

X

(EXCURSION DU SAN ANDRÉS ET COLIMA)



PHÉNOMÈNES POSTPAROXYSMIQUES

DU SAN ANDRÉS

PAR

P. WAITZ.

PHENOMENES POSTPAROXISMIQUES DANS LA SIERRA DU SAN ANDRES

MICHOACAN.

(Avec trois croquis et quelques photographies).

PAR M. PAUL WAITZ.

Le 22 octobre 1872, furent sentis, pour la première fois, des tremblements de terre, dans le village d'Ucareo: "Très faibles, au début, ils devinrent plus forts, le 26, et se répétèrent, à plusieurs reprises. A partir de ce jour, ils diminuèrent en nombre, jusqu'au 2 novembre; mais, à cette date, pendant la nuit, la population fut réveillée par une secousse très forte, qui se renouvela 17 fois, dans l'espace de 4 heures, et fut accompagnée de trois détonations. Jusqu'au 9 novembre, on nota peu d'autres tremblements; mais, ce jour là, on en sentit 21, dans l'Hacienda de Jaripeo; et, jusqu'au 17 du même mois, on en compta plus de cent.

"Un fait curieux, c'est que, à la suite de secousses si nombreuses, les maisons des villages (Ucareo et Jaripeo) soient restées en bon état, ou ne se soient fissurées que d'une manière insignifiante."¹

Ces tremblements de terre ont été le point de départ d'un examen du groupe montagneux d'"El San Andrés,"

1 Manuel Urquiza. "Informe del Ingeniero encargado de reconocer la Sierra de Ucareo para averiguar las probabilidades de una erupción volcánica." Bol. Soc. Geográfica Mexicana 2^a ép., IV 1872, p. 586-588.

connue aussi sous le nom de "Sierra de Ucareo," et les lignes qui précèdent sont extraites d'un rapport de M. l'Ingénieur Manuel Urquiza, publié un mois à peine après le début des secousses, et de suite après la fin de ses études,—provoquées par le Gouverneur de Michoacán.

Peu après, MM. les Ingénieurs Santiago Ramírez et V. Reyes, publièrent, sur les mêmes phénomènes, un travail plus détaillé, mais moins précis.¹

Quinze ans auparavant, en 1857, l'illustre de Saussure avait écrit une notice sur le San Andrés, ses émanations de vapeur et ses solfatares. Il est fâcheux que l'orientation donnée par ce savant ne soit pas suffisamment claire pour que l'on puisse retrouver, sur le terrain, avec certitude, les différents points qu'il a noté; et il est, surtout, regrettable qu'il n'ait pas pu prendre la température,—même approximative,—des eaux thermales, tous ses thermomètres étant brisés.²

En 1890, MM. Felix et Lenk, dans leur étude sur le Mexique, condensèrent les différents travaux publiés, jusqu'alors, sur la Sierra del San Andrés, mais, sans l'avoir, eux-mêmes visitée.³

Plus récemment, M. G. de Caballero a publié quelques notes sur la même région, dans lesquelles il parle un peu de Géologie, et donne, d'un certain nombre d'eaux minérales, des analyses, qui laissent, probablement, quelque peu à désirer.⁴

1 S. Ramírez y V. Reyes. "Informe sobre los temblores y volcanes del Aguafria y Jarlpeo." Bol. Soc. Geográfica 3^a ép. I, 1873 p. 67-88.

2 M. H. de Saussure. "Description d'un volcan éteint, du Mexique, resté inconnu jusqu'à ce jour." Bull. de la Soc. Géol. de France, t. 15, 1858, p. 76-87.

3 J. Felix und de H. Lenk. "Belträge zur Geologie u. Paläontologie der Republik Mexiko." Teil I. Leipzig, 1890.

4 G. de J. Caballero: La región geisseriana al N. del Estado de Michoacán." Mem. de la Soc. "Antonio Alzate," t. XXII, 1905, p. 203-208.

La Sierra del San Andrés est, au point de vue géographique, nettement délimitée. Au Nord, elle s'abaisse, avec interposition de quelques collines, vers la plaine du Rio Lerma; à l'Est, elle est séparée des montagnes de Tlalpujahua et d'El Oro par un bassin, qui s'ouvre sur la même rivière; au S.E., elle est isolée de la Sierra de Zitácuaro par une vallée, qui débouche dans le Rio de las Balsas; entre elle et la Sierra de Ozumatlán, c'est à dire à l'Est et au S.O., s'étendent la coupure du Rio de Tajimaroa, qui se déverse dans le Rio de Zitácuaro, puis le col de San Andrés, et, enfin, le ruisseau, qui de ce col court, au N., vers Queréndaro, près de Zinapécuaro.

Toute la Sierra est ramifiée en collines, "dont l'ensemble forme une accumulation de montagnes" (de Saussure). Il n'existe pas encore de carte exacte et correcte de la région qui nous intéresse. Je vais essayer d'en donner une division, purement et simplement pratique, pour nous aider à nous orienter.

Du côté du S., la Sierra s'abaisse, en pente rapide, vers la vallée de Tajimaroa. Au N., au contraire, elle descend en gradins: le plateau de Jaripeo-Ucareo en est une marche. Au dessus de ce plateau, et plus au S.E., s'étend un autre petit plateau, désigné sous le nom de "Mesa de La Laguna Verde."

Le ruisseau qui prend naissance dans ce lac se dirige, d'abord, vers l'O.N.O., et fait une forte coupure dans la Sierra. Au milieu de son parcours, il a creusé une "barranca" profonde à travers de la colline qui s'élève du côté du N., es court, toujours au N., vers la Laguna de Cuitzeo. Ces particularités se répètent dans le lit de deux autres cours d'eau, de peu d'importance, dont la source est voisine de La Laguna Verde,—les Arroyos del Chino et del Pajarito,—qui se jettent, tous deux,

dans la Laguna Larga, d'où ils se dirigent, unis en un seul courant, vers le N. Les vallées sont séparées par des collines allongées, couvertes de beaux bois. Seulement dans la partie supérieure de ces vallées, passe un chemin charretier, qui va du N. au S. en utilisant divers cols ou dépressions du terrain, et met en communication La Laguna Verde avec l'Hacienda d'Agua Fría.

Les eaux des différentes origines, que nous venons d'énumérer, se dirigent vers le N., et finissent par se jeter dans le Río Lerma. Les eaux, au contraire, de la vallée d'El Agua Fría s'écoulent vers le S. et appartiennent au bassin du Río de Las Balsas. La vallée, dans laquelle est située l'Hacienda d'Agua Fría, peut servir de ligne de séparation entre la partie N. (Jaripeo-Ucareo) et la partie Sud de la Siera du San Andrés. A la partie N. ou de Jaripeo-Ucareo, appartiennent non seulement le plateau du même nom, mais aussi la grande masse montagneuse comprise entre ce plateau et la vallée d'Agua Fría. La partie méridionale est moins étendue et se compose des collines, et de leurs ramifications, qui suivent la rive S. de la vallée d'Agua Fría. C'est leur prolongement Sud qui forme le Cerro de San Andrés, dont la hauteur est de 3,400 m. au dessus du niveau de la mer.

Nous descendons du train, à la station d'Irimbo. La ligne qui nous y mène va de Maravatío, localité située dans la vallée du Río Lerma, à Zitácuaro, c'est à dire du N. au S. elle est destinée à mettre, plus tard, en communication la riche vallée du Río de las Balsas avec le Plateau Central.

