

III

GEOLOGÍA GENERAL DE LA SIERRA
DE PACHUCA.

GEOLOGIA GENERAL DE LA SIERRA DE PACHUCA.

Toda la Sierra de Pachuca está formada de rocas eruptivas terciarias. La descripción petrográfica de cada uno de los tipos y variedades forma por sí sola el objeto de un capítulo especial, á causa de la importancia que encierran las múltiples variaciones de una sola especie de roca por condiciones provenientes ya de alteraciones de carácter secundario genéticas ó puramente exteriores. Por ahora haremos constar que sólo se presentan tres especies distintas de rocas perfectamente subordinadas y son por orden de antigüedad: las andesitas, las rhyolitas y los basaltos, ocupando áreas muy diversas en esta región montañosa.

En efecto, las andesitas ocupan una vasta extensión y son con mucho las rocas predominantes, y en ellas arman las vetas de los Distritos Mineros de Pachuca, Real del Monte, el Chico, Sta. Rosa, Capula y Tepenené, situados estos últimos en la porción N.O. de la Sierra.

Las rhyolitas, menos abundantes, se hallan confinadas en el extremo S.E. de dicha Sierra, presentándose igualmente, aunque sin abarcar grandes superficies, en las cimas principales vecinas del Real del Monte y en los flancos occidentales entre la ciudad de Pachuca y la mesa de la Sabanilla, y por último, los basaltos sólo se encuentran bajo la forma de reventazones en la parte alta de algunos de los cerros y bajo la forma de corrientes en los flancos orientales.

El tipo genérico de las andesitas es el de andesitas de piroxena de variados colores, aspecto y estructura; pero el tipo que podemos llamar normal es el de andesitas de color verde, bastante porfiroides, muy compactas y no afectando en el terreno estructura particular en masa. Por el contrario, las variedades de color obscuro que dominan principalmente en el Distrito minero de Pachuca son sumamente compactas, con estructura en lajas generalmente delgadas que se observan en el terreno enteramente ó muy vecinas á la vertical, con la circunstancia de que comunmente el rumbo de estas lajas es paralelo á la dirección general de las vetas minerales.

Las rhyolitas comunmente de colores claros que varían del rosado al violado y gris, unas veces muy compactas, porfiroides, con estructura imperfectamente columnar y dominando el carácter petrosiliso como en las del Real del Monte; otras poco coherentes, esferolíticas, con estructura pseudo-estratificada como en los alrededores del pueblo de Cerezo, y finalmente, rhyolitas muy vítreas dispuestas en corrientes como las que se extienden en el extremo S.E. de la Sierra en el Guajolote, Cuyamaloya, etc.

Los basaltos cargados unas veces de olivino y otras casi enteramente desprovistos de este mineral, son: los primeros de color obscuro, compactos ó ampollosos cuando vienen en corrientes, y las labradoritas tendiendo más frecuentemente á estructura columnar, son más claras de color y no tienen aspecto de corrientes.

Preséntase á la simple vista la superficie general de la Sierra cubierta de manchas de extensión y colorido diverso que la dan un aspecto jaspeado más ó menos intenso que hace creer en la existencia de una enorme variedad de rocas á cuya presencia se deban estas diferencias de coloración. Una exploración detenida estudiando con cuidado la extensión y la naturaleza de estas manchas, revela que ellas son debidas á los fenómenos de oxidación y alteración en su masa, producidas por la acción combinada de la atmósfera y de la lluvia en relación con la estructura, la composición y la presencia de fenocristales en las rocas. En las rocas compactas desprovistas de fenocristales, esta alteración sólo ocasiona una oxidación en los elementos ferromagnesianos, oxidación que se extiende á unos cuantos centímetros abajo de la superficie de la roca, concretándose en la mayoría de los casos á la superficie de separación, líneas de fractura, pero que cuando la alteración es más avanzada comunica á la roca un color rojo pardusco que se extiende á toda la superficie cubierta por esta roca, dándole así un color característico generalmente más intenso en la proximidad de las vetas. Esta alteración ferruginosa se verifica también en las otras variedades andesíticas pero en grados de intensidad diversos que siempre sufren un aumento al aproximarse á los criaderos minerales; esta circunstancia explica la facilidad con la cual cualquier minero de la localidad puede reconocer aun á distancia el rumbo ó dirección de una veta, aun cuando, como sucede con frecuencia, esta veta no sobresalga de la superficie general del terreno bajo la forma de crestones, característica de cierto grupo de vetas minerales. Esta diversidad de coloración y la irregularidad con que los distintos tonos de colores se presentan en la superficie del terreno dan al Distrito minero de Pachuca los caracteres que el práctico designa con el nombre de *panino* del mineral.

En algunas andesitas, la existencia de una gran cantidad de magma amorfo impermeable á las aguas meteóricas las preserva mejor de la acción destructora de la atmósfera, y así estas rocas se conservan con su color primitivo sólo modificado en las líneas de fractura por la alteración ferruginosa. En otras, la existencia de magma microlítico abundante que las hace relativamente porosas y por consiguiente más accesibles á las aguas meteóricas, la descompo-

sición y alteración son más avanzadas con una acción más profunda en la masa de la roca.

Por lo que precede, se comprende fácilmente que en el terreno se encuentran todas las gradaciones de coloración entre los diversos tonos del pardo, del rojo, del amarillo y del gris; que unas veces éstas sean graduales, insensibles, y por lo mismo difíciles de apreciar á primera vista al pasar de un punto á otro del suelo; otras por el contrario, los contrastes de coloración son bruscos, fuertes y perceptibles aun á largas distancias.

Lo mismo puede decirse de las rhyolitas, en las cuales la estructura esferolítica y la poca cohesión ó compacidad de estas rocas facilita notablemente la acción de alteración y descomposición de los agentes atmosféricos, sólo que á causa justamente de la uniformidad de estructura, las variaciones en color son generales en toda la masa de la roca, tan notable en las andesitas por sus variantes de estructura. En las rhyolitas petrosilizosas de Real del Monte la resistencia á la alteración es mucho mayor, tanto por su compacidad como por la ausencia de elementos de fácil descomposición, y así estas rhyolitas presentan siempre tonos pálidos y uniformes.

Siendo la piroxena el elemento ferromagnesiano dominante, y á veces casi exclusivo de estas rocas, del cual proceden por descomposición, según el carácter de la piroxena, unas veces óxidos de fierro y otras silicatos verdes magnesianos, y no habiendo limitación definida entre las dos clases de piroxena, se comprende fácilmente que la misma roca en un fragmento relativamente pequeño, presente diferencias de color, lo que á veces da lugar á una apariencia brechiforme que es bien característica en la roca que forma los acantilados llamados Peñas Cargadas, cerca de Real del Monte. Las rocas verdes pasan con frecuencia á rocas de color gris verdoso, conservando su compacidad y sin sufrir modificación sensible en su estructura, pero esta coloración no es sino simple transición á la roca que abarca una gran superficie del mineral de Pachuca en su región del N. Es de color violado y se desagrega fácilmente á causa de ser menos compacta por la abundancia de fenocristales de feldespato que le dan la estructura porfiroide muy desarrollada y por la presencia de pequeñas manchas oscuras de piroxena parda, todo lo cual contribuye á dar á esta roca una gran semejanza á las traquitas por la aspereza de su superficie y la desigualdad de su grano.

Esta alteración, que como hemos visto, se ejerce en la roca con energía distinta según las variantes de la estructura fundamental y composición, prepara el material para la acción destructora de la erosión que se ha obrado sobre estas rocas de una manera continuada desde á mediados del Terciario y con energía variable hasta nuestros días, viniendo á determinar la esculturación y modelado final de la Sierra. En efecto, aquellas de estas rocas de grano grueso y poco coherentes se desintegran con facilidad produciendo material detrítico que por las laderas de fuerte pendiente de estos cerros es transportado á la parte baja de la Cuenca de México. El material procedente de la descomposición de las rocas compactas por acción de la helada, etc.

etc., es mucho más frágil y por lo mismo de transporte más fácil para el agua en movimiento. Esta rápida substracción de ese material detrítico apenas formado, explica la aridez característica de los cerros, á la vez que tomada en consideración la multitud de líneas de fractura que atraviesan la roca subdividiéndola en lajas de espesor variable y dividiendo su masa á profundidades considerables, permite suponer la presencia de multitud de superficies bastante uniformes que limitan los blocks de rocas que se descubren en los flancos de las montañas, desde pequeñas masas hasta grandes relices acantilados que forman esas figuras grotescas que sobresalen en algunos de los cerros. En efecto, siendo verticales ó muy próximos á la vertical, ciertos planos de fractura, se comprende que es á favor de estos planos por donde la acción química de los efectos atmosféricos se ejerce, preparando la acción mecánica que ha de venir á desgastar y á uniformar las superficies.

Siendo los principales planos de separación verticales y substrayéndose á veces el material sobre que se apoyan estas masas, llega el momento en que se desprenden lajas de tamaños diversos que dejan á descubierto superficies que seguirán la misma suerte que las anteriores.

➤ Las andesitas de color rosado tienen gran facilidad para una rápida desintegración, que origina en el terreno superficies arredondadas y laderas uniformes, pues toda superficie de pendiente uniforme y suave se halla formada de esta roca, que constituye la base de los acantilados de que ya hemos hablado, las mesetas que coronan algunos cerros como el cerro en donde se halla la mina de San Pedro, etc.

