

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
INSTITUTO DE GEOLOGIA
DIRECTOR: ING. GUILLERMO P. SALAS

BOLETIN NUM. 61
DEL
INSTITUTO DE GEOLOGIA

FENOMENOS GEOLOGICOS
DE ALGUNOS VOLCANES MEXICANOS

LUIS BLÁSQUEZ L.
FEDERICO MOOSER
ARMANDO REYES LAGOS
JOSÉ L. LORENZO



MEXICO, D. F.
1961

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

RECTOR:
Dr. Ignacio Chávez

SECRETARIO GENERAL:
Dr. Roberto L. Mantilla Molina

DIRECTOR DE LA
INVESTIGACION CIENTIFICA:
Dr. Ignacio González Guzmán

INSTITUTO DE GEOLOGIA
Ciudad Universitaria
Villa Obregón (17), D. F.

DIRECTOR:
Ing. Guillermo P. Salas



INSTITUTO DE GEOLOGIA

PERSONAL TECNICO

INVESTIGADORES DE TIEMPO COMPLETO

<i>Arellano, Alberto R. V.</i>	<i>Primera categoría</i>
<i>Ayala C., Agustín</i>	<i>Primera categoría</i>
<i>Blásquez L., Luis</i>	<i>Primera categoría</i>
<i>Cserna, Zoltan de</i>	<i>Primera categoría</i>
<i>Fabregat, Dr. Francisco J.</i>	<i>Primera categoría</i>
<i>Fries, Carl, Jr.</i>	<i>Primera categoría</i>
<i>Schmitter, Eduardo</i>	<i>Primera categoría</i>
<i>Cserna, Gloria Alencaster de</i>	<i>Segunda categoría</i>
<i>Hungsberg, Ulrich</i>	<i>Segunda categoría</i>
<i>Ochoterena, Héctor</i>	<i>Segunda categoría</i>
<i>Gómez, Ruth Rojas de</i>	<i>Tercera categoría</i>

INVESTIGADORES DE CARRERA

Ruiz Elizondo, Jesús *Mooser, Federico*

INVESTIGADORES CIENTIFICOS

Bonet, Federico.
Butterlin, Jacques A.
Eguía Lis, Bernardo
Enciso de la Vega, Salvador
Espino Flores, Luis
García Vda. de Beguerisse, Esperanza
González Reyna, Jenaro
Ledezma Guerrero, Odilón
Limón Gutiérrez, Luis
Obregón Pérez, Alberto
Pantoja, Jerges
Rincón Orta, César
Rodríguez Cabo, José
Schroeder Gutiérrez, Esperanza
Velásquez González, Graciela
Yáñez Correa, Amado

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
INSTITUTO DE GEOLOGIA
DIRECTOR: ING. GUILLERMO P. SALAS

BOLETIN NUM. 61
DEL
INSTITUTO DE GEOLOGIA

FENOMENOS GEOLOGICOS
DE ALGUNOS VOLCANES MEXICANOS

LUIS BLÁSQUEZ L.
FEDERICO MOOSER
ARMANDO REYES LAGOS
JOSÉ L. LORENZO



MEXICO, D. F.

1961



C O N T E N I D O

	Pág.
PREAMBULO	IX

LOS GEISERES, SOLFATARAS Y MANANTIALES DE LA SIERRA DE SAN ANDRES, MICH.

Por Luis Blásquez L.

Introducción	1
Orografía	3
Geología	5
Fumarolas, Solfataras y Manantiales	11
Tabla Núm. 1.—Clasificación de manantiales	11
Tabla Núm. 2.—Análisis químicos de aguas	14
Instituto de Geología	23
Método Larios (Estudio geoquímico de las aguas)	24
Representación de los análisis por un punto	26
Tabla Núm. 3.—Porciento de salinidades y alcalinidades	28
Bibliografía	37

I L U S T R A C I O N E S

Fig. Núm. 1.—Orientación general del eje principal de la Serranía del Anáhuac	2
Fig. Núm. 2.—Carta de las lagunas de la Sierra de San Andrés	10
Fig. Núm. 3.—Aniones según los análisis de la Tabla Núm. 2	29
Fig. Núm. 4.—Cationes según los análisis de la Tabla Núm. 2	29
Fig. Núm. 5.—Cationes	30
Fig. Núm. 6.—Aniones	31
Fig. Núm. 7.—Salinidad y alcalinidad	32
Fig. Núm. 8.—Salinidad y alcalinidad	33
Fig. Núm. 9.—Salinidad y alcalinidad	34

LAS POSIBLES FUENTES DE ENERGIA GEOTERMICA EN LA REPUBLICA MEXICANA

Por Luis Blásquez L.