Notre chemin passe entre deux dômes basaltiques, dont l'un surtout,—celui du Nord,—a bien conservé sa forme conique; puis après avoir traversé le village d'Irimbo, nous descendons dans une large vallée, affluent

du Río de Las Balsas, mais dans laquelle il n'y a d'eau courante qu'en temps de pluies. Le terrain, tout entier, est couvert par les produits de l'altération des roches et des tufs volcaniques; deux filons basaltiques traversent notre chemin. Du ruisseau, nous montons à une plaine, que nous traversons, pour atteindre Tajimaroa. Au S.O., c'est à dire à gauche, on voit la Sierra de Ozuatlán; au N.O. et au N., la Sierra de San Andrés, qui s'élève, avec ses pentes escarpées, au dessus d'une base peu définie. Le village de Tajimaroa est situé, en partie, sur le flanc marginal d'une coulée basaltique, qui forme la base peu marquée du San Andrés. Du pied oriental du massif auquel appartient le San Andrés, nous voyons, au N., d'autres montagnes volcaniques de peu de hauteur, en forme de dôme (Quellkuppen), près desquelles nous passerons, en allant à l'Hacienda del Agua Fría.

Notre chemin monte sur la partie marginale de la coulée basaltique, qui finit dans l'intérieur même du village. Elle présente, à la surface, une structure poreuse de scorie basaltique; mais, à peu de profondeur, on rencontre le basalte compacte et frais.

Le chemin monte sur la coulée et coupe, ensuite, des couches argileuses et sableuses, de couleur jaune, qui se sont déposées, en épaisseur considérable, sur la lave. Plus loin, nous traversons le lit, large, d'un torrent, qui descend des contreforts S.E. du San Andrés; puis, au haut d'une montée, nous arrivons à une plaine, formée des produits de la décomposition de la rhyolite et du basalte, déposées au dessus des coulées basaltiques. On voit rarement surgir de ces couches argileuses de petits filons ou des éminences de basalte, tels, par exemple, que celui que l'on trouve dans le défilé, avant d'arriver à cette plaine. Plus considérables sont les dômes de basalte que

nous avons vu de Tajimaroa, et qui sont, maintenant, près de notre route. Ces dômes, semblables, à des coupoles isolées, suivent la pente du San Andrés, au S.E. et à l'E., d'une manière curieuse. On en observe aussi, au N., jusqu'à Zinapécuaro; mais on n'en trouve pas dans la vallée de Tajimaroa, qui sépare la Sierra du San Andrés de la Sierra de Ozumatlán. Du manque de ces effusions basaltiques, dans cette vallée, on peut conclure que, s'il est certain que les deux Sierras sont unies génétiquement, et sont contemporaines, il est probable que la vallée qui les sépare, aujourd'hui, a été formée par érosion,—peut-être, suivant une ligne tectonique, de peu d'importance, qui préexistait.

Notre chemin se dirige vers le N., en longeant le versant oriental du Cerro San Andrés. Partout, nous remarquons que, sur les pentes escarpées de la montagne, s'appuient des plateaux légèrement inclinés, formés par des détritits de décomposition minérale, mêlés de tufs et de cendres. Ces plateaux, sont coupés par plusieurs barrancas étroites et profondes. Nulle part,—pas même dans ces "barrancas,"—on ne peut observer la position qu'occupe le basalte par rapport à la rhyolite; on peut, pourtant, supposer que les basaltes sont superposés. Ces plateaux d'argile et de sables remplissent seulement l'intervalle entre le versant du massif du San Andrés et le pied des dômes basaltiques.

En avançant toujours vers l'Hacienda d'Agua Fría, sur les pentes N.E. du Cerro du San Andrés, nous trouvons ces couches, jusqu'à une hauteur considérable; et c'est seulement au col d'Agua Fría, au Nord du sommet du San Andrés, que nous rencontrons la roche dans sa position originale. Nous voyons, ici, la rhyolite vitreuse, qui est l'élément constitutif de la Sierra du San Andrés,

dans toute leur extension ; puis, un filon de basalte compacte, commençant à s'altérer, qui coupe le chemin charretier dans la direction N.S. Dans ce col, la roche est presque entièrement couverte de produits de décomposition minérale, de terre végétale et d'une végétation exubérante; de sorte que, en quelques points seulement, on peut découvrir la base rhyolitique.

Le chemin descend, de l'autre côté du col, vers le S.O., dans la vallée d'Agua Fría, à travers la plaine, qui forme la partie supérieure de la vallée. Dans cette plaine, existe une lacune peu profonde, qui est en voie de dessèchement. Le chemin passe, ensuite, par un petit col, qui unit la chaîne située au Sud de la vallée avec la colline qui s'intercale entre le lac et la partie basse de la même vallée. Cette colline, elle aussi, est formée de rhyolite vitreuse.

La chaîne, dont nous venons de parler, prend naissance au Cerro du San Andrés; elle s'étend vers l'O. et atteint une hauteur plus considérable, au Cerro de las Humaredas,—au pied septentrional duquel est situé l'Hacienda del Agua Fría. Ce Cerro est séparé de la chaîne par deux petits cols,—l'un à l'E., et l'autre à l'O. Ce dernier est connu sous le nom de Puerto del Agua Fría. Le Cerro de las Humaredas est signalé, de loin, par ses "humaredas," ou émanations de vapeurs, et par les solfatares, qui sortent d'une zone étroite, sans végétation, s'étendant sur la moitié N. de la montagne, vers les deux tiers de sa hauteur. Depuis l'hacienda Agua Fría, on distingue très bien cette zone, qui commence au col de l'E. va presque jusqu'à l'autre col, celui de l'O. par lequel passe le chemin charretier, qui descend vers le Sud. Du même point, on voit aussi une autre bande au dessous de la première, dépourvue également de végé-

tation, et en partie dissimulée par les sommets des pins; elle commence 30 m. environ, plus bas que le col oriental et monte, doucement, sur le versant N., pour rejoindre la première près du col del Agua Fría.

Au sommet du Cerro, nous retrouvons la même rhyolite vitreuse, qui caractérise la Sierra du San Andrés. Sur le versant septentrional,—sur le chemin charretier, par exemple, à peu de distance du col del Agua Fría,—se présentent de petits filons (Schlieren), ou lambeaux

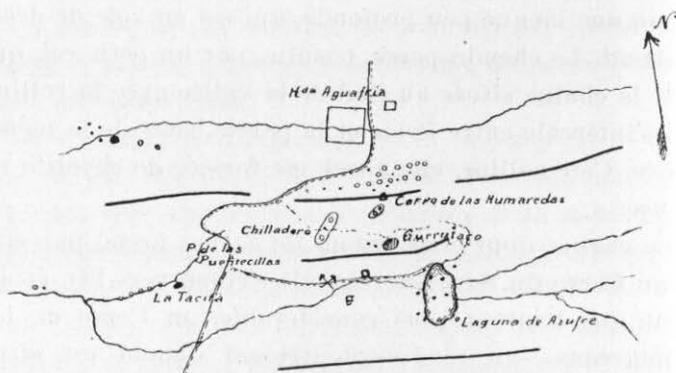


Fig. 1.—Croquis d'orientation des phénomènes près de la Hacienda Agua Fría.

concrétionnaires d'obsidienne, qui se décomposent facilement. Les zones des émanations de vapeurs et les solfatares semblent suivre ces lambeaux, ou tout au moins, parmi les éléments constituant du sol de ces zones, se trouvent de petits fragments d'obsidienne. Cette matière est fortement altérée, et le sol se compose d'une masse bourbeuse, compacte, d'acide silicique amorphe, avec un peu d'alumine et de fer, et quelques vestiges de calcium et de magnésie. Dans cette masse pateuse et blanche, où l'on enfonce presque jusqu'au genou, exis-

tent de petits nids de cristaux de soufre,¹ fins et fragiles, de petites dimensions,—on en trouve de 2mm— mais ils sont rares et on rencontre, plus fréquemment, des endroits où le sol est imprégné de soufre en poudre. Autrefois, on en extrayait du soufre comme aussi de La Laguna de Azufre, dont nous ne tarderons pas à parler; mais, on n'en extrait plus, aujourd'hui, et cette exploitation n'a jamais eu grande importance.

