma altura dentro de lo material y espiritual y dotando también a sus laboratorios de suficiente equipo. A este respecto el autor hace constar que la oficina de mineralogía y petrología del Instituto Geológico, cuenta por primera vez para su servicio exclusivo, con la señorita química Ruth Rojas, quien actualmente se está especializando en el análisis químico cuantitativo de las rocas ígneas, gracias al convenio de colaboración establecido entre la Secretaría de Recursos Hidráulicos y la Universidad, a través del Departamento Geológico de la primera, con el Instituto Geológico de la segunda. Dicha señorita está siendo asesorada muy ampliamente por los señores Hermión Larios, petrólogo de Petróleos Mexicanos y Rodolfo Corral, jefe de laboratorio de dicho instituto.

TRABAJOS DE CAMPO

El autor aprovecha la experiencia adquirida durante algunas excursiones realizadas en el pasado, al Pedregal de San Angel, acompañando entre las primeras al maestro Leopoldo Salazar Salinas y entre las últimas al Ing. Ezequiel Ordóñez. Recuerda también algunos de los brillantes conceptos que sobre este fenómeno volcánico expresaba el maestro José Guadalupe Aguilera en su cátedra de Mineralogía y Elementos de Geología para la Escuela Nacional de Ciencias Químicas. Más tarde, el autor experimenta satisfacción al descubrir en 1934

el pequeño cráter junto a la base occidental del cono piroclástico del Xictli y comenta su, para él y en aquel entonces, tal descubrimiento con el maestro Aguilera y el Ing. Rafael Ortíz Mena; después con el Ing. Ordóñez, el Ing. Ramiro Robles R., el doctor Carl Fries, Jr., y el Ing. A. R. V. Arellano, haciéndoles notar que ninguno de los planos topográficos actuales, exceptuando dibuia-dos con datos aerofotográficos. indican las curvas de nivel correspondiente a dicho cráter. La carta corográfica del D. F. hecha bajo la dirección del Ing. I. Molina, en el año de 1899, dibujada y grabada magistralmente y considerada por el Ing. Arellano como la mejor que se ha levantado del Distrito Federal, tampoco registra el accidente topográfico. (La fotografía aérea hoy nos lo muestra con bastante claridad. véase el plano Núm. 2).

En su tiempo, el maestro Salazar Salinas nos enseñaba, al Ing. Rafael Pérez Silíceo, al autor y a otros alumnos que le acompañábamos parados en el borde septentrional del cráter piroclástico del Xictli, la escotadura en arco que con un ángulo de aproximadamente corta dicho borde, y relacionaba tectónicamente el accidente con las fracturas y fallas que había estudiado en las regiones del Cerro de la Estrella, la Sierrita de Santa Catarina, la Barranca de Contreras, las Lomas de Santa Fe. etc. Precisamente siguiendo el arco de la fractura que interrumpe el círculo del cráter piroclástico del Xictli, se alinean sensiblemente del sureste al oeste-noroeste, las otras bocas que el autor descubrió al estudiar la fotografía aérea con la que se dibujó el plano Núm. 2. El maestro Salazar Salinas nos enseñaba también la masa de roca alterada por la acción fumarólica que yace en el fondo del cráter piroclástico del Xictli como un pequeño tapón. Dicho cráter tiene aproximadamente 455 metros de diámetro y 115 metros de profundidad, con el vértice del embudo desviado hacia el noreste y a unos 10 metros más arriba del fondo del cráter descubierto por el autor; cráter que a su vez se encuentra caracterizado por una fractura que también lo atraviesa en el fondo sensiblemente de sureste a noroeste. Este cráter o boca con el borde ovalado, en dirección de la fractura, tiene un diámetro medio de 170 metros y una

Ecología, Historia Natural y Manejo.

profundidad de 55 metros. Un punto en el sur del borde también está cortado por una fractura con apariencia de falla. La porción sur-suroeste del borde correspondiente al cráter piroclástico, es la más alta, lo que parece indicar que el volcán arrojó en esa dirección sus últimas cargas explosivas (pequeñas bombas de forma característica).

El autor formó parte de algunas excursiones durante las que se visitaron las grutas del "Gorrión" y de "Pedro el Negro"; en las que tuvo la oportunidad de colectar pequeños ejemplares de piroestalactitas, piroestalacmitas y pirocarámbanos y gotas de lava, así como de estudiar algo sobre la morfología de las grutas que más adelante discute. Con el propósito de ilustrar algunas de las típicas estructuras superficiales que acordonadas y corrugadas se observan en las lavas del Pedregal de San Angel, se tomaron fotografías y se aprovecharon otras que bondadosamente facilitó al autor, el Ing. Teodoro Flores. Especialmente se hizo un muestreo de un corte de lava de una altura aproximada de 4 metros que se localiza en los terrenos donde se construye la Escuela Nacional de Ingenieros en la Ciudad Universitaria. Acompañado de algunos alumnos, el autor visitó el curso de una pequeña corriente de lava con aspecto muy parecido a las que ha estado arrojando el Paricutín, es decir de muy poca fluidez. Dicha corriente se localiza muy bien en la fotografía aérea que el autor adquirió para su estudio, en la Compañía Mexicana Aerofoto. Como se indica en capítulo anterior, el autor, acompañado del Ing. Rolando pudo Martinez Ruiz. identificar las formaciones Tacubaya, Becerra y Totolzingo infrayacentes al Pedregal de San Angel.