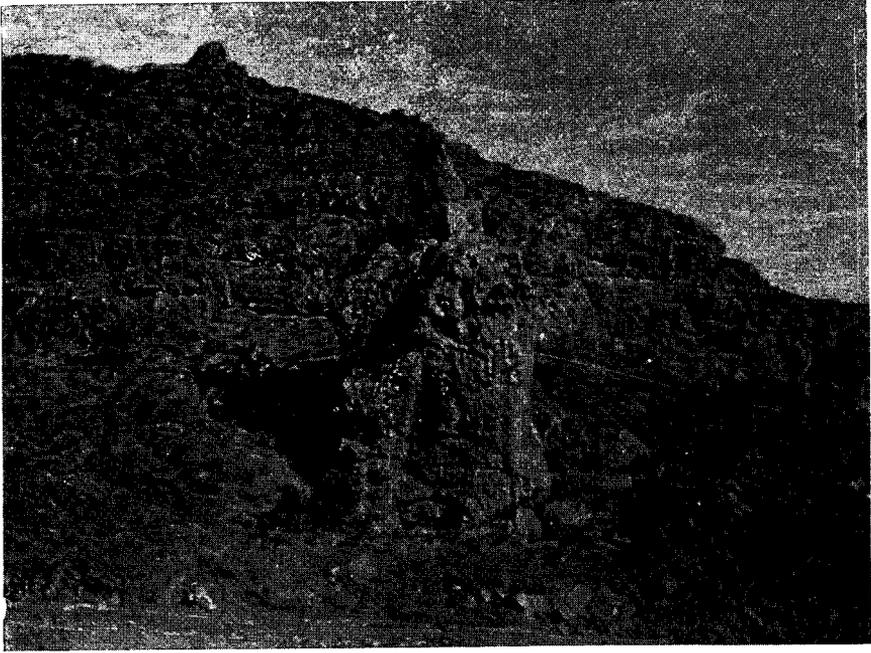
Entre los minerales componentes de estas rocas se encuentra algunas veces el cuarzo de primera consolidación en granos arredondados, cuya abundancia hace pasar estas rocas á verdaderas dacitas. Entonces la resistencia á la erosión es mayor y se forman pequeños acantilados entre los que podemos citar la Peña de Buenavista al N. de Pachuca, las cumbres de los cerros al S.E. del pueblo de Cerezo, y en varios lugares de Real del Monte.

El más característico lugar donde se ofrece la desigual acción erosiva en estas rocas violadas con cuarzo y sin él, es en la montaña de los Órganos de Actopan. El interesante grupo de tan elevadas agujas ú órganos está formado de dacitas violadas rodeadas de andesitas igualmente violadas pero sin cuarzo, naturalmente más desgastadas por erosión. Las rocas de los Los Órganos, más resistentes, ocupan hoy una altura notablemente superior á la del resto de la montaña, conservados allí como un esqueleto ó parte más dura y resistente de la roca violada. Testimonios de igual género aunque de menos importancia hay en otros muchos lugares de la Sierra.

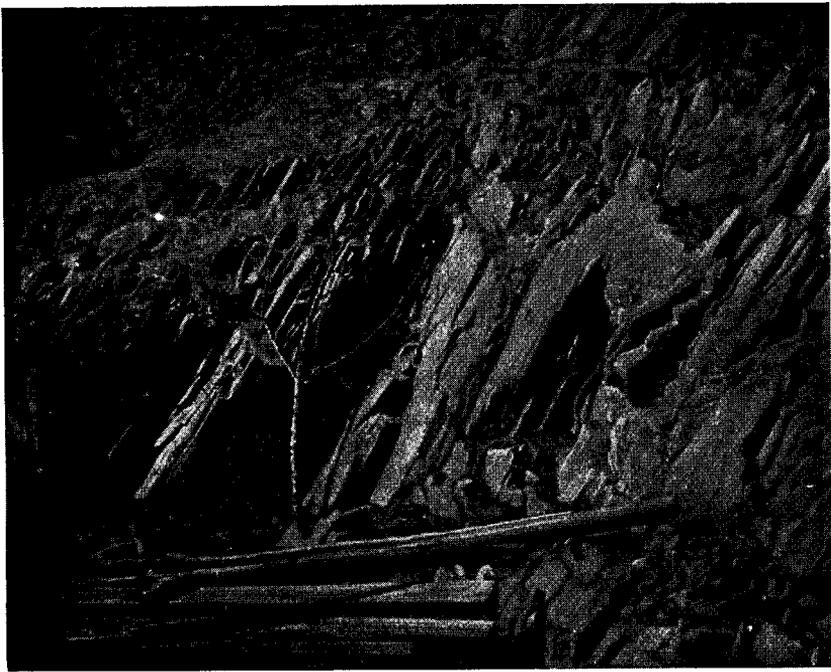
Rocas de color violado, muy vítreas, se encuentran en algunos lugares con más ó menos extensión, como al N. de la veta Vizcaina, cerca de las minas de La Camelia y San Rafael, con estructura en lajas formando pequeños acantilados; igualmente se presentan en las faldas occidentales y cerros vecinos de San Cristobal, de Sta. Apolonia, etc.

En las rocas violadas, más porosas, por decirlo así, la oxidación del fierro

LAMINA III



Falda del cerro de Rejona cerca de la mina del Cristo.— Avanzada erosión en las andesitas de piroxena.



Estructura en lajas de las andesitas de piroxena, cerca de la entrada al socavón de San Cristobal.

es notablemente avanzada, colorando entonces la roca en rojo intenso, muy común en las andesitas que se extienden al E. de Cerezo.

En algunos lugares de la Sierra y abarcando muy pequeñas extensiones, hemos encontrado tobas andesíticas de color verde en pequeñas capas en posición casi horizontal ó débilmente inclinadas, sobrepuestas á las andesitas verdes. Las diferentes capas tienen diferente grano y consistencia y su aspecto al microscopio revela que son de origen casi exclusivamente ígneo, como veremos.

Tienen un espesor que no excede de 20 metros y el lugar en donde se ven más características es la barranca de San Francisco, cerca de la presa de San Nicolás, en donde se conserva solamente un pequeño girón, pues han sido removidas por las aguas y en las crecientes de este arroyo, como lo manifiesta un salto de cerca de 20 metros de altura formado en el contacto de estas tobas y las andesitas macizas. Solamente en los bordes de esta barranca, demasiado angosta y limitada por acantilados, es donde se observan las tobas. En otros puntos donde la hemos encontrado, solamente se conservan muy limitados ó pequeños girones que se han salvado de esta activa erosión.

En las partes culminantes de la Sierra de Pachuca desempeñan un papel preponderante gruesos bancos de brechas andesíticas. Los fragmentos que los forman son de andesitas violadas y rojas, que indican su avanzada alteración, y de tamaño que varía desde un centímetro hasta un milímetro, soldados los unos á los otros de tal manera que ofrecen bastante resistencia á la separación, siendo el cemento que los une sumamente escaso y el que más contribuye á la desintegración superficial de los fragmentos de andesita. Esta escasez de material de cementación y la gran dureza de las brechas sugieren la idea de su formación por una acción volcánica enérgica y esfuerzos poderosos de presión, y ya veremos cómo se justifica la idea cuando hablemos de la sucesión de las rocas y tomemos en cuenta su posición en las partes elevadas de la Sierra y su relativa posición con las demás rocas. Estas brechas andesíticas tienen un espesor superior á 400 metros y ocupan la parte central de la cresta de la Sierra de Pachuca desde las montañas de Capula al W. del Mineral del Chico, hasta las Peñas de Zumate en Real del Monte, es decir, la parte más dentellada y escarpada de la Sierra donde la forma caprichosa de sus picos es la consecuencia del desigual trabajo de erosión sobre estas grandes masas. En efecto, los grandes acantilados designados con los nombres de Las Monjas, Ventanas del Chico y Zumate, etc., no son otra cosa que los restos de un prolongado espinazo ó cuchilla de más de 10 kilómetros de longitud y de 5 kilómetros de potencia, desgastado é interrumpido por las acciones de denudación. Trabajo á cuya intensidad han contribuído eficazmente los planos de separación de los grandes bancos en que se separan las brechas. El grabado que adjuntamos, que representa las Monjas del Chico, permite ver con facilidad estos planos de separación casi verticales, orientados generalmente en la dirección de la cresta de la Sierra, dando lugar á un desprendimiento en gigantescas tablas ó relices, hasta de 150 metros de altu-

ra, y que tanta belleza comunican al paisaje. A consecuencia de las grandes masas desprendidas de su posición original, hay grandes acantilados cuyos planos de juntura ocupan muy diversas posiciones é inclinaciones, pero en general, la posición de estos planos en dirección de la Sierra será un argumento de gran valor cuando estudiemos la orogenia de esta importante región montañosa.