Ici, on ne sent pas l'odeur des gaz sulphydriques et de l'acide sulfureux, autant qu'en d'autres points de la même Sierra. Et, pourtant, le sol est bien imprégné de Soufre, et de ses cristaux, provenant de la décomposition de gaz SO_2 y SH_2 par réaction réciproque et par le contact de l'air.

Il est très probable que le petit groupe de sources bouillantes, solfatares et émanations de vapeur, situé plus à l'O. que le Cerro de Las Humaredas, à un quart d'heure de l'hacienda, au pied N. de la cordillère, est la continuation de la zone du Cerro de las Humaredas.²

Ce groupe présente les mêmes traits généraux que le précédent, mais il y existe un soufflard, dont la température est si élevée (102°) que sa vapeur est projetée avec force, et produit un bruit assourdissant. Près de cet orifice, se trouvent quelques "hervideros," ou puits bouillonnants, de petites dimensions, dont l'eau est trouble à une température de 88° , et produit d'abondantes émanations de vapeur; ils s'étendent aussi sur une partie des prairies de la vallée, et en brûlent le sol. De l'autre côté de la vallée, et un peu plus bas, le terrain se fait

¹ Les facettes de ces cristaux qui prédominent sont (111); les facettes (001) manquent.

² Voir p. 27 (note 1).

remarquer par son manque de végétation, dû, probablement, à une activité, actuellement apaisée.

Dans tous ces groupes, signalés par des phénomènes postparoximiques, la situation de l'ensemble des puits, —et de chacun, en particulier, — produit l'impression qu'ils sont disposés sur une fracture, —bien que celle-ci ne se voit pas à la surface. Seul, l'alignement de plusieurs des puits et des vapeurs émises par de petites fissures, rend probable cette hypothèse.

De la zone des eaux thermales et des émanations de vapeur du "Cerro de las Humaredas," nous montons au col del Agua Fría et descendons, de suite, dans la vallée voisine, —ou "Puerta de la Puentequilla." Au lieu de prendre, au fond de celle-ci, le chemin de gauche, qui mène à la Laguna de Azufre, nous suivons le ruisseau, pendant 5 minutes, en aval, pour voir un groupe de sources thermales, désigné sous le nom de "La Tacita." Ces sources, dont la température varie de 70° à 90°, sont intéressantes, à cause des sels qu'elles tirent des profondeurs du sol et déposent, sur leur parcours, en incrustations, qui renferment beaucoup de silice, peu d'alumine, avec des traces de fer et de chaux. Une conduite de bois, qui desservait, autrefois, un bain, actuellement en ruines, montre aussi bien que possible, ces incrustations, composées d'un grand nombre de lames blanches et fines (voir la photographie). L'eau de ces sources est claire et sans couleur ni saveur; les incrustations blanches que l'on voit au fond sont recouvertes d'algues vertes. Plus bas, jaillissent, en abondance, d'autres petites sources, qui forment peu d'incrustations. Là se voient, rarement, des feuilles d'arbres et des brindilles de bois carbonisé, recouvertes de dépôts.

A trois quarts d'heure, dans la même direction, mais

sur la côte N. de la vallée,—un peu au dessus du puits de La Tacita,—sourdent quelques autres eaux thermales, dites “Los Baños de Azufre,” dont la température est 44° - 55° . Dans aucune de ces eaux, on ne trouve d'acide sulphydrique.

Du Pozo de La Tacita, nous retournons à La Puerta de la Puentequilla. Nous la passons, pour arriver à une autre vallée, que nous remontons jusqu'à une clairière, qui s'ouvre dans le basfond. Lè était la fabrique de soufre, dont les constructions sont à moitié ruinées. C'est ici que l'on fondait, autrefois, le soufre, pour le raffiner. Le sol se compose de boue durcie, formant des briques naturelles, grises, comme celles qui se rencontrent dans les cañones profonds et étroits. Des pyramides de terre, petites mais gracieuses, recouvertes chacune par une pierre au sommet, se dressent en plusieurs endroits.

Les montagnes, qui s'élèvent sur les côtés de cette clairière se rejoignent presque, au fond de la vallée, laissant, entre elles une gorge étroite, par laquelle nous sortons, pour arriver au cirque abrupt, qui enferme la “Laguna de Azufre.” Le sol de cette gorge est un peu plus haut que les niveaux respectifs de la vallée et de la “Laguna” et est formé par une roche tendre et décomposée, (Brèche de rhyolite vitreuse). A 10 m au dessous de la même gorge existe un tunnel artificiel, qui sert de déversoir aux eaux du lac. L'extension de celui ci a été considérablement diminuée par suite de la construction de ce tunnel. Le cirque a un diamètre de 300 m, et est constitué, au N. et au S., par des parois élevées de rhyolite vitreuse, qui descendent vers la partie orientale du fond de cet immense cirque et vers le côté de la vallée. Il n'y a de végétation que sur les versants; le sol paté-

liforme est absolument dépourvu de vie végétale. Entre les blocs grands et décomposés, tombés des flancs de la montagne, on entend, par place, le sifflement des vapeurs et des solfatares, qui ont perforé la boue durcie qui recouvre le sol du cirque.

La partie la plus basse du terrain est près du rocher méridional, et est recouverte par l'eau visqueuse du lac, qui jaillit, en bouillonnant, de divers points du sol. Les vapeurs, qui se dégagent du lac, sont chargées de H_2S et d'un peu de SO_2 . Ces gaz fatiguent vite, et leur quantité est suffisante pour que, en peu de temps, ils nuisent aux êtres vivants, animaux et végétaux. L'eau a une saveur salée, amère et astringente. Sa température est de 50° ; et celle d'une source, située sur le bord S.E. du lac, est de 86° . La surface du bassin d'eau, plus ou moins orbiculaire, est, aujourd'hui, comme il a été dit, considérablement réduite par l'écoulement artificiel que donne le tunnel, et n'a plus que quelques 100 mètres de diamètre. Autrefois, elle couvrait, à peu près, tout le fond, jusqu'au niveau du rocher qui sépare le cirque du prolongement inférieur de la vallée.¹ Il n'y avait pas d'écoulement à cette époque; le niveau de l'eau ne changeait pas, à cause de l'évaporation; le déversoir ne fût creusé que pour dessécher les rives bourbeuses, dont on extrayait le soufre. L'eau visqueuse et vaseuse du lac et les dépôts vaseux de ses bords sont imprégnés de soufre et contiennent aussi de l'acide sulfurique, résultant de l'oxydation de H_2S par l'air. Dans quelques points, seulement, du rivage, on découvre des croûtes minces de cristaux de soufre; mais, presque partout, il y a des dépôts plus minces de soufre impur, qui suivent

¹ Voir la notice de Saussure, loc. cit.

les fentes de la vase résultant de son durcissement par suite du desséchement. Ni le soufre, ni l'alun,—dont les efflorescences se voient en beaucoup d'endroits,—n'arrivent à former des masses considérables, parce qu'ils sont dissous, ou entraînés par les pluies, fortes et fréquentes dans la Sierra boisée du San Andrés. Mais, pendant les périodes de sécheresse, le sol du cirque prend une couleur jaune, due aux efflorescences sulfureuses, qui le recouvrent tout entier. Cette couleur disparaît, à l'époque des pluies, et le terrain prend, alors, la teinte gris blanc de la vase, composée de silice, d'alumine en abondance, de fer et d'un peu de chaux, et dans laquelle on remarque aussi la présence d'une proportion considérable d'acide sulfurique. Comme substances accessoires, on rencontre dans les boues de petits morceaux d'obsidienne et de charbon; ce dernier provenant de la carbonisation du bois.