SUPERFICIE

El Pedregal de San Angel ocupa una superficie de aproximadamente 72 kilómetros cuadrados; el área del dicha lava afecta la forma de una elipse cuyo eje mayor tiene una orientación noreste-suroeste. Una parte de su borde sureste interrumpe la forma elíptica del área, constituyendo un entrante del terreno antiguo en donde se encuentra ubicada la población de Tlalpan. (Compárese la superficie de la lava con la que ocupa en la

actualidad la ciudad de México, plano Número 1).

SECUENCIA DE LAS CORRIENTES DE LAVA Y ASPECTOS FISIOGRAFICOS

Sobre la secuencia de las principales corrientes de lava, el autor presenta en esta ocasión un estudio tentativo que se podrá mejorar con el concurso de un buen plano topográfico y la observación estereoscópica de un mosaico aerofotográfico del Pedregal de San Angel. Lo que sí es evidente, es que las primeras corrientes de lava fueron relativamente pequeñas y que se derramaron hacia el sureste, sur y suroeste del aparato volcánico: unas veces hacia el pequeño valle que se formó entre el Ajusco y dicho aparato; otras hacia el rincón que forman el Ajusco y sus estribaciones y otras más hacia el oriente, rodeando el volcán del Conejo. Estos últimos derrames posiblemente muy fluidos pero de escaso volumen, llegaron hasta la zona que hoy ocupa la población de Tlalpan. Después del derrame de esas corrientes, el aparato volcánico aumentó notablemente el volumen de su lava y cambió la dirección de las corrientes que eran arrojadas por varias bocas, aprovechando definitivamente la pendiente natural que hacia el norte se ofrecía y fue entonces cuando una de estas bocas, posiblemente la que se encuentra junto a la base oriental del cono piroclástico, derramó la corriente que había de limitar el sur de la zona que ocupa la población de Tlalpan es decir, dicha corriente cruzó cubriendo la corriente de lava que había bajado rodeando el mencionado cerro del Conejo. Con poco intervalo de tiempo, el cráter o boca junto a la base poniente del cono piroclástico, derramaba hacia el norte otra impetuosa corriente de lava que a su vez cubrió la estructura de un antiguo y probable cráter, que en apariencia hoy se manifiesta a través de la lava como un gran circo de 2 Km. de diámetro. Sin haber podido definir la secuencia con suficiente claridad, el autor interpreta otra corriente de lava salida de una boca no identificada, la cual pudo haberse encontrado al norte y junto a la base del cono piroclástico, por donde el volcán arrojó la más importante de sus corrientes, cuyo enorme volumen no pudieron represar las antiguas formaciones constituidas por los cerros del

Vivero, del Basalto Antiguo, del Zacatepetl y sus estribaciones noroeste, pues por estas últimas que actuaron como un vertedor de demasías, la corriente de lava pasó fluida y en extensa lámina de poco espesor hacia los terrenos más bajos y por consiguiente más cercanos a las orillas del antiguo lago. El puerto constituido entre las formaciones citadas, por encontrarse a mayor altura que las estribaciones noroeste del Zacatepetl, sólo permitió el paso de muy reducidas corrientes, ya que no pudieron invadir el monumento de Cuicuilco no obstante su cercanía (observación del Ing. Arellano). Como antes se indica, la secuencia de esta gran corriente con respecto a las dos antes citadas, no es clara, aunque el autor la supone anterior a ellas. Seguramente que de las tres poderosas corrientes se produjeron bifurcaciones y que otras, tal vez menos copiosas, fueron cubiertas, pero de ellas no se observó evidencia alguna. Todavía en períodos probablemente muy posteriores y aprovechando los estuches que habrían de constituir más tarde las cavernas que se han ido descubriendo, estuvieron corriendo por sobre la superficie de las grandes corrientes relativamente frías, otras de pequeño volumen semejantes a la que el autor visitó acompañado de un grupo de alumnos. En resumen, como resultado de los diferentes derrames que seguramente se superpusieron con gran profusión, el antiguo paisaje fisiográfico cambió notablemente en algunos puntos y en otros pocos se alteró de su pendiente original.