A las andesitas de piroxena, cuya distribución y condiciones generales de yacimiento acabamos de bosquejar, se sobreponen en varios lugares de la Sierra rocas con exceso de siliza, verdaderas rhyolitas en casi todas sus variedades, desde rhyolitas muy cristalinas con gran semejanza á las nevaditas de Richthofen hasta las obsidianas puras de lustre de vidrio y transparentes en los bordes. La sobreposición de estas dos distintas especies de rocas, es decir, la subordinación que precisa su edad relativa, es fácil seguirla en muchos lugares en los que el aspecto diferente y la estructura diversa de dichas rocas contribuyen á su distinción. En un principio creimos que ambas rocas eran provenientes de un solo período de erupción como resultado de una simple diferenciación. Con frecuencia sucede que las andesitas próximas á las rhyolitas vienen bastante cargadas de cuarzo de primera y de segunda consolidación, como se ve en muchas regiones vecinas á Pachuca; pero posteriormente nuestras excursiones á puntos más lejanos de la Sierra han mostrado que se trata de rocas de distintas edades. En efecto; en las montañas al N. y N.W. del pueblo de Cerezo las rhyolitas ocupan una gran extensión, llegando casi hasta la cima de la Sierra en donde yacen en contacto con las brechas andesíticas. En las faldas de estas montañas, las rhyolitas aparecen en bancos casi horizontales dispuestos en gradería como provenientes por corrientes sucesivas que ha escalonado el trabajo de erosión. En las canteras abiertas á las orillas del pueblo de Cerezo, de las que se extrae un buen material de construcción, se observa claramente la serie de bancos horizontales cuyas superficies de separación se aprovechan en la explotación. En estos bancos y bajo un examen más detenido, se perciben las bandas fluidales del magma petrosilizoso de la roca también en posición horizontal, en alternancia con bandas en estado más avanzado de promorfismo, dando cuarzo y abundantes esferulitas.

En esta misma región, el contacto entre las andesitas y las rhyolitas se percibe con suma claridad, á causa de haber tenido lugar en época muy posterior á la venida de las rhyolitas un poderoso fracturamiento, acompañado de resbalamientos y hundimientos locales por movimientos de reajuste que han seguido en un tramo esta línea de contacto, fenómeno que ha producido algún cambio en la ordenación topográfica, pues que un contrafuerte de la Sierra ha sido cortado bruscamente dejando en la cortadura un elevado cantil y superficies de resbalamiento, ya en las andesitas, ya en las rhyolitas.

Pero hay que distinguir las rhyolitas de erupción bien definida posterior á la de las andesitas, las andesitas cuarcíferas (dacitas), impregnadas posteriormente de sílice, que tienen la completa apariencia de rhyolitas y que son

frecuentes en algunas cimas de los cerros de la Sierra, ya en contacto como hemos dicho con las rhyolitas ó bien con los basaltos; en todo caso parece que la sílice es un producto resultante de la impregnación por aguas termales cargadas de este mineral que circulaban en las superficies de contacto, y dieron origen al encostramiento de los basaltos como lo podría demostrar en parte la presencia de trydimita en algunas de estas rocas básicas. Por ejemplo: en el cerro de San Cristobal, las andesitas en contacto con las labradoritas, sin perder completamente su carácter, se ven notablemente silizosas disminuyendo la cantidad de cuarzo á medida que se alejan del contacto, pero en todo caso de una manera insensible.

El fenómeno de silicificación por contacto en las rhyolitas, debemos considerarlo hasta cierto punto análogo al que se verifica en las andesitas verdes de la proximidad de las vetas ó al que tiene lugar en los fragmentos de las rocas que han quedado formando parte de los crestones, pues presentan con éstos las más grandes semejanzas. Sin embargo, los caracteres de las rocas silicificadas y las de las rhyolitas originadas, son á veces bastante diferentes para no dar lugar á confusión, como se verá en la descripción petrográfica de las rocas.

Las rhyolitas que se extienden en el extremo S.E. de la Sierra, más vítreas que las de Pachuca y Real del Monte, acompañadas de tobas y cenizas volcánicas, revelan en sus caracteres que han sido producidas por fenómenos volcánicos comparativamente más recientes que los que dieron origen á las otras rhyolitas de la Sierra. La denudación, en efecto, no ha sido tan enérgica ni ha tenido tiempo bastante para substraer el material detrítico volcánico que en muchos lugares las cubre. En las depresiones, y rodeando á las rhyolitas, encontramos unas veces brechas ígneas formadas de fragmentos angulosos de rhyolitas cementados por tobas, ó bien series de capas delgadas de tobas más ó menos pumíticas envolviendo grandes bolas de obsidiana cuyo origen es indudablemente el de bombas. En otros lugares, las obsidianas ofrecen el viso dorado ó plateado por los poros gaseosos, ó bien una masa de esferolitas cementadas por un magma vítreo obsidiánico.

Con respecto á la estructura en masa de las rhyolitas, es muy interesante hacer notar que ésta, en general, revela su naturaleza básica, pues se presenta en grandes corrientes con estructura columnar y á veces con marcada estructura de escurrimiento. La primera es visible en los grandes acantilados que ya hemos descrito, como son las peñas del Aguila, Jacal y Providencia, y la segunda en los cerros de las Navajas y de los Ingleses, entre las haciendas del Guajolote y Cuyamaloya.

Las andesitas silicificadas del cerro de San Cristobal proveen, dada la gran dureza de la roca, de muy buenos blocks que se emplean en la molienda de metales en las arrastras y se designan con el nombre de "piedras voladoras." Esta misma roca y las rhyolitas de Cerezo son empleadas con mucho éxito en la fortificación interior de las minas.

Después de las erupciones de rhyolitas, y como fenómenos consiguientes á

una poderosa actividad volcánica, se han formado grandes depósitos de tobas que en lechos sobrepuestos encontramos en varios lugares de la Sierra. La naturaleza de estos depósitos y las condiciones de su yacimiento hacen sospechar: 1º, condiciones de topografía durante este depósito muy diversas de las de las formas actuales, y 2º, una acción hidrotermal que ha contribuido ministrando material de precipitación química. En efecto, las capas de tobas rhyolíticas ocupan por regla general porciones de corta extensión superficial en las laderas de algunas montañas ó en el nacimiento de algún talweg ó barranca, y las capas están en posición muy vecina de la horizontal.

Las tobas rhyolíticas existentes en la Sierra de Pachuca se pueden dividir en dos clases según su origen; las unas, rocas piroclásticas, á las cuales se les debe llamar propiamente tobas ígneas, y las otras, rocas clásticas á las cuales corresponde con propiedad el nombre de tobas de sedimentación mecánica. Las primeras se apoyan directamente sobre los macizos de rhyolita; son de aspecto brechiforme y están formadas por la aglomeración y cementación de fragmentos de diversos tamaños, reunidos sin orden, y que se encuentran en distinto estado de alteración y silicificación; son el producto de trituración de rhyolitas ya consolidadas, removidas y transportadas á más ó menos distancia en medio de erupciones lodosas y bajo la influencia de aguas termales que contribuyeron á su descomposición y á la impregnación en mayor ó menor cantidad de sílice libre. Están destituídas de la disposición zonada ó en bandas, correspondientes cada una á material del mismo tamaño ó de igual peso, es decir, por su estructura se infiere claramente que no son rocas producidas por la acumulación de material de transporte en el seno de aguas en movimiento que las fueran depositando de acuerdo con la energía de dichas aguas y bajo las condiciones de peso y material acarreado.

Las tobas clásticas descansan directamente sobre las anteriores en algunos lugares, y en otros se apoyan directamente en las rhyolitas. Estas tobas tienen la estructura zonada característica de la agrupación ó sucesión de los lechos de sedimentación mecánica; conservan casi la posición horizontal primitiva de su depósito, pero hay lugares en los cuales estos lechos tienen una débil inclinación hacia la parte baja ó falda de la montaña. El material de que están compuestas, procede de la descomposición de las rhyolitas unas veces, y otras de las rhyolitas y tobas rhyolíticas preexistentes; dispuestas en lechos alternados en los cuales se nota modificación en el grano y en la estructura de la roca, y aun en un mismo lecho ó capa se distingue claramente la gradación en el tamaño de los elementos, desde los puntos más inmediatos á la roca que les sirve de apoyo, hasta aquellos más lejanos que corresponden á la parte céntrica de las pequeñas cuencas cerradas en que tuvo lugar el depósito mecánico de estas rocas. Presentan comunmente, á distintos niveles, capas donde la impregnación silizosa ha alcanzado un máximum, siendo entonces la roca, á la vez que de grano más fino, mucho más compacta y de mayor dureza.

En las canteras de Tezoantla, una de las localidades más interesantes en

donde se puede estudiar el yacimiento de las tobas rhyolíticas, se ve que los lechos silizosos se hallan repartidos exclusivamente en el segundo tercio del conjunto de estas capas, notándose que estos lechos se hallan separados por capas menos silizosas, en las cuales se encuentran, así como en los lechos superiores, hojas y restos de plantas. A partir de esta zona de silicificación se nota, en la parte superior, que las capas de toba á medida que son más recientes son menos coherentes y van adquiriendo una semejanza cada vez mayor á las tobas del Pleistoceno que se extienden en la superficie de los valles occidentales.

Las rocas eruptivas más recientes de la Sierra de Pachuca son las labradoritas y basaltos que aparecen en muchos lugares, generalmente bajo la forma de pequeñas corrientes, en puntos bastante elevados con relación á los valles que rodean al E. y N.E. la Sierra de que nos ocupamos.