Les grosses pierres, enterrées dans la vase, ou gisant à la surface, sont, en partie, de la rhyolite vitreuse, ressemblant à de la porcelaine, dont est formée la montagne, sur le bord S. du lac, et, en partie, de la rhyolite vitreuse porphyrique, qui forme le versant N.

Nous prenons le sentier, qui monte par l'angle N.E. de la lagune, et, après avoir passé une petite source thermale, nous atteignons, à 150 m au dessus du fond du cirque, un petit terrain plat, qui s'étend entre la montagne au N. du lac, nommée Cerro de Azufre, et le Cerro de las Humaredas. Nous passons par ce col; plus à l'O. nous trouvons un point où l'activité postparoxismique est à peine marquée par des émanations de vapeurs, et nous arrivons au "Currutaco." C'est un grand puits de boue, creusé dans le versant septentrional du Cerro de Azufre, à 10 m, environ, au dessus du niveau

du col. Il se compose d'un double entonnoir,¹ de 4 m de profondeur, par 10 m de long et 6 m de large. Dans la partie O. seule de cet entonnoir, jaillit, avec impétuosité, une boue, d'un noir gris, qui projette en l'air des gouttes et des éclaboussures, et sature l'atmosphère de vapeur. Cette partie active de l'entonnoir est séparée de la partie moins active par une formation conique de matière vaseuse; leurs parois consistent en boue, plus ou moins pâteuse, ou sèche et durcie, et sont inclinées, par places, vers l'intérieur; leur forme générale est celle d'un cratère d'effondrement; la formation conique, que nous voyons dans le fond, est, probablement, un reste du cône effondré.

Dans le plongement du grand axe de l'entonnoir du Currutaco, on voit, à l'Ouest, à 15 m de distance, des émanations abondantes de vapeur et quelques puits jaillissants, les uns à eau claire, les autres à eau trouble, de 80° à 90° de température. Il est curieux de noter que ces eaux sont plus ou moins claires, tandis que celles du Currutaco sont une boue visqueuse,—dont nous n'avons pas pu prendre la température.

Vis à vis du Currutaco, sur le versant N. du col (c'est-à-dire sur le versant méridional du Cerro de las Humaredas), il y a aussi un terrain, plus étendu, sans végétation, au milieu duquel jaillissent avec impétuosité, des eaux presque bouillantes,—à 88°,—et sifflent des vapeurs et des solfatares, qui produisent quelque peu de soufre sublimé. D'après le rapport, déjà cité, de M. Ur-

¹ Toutes nos observations sur la forme et l'activité des puits de la Sierra del San Andrés ont été faites au mois d'octobre 1905. Le temps était, alors, très inconstant; il pleuvait trois fois par jour,—ou davantage—et il n'y eut que bien peu de belles journées. Il ne faut pas oublier que toutes les formations de ce genre changent, non seulement en activité, mais aussi par suite de l'érosion produite par les pluies.

quiza, ce terrain a reçu le nom de Chillador Viejo. Ces puits bouillonnants et ces émanations de vapeurs sont identiques à ceux du versant N. du Cerro de las Humaredas, et sont presque à la même hauteur. Le Currutaco produit beaucoup moins d'acide sulphydrique que les solfatares que nous venons d'examiner.

Descendant, par le même versant, vers l'O., dans la direction du col de las Humaredas, nous arrivons au groupe du Chillador Nuevo, qui est à un niveau un peu inférieur à celui du Currutaco, et à mi-chemin du col. Ce groupe se compose de 8 puits jaillissants, dont la température est de 80°-90°, et de plusieurs jets de vapeur, de 94° environ; il se fait également remarquer par l'absence de végétation. Ici, l'extension de la zone est plus grande dans le sens vertical que dans le sens horizontal. Ce qu'il y a de plus intéressant dans ce groupe, c'est le Chillador, lui-même, qui projette, avec un bruit très fort, de la vapeur d'eau, à 94°. Ici, aussi, les grosses pierres sont attaquées et les intervalles entre elles sont remplis d'une boue blanche, qui, étant un produit de décomposition de la rhyolite vitreuse, se rencontre toujours dans le Cerro de las Humaredas, partout où se produisent des phénomènes postparoxismiques.

Ce qui caractérise ces phénomènes dans la montagne que nous étudions, c'est que leur manifestations se produit, presque invariablement, sur une même ligne de niveau, qui entoure ses contreforts, comme une ceinture.¹

Dans les environs de ces groupes de manifestations posthumes, que nous appellerons Groupes de l'Hacienda del Agua Fría, existent aussi, par places, des sources

¹ Ce phénomène a probablement donné naissance à l'idée qu'il y a un dépôt de soufre au fond, et aussi à l'idée d'en calculer la profondeur.

thermales. Nous avons déjà signalé celles de la vallée de Puenteillas, dites Los Baños de Azufre. Dans la vallée d'El Agua Fría, près de l'Hacienda, il y a aussi une petite source tiède, et il en existe une autre, plus considérable, près du Rancho de los Ajolotes,¹ plus bas, sur le même ruisseau. Des sources thermales se rencontrent aussi en beaucoup d'endroits, entre l'hacienda d'Agua Fría et une région, plus au N., où se manifestent également des phénomènes postparoxismiques. Nous désignerons les groupes de cette autre région sous le nom de Groupes de l'Hacienda de Jaripeo, parce qu'ils sont, presque tous, situés sur cette domaine.

Le chemin de la Laguna Verde nous conduit, de l'Hacienda d'Agua Fría, au N., à une petite Vallée, qui s'ouvre dans la direction de l'Hacienda. Nous passons un col et nous voici dans une autre vallée, qui court vers l'O., et nous mène à la Laguna Larga. En aval, cette vallée passe au pied méridional d'une colline, dans laquelle l'œil est attiré par une terre blanche, sans végétation, d'où s'échappe quelque peu de vapeur, comme si l'activité posthumes s'y endormait.²

Plus en aval encore, près de la Laguna Larga, apparaissent quelques sources thermales, de 50° environ de température.

Nous abandonnons cette vallée, passons par un autre col,—La Puerta del Muerto,—et descendons dans la vallée d'El Chino, qui reproduit le spectacle observé dans la vallée précédente. Après un quart d'heure de

1 A mi-chemin entre l'Hacienda Agua fría et le Rancho de los Ajolotes aux pentes australes du vallée se trouve des "Schlieren" d'Obsidienne dans la Rhyolite.