Observando la orientación general de las actuales barrancas que se han formado en las faldas de la serranía que se encuentra hacia el noroeste del Pedregal de San Angel, no es difícil presumir la existencia de algunas de ellas, con igual orientación abajo de dicha lava, aunque también es posible que la formación de tales barrancas haya sido posterior al fenómeno volcánico, en cuyo caso sólo se podrá creer en una principal que necesariamente había cuando nació el volcán. En la actualidad, dicha barranca desviada hacia la orilla noroeste del Pedregal, inicia su formación hacia el suroeste de dicha lava en el rincón que forman el volcán del Ajusco y sus primeras estribaciones en ese límite de la Cuenca de México. Es posible que la zona ocupada por la población de Tlalpan sea una parte del abanico aluvial formado por dicha barranca. Estas hipótesis sobre el relieve sepultado, complican bastante el cálculo aproximado que el autor pudo haber hecho del espesor medio de las lavas. Deja para futura investigación dicho cálculo que intentará durante la continuación de este trabajo.

El autor interpreta como aspectos fisiográficos anteriores a la erupción, la presencia de un grupo de pequeñas elevaciones, entre las que se cita el cerro del Vivero, el del Basalto Antiguo y el de Zacatepetl, con sus estribaciones hacia el noroeste. Es posible que alguna de tales elevaciones encuentre prolongada hacia el suroeste y unida con las estribaciones del Ajusco. encajonando la antigua barranca cuyas aguas depositaron el posible abanico aluvial que ya se cita. Parece también posible que de no haber habido tal prolongación, existieran valles y hondonadas entre la parte que ocupa el cráter hipotético cubierto por la lava y las antiguas formaciones del cerro del Vivero, Zacatepetl, etc.

En contraste con los aspectos primitivos del paisaje fisiográfico, el área ocupada por el Pedregal de San Angel se puede dividir en cinco zonas: la primera localizada en el propio aparato volcánico constituído por el cono cinerítico, el cráter al poniente de éste y las diferentes bocas que ocupan la parte más elevada; la segunda localizada en la vertiente meridional de dicho aparato; la tercera de fuerte pendiente localizada en la vertiente septentrional del mismo aparato; la cuarta situada inmediatamente al norte de la tercera. con menor pendiente, rellenando barrancas y hondonadas y por último, la quinta, localizada en las tierras bajas cercanas a las orillas del antiguo lago. En el concepto del autor y para futuro interés espeleológico, la tercera y cuarta zonas, son las más propicias para localizar nuevas grutas. Además de los dos cráteres y las cuatro bocas de lava que el autor localiza en plano Núm. 2, abiertas como ya indica a lo largo de una posible fractura. existieron a niveles inferiores, hornitos y fuentes de lava. Entre estas últimas es notable la que se localiza en la parte central del extremo norte de la tercera zona o sea en

la terminación de la fuerte pendiente y precisamente hacia el norte del cono piroclástico. Dicha fuente hoy se encuentra caracterizada por grandes hundimientos y grietas, rodeados por una estructura de lava sensiblemente circular. Otra fuente parece haberse formado en el extremo occidental de la tercera zona, caracterizada también por un pequeño hundimiento. De tales grietas y hundimientos, existen en la misma zona algunos más, orientados de sur a norte. En la cuarta zona se localiza una gran depresión que el autor no tuvo la oportunidad estudiar con detalle. Finalmente, en la quinta zona, el aspecto estructural de la superficie de las lavas, es notablemente diferente al de las cuatro primeras, lo cual se cree fue debido a un movimiento lento y divagante de las lavas cuando se extendían en esta zona de mínima pendiente.

Al pie del pequeño corte de cuatro metros en donde el autor colectó las principales muestras para su estudio petrográfico y petroquímico, junto al perímetro que ocupará la Escuela Nacional de Ingenieros en la Ciudad Universitaria, existe un amontonamiento de bloques andesíticos que el autor considera fueron transportados hasta ese lugar a lo largo de una posible barranca, hoy ocupada por las lavas, cuando aquella, a nivel muy superior del actual, profundizaba su cauce. Precisamente abaio de algunos de los cortes de lava que limitan hacia el norte el perimetro de la Ciudad Universitaria, el terreno sedimentario correspondiente a formaciones superyacentes a las de Tacubaya y Becerra, se encuentra fuertemente calcinado con un color café rojizo de ladrillo, lo que para el autor es índice de fuerte oxidación, favorecida por una condición de humedad que dicho terreno tenía cuando fue cubierto por las lavas. No se puede explicar de otro modo la formación de una mezcla arcillosa de limonita y hematita que es la que tiene ese color característico. El autor propone, en futuros estudios. hacer la petrografía sedimentaria de tales formaciones.