El papel de estos basaltos y su importancia geológica es de llamar la atención desde que al pie de la vertiente oriental de la Sierra han dado lugar á una verdadera inundación donde las condiciones de yacimiento permiten deslindar en límites bastante estrechos la edad relativa de esta roca, cuya importancia en México es grande en atención á la infinidad de lugares en que con análogos caracteres se presentan. Pero no ocupándonos más que de las rocas basálticas que en el macizo de la Sierra se encuentran, ya dijimos que ocupan pequeñas extensiones, algunas veces tan angostas que casi adquieren la forma de diques.

En el cerro de San Cristobal la labradorita se extiende bajo la forma de un casquete que cubre la cima de este cerro á una altura de 500 metros próximamente sobre la ciudad de Pachuca. Descansa sobre las dacitas ó andesitas cuarcíferas que han sufrido un metamorfismo de contacto que ha modificado la textura de estas rocas transformándolas en rocas de color rojo con el aspecto de los tezontles de erupción. Este metamorfismo se extiende en una pequeña zona en el contacto de las dos rocas.

El casquete basáltico tiene en sus bordes un espesor variable, alcanzando en algunos puntos 40 metros y en otros adelgazándose hasta solamente tener 4 ó 5 metros de espesor. La roca en masa se presenta bajo la forma, en unos casos, de masas irregulares; en otros, es imperfectamente columnar y en la parte superior adquiere una estructura en lajas, notándose siempre que á cada una de estas variantes de estructura corresponden modificaciones en la textura, así que, el aspecto macroscópico de la roca varía y con él la coloración, notándose cambios de color gris, pardo rojizo y negro.

El casquete de basalto se extiende bajo la forma de una V de brazos cortos y desiguales, orientados próximamente de N.E. á S.W. y de E. á W., siendo de mayor longitud el primero.

Es sumamente notable en esta labradorita de San Cristobal la modificación que en su estructura microscópica presenta la roca cuando se comparan ejemplares tomados de la superficie y los que proceden de regular profundidad. Estas modificaciones son siempre variaciones que están en relación con las

condiciones físicas en que tuvo lugar el enfriamiento de la roca. Así, el enfriamiento de la roca en la superficie originó la consolidación inmediata y violenta de un magma en vía de cristalización, dando esto lugar á la formación de microlitas fibrosas de labrador y de granos microlíticos de augita, acusando en su compuesto una sola consolidación. En el socavón llamado de Prosperidad que alcanza 900 metros de longitud y que se halla abierto en la falda occidental del cerro de San Cristobal, se encuentra un tramo de cerca de 400 metros de socavón labrado sobre esta roca con un desnivel de 300 metros abajo de la cima del cerro; en ejemplares de esta roca se ve que persiste una sola consolidación, pero que la estructura es casi ofítica á causa del gran desarrollo de cristales de labrador y anortita de formas microlíticas. Es este, pues, un caso de modificación en la estructura de la roca, que responde con toda claridad á las ideas expuestas por Mrs. Iddings y Hague¹ para las rocas de Washoe y que al aplicarlas á las rocas del Mineral de Pachuca simplifican de manera notable la petrografía de esta localidad.

También se encuentran labradoritas negras semejantes á las de San Cristobal en el cerro de los Cubitos al S. de la ciudad de Pachuca, en corrientes que cubren á las dacitas y rhyolitas de esa región.

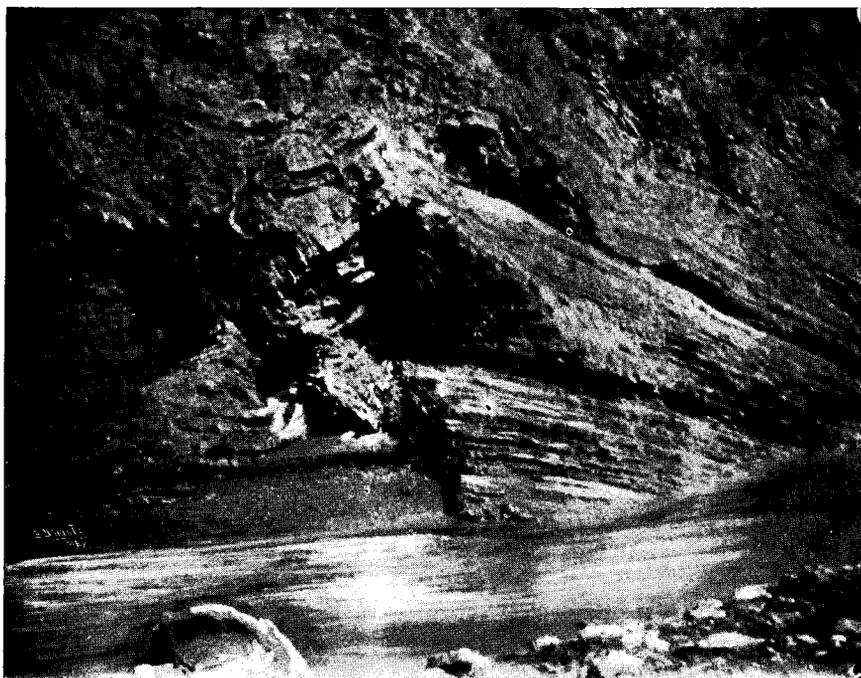
En los contrafuertes septentrionales de las montañas del Chico y en las márgenes de un gran tramo del río de Velasco aparecen basaltos bajo la forma de diques y corrientes de corta extensión, en algunos puntos sobrepuestas varias de estas corrientes cubriendo á las andesitas de piroxena y también á las calizas cretáceas en el fondo del río de Velasco y cerca de las fuentes termales de Atotonilco el Grande. En los cerros del Guajolote y hacienda de Cuyamaloya los basaltos, abriéndose paso á través de las rhyolitas, se presentan bajo la forma de reventazones, protusiones de pequeñas dimensiones y esparcidos irregularmente. Hay además otras regiones de la Sierra de Pachuca en donde los basaltos aparecen cubriendo superficies de terreno muy pequeñas.

Debajo de las corrientes de basalto que se desprenden de los flancos orientales de la Sierra de Pachuca y se extienden por la vasta meseta de Atotonilco el Grande, se descubren rocas sedimentarias dislocadas que constituyen un poderoso complexus que en algunos puntos alcanza una potencia superior á 500 metros. El complexus de rocas sedimentarias se halla compuesto de delgados estratos de areniscas calcáreas que alternan con pizarras arcillosas y margosas, y algunos lechos de caliza. En el cauce del río de Velasco que corre al pie de la Sierra, lo mismo que en las profundas barrancas del Grande y de Regla, se ven estas rocas plegadas formando pliegues estrechos y cortados por numerosas fallas, á favor de las cuales se han deslizado grandes blocks de la formación durante los movimientos de reajuste posteriores á los movimientos orogénicos de la región. (Lám. IV.)

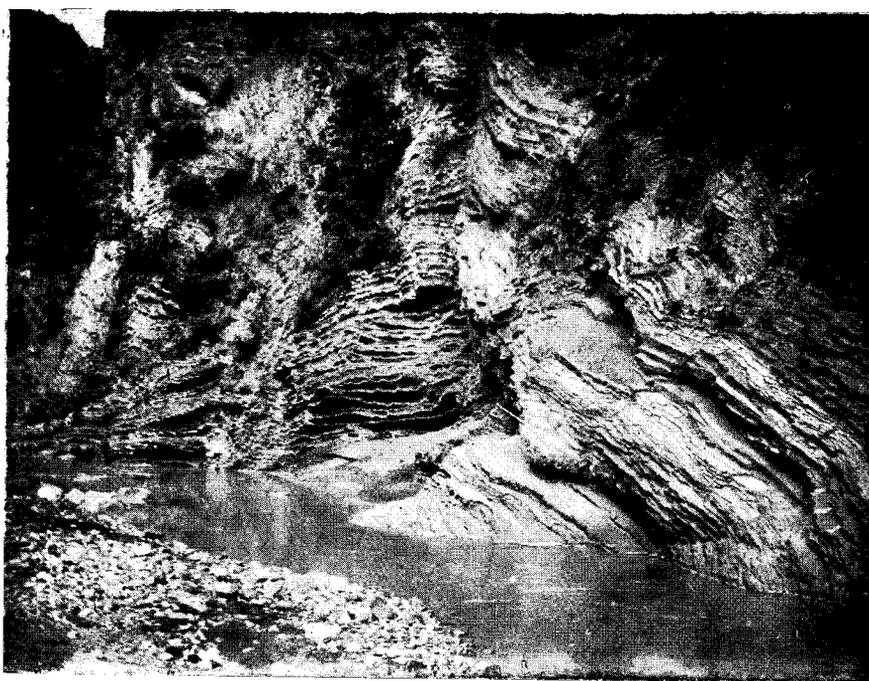
La parte superior de esta formación sedimentaria presenta todas las hue-

¹ Iddings y Hague.—The Rocks of Washoe District.—Bull. U. S. Geol. Surv, Washington, D. C.

LAMINA IV



Barranca de Regla—Dislocaciones en las pizarras.



Barranca de Regla—Pizarras arcillosas cretáceas.

llas de una erosión prolongada y activa que destruyó las crestas de los anticlinales y modificó notablemente la superficie del terreno.

Las areniscas son en lo general de grano fino, bastante compactas y resistentes, de color de distintos tonos del amarillo ceniciento al gris; las pizarras son poco resistentes, de colores de varios tintes del gris, negro agrisado, etc. Son en lo general mates ó de lustre débil, imperfectamente fíciles, y en algunos puntos, en lugares especiales de los pliegues, los lechos de pizarra presentan un lustre satinado en las caras de estratificación.