2 Les gents du pays disent, qu'autrefois, il y a 10 ans environ, tous les oiseaux qui passaient, en volant sur cette colline tombaient, tués par la chaleur et les gaz, et ils ont donné à ce puits le nom de "Pozo que se come los pájaros."—puits qui mange les oiseaux.

marche, toujours en aval, nous remarquons à droite,—c'est à dire au N.,—une côte sans végétation, avec des émanations de vapeur peu actives, et dont le sommet, au contraire, présente une certaine activité. En une demi-heure, dans la même direction, nous arrivons aux Baños del Chino, sources thermales qui sortent de terre dans le bas fond. Il y en a cinq, dont trois débitent beaucoup plus que les autres :

En aval, la seconde, sur la rive gauche, ou S., temp., 46° ;

Quelques mètres plus bas, et du même côté, la plus grande, temp., 53° ;

Quelques mètres encore au dessous, mais à droite, une petite ;

Enfin, la dernière, plus grande, temp., 63°.

L'eau du ruisseau a au dessus des sources 18° de température, et, au dessous de la dernière, 44°. Enfin, en aval de ce groupe, sur la rive gauche, existe une source dont les eaux ont 58°.

Beaucoup plus intéressants que ces sources sont les phénomènes postparoximiques qui se manifestent au dessus des écoulements thermaux, sur la colline du Nord. Cette région est signalée aussi de loin par son manque de végétation. C'est une zone semblable à celles du Cerro de las Humaredas ; les petits puits bouillonnants et les émanations de vapeurs ressemblent à ceux du Cerro que nous venons de rappeler et sont en train de s'éteindre.

Mais, en traversant la colline,—Cerro del Palmar,—sur le penchant N., nous trouvons dans un terrain sans végétation deux grands puits, d'une activité extraordinaire et d'abondantes émanations de vapeur.

Dans l'un de ces puits,—le plus bas et le plus orien-

tal,—nous voyons une boue visqueuse, d'un gris noir, qui sort d'une fissure, profonde de 4 m, et ouverte dans la roche décomposée. Sur le côté siffle un jet de vapeur puissant, dont la température est de 90° à 93°. L'autre puits a l'apparence d'une cuvette patéiforme de 3 m de diamètre; il est rempli d'une eau bourbeuse, de couleur orangée, qui sourd lentement. La température de ce liquide visqueux est de 89°.

Les bords sont formés de la même vase orangée, qui contient peu de silice, beaucoup d'alumine et de fer, et très peu de chaux et de magnésie.

Le terrain dans lequel sont ouverts ces puits a été transformé par décomposition en une boue compacte, d'un blanc gris, et perforé par des jets de vapeur, sans odeur aucune de H_2S et SO_3 , et sans dépôts de soufre. Plus bas, s'étend un basalte noir à plagioclase, dont la surface se décompose et forme de petits globules (qui ne sont pas de l'olivine).

Depuis cet endroit, nommé El Palmar ou El Tunar, s'aperçoit la vapeur du puits d'El Gallo, qui se trouve sur le versant N. d'une colline plus basse, et située elle-même au N.

L'entrée des puits du Palmar est vraiment difficile et demande beaucoup de temps.

Sans aller à Los Baños del Chino ou à El Palmar, nous montons à un troisième col, Puerto del Gachupín, puis descendons à La Laguna Verde.

Sur ses bords, nous retrouvons les mêmes relations, phénomènes et matières, qu'aux puits de La Laguna de Azufre. La Laguna Verde est située sur un petit plateau, que nous avons mentionné au début et au pied N.O. d'une colline basaltique, qui paraît sortie de ce plateau. Elle est plus grande que la Laguna de Azufre,

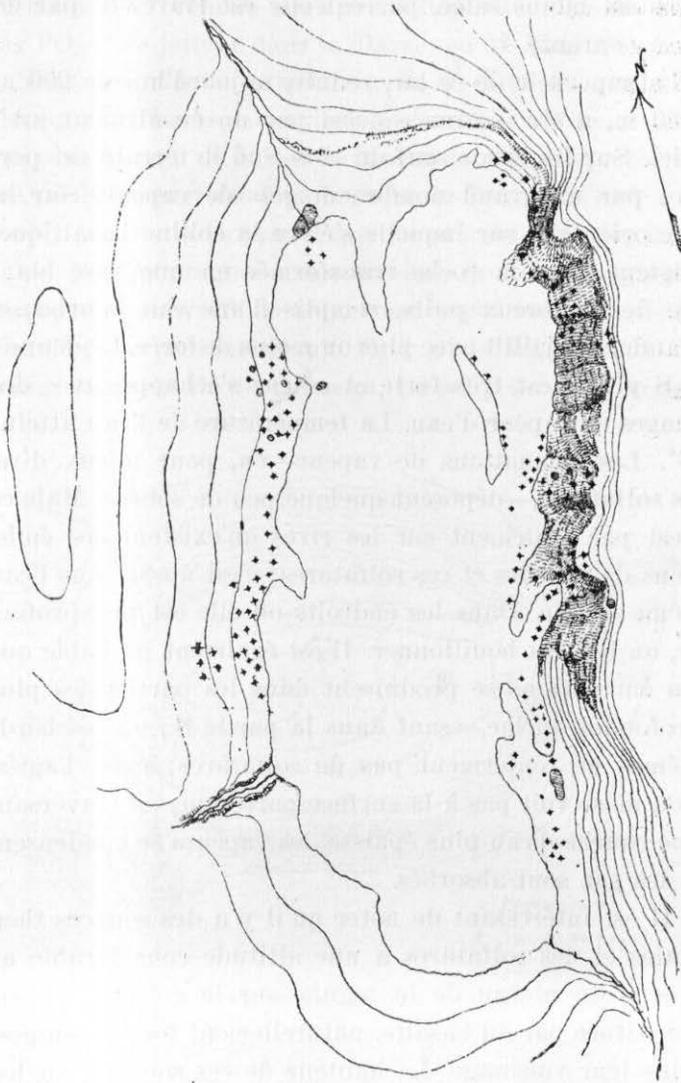


Fig. 2.—Position des émanations de vapeur et soufrières de la Laguna Verde.

mais est moins salée, parcequ'elle est traversée par de l'eau courante.

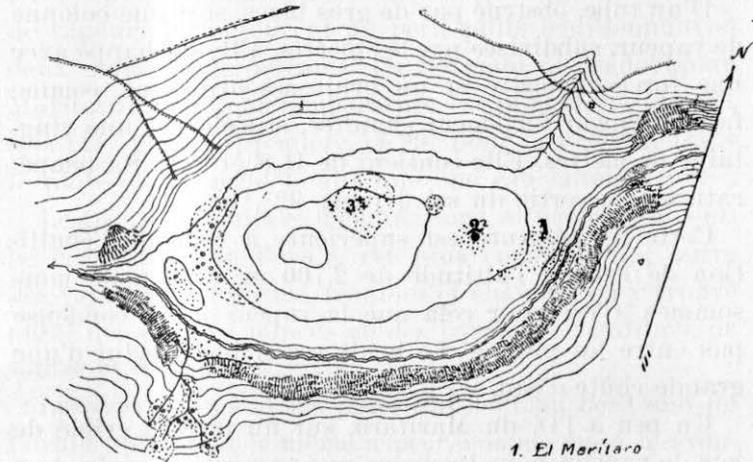
La superficie de ce lac, reduite aujourd'hui de 200 m à 80 m, a été diminuée aussi par un écoulement artificiel. Sur les bords sauf du côté Sud le terrain est perforé par un grand nombre de jets de vapeur. Sur la rive orientale, sur laquelle s'élève la colline basaltique, existent dans la roche transformée en une vase blanche de nombreux puits, remplis d'une eau bourbeuse, chaude, qui jaillit avec plus ou moins de force. L'odeur de H_2S y SO_2 est très forte et ce gaz s'échappe, avec des nuages de vapeur d'eau. La température de l'eau atteint 88° . Les émanations de vapeur—cu, pour mieux dire, les solfatares,—déposent quelque peu de soufre. Mais ce n'est pas seulement sur les rives qu'existent ces émissions de vapeurs et ces solfatares; c'est aussi dans l'eau même du lac. Dans les endroits où elle est peu profonde, on les voit bouillonner. Il est également probable que ces émanations se produisent dans les parties les plus profondes du lac,—sauf dans la partie S., où les bords mêmes ne renferment pas de solfatares; mais l'agitation ne se voit pas à la surface parce que, en traversant une couche d'eau plus épaisse, les vapeurs se condensent et les gaz sont absorbés.