ASPECTOS ESTRUCTURALES

Con amplio detalle, el interesante trabajo de los doctores Waitz y E. Wittich¹⁰ sobre los tubos de explosión del Pedregal de San

Angel, describe diferentes aspectos que presenta la lava en su estructura. En esta ocasión el autor se refiere a ciertas estructuras de las grutas que visitó. Tanto en la gruta del Gorrión, como la de Pedro el Negro, la sección de las bóvedas expone una curvatura que recuerda el estilo morisco. (Véase el esquema adjunto). Con el aspecto



de túneles sin paredes verticales, dichas grutas tienen pasos muy estrechos que comunican los amplios espacios cuya altura llega a ser hasta de 6 metros y con

ancho hasta de 10 metros. Las bóvedas en donde no se han producido derrumbes por contracción o dislocamiento, se encuentran soportadas por un piso de lava ondulante, en general de suave pendiente, en el que se observa con claridad el rumbo y dirección que tuvo la corriente de lava. A estos conductos el maestro Aguilera les llamaba "estuches de lava". A la combinación de arcos que constituyen la bóveda, el autor la interpreta como la manifestación de un proceso de refusión experimentado por el piso de un estuche durante el paso de una corriente de lava más copiosa y por lo tanto de mayor capacidad térmica. Ocasionalmente se ven, como en la gruta del Gorrión, corrientes de lava superpuestas que pudieron causar un efecto parecido. De vez en cuando se observan pendientes de las bóvedas, en mayor o menor profusión, pequeñas piroestalactitas y pirocarámbanos de lava que alcanzan longitudes hasta de 15 centímetros. En el piso de las grutas, en un tiempo en movimiento, también se observan piroestalacmitas pero en menor proporción. A todas estas pequeñas estructuras se les observa en donde probablemente el calor de convección fue más intenso. Las piroestalactitas propiamente dichas, son pequeños cilindros huecos, muy frágiles, con un diámetro exterior medio de unos 5 milímetros y paredes de fracciones de milímetro cuando su conducto interior es de forma tubular; otras, de paredes más gruesas, son las que tienen el conducto en forma de un rosario de vesículas. Tanto las piroestalactitas, como los pirocarámbanos, rematan en una burbuja o

racimo de burbujas. Las piroestalacmitas (grupos de gotas soldadas entre si), se formaron cuando la lava que las constituve tuvo su minima viscosidad. Afectan el aspecto de una superposición de gotas de parafina que se escurrieron en los bordes de una vela encendida; en casos de mayor viscosidad, se parecen al amontonamiento de una maiada de borrego y en otros mas, los amontonamientos son como de gotas estiradas, tal vez por una condición de viscosidad mayor, por un impulso neumatolítico que las desprendió de la bóveda, o porque representan fragmentos de pirocarámbanos que se estuvieron desprendiendo de un mismo sitio. Volviendo a tratar de las piroestalactitas, el autor presume que su formación se debió a una ligera acción de succión que como trompa de vacío pudieron tener los estuches, cuando la lava pasó por los estrechos conductos. Baio ese efecto los gases que se conservan en la masa de lava de las bóyedas, fueron succionados en parte y hechos pasar a través de ciertos pirocarámbanos viscosidad adecuada. mantenían su estado termodinámico en que se encontraba la lava que constituye las piroestalactitas favoreció notablemente el desarrollo de muy interesantes agrupamientos de cristales que. como en el caso de las drusas, tapizan casi siempre los conductos tubulares y en rosario, lo mismo que las paredes interiores de las burbujas de lava. Entre esos grupos de pequeños cristales se observan aguias de Iddingsita, filamentos blancos, amarillentos y rojizos de un material vitreo y placas exagonales de hematita. No es exagerado afirmar que en todas las piroestalactitas y vesículas de los pirocarámbanos, lo mismo las correspondientes en de piroestalacmitas, existe esa mineralización digna de una investigación cristalográfica especial. No es menos interesante observar la superficie exterior de todas esas pequeñas estructuras que en general se encuentra cubierta por una pátina azulada y gris como si estuviera pavonada. Pequeños cristales de magnetita también se encuentran tapizando grandes porciones de tales superficies en las se nota una muy fina estructura demuestra ondulante que la acción intermitente durante el desarrollo de dichas estructuras. Al estudiar en el microscopio las

microtexturas de los pirocarámbanos y piroestalactitas, se observó un desarrollo de cristales eutécticos de ilmenita y magnetita.