Los lechos de caliza son escasos, bastante compactos, de color gris, y en lo general son calizas cargadas de más ó menos arcilla.

La dirección general del plegamiento de estos estratos es —N.W. teniendo, como es de suponerse, inclinaciones variables los flancos de los diferentes pliegues y en algunos puntos se notan anticlinales con rumbos distintos del rumbo medio general. Debemos hacer notar aquí el paralelismo aproximado del rumbo de los pliegues de esta formación con la dirección media general de la Sierra de Pachuca, así como con la que afecta la Sierra Madre oriental en esta porción del país.

En este grupo de rocas no hemos encontrado restos fósiles, y su carácter petrográfico muy semejante al de las rocas del Cretáceo superior del N. de México, sugiere inmediatamente la referencia de esta formación á dicha subdivisión del sistema Cretáceo. En comprobación de esta determinación, hacemos constar que más hacia el N., junto á la población de Atotonilco el Grande, así como en terrenos de la hacienda de San Pedro de Vaquerías, se descubren las calizas compactas fétidas con Hippurites y Radiolites del Cretáceo medio mexicano, y las cuales en su parte superior, al cargarse gradualmente de arcilla se vuelven apizarradas, y entonces alternan con capas de areniscas calcáreas semejantes todas ellas á la formación de que nos ocupamos, pareciendo corresponder á depósitos que se verificaban en el seno de aguas turbias y ya cuando los depósitos calizos de aguas profundas habían empezado á hacer emersión; pues se nota una diferencia en el rumbo y echado de las capas de las dos formaciones, diferencia que indica una discordancia en la estratificación, discordancia que no nos ha sido posible observar sobre el terreno por hallarse esta formación sedimentaria cubierta por las corrientes basálticas.

Las areniscas y pizarras que hemos referido al Cretáceo Superior se ven en las paredes de la barranca de Regla, cubiertas en unas partes directamente por el basalto, y en otras, entre el basalto y las pizarras viene intercalada la toba pomosa, y el trípoli que se interpone en lechos entre estas tobas.

Después del plegamiento de los estratos cretáceos de Regla, por los movimientos orogénicos de la región, tuvo lugar una serie de fenómenos que ocasionaron el despedazamiento, pudiéramos decir, de los pliegues ya formados. Estos fenómenos esencialmente consistían en movimientos que afectaban extensiones más ó menos considerables de esta región, y los cuales se venían á resolver en esfuerzos de tensión, torsión y presión. Las rocas siendo relati-

vamente plásticas cedían á todos estos esfuerzos, pero pasado cierto límite se producían en el conjunto de los estratos fracturas que, normales en su dirección á la del empuje ó presión lateral, constituían otros planos de menor resistencia sobre los cuales se verificaban deslizamientos, ya hacia abajo, ya hacia arriba, según que los blocks producidos por estos fracturamientos se deslizaban en espacios más amplios ó eran obligados á depositarse en espacios relativamente más cortos. Una ligera inspección de las paredes acantiladas de la barranca de Regla en la parte donde están á descubierto estos estratos cretáceos, muestra un gran número de grietas que son otras tantas fallas de pequeños saltos y cuya dirección é inclinación son muy variables, produciendo en el grupo de estratos la subdivisión de éste en pequeñas cuñas y blocks prismáticos de todas dimensiones.

Desde fines del Cretáceo las pizarras y areniscas de Regla que habían quedado en seco y que se hallaban sometidas á un movimiento vertical lento y prolongado, eran el sitio de una erosión que se verificaba con energía gradualmente creciente en un principio hasta la completa formación de la Sierra de Pachuca, y que á partir de esta época, colocadas las pizarras á un nivel inferior al cual descendían las aguas de la vertiente de Pachuca con un carácter torrencial, el desgaste por las aguas en movimiento llegó á su máximum y fué entonces cuando empezó el sistema de drenaje de toda la región N.E., que vino á constituir las rocas sedimentarias cretáceas y la porción más baja y contigua á la Sierra de Pachuca y naturalmente aquella en la cual tenían que reunirse las aguas que bajaban de la Sierra abriéndose su cause y preparando el curso permanente de estas aguas. Era pues, ésta, una región en la cual la erosión debía de ejercerse con mayor actividad, tanto por la naturaleza de las rocas que son solubles, poco coherentes y de desintegración fácil, como por la posición topográfica que hacía que ellas recibieran con choque las aguas de circulación superficial, y ahora á fuerza del agrietamiento y la solubilidad de las rocas, esta porción de terreno impermeable en grande y la circulación subterránea de las aguas en su acción disolvente y de desgaste ayudaba á la erosión de la superficie. El resultado de toda esta combinación de esfuerzos de desgaste fué la formación de los valles en donde ahora corren las aguas del río de Velasco y las de la barranca de Regla.

Constituída de esta manera una gran depresión en el terreno y como consecuencia de los últimos movimientos en esta región acaecidos, se verificaron las erupciones basálticas que bajo la forma de corrientes se extendían sobre esta depresión rellenándola y modificando por completo la topografía de la localidad, quedando definitivamente cubierto el extenso valle de Atotonilco el Grande por un manto de lava basáltica que tendía á formar una sola superficie de nivel. Transformada de esta manera la topografía de la falda oriental de la Sierra de Pachuca, el agua en su circulación superficial comenzó su obra de destrucción sobre estos lechos de basalto, y como éste se halla formado de columnas que abarcan casi todo el espesor de la corriente de lava, columnas que se apoyan en su base sobre material deleznable, toba vol-

cánica, en otras lechos irregulares de trípoli, el agua con facilidad penetrando á favor de las caras de los prismas de basalto, pudo minar esta corriente, que por otra parte, no tiene un espesor uniforme, y el trabajo de erosión se ha verificado, no bajo la forma de un desgaste gradual y lento, sino bajo la de derrumbes de columnas que dejaban paredes acantiladas que á su vez van sufriendo el mismo fenómeno, produciendo así saltos de agua como el de la cascada de Regla y anfiteatros en gradería como el que se halla inmediato á dicha cascada. (Lám. V.)

En este estado el agua que se precipita en cascadas carcome la roca que sirve de apoyo á la corriente basáltica y el salto de agua retrocede continuamente.

Hemos dicho que las corrientes de basalto tienen un espesor variable y así hay puntos en los cuales alcanzan 100 metros y en otros solamente tienen unos cuantos metros; están constituídas por columnas generalmente verticales, algunas veces inclinadas, y también dispuestas en grupos radiados ó en abanico que se apoyan sobre basalto más cristalino unas veces, y otras sobre basalto arenisco ó tezontle, y vienen coronados por basalto compacto y menos cristalino y ampuloso en la superficie, mostrando frecuentemente la estructura de escurrimiento. Las columnas basálticas son de sección pentagonal y de dimensiones que varían entre 40 y 80 centímetros de diámetro, encontrándose en la superficie de fractura, por contracción por enfriamiento del basalto, pequeños grupos de columnitas basálticas radiantes, de un centímetro ó un poco más de espesor. En las oquedades de las columnas se encuentran á veces algunas zeolitas bien cristalizadas, como la chabasia y la natrolita, también rodeadas de olivino, agujas de aragonita y calcita cristalizada en escalonados.

Habiendo sido bastante fluido el basalto, la corriente de lava al escurrir y moverse siguiendo todas las irregularidades del suelo en la falda de la Sierra de Pachuca, se adaptaba á todos los accidentes de relieve rellenando las depresiones, coronando las pequeñas eminencias y moviéndose á lo largo de los flancos, y según que encontraba terreno seco ó húmedo, permeable ó impermeable, y en general, circunstancias que favorecían su enfriamiento rápido, la corriente, en su superficie inferior en contacto con el suelo, por el enfriamiento rápido se volvía ampulosa, escoriácea, etc.; unas veces este relleno se hacía de un modo tranquilo y la lava fluida seguía escurriendo por la parte superior, notándose entonces toda la gradación insensible desde muy compacta hasta escoriácea y tezontle, ó bien la extremidad de la corriente ya transformada en tezontle reaparecía transportada por las rocas de la corriente en forma de verdaderas brechas de tezontle con elementos en estado de oxidación bruscamente avanzado.

Todas estas modificaciones en la superficie inferior de la corriente se descubren en muchos puntos de las paredes de la barranca de Regla, que corresponden á las pequeñas depresiones del suelo por las cuales escurrían aguas tributarias de la corriente principal, precursora del actual río de San Antonio.

Tenemos que hacer notar la existencia en el seno de la formación cretácea de Regla de diques de basalto que terminan hacia abajo en cuña ó fondo de saco, y cuyo relleno ha tenido que verificarse de arriba á abajo, habiéndose formado dichos diques del basalto fluido que penetraba en las grietas y cuarteaduras de la formación cretácea, que eran rellenas por arriba durante el escurrimiento de la lava.