Il est intéressant de noter qu'il y a des sources thermales et des solfatares à une altitude considérable au dessus du niveau de la lagune sur la colline, qui est constituée par du basalte, naturellement fort décomposé dans leur voisinage. La hauteur de ces sources, au-dessus du niveau du lac voisin, rend inadmissible l'idée que le foyer de la chaleur et des forces postparoxismiques est très profond.

Les eaux de La Laguna Verde s'écoulent par un con-

duit artificiel, comme nous avons déjà dit; elles sortent par l'O. et se jettent dans la Barranca de Marítaro.

Nous descendons cette barranca et, dans un peu plus d'un quart d'heure, nous arrivons aux grands puits connus sous le nom de Pozos de Marítaro. Ce groupe est situé de 70 m environ plus bas que la Laguna Verde, au fond même de la barranca, qui forme une sorte de chaudière. Des montagnes assez élevées, dont les flancs escarpés sont couverts de bois, constituent les bords de la chaudière et entourent au fond un élargissement de forme ovale du lit du ruisseau. Le sol y est très inégal,



1. El Marítaro
2. Source de boue
3. Soufrières

Fig. 3.—Position des soufrières de Marítaro.

et, en général, incliné dans la direction même du ruisseau. Dans cette direction, l'ovale a une longueur de 120 m, et une largeur de 60 à 70 m. Seulement au milieu de pays fertile cet espace sans végétation frappe de suite. Il renferme 6 groupes, qui se composent, chacun,

de nombreux jets de vapeur, de quelques puits d'eau bouillante et de boue; puis, sur le versant S.O., existe un septième groupe, dans lequel se répètent les mêmes phénomènes, et dans lequel coulent aussi quelques sources thermales et minérales.

Dans l'angle par lequel le ruisseau pénètre dans l'expansion ovale, des centaines de petits jets de vapeur traversent le sol et les éboulis aux pentes de la vallée. Sur toute la petite courbe qui constitue son côté E., s'échappent aussi des émanations, qui entourent, d'une ceinture irrégulière, aux pentes de la vallée le gigantesque tube de vapeur d'El Marítaro proprement dit.

D'un tube, obstrué par de gros blocs, sort une colonne de vapeur, subdivisée par les pierres. Elle s'échappe avec une force explosive et un bruit assourdissant, comme fait la vapeur fortement chauffée, et s'élève à une vingtaine de mètres. Elle contient de H_2S et SO_3 . Sa température à la sortie du sol dépasse 92° .¹

Cette température est supérieure à celle de l'ébullition de l'eau à l'altitude de 2,700 m, à laquelle nous sommes. C'est pour cela que la vapeur ne se condense pas entre les pierres. Le bruit ressemble à celui d'une grande chute d'eau.

Un peu à l'O. du Marítaro, sur un terrain criblé de jets de vapeur, nous trouvons une excavation ovale, de 6 m de long par 5 m de large, dans laquelle, à 2 m de profondeur, jaillit ou bondit de la boue noire et visqueuse. La température de ce liquide est de 88° à 89° ; et il semble que l'ébullition est produite par 6 ou 8 jets

¹ Une courroie, qui servait à porter le tube de fer blanc dans lequel étaient renfermés les thermomètres, fut absolument brûlée par le fait de l'avoir mise sur les pierres. La force de la vapeur était telle que, pour que ce tube de 2 kg, ne fût pas enlevé comme une plume il fallait le caler entre les blocs.

importants de vapeur qui pénètrent par dessus et remuent la masse si violemment qu'elle s'élève jusqu'aux bords du trou, et même au-delà. Tout autour, le terrain est entièrement perforé par les conduits de vapeur,—laquelle, avec l'action combinée de la chaleur et des acides sulphydrique et sulfureux, a transformé tout le sol en une boue imprégnée de soufre en poudre fine, et les blocs de basalte, fortement attaqués, mais pas encore transformés en terre, sont, par place, recouverts par une croûte de soufre cristallin.

Vers le centre de l'ovale, mais un peu plus près de son bord septentrional, on remarque un petit groupe de jets de vapeur, qui entourent un petit puits bouillonnant et deux soufflards importants. Ils ressemblent beaucoup au Marítaro; mais leur température est plus élevée encore, soit 111° pour la première, et 99° pour la seconde. Dans le puits effervescent bouillonne une eau laiteuse à 88° .

Le groupe de puits et d'émanations, situé dans la courbe occidentale de l'ovale, est plus considérable; outre des vapeurs et des eaux troubles et chaudes, on y trouve aussi des croûtes minces et des couches cristallines de soufre et d'alun.

Les émanations et les puits qui sont au bord sud de l'ovale présentent le même aspect, comme aussi le groupe, qui est en dehors, un peu plus haut et du côté S.O. Le terrain, là aussi, a été attaqué, sur une profondeur de plusieurs mètres, et transformé en boue kaolinisée, ce que l'on peut voir dans le lit de quelques petits ruisseaux et dans quelques coupures profondes qui le sillonnent. Ce groupe est différencié des autres groupes du Marítaro par l'existence de quelques sources thermales qui contiennent une quantité considérable de H_2SO_4 et ClH libres.

Nous croyons utile de répéter que toute roche qui affleure dans les alentours de la Barranca du Marítaro est plus ou moins décomposée, de même que les pierres que les eaux ont apportées d'amont et abandonnées dans le lit du ruisseau. Dans les blocs les plus grands on observe quelquefois un nucleus frais, qui permet d'affirmer que la roche est du basalte, bien que, tout l'extérieur étant blanc et pourri, elle n'en ait nullement l'apparence. Quant aux pierres de plus petites dimensions, elles sont absolument décomposées, et forment des emplâtres de boue blanche, dont l'accumulation recouvre le sol sur une épaisseur considérable.