Dado el relativo corto tiempo transcurrido desde que se congelaron las lavas del Pedregal de San Angel, la erosión no ha impreso aún huellas profundas en su superficie Sin embargo, sólo un agente biológico que en este caso es el hombre, le ha producido una corrosión bastante importante, sobre todo en la mayor parte de los lugares donde la lava hace contacto con las zonas que aquél habita. En varios lugares donde la lava no alcanzó gran espesor, el hombre ha podido recuperar pequeñas extensiones de suelo que hoy utiliza para sus necesidades agrícolas. El interés de tal recuperación. combinado con el de adquirir piedra para la construcción, facilitó también el aprovechamiento de tales extensiones de suelo, entre los que es oportuno citar aquellos donde se levanta la Ciudad Universitaria

Precisamente en el lugar por donde pasó la corriente de lava que invadió los terrenos bajos cercanos al antiguo lago, hoy se constituye la colonia llamada "Jardines del Pedregal". Hacia el suroeste de dicha colonia se encuentra cortada totalmente la corriente de lava, como se puede observar en el plano Núm. 2. El Ing. Arellano hace notar que de dicha corriente había una cantidad regular hasta hace poco tiempo, junto al extremo norte del cerro de Zacatepetl. En el plano Núm. 2 también se pueden observar grupos alineados de esos pequeños recuperados, cuya peculiar situación puede ser debida a las condiciones que tenía el relieve sepultado. Una zona en las lavas del Pedregal de San Angel, cuya erosión puede considerarse de las más intensas que ha experimentado, sin el notable concurso del hombre, es la que está situada hacia los lados sur, sureste, este y noroeste del cerro del Conejo. En el plano Núm. 2 puede observarse que en dicha zona hay notable intercalación de terrenos probablemente recuperados entre las corrientes de lava que en esa parte se derramaron sobre una fuerte pendiente. Es posible que dichas corrientes no alcanzaron a cubrir la superficie de aquellos terrenos que en tal caso dan una falsa impresión de haber sido recuperados

Ecología, Historia Natural y Manejo.

para la agricultura. De cualquier manera, la orilla de las corrientes indica una más intensa erosión. Por otra parte, la relativa mayor antigüedad de esas corrientes que salieron de una boca situada al sur y junto a la base del cono piroclástico, parece ser otra causa de su mayor erosión. En la zona que ocupa la población de Tlalpan se observan claras evidencias de que el hombre ha eliminado una buena parte de los frentes de lava, algunos de los cuales se extendían como lenguas hasta donde hoy es el centro de dicha población. Finalmente, en la aerofotografía que sirvió para dibujar el plano Núm. 2, se puede observar con claridad la mayor parte de los límites originales de la lava, anteriores al desarrollo de grandes canteras que el hombre ha venido explotando desde los tiempos de la colonia. En cuanto al cono piroclástico del Xictli, la vegetación que le cubre le ha defendido bastante de la erosión.

PETROGRAFIA

Como se indica con anterioridad, un corte de lava de 4 metros, fue el escogido para colectar la primera serie de ejemplares con el que el autor inicia el estudio petrográfico de detalle en el Pedregal de San Angel. Dada la extensión de las lavas que arrojó el Xictli, el autor no pretende, con el estudio de seis ejemplares, haber hecho una clasificación definitiva, de dichas lavas, sobre todo cuando de esas únicas muestras, ha el estudio podido confirmar cierta diferenciación en dichas lavas; por consiguiente. clasificación que deduce de tal estudio es únicamente tentativa. Para futura oportunidad el autor propondrá a la Dirección del Instituto de Geología, un programa de trabajos en el cuando menos, se sugerirá conveniencia de verificar entre 50 y 75 análisis químicos cuantitativos de otras tantas muestras, con el correspondiente estudio microscópico. El corte indicado de 4 metros presenta megascópicamente dos aspectos estructurales: con un espesor aproximado de 2 metros a partir del piso, la roca se observa compacta con muy poca proporción de vesículas en su masa. En los otros 2 metros el carácter vesicular se va haciendo más conspicuo hasta la superficie, cerca de la cual la roca, adquiere la típica estructura. Los dos aspectos corresponden a dos láminas de

lava superpuestas, cuya separación apenas se distingue a lo largo de un plano poco perceptible, que en el corte se manifiesta como una fina y sinuosa lámina de pequeñas vesículas unidas todas entre si