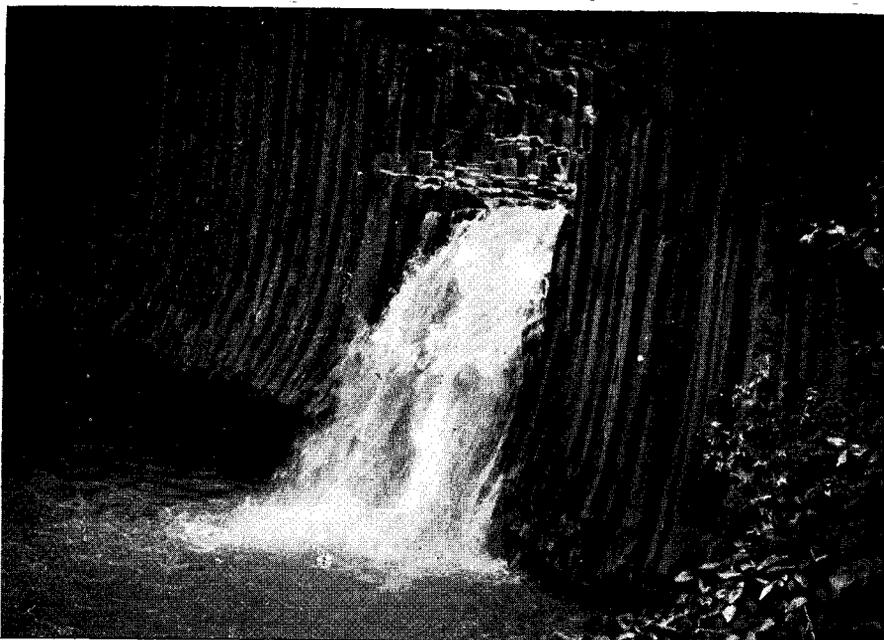
Llama la atención también que estos diques de basalto no presenten en su estructura microscópica modificación sensible desde las paredes de contacto con la roca sedimentaria hasta el centro de los diques, y que ni en la roca sedimentaria encontremos fenómenos de metamorfismo de contacto á lo menos perceptibles á la simple-vista, en lo que se refiere á la modificación de estructura de las rocas calizas, que por la acción de rocas calientes ígneas se transforman en calizas granudas ó mármoles.

En el extremo S.E. de la Sierra de Pachuca han tenido lugar numerosas erupciones volcánicas de diferente importancia, algunas de ellas contemporáneas de las del valle de Atotonilco el Grande, y las otras, posteriores á éstas, continuación de la actividad volcánica durante el período Plioceno, terminando toda esta actividad volcánica con algunas erupciones que se verificaron durante el Pleistoceno. Numerosos son todavía los volcanes que conservan sus cráteres en perfecto estado de conservación y se encuentran estos volcanes casi en contacto con las rocas rhyolíticas de Cuyamaloya. Entre los más notables citaremos el volcán de Tecajete, de respetable altura, aislado y de forma cónica, con un cráter abierto en la parte superior. Tiene pendientes fuertes y se halla rodeado de volcanes más pequeños que llevan cráteres de grandes dimensiones, por los cuales salieron las pequeñas corrientes de lava, tobas volcánicas y cenizas que se ven en el tramo comprendido entre Tepa y Tulancingo, por el cual pasa el Ferrocarril de Hidalgo en su ramal á Tulancingo.

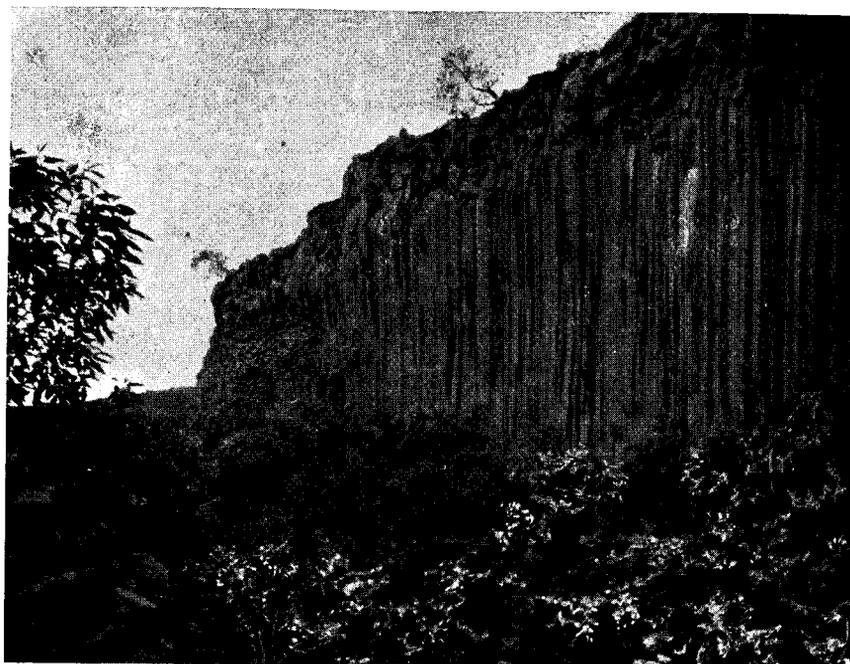
Dadas ya las ideas generales relativas á la naturaleza mineral y á la diversidad de las rocas eruptivas componentes de la Sierra de Pachuca, creemos conveniente exponer las condiciones bajo las cuales han debido aparecer y sucederse todas estas rocas y dar una idea de los acontecimientos geológicos más importantes que con la aparición de dichas rocas se relacionan.

La primera dificultad con que se tropieza es la explicación del modo de aparición de la roca fundamental de la Sierra, que todo hace creer que se trata de un fenómeno propiamente volcánico. En apoyo de esta opinión podemos invocar las siguientes observaciones: diversidad de las rocas, su mezcla aparente en la superficie, la poca extensión superficial que generalmente abrazan y el orden de sobreposición de todas ellas. Si la Sierra de Pachuca hubiera sido formada en su base en lo que se refiere á la roca fundamental, ó sea el tipo andesítico, por la erupción á favor de una grieta longitudinal más ó menos aproximada en su dirección á la dirección general de la Sierra, habría, por lo menos para las rocas andesíticas, una uniformidad aparente en igualdad de nivel, y á lo largo de toda la Sierra encontraríanse modificacio-

LAMINA V



Columnas basálticas.—Cascada de Regla.



Columnas basálticas.—Barranca de Regla.

nes en la estructura de la roca en un sentido transversal á dicha Sierra, con tendencia siempre á conservar cierta uniformidad para la misma altura y posición de la roca con respecto á la que la cubre y á las que vienen debajo; si la Sierra hubiere sido formada por erupción á favor de una grieta, podían haberse dado dos casos: la formación en una sola erupción prolongada y de acción bastante larga, ó la formación por emisiones que se sucedían por intervalos de reposo. En el primer caso la estructura general de la Sierra sería la de un macizo de rocas de naturaleza compacta y hasta cierto punto homogénea, ó dispuestas en bancos, ó bien de estructura en lascas, pero sin estar separados los bancos por depósitos fragmentarios intercalados; en el segundo caso la estructura general sería de corrientes no forzosamente separadas por depósitos brechiformes, pero sí perfectamente distinguibles una de otra, ya que la aparición de cada una de estas corrientes se verificaba después de intervalos de reposo durante los cuales tenía lugar la erosión de la superficie, la oxidación y alteración de la roca y la remoción y desarreglo consiguiente á las porciones superficiales de la roca, más ó menos desintegradas, que vendrían á establecer una transición brusca á la roca compacta de la siguiente emisión, todo lo cual produciría en el conjunto una heterogeneidad bien manifiesta en la composición de la Sierra y cierta regularidad ú ordenación en las corrientes correspondientes á las distintas épocas de emisión ó de erupción.

Ninguno de los dos tipos dominantes que acabamos de describir existe en la sierra de Pachuca; y en su conjunto, las rocas que la constituyen se ven aparentemente revueltas ó mezcladas con bastante desorden, y no obstante la constancia y el papel predominante que en la constitución de la sierra desempeña el tipo andesítico, se descubre en todas ellas una serie de modificaciones que diferencian á un tipo de otro sin que en esto haya regularidad ni en el sentido vertical ni en el horizontal; podríamos, para dar una idea clara, comparar el conjunto de rocas andesíticas como se presentan en la actualidad, al resultado de la consolidación de una parte fluida que, aparentemente uniforme en su masa, es de composición diferente ó de una heterogeneidad relativa en distintos puntos de ella, y que mezclada mecánicamente al enfriarse hubiera venido á dar en distintas partes de su volumen, tipos de estructura variada aunque íntimamente ligados por transiciones insensibles unos con otros.

Es por esta heterogeneidad de estructura y por los fenómenos de alteración, descomposición y desintegración de la roca en sus distintos aspectos de estructura, que tales rocas presentan ese aspecto abigarrado que comunica dicha alteración.