Souvent,—et, surtout, pendant la saison des pluies,—quand le ruisseau grossit, il entraîne les dépôts de soufre et d'alun et aussi les pierres les plus grosses en aval et les remplace par des matériaux nouveaux, qu'il apporte des hauteurs. Mais ce n'est pas tout : l'eau change les bords de son lit, modifie la forme de l'expansion ovale, et remplit aussi de pierres et de sable les tuyaux d'échappement des vapeurs ; la force explosive ouvre alors de nouveaux conduits, de nouvelles sorties pour les gaz, en des points plus ou moins voisins des orifices anciens. C'est pour cela que après une pluie on voit de nombreuses altérations dans la forme, la position et le genre d'activité des puits du Marítaro.¹

Nous nous éloignons de ces puits, descendons la vallée, et traversons le ruisseau dans un point où la barranca coupe un filon basaltique. La structure de ce basalte est généralement en lames conchoïdales ; macroscopiquement sa structure est compacte. C'est un basalte à

¹ Les habitants du pays m'ont assuré que les pluies augmentent aussi la force explosive des jets de vapeur, ce qu'ils expriment, en disant "que les puits son irrités par les pluies."

plagioclase. Son altération la plus forte commence dans les fissures et les suit. Le chemin charretier, que nous suivons, escalade le flanc S. de la barranca, passe par le sommet d'une colline, et redescend au S. dans un vallon, dans lequel se trouve La Laguna Seca.

Dans le fond de ce vallon, et sur la rive méridionale de ce beau lac, nous découvrons d'abondantes émanation de vapeurs, des puits d'eau bouillante et quelques salses.

150 mètres environ au dessus du niveau de ce groupe, sur la pente N. du Cerro del Gallo, au S. de la vallée, on aperçoit la vapeur de deux autres groupes, composés de jets de vapeur et puits bouillonnants, connus sous le nom de Pozos de los Gallos, qui paraissent être en voie d'extinction. On remarquera que le Pozo Superior del Gallo, et quelques-uns des puits les plus actifs, situés dans le bas fond, derrière la Laguna Seca, se trouvent sur des fissures ouvertes dans le terrain. La température de tous ces puits et des vapeurs sortant du sol, ne dépasse pas 92°.

Derrière le lac un puits, dont l'eau est laiteuse et bouillante, dépose sur la rive et sur les pierres qui sont au fond de l'eau, un peu de matière siliceuse, rappelant des pommes de pin très petites.

De La Laguna Seca nous descendons les bords du ruisseau qui lui sert de déversoir et en 10 minutes nous sommes à la salse, dite El Nopal. Ce puits est, aujourd'hui, le plus grand de ceux de la Sierra del San Andrés.

Du côté gauche de la vallée, sur le versant boisé qui regarde le Sud, et à mi-hauteur, se trouve une petite terrasse, qui est entourée du côté de la descente par un rebord peu élevé. Elle forme un petit plateau arrondi, dont le diamètre est de 30 m environ. Sur les contre-

forts de la montagne il n'y a pas d'émission de vapeur; mais il y en a sur la crête du rebord, et sur le côté de la terrasse qui l'avoisine. Là est le puits grandiose du Nopal. C'est un entonnoir de 6 m de large, par 8 m de long, dans lequel une boue, de couleur sombre, et visqueuse, boût avec tant de force que des gouttes et des éclaboussures sont projetées à une hauteur de 10 m dans une air saturé de vapeur en nuages. On ne peut pas prendre la température de cette bouillie, mais elle dépasse, bien certainement, 80°. Il est très probable que cette forte chaleur et la force avec laquelle se fait la projection sont dûes à de la vapeur surchauffée, qui pénètre dans l'entonnoir par la partie inférieure. On ne sent pas ici l'odeur de l'acide sulphydrique, et il n'y a pas de dépôts de soufre. De l'entonnoir ne débordent ni eau ni boue; le niveau est constant: la vapeur qui, pénétrant par en bas, se condense dans la masse, remplace l'eau perdue par évaporation.

Ce puits d'El Nopal était, il y a quelques années, de dimensions très réduites et rempli d'eau bouillante. Peu à peu, sans explosions et sans secousses, il a grandi au point d'être aujourd'hui le plus considérable et le plus tumultueux de la région. Ceci est un des modes de formation et d'accroissement des puits en question; mais, quelquefois aussi ils se forment subitement par une explosion. Ces phénomènes occasionnent naturellement suivant leur violence des tremblements de terre plus ou moins forts; et ce sont, sans aucun doute, des accidents de ce genre qui provoquèrent les secousses dont la région tout entière souffrit en 1872 (voir p. 1): Certains changements et développements eurent lieu; voici, du reste, ce qu'en dit le rapport de M. l'Ingénieur M. Urquiza:

“Les faits nous montrent ce qui est arrivé et arrivera : En effet, la nuit du 2 courant (novembre), pendant laquelle,—je l’ai déjà dit,—les secousses furent les plus fortes, apparut à 50 m environ au dessous d’El Chillador un nouvel ; échappement de vapeurs, dont l’explosion projeta plusieurs pins à une certaine distance. On sait que, entre le Azufre et El Baño de los Ajolotes, s’en produisit récemment un autre,¹ sans que nous soyons fixés sur la date ; El Gallito, qui, pendant 14 ou 15 ans était resté bouché, est rentré en activité ; au dessus d’El Chino, existe maintenant un petit jet de vapeurs ; et, d’une manière générale, tous ceux que j’ai vus, pour la seconde fois, le 15 et 16, étaient plus actifs que lors de ma première visite. J’en suis induit à penser que, avec l’augmentation d’activité des bouches actuelles de vapeur, ou avec la production de nouvelles, les commotions souterraines cesseront.”

D’El Nopal nous descendons à l’Hacienda de Jaripeo. Cette hacienda est situé dans une plaine ondulée, qui est, probablement, la surface d’une vaste coulée de rhyolite (vitreuse), sur laquelle se sont superposées, depuis lors, d’autres masses rhyolitiques, qui constituent La Sierra du San Andrés.²

De Saussure, partisan des idées de Humboldt, Buch et Elie de Beaumont sur les cratères de soulèvement, s’exprime ainsi, (loc. cit.) :

“Bref, le San Andrés a si peu l’apparence d’un volcan qu’on serait tenté de le prendre pour une simple montagne de soulèvement, sans la lave trachytique qui le

1 Voir pag. 9 (note 2).

2 En aucun endroit de la Sierra je n’ai trouvé de cratères comme ceux que mentionnent de Saussure, Ramirez et Reyes, ainsi que Felix et Lenk—loc. cit.—loc. cit. En outre, les cendres, le tuf et autres produits habituels des volcans du cratère manquent absolument.

compose en entier et qui sert de preuve péremptoire qu'il y a eu, en ce lieu, un déversement particulier de matières ignées. Seulement, la roche constituante n'a pas l'air de s'être déversée d'un point central, et n'est pas disposée en couches. . . . Par ces raisons je considère la montagne de San Andrés non comme un volcan unique, mais comme l'agglomération d'un grand nombre de volcans. Je suppose que le trachyte a dû faire irruption, un grand nombre de fois, pour avoir engendré cette accumulation de montagnes mamelonnées."

De Saussure nous donne certainement dans ces quelques mots une idée exacte de la genèse de la Sierra du San Andrés, qui est un "Vulkanberg ohne Krater" ou volcan sans cratère. Cette interprétation ne nie pas que cette Sierra soit une accumulation de coupoles formées par un magma effusif, sans qu'il se soit produit de cratère dans toute la région.¹

Descendant de l'Hacienda de Jaripeo à la plaine qui s'étend au N. de la Sierra de San Andrés, nous voyons le long filon d'obsidienne,² mentionné par de Saussure (loc. cit.), qui traverse le versant N. du plateau de Jaripeo. Dans les environs du village de Zinapécuaro apparaît fréquemment cette roche noire et aigre, nommée en aztec Sinapú qui a donné à la localité son nom de Zinapécuaro,—ou roche de Sinapu.