Teniendo en cuenta que tanto la base como la superficie de una corriente de lava se encuentran sujetas a condiciones diferentes de alteracion de las que prevalecen en el centro de la masa de dicha corriente, el autor decidió iniciar el muestreo precisamente en la base y continuarlo cada 80 cm hasta alcanzar una muestra estrictamente superficial. Con el propósito de investigar el desarrollo de los cristales en la masa de la roca y la evidencia de una microtextura fluidal para determinar microscópicamente la dirección que la corriente llevaba en donde se colectaron los ejemplares mencionados, se fijaron en el campo y más tarde en el laboratorio, las orientaciones de cada uno de los ejemplares, utilizando para el caso una brújula Brunton. Entonces, refiriendo la muestra a un plano horizontal y a una misma visual de orientación que fue dirigida hacia el punto culminante del cono piroclástico de Xictli (S magnéticos), se tuvieron elementos necesarios para efectuar en cada ejemplar tres cortes para correspondientes láminas: uno designó como horizontal, otro vertical de orientación y el tercero vertical transversal. Después del estudio microscópico, se hizo necesario practicar un cuarto corte vertical con un rumbo aproximado N 57° magnéticos, pues el segundo y tercer cortes no indicaron notables diferencias. Con el cuarto corte se pudo deducir que las corrientes de lava invadieron el punto desde una dirección aproximada al S 60-80 W. Este corte se designó como vertical direccional. Como era de esperarse, respectivamente al fondo y techo de las dos corrientes de lava superpuestas, indicaron notable alteración de la roca que se traduce en la transformación muy avanzada de la augita en óxidos de fierro y otros minerales secundarios, lo mismo que en una parcial corrosión de los cristales de plagioclasa. Fue curioso observar que dichas alteraciones se verificaron de manera diferente a la forma como circularon los fluidos oxidantes: en el fondo reemplazando zonas cristalinas horizontales, es decir,

paralelas a la base, como indicando cierta permeabilidad orientada favorecida por una sedimentación de cristales en el seno del licor madre y en el techo reemplazando zonas cristalinas verticales o sea perpendiculares a dicha base, como aprovechando también cierta permeabilidad orientada, pero en este caso favorecida por el desprendimiento de los gases durante el enfriamiento de la lava. Lo anterior es evidente si se observa en las seis láminas el grado de translucidez que presentaron, no obstante que todas fueron preparadas con un espesor estándar de tres centésimos de milímetros: la lámina horizontal de la muestra Núm. 1 es muy opaca, la lámina horizontal de la muestra Núm. 6, es bastante translúcida. Obsérvese la contraria situación en las otras cuatro láminas verticales. Por otra parte, en las seis láminas horizontales se hizo patente una mesostasis debido al desarrollo tabular de algunos cristales de plagioclasa, lo que indica su carácter secundario, un principio de sedimentación de esos cristales en el seno de su licor madre y por consiguiente, la evidencia de una cristalización fraccionada. El pequeño número de ejemplares colectados en el corte de 4 metros, no permitió al autor verificar sus observaciones con más detalle. Algunos cristales tabulares muestran un débil crecimiento zonal. En cuanto a los óxidos de alteración, presentan agrupamientos dendríticos de sus cristales, lo que parece demostrar que dicha alteración tuvo lugar durante el enfriamiento de la lava. El autor considera de suerte haber podido hacer tales estudios,

aprovechando la condición holocristalina de la roca cuya microtextura es en lo general sub-ofítica. Finalmente, el carácter uniforme de los cristales, en cuanto a su arreglo fluidal, indica que las dos láminas de lava superpuestas no se cruzaron. Posiblemente se trató de una sola corriente cuyas dos láminas de deslizaron con diferentes velocidades.

Se identificaron en la roca como constituyentes esenciales y accesorios: plagioclasa predominante, augita, olivino y apatita. La plagioclasa es un labradorita cuyo promedio composición en las seis muestras estudiadas es de ab45 an56; sus cristales tabulares son más sódicos. La augita no presentó ángulos de extinción menores de 40° en la dirección Z=c y en cuanto al olivino tiene en lo general el carácter ópticamente negativo con una proporción de Mg:Fe = 76:24. Los contituyentes secundarios principales son magnetita titanifera, hematita e iddinasita.

PETROQUIMICA

De cada una de las seis muestras orientadas, se hicieron los análisis cuyos resultados acompañados de los pertenecientes a otras cinco muestras colectadas en diferentes lugares del pedregal, se exponen a continuación con los correspondientes valores de Niggli.

CONSTITUYENTES	1	2	3	4	5	6
SiO2	52.00	49.88	49.14	49.44	48.74	49.60
TiO2	0.96	1.00	1.40	1.00	1.10	1.00
AI203	21.83	23.96	19.36	21.80	22.36	22.00
Fe203	2.50	2.60	3.85	3.80	1.22	0.63
Fe0	7.11	7.11	6.53	7.00	7.18	7.90
Mn0	0.10	0.10	0.13	0.14	0.14	0.09
Mg0	1.48	1.77	4.63	1.21	3.83	3.25
Ca0	9.36	7.97	9.02	9.25	8.58	8.52
Na20	3.42	3.61	3.63	3.08	3.59	4.03
K20	h	h	0.72	0.49	0.97	0.83
H20 (+)	h	h	h	h	h	h
H20 (-)	h	h	h	h	h	h
P205	0.80	0.75	0.84	0.93	0.90	0.76
Totales	99.56	98.75	99.25	98.14	98.61	98.61