Introducción	39
Producción de vapor	39

	Pág.
Aguas hiper y mesotermales	45
Bibliografía	46

EL GRUPO VOLCANICO DE LAS TRES VIRGENES

Mpio. de Sta. Rosalía, Territorio de Baja California

Por los Ings. Federico Mooser y Armando Reyes Lagos.

El grupo volcánico de Las Tres Vírgenes	47
---	----

LOS VOLCANES DE COLIMA

Por el Ing. Federico Mooser.

Introducción	49
Historia geológica de los volcanes de Colima. Resumen	52
Forma, estructura y origen del Volcán de Colima	54
Historia de la actividad del Volcán de Colima	56
a) Actividad volcánica 1576-1912	60
b) Actividad volcánica 1913-1958	61
Forma y estructura del Nevado de Colima	65
Situación tectónica	67
Apéndice	70
Bibliografía	71

ILUSTRACIONES

Fig. Núm. 1.—Croquis de la región en que se hallan los volcanes de Colima	50
Fig. Núm. 2.—Vista de los dos volcanes desde el SW	53
Fig. Núm. 3.—Los volcanes de Colima vistos desde el poniente	53
Fig. Núm. 4.—Vista del Volcán de Fuego y el Volcancito desde el NW	55
Fig. Núm. 5.—Vista del Volcán de Fuego desde el Paso del Colimote... ..	57
Fig. Núm. 6.—Volcán Ceboruco	57
Fig. Núm. 7.—El Volcán de Fuego en 1906	59
Fig. Núm. 8.—Vista del Volcán de Fuego después de la erupción de 1913	59
Fig. Núm. 9.—El Volcán de Fuego y su tapón en 1941	62
Fig. Núm. 10.—Vista panorámica del tapón en el interior del cráter del Volcán de Fuego	62 y 63
Fig. Núm. 11.—El picacho del Nevado visto desde el norte	63
Fig. Núm. 12.—La Joya y la cúspide del Nevado	66
Fig. Núm. 13.—Vista del Nevado desde el noroeste	67
Fig. Núm. 14.—Barranca del Ojo de Agua	69

LAS NUEVAS SOLFATARAS DEL VOLCAN DE COLIMA

Por Armando Reyes Lagos.

Introducción	73
Localización	73

	Pág.
Breve historia sobre su actividad volcánica	73
Forma y estructura	74
Los depósitos de azufre	74

NOTAS SOBRE GEOLOGIA GLACIAL DEL NEVADO DE COLIMA

Por José L. Lorenzo.

Resumen	77
Bibliografía	92

ILUSTRACIONES

Croquis Núm. 1.—Región del Nevado de Colima	83
Croquis Núm. 2.—Cryolacolito	84
Fig. Núm. 1.—Cumbre del Nevado de Colima en su cara norte	78
Fig. Núm. 2.—Ladera sur del Nevado de Colima	78
Fig. Núm. 3.—Cryolacolito en la barranca NNO	82
Fig. Núm. 4.—Cryolacolito de mayores dimensiones	83
Fig. Núm. 5.—Rocas aborregadas en la barranca NNO	86
Fig. Núm. 6.—Rocas aborregadas en la barranca NNO	86
Fig. Núm. 7.—Rocas aborregadas en la barranca NNO	87
Fig. Núm. 8.—Parte superior de la morrena E. de la barranca NNO....	87
Fig. Núm. 9.—Parte media de la misma morrena	88
Fig. Núm. 10.—Morrena O del mismo avance de la Fig. Núm. 9	89
Fig. Núm. 11.—Area de rocas aborregadas en la barranca SSO.....	89
Fig. Núm. 12.—Las rocas aborregadas y la morrena E. del primer avance en la barranca SSO	90

LOS GLACIARES DE MEXICO

Por Luis Blásquez L.