Près de la Station de Huingo, nous voyons quelques sources thermales considérables. Elles sont employées pour laver les argiles du sol, riches en plusieurs espèces

1 Le cirque de la Laguna de Azufre est certainement l'unique endroit, qui pourrait suggérer l'idée d'un cratère; mais ici aussi en manque toute preuve.

2 Avec cette roche, les indigènes faisaient autrefois leurs flèches; ils taillaient d'abord un cône, puis, au moyen de choes courts, donnés à la basse de ce cône, ils faisaient sauter des éclats de pierre, ayant la forme d'une flèche et ses tranchants affilés.

de sels,—surtout en chlorures. Le liquide saturé est filtré dans de grands entonnoirs de bois; et les sels sont raffinés par des cristallisations répétées. Le produit final est une masse, très blanche, de cristaux fins, composée principalement de chlorures de Sodium et en faible proportion de chlorure de potassium, sulfate de magnésium et sulfate de calcium. Il est connu sous le nom de Salitre et est donné comme sel aux animaux.

RÉSUMÉ.

Comme nous venons de voir la montagne du San Andrés a été formée par la réunion de plusieurs effusions rhyolitiques distinctes. Néanmoins elle cause l'impression d'une structure unique. Tous ces volcans homogènes n'ont probablement pas de cratère. Dans une période plus récente eurent lieu des effusions basaltiques au bord de la Sierra, et par suite dans la masse rhyolitique homogène s'observent quelques filons basaltiques. Les effusions marginales de basalte manquent sur la ligne Tajimaroa-Zinapécuaro et par suite on peut présumer que la Sierra de Ozumatlán se trouve en rapport génétique avec la Sierra du San Andrés.

Les phénomènes volcaniques de la région sont entrés dans une phase postparoxismique. De véritables geysers ne s'observent pas, en revanche des sources thermales et des exhalations de vapeurs d'eau souvent avec de l' H_2S .

Par l'obstruction du cours de ces thermes, soufrières et salses sont occasionnés des tremblements de terre de caractère local. Il n'y a aucune preuve pour pouvoir admettre une nouvelle phase d'activité volcanique proprement dite.



Fig. 1.—Source Thermale "La Tazita," Incrustations.
San Andrés

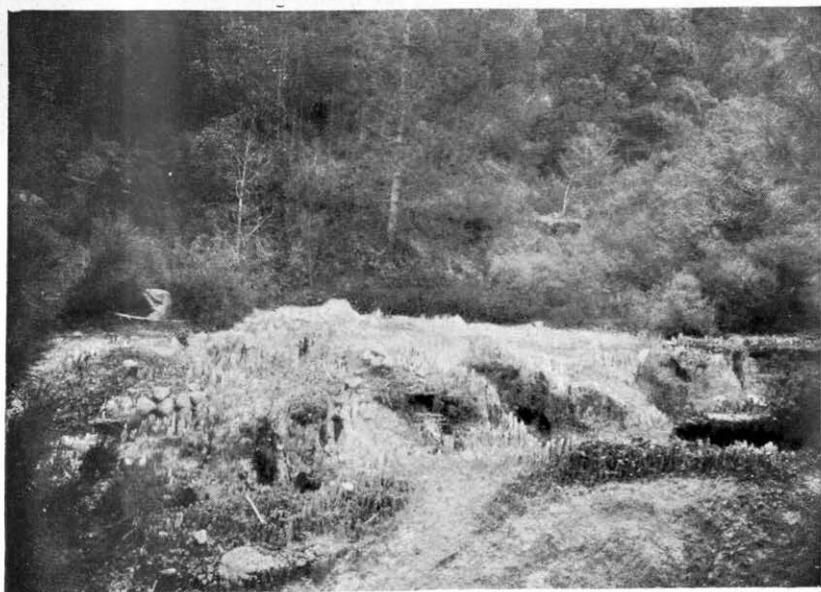


Fig. 2.—Pyramides de terre près la "Laguna de Azufre."
San Andrés.

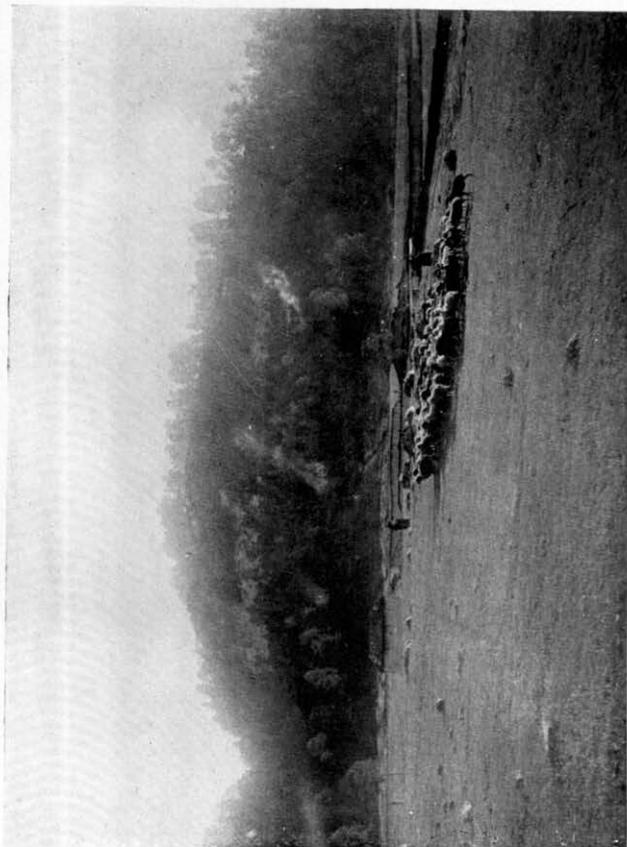


Fig. 3—Le "Cerro de las Humaredas," Hacienda Agua Fria.
San Andrés.

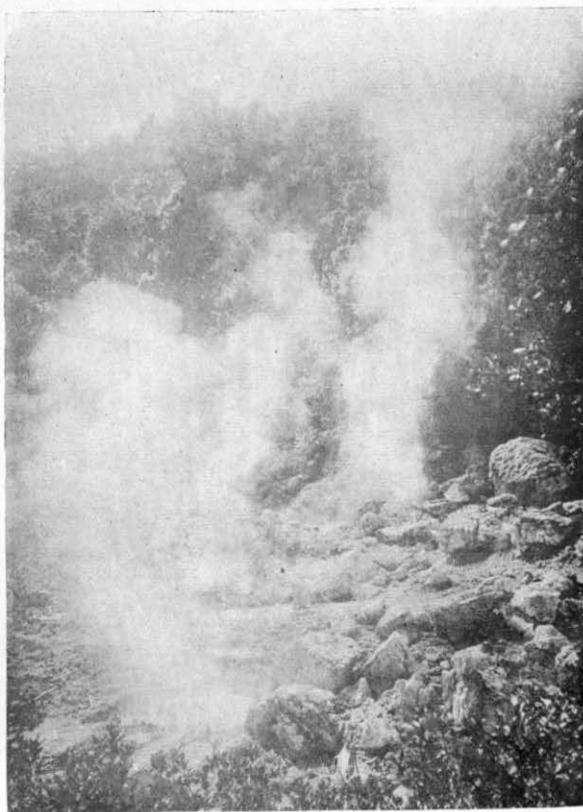


Fig. 4 — Environs de la source de Maritaro.
(San Andrés.)