Una ligera inspección de la sierra siguiéndola de N. á S. nos enseña: primero, que las rocas andesíticas en sus diversos aspectos de estructura ocupan la parte septentrional y se encuentran á alturas diferentes quedando completamente descubiertas; mas hacia el centro de la sierra las rocas andesíticas se hallan cubiertas por las rhyolíticas y hacia el extremo están á su vez las

rhyolitas cubiertas por las rocas basálticas. El basalto en la parte céntrica aparece bajo la forma de diques, mientras en el extremo se conservan todavía los aparatos crateriformes que les dieron nacimiento. Esta disposición de las rocas y esta modificación que las liga de N. á S. con rocas de origen muy reciente hasta terminar con volcanes perfectamente conservados, nos autoriza para aceptar como probable el origen volcánico para la sierra de Pachuca que debió haberse formado por erupciones que se sucedían á lo largo de una grieta preexistente, pero en la cual la chimenea volcánica se desalojaba de N. á S. La circunstancia de que las brechas ígneas no existen intercaladas entre las andesitas y las rhyolitas, es una prueba de que la aparición de las últimas fué inmediatamente á continuación de la aparición de las andesitas, y la existencia de poderosos depósitos de tobas y de brechas que cubren á las rhyolitas y son cubiertas á su vez por los basaltos, depósitos que á su vez han sido todos acarreados por erosión en la parte septentrional y céntrica de la sierra, nos sirven para establecer en la historia de la formación de la sierra tres períodos: uno de erupciones básicas andesíticas que termina con erupciones rhyolíticas, otro de erupciones de tobas y cenizas que inicia un período de tranquilidad durante el cual se depositan las tobas rhyolíticas en todas las depresiones y pequeños valles de la sierra, y finalmente un período de erupción basáltica que se continúa con el volcanismo del Cuaternario en toda esta región.

Expuestas ya en sucinto estas ideas generales, debemos consagrar nuestros esfuerzos exclusivamente á tratar de explicar la sucesión de las diversas rocas eruptivas.

Por más que exista una grande variedad en el aspecto macroscópico de estas rocas, como ya lo hemos hecho notar, se pueden referir todas ellas á tres tipos distintos: las andesitas, las rhyolitas y los basaltos; definiendo tres etapas sucesivas, tres períodos de actividad volcánica susceptibles los dos últimos de producir sobre el primero fenómenos que han contribuído á imprimir á la sierra su importancia.

La más grande variedad de aspecto ha tenido lugar en las andesitas, que de vítreas pasan á casi holocristalinas, variando constantemente y entre muy extensos límites la proporción de los elementos minerales constituyentes, juntamente con la intervención ó ausencia del cuarzo como parte integrante de la roca, en caso de existir como elemento primordial, no tomando desde luego en cuenta la sílice de formación inmediata. Pero como quiera que á la profundidad las rocas andesíticas llegan á tener en todas partes una completa semejanza, hay lugar á pensar que las modificaciones de aspecto son casi del exclusivo dominio de la superficie y referir la modificación á la intervención de los agentes atmosféricos obrando con desigual energía sobre rocas cuya compacidad, rapidez de enfriamiento, distancia al foco de emisión, presión y otras circunstancias múltiples las colocaban en diferentes condiciones al quedar sujetas á esta acción. Por su parte, la diferencia en la composición del magma, dentro de los límites de la proporción relativa de los elementos que

aún á la profundidad se nota, contribuyen á esclarecer los efectos de la variación.

Para poder precisar con más pruebas el origen común de todas las variedades andesíticas de la sierra de Pachuca, bastaría encontrar cierta constancia en la composición química de las rocas del mismo tipo petrográfico aunque de mayor variación macroscópica, lo que en efecto demostramos con los análisis hechos en el laboratorio del Instituto por los Sres. Ingenieros P. C. Sánchez y M. Rangel.

Por los análisis se ve que la sosa y la cal varían poco en cantidad, que para las andesitas simples la sílice está casi en la misma cantidad, presentándose en exceso en las dacitas. El fierro es uno de los elementos más variables pues que la cantidad que se encuentra en el magma es muy variable, haciendo notar que en la roca negra y compacta es en la que se encuentra en mayor abundancia.

Es pues de notar por estos datos, que la variación tan sólo reside en las condiciones físicas de un solo magma diferenciado por acciones diversas y la importancia más ó menos grande de una modificación superficial ó por agentes atmosféricos.

Un hecho muy característico es la presencia de las andesitas muy cuarcíferas (dacitas), en la parte alta de las montañas formadas de andesita de piroxena, como en el cerro de San Cristóbal, en el cerro al N. de la mina de San Rafael, Peña de Buenavista, etc., en la región de Pachuca y otros puntos diversos de la sierra como en la cima de los Organos de Actopan, algunos cerros de Real del Monte y el Chico, etc. Esta circunstancia sugiere la idea de corrientes sucesivas en las cuales las últimas de andesitas, es decir, las más elevadas, comenzaban ya á traer el aumento de sílice que caracterizó las erupciones siguientes, esto es, el período de erupción rhyolítica; pero no habiendo contraste entre las andesitas cuarcíferas y las otras y sí transición insensible, es más de aceptarse la segregación en la parte más elevada de la masa más cuarcífera. En este fenómeno de rocas en parte silicificadas no tomamos en cuenta las rocas igualmente cargadas de sílice de la vecindad de las vetas, pues ya dijimos que esta sílice tiene la misma procedencia que el cuarzo de las vetas.

El espacio ocupado en la sierra por las andesitas solamente comprendió desde el macizo de los Organos, donde adquirió una extensión considerable y una grande altura (2,977^m10) sobre el mar, hasta las montañas de Real del Monte, igualmente con una grande altura, es decir, en una longitud de 29 kilómetros, pues más hacia el S. E. solamente se presenta ya cerca del extremo de la sierra de una manera esporádica y cubierta en una grande extensión por las rhyolitas.

La manera como debieron aparecer las andesitas así como también las rhyolitas parece haber sido, dadas las condiciones en que ahora se encuentran, por bocas sucesivas abiertas en grietas según una dirección, que daban lugar no solo á rocas porfiroides y compactas, sino también á productos cine-

ríticos, tobas, brechas, etc., cuya extensión es ahora muy limitada, por lo menos para productos que acompañaron á las andesitas, pues es indudable que fueron fácilmente substraídas por una activa erosión.

Esta teoría que define las erupciones por grietas sucesivamente abiertas, es en cierto modo análoga á la que adoptan algunos geólogos americanos para explicar la formación de una parte de las montañas Rocallosas en América con especialidad del Distrito de Washoe.¹

Estas erupciones sucesivas de rocas andesíticas cuya proporción de sílice aumentaba en las últimas erupciones, terminaban con la producción de tobas andesíticas y brechas ígneas que cubrieron grandes superficies de las montañas así formadas; material detrítico que se depositaba en lechos que más ó menos se aproximan á la horizontal, que prontamente fué sufriendo el transporte que su fácil desintegración permitía, logrando este trabajo hacer desaparecer, casi por completo, esta cubierta que solamente pudo conservarse en los lugares que por su situación topográfica ó por su configuración estaban sujetos á un trabajo mucho menos enérgico. Esto es, en efecto, lo que se verifica en la mesa que corona el cerro en que se encuentra la mina de San Pedro, cerca de Pachuca, y en los bordes de la barranca de Texinca, donde se ven aún capas de brechas ígneas en delgados lechos sobrepuestos, apoyándose directamente sobre las andesitas. Estas mismas capas se encuentran en algunos otros lugares, como en la cuesta de la Cruz de los Ciegos, cerro del Lobo, etc., y en algunas faldas de las montañas del Real del Monte.

Muy poco puede decirse acerca del tiempo de reposo que sucedió al finalizar las erupciones andesíticas y después de su completa consolidación. Solamente se demuestra que el trabajo de erosión comenzaba á modificar el relieve de las montañas ya formadas y se verificaba sobre las andesitas la profunda alteración atmosférica de estas rocas, cuando súbitamente la región se encontró de nuevo sometida á nuevas manifestaciones volcánicas, consecuencia de esfuerzos dinámicos muy enérgicos aunque de menor importancia, á juzgar por el volumen del material eyectado.

Las mismas grietas que permitieron la salida de las andesitas constituían líneas de menor resistencia, en las cuales, por diversos puntos y con extensión diversa, se rompe la cubierta bruscamente dando lugar durante esta ruptura parcial á la formación de una enorme masa de brechas andesíticas que forzosamente ocuparon la parte culminante de la sierra. Para dar alguna idea de este rompimiento y de la importancia que tuvo, basta observar la enorme extensión que los productos de las erupciones ó sean las brechas andesíticas ígneas en la cresta de la sierra desde los cerros de Capula hasta la Peña del Zumate en Real del Monte; es decir, una longitud de poco más de 12 kilómetros, una anchura variable entre 2 y 6 kilómetros y un espesor superior á 400 metros. Ya hemos hablado de las formas variadas que ofrecen por trabajo de denudación estas brechas y que tanta belleza dan á la cresta de la

¹ Entre otros Mr. Church "The Comstock Lode."—1879 pag. 154.

sierra como las Ventanas y Monjas del Chico, la Peña del Zumate y las otras agujas, picachos, etc., que coronan la sierra.

Naturalmente, en contacto con este material arrancado bruscamente en el lugar ó lugares donde se verificaba la reapertura, habían de presentarse los nuevos productos de erupción, y esto es lo que demuestran los gruesos y sucesivos bancos de rhyolitas que se extienden en la vertiente occidental de la parte de la sierra entre Pachuca, Real del Monte y El Chico en una grande extensión.

En las montañas al N. de la mina del Bordo y del pueblo de Cerezo, se pueden observar fácilmente los numerosos bancos de rhyolitas, sobrepuestos y escalonados, tanto por su menor extensión superficial como por la acción de denudación. Las rhyolitas de esta región tienen una notable semejanza en su color, composición y estructura, presentando ahora tan sólo diferencias por alteración superficial. Las rhyolitas, casi de la misma época, que se encuentran cerca del Real del Monte, son un poco diferentes de las de Cerezo por su menor cristalinidad, y aquí también ocupan la parte superior de las montañas, como se puede notar en las Peñas del Aguila, Peña del Gato, etc, que forman con el Zumate los puntos culminantes de la sierra en aquella región.