Resumen	93
Introducción	93
Localización	94
Relieve	94
Geología	97
Glaciación contemporánea	101
Bibliografía	108

TABLAS

Tabla Núm. 1.—Superficies de las cuencas hidrográficas	104
Tabla Núm. 2.—Areas ocupadas por la nieve en el Iztaccíhuatl. Invierno de 1944	105
Tabla Núm. 3.—Areas ocupadas por la nieve en el Iztaccíhuatl. Invierno de 1955	106
Tabla Núm. 4.—Areas y volúmenes de nieve y hielo	106

	Pág.
I L U S T R A C I O N E S	
Fig. Núm. 1.—Situación del Iztaccíhuatl y principales volcanes de México.	95
Fig. Núm. 2.—Perfil de la montaña Iztaccíhuatl	96
Fig. Núm. 3.—Flanco W del Iztaccíhuatl	98
Fig. Núm. 4.—Vertiente W del Iztaccíhuatl	98
Fig. Núm. 5.—El Iztaccíhuatl visto desde el norte	99
Fig. Núm. 6.—El Iztaccíhuatl visto de S a N	100
Fig. Núm. 7.—Vertiente oriental del Iztaccíhuatl	103

PREAMBULO

No obstante que durante los últimos años los lineamientos que se han dado a las investigaciones científicas en este Instituto de Geología, han sido encauzados, casi todos, a la ciencia aplicada, más que a la ciencia pura; no pasa inadvertida a la Dirección del mismo, la importancia de la investigación en las diversas disciplinas de la ciencia pura, de suerte que, en las medidas de la disponibilidad de tiempo y efectivo, los geólogos investigadores dependientes de esta Institución, efectúan ciertos estudios cuya aplicación no es discernible de inmediato.

Así, en la disciplina de vulcanología, se ha dado oportunidad a los autores que en este volumen presentan los resultados de algunos estudios realizados de dos años a la fecha, para que, basados en su experiencia, ataquen problemas que aporten conocimientos relacionados con varios de nuestros volcanes. En algunas ocasiones, los estudios de ciencia pura se efectuaron en relación con la confección de mapas regionales relativos a la geología de ciertas áreas y se reservó algún capítulo especial para investigación de ciencia pura. En otros casos se han estudiado los volcanes directamente, para explicar algún fenómeno que ha llamado la atención pública, juzgándose que es de la competencia directa de este Instituto, ofrecer a los interesados en la materia, alguna explicación de estos fenómenos.

La superficie de la República Mexicana debe gran parte de su geomorfología a fenómenos volcánicos y/o actividades de origen ígneo. Se estima que el 30% de la superficie de la República Mexicana está constituida por rocas ígneas y, de esta superficie, aproximadamente el 80% debe su origen a paleovulcanismo.

Por esto es que el estudio de los fenómenos volcánicos forma siempre parte del programa anual de investigaciones de este Instituto.

Los estudios que aquí se presentan a los interesados en la materia, sirven como secuela a los estudios de nuestros volcanes, que aparecieron

en volúmenes pasados, publicados por este Instituto y, a la vez, como base o punto de partida para futuros estudios que, sin duda, surgirán en el desarrollo de las actividades científicas.

El próximo volumen sobre vulcanología tardará algún tiempo en aparecer a la luz pública, pues se ha establecido la norma de reunir suficientes trabajos de cada especialidad o tema, para que el boletín respectivo resulte más completo, para su mayor eficacia como texto de referencia.

Se invita al lector a enviar a este Instituto sus comentarios por escrito, pues sólo mediante la crítica constructiva suelen aclararse problemas que una minoría estudia y atañen a una gran mayoría.

LOS GEISERES, SOLFATARAS Y MANANTIALES DE LA SIERRA DE SAN ANDRES, MICH.

Por LUIS BLÁSQUEZ L.