Valores de Niggli.						
si	143 35 28 28 9 22	136 38 29 23 10 	121 28 38 24 10 .119 .45	135 35 29 27 9 .091 .17	121 33 32 25 10 .147 .45	129 33.6 31.2 23.7 11.5 .121 .41
CONSTITUYENTES SiO2 TiO2 Al203 Fe203 Fe0 Mn0 Mg0 Ca0 Na20 K20 H20 (+) H20 (-)	7 49.85 20.20 2.62 5.69 0.09 7.20 9.20 3.00 0.64 h	8 47.30 1.47 18.27 2.24 6.95 6.78 7.95 5.99 1.00	9 51.42 1.64 18.03 2.54 7.15 0.13 5.39 7.98 3.87 1.23		10 53.45 3.04 14.57 4.40 7.25 0.29 4.03 6.51 4.12 1.55	11 50.74 2.17 16.30 1.55 7.96 8.15 7.92 3.04 1.68
F205 Totales	0.89 99.38	1.61 99.56	0.47 99.85		0.50 99.71	0.57 100.08
Valores de Niggli						
si	117 28 41 23 8 .127 .62	109 25 40 20 15 102	133 24.7 43.7 19.7 11.9 .17 .57 .50 -16	3	148 24 43 19 14 .195 .39 -8	121 22.8 47.5 20.1 9.6 .248 .61
1. Corte a 0.10 mts.	del suelo. Terre	no E. N. de I	. Ruth Rojas, a	nalista.		
 " " 0.90 " " 1.70 	n n n					
4. " " 2.50	и и и	"	u /u u			
5. " " 3.30 6. " " 4.10	n					

- 7. Cantera de Oxtopulco, Coyoacán. Ruth Rojas, analista.
- 8. Pedregal de Tlalpan. P. Krais, analista.
- 9. Roca de las cercanías de un tubo de explosión. Carlos Castro, analista.
- 10. Roca de las paredes de un tubo de explosión. Carlos Castro, analista.
- 11. Roca del relleno de un tubo de explosión. Carlos Castro, analista.

El autor utilizó los diagramas de Howel Williams para hacer la comparación de las lavas del Xictli con las que menciona en su trabajo, encontrando que éstas presentan un parecido con las lavas de la zona del canal de Panamá y de Nicaragua. Los altos valores en alúmina que se presentan en la mayor parte de los análisis, se deben a la presencia de dicho radical en la composición especial de la augita. Por otra parte el análisis Núm. 8" promedio de dos determinaciones indica un carácter alcalino de la roca, probablemente basanita.

CONCLUSIONES

Los estudios petrográficos y petroquímicos demuestran que en las lavas del Xictli se verificó una notable diferenciación por cristalización fraccionada.

Siguiendo el sistema de Howel Williams, basado en los valores de qz y en la mínima presencia de cuarzo normativo, las lavas del Xictli se clasifican provisionalmente como basalto de olivino con afinidad alcalina, derivadas de un magma gabbrodiorítico. Conforme al sistema de clasificación de S. J. Shand, 12 el promedio del símbolo de las 6 rocas estudiadas es: D - S - m8 - (37) que corresponde a un tipo de roca discristalina, saturada (?), metaluminada, con An>Or, An>Ab y con índice de color = 37 (o sea % de constituyentes con gravedad específica mayor que 2.8).

Futuras investigaciones que el autor se propone realizar facilitarán la interpretación de la dicha afinidad alcalina y un estudio más detallado del magma que dio orígen a las lavas del Pedregal de San Angel.

NOTAS

- 1 AGUILERA, J. G., E. ORDOÑEZ, Bosquejo Geológico de México, Bol. Inst. Geol. Mex. núms. 4-6 1896, págs. 242-269; E. Ordóñez, El Pedregal de San Angel. Apuntes para la petrografía del Valle de México, Bol. Soc. Cient. A. Alzate núm. 4 1890-91, págs. 113-6.
- 2 PEÑAFIEL, A., Nombres Geográficos de México. Catálogo alfabético de los nombres de lugares pertenecientes al idioma Náhuatl, 1885, págs. 234.
- 3 ARELLANO, A. R. V. Datos geológicos sobre la antigüedad del hombre en la cuenca de México, 2º. Congreso Mexicano de Ciencias Sociales V. 1946, pág. 217-219.
- 4 BRYAN, K., Aplicación del criterio edafológico a la determinación de la edad de los volcanes de la cuenca de México. Bol. Soc. Geol. Mex., tomo XIII 1948, págs. 14-19
- 5 DE TERRA, H., Tepexpan Man., 1949 pág. 30.
- 6 GAMIO, M., Las excavaciones del Pedregal de San Angel y la Cultura Arcaica del Valle de México, American Anthropologist, (N. 5), Vol. 22, núm. 2, April-June, 1920.