Durante estos movimientos de reapertura de grietas en la masa misma de las andesitas y la expulsión de lavas silizosas, tiene lugar en las regiones vecinas á las rhyolitas la formación de grietas de menor importancia que produjeron un sistema de fracturas principal, en dirección casi paralela á las grietas de emisión de lavas, y grietas secundarias que parten de los primeros, produciéndose así una división en blocks paralelipédicos en grandes tramos de la sierra. Este fenómeno se produjo con desigual energía en ambos lados de la sierra. Así tenemos, del lado occidental, el sistema de fracturas de Pachuca casi ligado al de Sta. Rosa y Tepenené, y al O., el del Chico, igualmente unido casi al sistema de Real del Monte, habiendo por otro lado entre todos ellos la más estrecha relación. Pero estos sistemas de fracturas están muy lejos de ofrecer la simplicidad que en apariencia les damos al referirlos al fenómeno volcánico; muy al contrario, habremos de poner á contribución nuevos datos y observaciones que completen el estudio de estas complicadas redes, trabajo que por otra parte para el sistema de Pachuca constituye un capítulo especial de esta Memoria.

La acción volcánica que dió origen á la vasta formación rhyolítica de Pachuca y El Chico se clausura con dos fenómenos conexos sumamente frecuentes, si no indispensables en toda erupción volcánica, á saber: la aparición de material detrítico, una verdadera erupción cinerítica, y la formación en la superficie de fumarolas y la circulación de aguas termo-minerales en las grietas profundas ya formadas. Estas dos clases de fenómenos íntimamente ligados en Pachuca dan lugar: el primero á tobas rhyolíticas en lechos que alternan en la parte superior con capas de la misma toba sumamente impregnada de sílice, ya bajo la forma de cuarzo cristalino ó bien de piedra córnea y que caracterizan las canteras de donde se saca piedra de construcción cerca de

Real del Monte, cuyo carácter y condiciones de formación hemos descrito en otra parte de este trabajo.

El segundo fenómeno, el más interesante, es el depósito silizoso bajo la forma de cuarzo exclusivamente acompañado de sulfuros minerales en las grietas del suelo, dando lugar á la enorme riqueza de metales preciosos que en parte han sido extraídos de estas regiones.¹

Establecidas ya definitivamente las condiciones que facilitaron el relleno de las fracturas y terminada toda manifestación volcánica en relación con las rhyolitas, viene un largo período de tranquilidad relativa en el que sólo se verifican lentos movimientos, necesarios para alcanzar el equilibrio definitivo en una región que había sido tan profundamente trastornada por movimientos sucesivos de diferente duración y de intensidad diversa.

El período de erupciones volcánicas cuyas manifestaciones hemos visto al hablar de las rocas eruptivas de Pachuca, parece haber dado comienzo desde á mediados del Terciario y haber sido motivado por el plegamiento de los grandes depósitos cretáceos del país, que se verificaba cuando tenía lugar la formación de todos los rasgos orográficos del continente en esta porción, así como á consecuencia de los movimientos que experimentaba el país desde al terminar el período cretáceo, movimientos que se verificaban con máxima intensidad en la porción occidental y N. W. del país, siendo así que en la parte N. E. estos movimientos eran sumamente débiles y las aguas del Golfo de México no dejaban completamente en seco los terrenos que más tarde habían de ser conquistados al océano, sino que aguas marinas de poco fondo y zonas costeras de invasión, naturalmente de aguas salobres, y de formación de estuarios de más ó menos importancia, continuaban por ese rumbo depositando sedimentos más modernos correspondientes al período terciario, cuando ya la porción occidental y á continuación la central del país no sólo habían salido del seno de las aguas del mar, sino que prestando su contingente para los detalles del relieve y las formas del terreno al cerrar cuencas recientemente formadas y al preparar la salida que había de contribuir al drenaje de otras cuencas anteriores, preparaban las formas topográficas y geográficas del suelo mexicano que definitivamente vinieron á quedar constituídas durante el período pleistoceno.

Una rápida ojeada sobre una carta geológica del país (Boletín 4, 5 y 6) muestra los numerosos lugares inmediatos á la sierra de Pachuca, sierra de Las Cruces y demás elementos orográficos del centro del país, en donde se encuentran depósitos cretáceos de naturaleza petrográfica más ó menos variada, todos dislocados, muy plegados y en contacto inmediato con estas rocas eruptivas; siendo muchos los lugares en los cuales se ven estas rocas eruptivas sobrepuestas directamente á las calizas cretáceas. Para no citar sino aquellos puntos más próximos á la sierra de que nos ocupamos y á la cual indudablemente se ha extendido en su acción las causas genéticas de la sierra de Pa-

1 Véase Teoría de la formación de las vetas.

chuca, mencionaremos en la vertiente oriental de la sierra, los depósitos cretáceos de Yolo, Hacienda de Vaquerías, río de Amajac, Sierra del Zoquital y las montañas de la proximidad de Zacualtipán, por el extremo N. las montañas de Ixmiquilpan. En la vertiente oriental encontramos las montañas de Mixquiahuala, Rincón de Guadalupe y las de Bata y Apaxco un poco más allá de los límites de la cuenca de México.

Por el S. vemos cómo las corrientes de lava del Popocatepetl descansan casi sobre los sedimentos cretáceos en Yautepec y en otros muchos lugares.

El origen de estos plegamientos que abarcaron una extensión, se puede decir continental, no es materia que abarca los límites de este capítulo, baste decir que á un fenómeno de este género se debe la formación de la sierra de Pachuca por el hecho de ofrecerse en contacto las rocas eruptivas de este macizo con sedimentos cretáceos y ocupando el espacio de una gran dislocación. Desde luego, la prolongada sierra de Tenancingo y Tenango con sus ramales occidentales y dependencias, se halla orientada casi paralelamente á la sierra de Pachuca; sus estratos prolongados en dirección N.W.—S.E. han sido forzosamente plegados también según esa dirección por fuerzas que les han sido normales, definiendo así una serie escalonada de pliegues que se suceden según la dirección normal. Esto es lo que tiene lugar y así lo hemos observado en las grandes cortaduras de la Barranca Grande y de Regla en el valle de Tulancingo.

Los estratos cretáceos, quizá de la división superior del sistema, se prolongan así plegados y más ó menos desgastados por erosión y cubiertos por depósitos recientes y pliocenos ó por corrientes de lavas basálticas, hasta el contacto con las rocas eruptivas de la sierra, como se puede observar fácilmente en varios puntos del cauce del río de Velasco y de Amajac.

En cuanto á lo que se observa en el lado opuesto de la sierra, es decir, frente á su vertiente occidental, el Cretáceo Medio se presenta con gran espesor representado por las calizas de Nerineas y de Hippurites de Tula, Rincón de Guadalupe, Apaxco y Mixquiahuala, ocultas en la base misma de la sierra por los inmensos depósitos volcánicos de la cuenca de México y del valle de Actopan. Se puede demostrar por otra parte que la dirección media de las capas y sus pliegues es casi paralela á la sierra de Pachuca. En ambos lados pues, las rocas de esta sierra se hallan en contacto con sedimentos cretáceos de gran espesor: por un lado el Cretáceo Medio, calizas fértidas en estratos de gran espesor, y del lado opuesto pizarras y areniscas calcáreas en las capas más superficiales, pizarras calizas y arcillosas del Cretáceo superior, dotadas en general de mayor elasticidad y plasticidad al plegamiento. Hay por consiguiente diferencia de espesor en los sedimentos cretáceos de ambos lados de la sierra y diferencias de elasticidad por estructura y naturaleza petrográfica, y esto debió producir á no dudarlo un desequilibrio durante el plegamiento que dió margen á una gran dislocación; una superficie de menor resistencia, una gran fractura á través de la cual pudo haberse abierto camino el material volcánico fuertemente comprimido de la región infrayacente. Es-

ta es en nuestro concepto una fácil explicación y que se adapta muy bien con los hechos observados. Pero en ambos lados del contacto de las rocas eruptivas y los sedimentos han quedado líneas permanentes de menor resistencia y de ruptura, lo mismo que en el extremo S.E. de la sierra, por las que han debido presentarse de una manera sucesiva las lavas basálticas y labradoríticas que se han proseguido desde el Plioceno, desde lavas de estructura columnar como las de Regla, hasta las erupciones de basalto casi contemporáneas del Tecajete y sus vecinos, arrojando lavas menos fluidas.

La semejanza petrográfica que existe entre las rocas eruptivas de la sierra de Pachuca con aquellas de nuestras regiones mineras distribuídas en todo el territorio, hace creer que durante la formación de las montañas de Pachuca el fenómeno volcánico se repetía de una manera simultánea ó sucesiva afectando una extensión, se puede decir continental, propagado más allá de las fronteras mexicanas, retardando unas veces ó adelantando su acción otras, pues no es posible todavía fijar en el estado actual de nuestros conocimientos la absoluta correlación. Sin embargo, la homología de los tipos petrográficos, la uniformidad casi constante de la sucesión, podrán servir algún día para establecer quizá, no sólo la orogenia sino también la contemporaneidad de gran número de macizos eruptivos muy diseminados en el país, así como también en Norte América.