6a ARNOLD Y LIBLEY, Radiocarbon Datings, No. 200, 1950.

7 WILLIAMS, H., Volcanoes of the Paricutín Región México, U. S. G. S. Bull, 965 P. 1950, págs. 169-173, 271, figs. 90, 94.

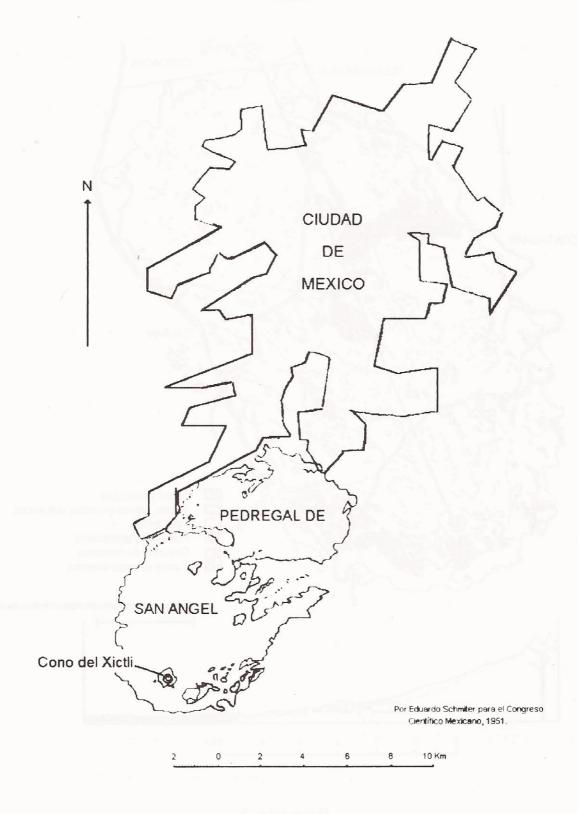
8 FAUST, G., E. SCHMITTER, C. FRIES Jr., Nota sobre Portlandita en Morelos, México, American Mineralogist, Vol. 35, 1950, págs. 614.

9 ORDOÑEZ E., Las rocas eruptivas del S. O. de la cuenca de México, Bol. 2. Inst. Geol. Mex. 1895, págs. 46, fig. 6

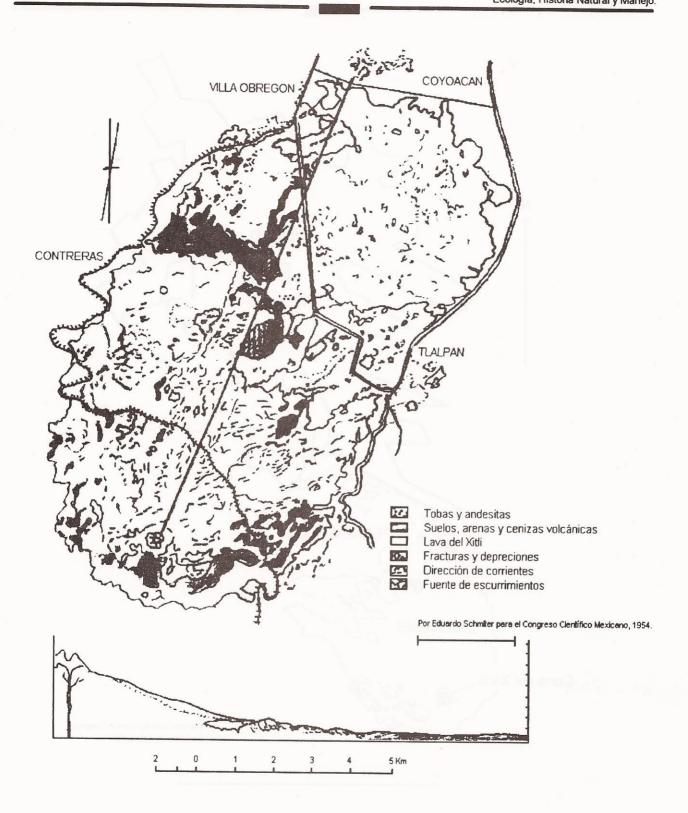
10 WAITZ, P., E. WITTICH, Tubos de Explosión en el Pedregal de San Angel, Bol. Soc. Geol. Mex., tomo VII, 1911, págs. 169-186.

11 ARELLANO, A. R. V., La composición de las rocas volcánicas en la parte sur de la cuenca de México, Bol. Soc. Geol. Mex. tomo XIII, análisis No. 8, 1948, pág. 82.

12 SHAND, S. J., Eruptive Rocks., 3th ed., 1947, págs. 225-245



Plano Núm. 1 Pedregal de San Angel y Ciudad de México



Plano Núm. 2