INTRODUCCIÓN

Ya en 1906 el distinguido geólogo don Paul Waitz, escribió un estudio sobre esta localidad, que tituló: *Phénomènes postparoxismiques dans la Sierra de San Andrés*, que fue publicado en la *Guide des excursions du X Congrès Géologique International, Mexique, 1906*. La intención de este trabajo era añadir algunas ideas sobre la composición química de las aguas y presentar un croquis un poco más completo de la región; pero al desarrollar la exposición de los datos, se abrió insospechadamente un amplísimo campo de investigación, partiendo de la interpretación geoquímica de los análisis de aguas, que por medio de fórmulas representativas, hizo evidente la conexión de los fenómenos postparoxísmicos de la sierra de San Andrés, con los de Ixtlán de los Hervores y Laguna del Platanal, teniendo que incluir numerosos manantiales termales, íntimamente relacionados con ellos.

En consecuencia, fue necesario ampliar más el estudio, principian-do con la parte fisiográfica y geomorfológica, para proseguir con otros aspectos inherentes a la cuestión.

Para visitar la sierra de San Andrés, saliendo de la ciudad de México, se sigue la carretera nacional que va a Guadalajara, Ruta número 15, y pasando por Ciudad Hidalgo, en el km. 205, se llega al km. 218.1 donde se encuentra un pequeño puente sobre el río Los Arcos. En este lugar entronca, a la derecha, un camino ordinario, sin revestimiento ni carpeta asfáltica, que pasa por el pequeño poblado de San Pedro Jácuaro, distante 6 km. de la carretera, en terreno plano, de poca pendiente y después de pasar un arroyo sin puente, se asciende la sierra de San Andrés, en un camino pedregoso de muy fuerte pendiente, de 15 a 20%, en unos 4 km. y se llega a la laguna de Los Azufres, ya en mejor camino, distante 10 km. de San Pedro.

La sierra de San Andrés está cubierta de bosques de encinos, pinos, oyameles y varias otras clases de árboles. La precipitación pluvial es alrededor de 1,400 mm. y la temperatura media anual, en las lagunas que se encuentran en su cima, de 10 a 12°C.

OROGRAFIA

Se tratará, para dar un panorama general, de la sierra que el Ing. don Pedro Sánchez ha llamado del "Eje Volcánico"^{1*} y el Ing. Ramiro Robles: "Cordillera Neovolcánica",² a la que el autor en estudio anterior propuso se denomine "Serranía del Anáhuac".³

El Ing. Sánchez dice que el "Eje Volcánico" está marcado por los volcanes Colima (19.22 - 103.3),** Tancitaro (19.25 - 102.25), Nevado de Toluca (19.06 - 99.45), Popocatepetl (19.01 - 98.37) y Citlaltépetl (19.00 - 97.15).

En realidad, no se trata de una sierra individualizada que constituya una unidad fisiográfica, sino de un complicado conjunto de sierras de diferentes orientaciones y características, al que se da el nombre de Serranía del Anáhuac, paralela a la Sierra Meridional o Sierra Madre del Sur.

La distribución de sus elevaciones, las principales de México y los diversos tramos que en ella pueden distinguirse, se relacionan con dos grandes sistemas orográficos, uno de mayor importancia que el otro. El primero ha sido denominado "Cordillerano";⁴ de orientación media 30°NW-SE; al segundo se le llamará "Michoacano", que probablemente coincide con el "Cascadiano", con orientación E-W.

Dada la complicación que presenta la orografía de esta parte del país (véase Fig. Núm. 1), se tratará, primero, de los elementos de la serranía, que corresponden a la parteaguas entre la vertiente del Pacífico y las cuencas endorreicas, de la altiplanicie, reuniendo sus datos en el siguiente cuadro:

Lados	Nombre de los vértices	Rumbo	Distancia km.
1 - 2	Concepción - Santa Clara.....	S 70 E	200
2 - 3	Santa Clara - San Andrés.....	N 63 E	114
3 - 4	San Andrés - Nevado de Toluca.....	S 50 E	116
4 - 5	Nevado de Toluca - Popocatepetl....	E	140

La línea recta que une los puntos extremos tiene rumbo S75E-500 kilómetros del punto 1, Concepción de Buenos Aires al punto 5. Popocatepetl.

* Al final de este estudio se incluye la bibliografía.

** Para facilitar la localización de los puntos se dan entre paréntesis las coordenadas geográficas, latitud al N y longitud al W del meridiano de Greenwich.

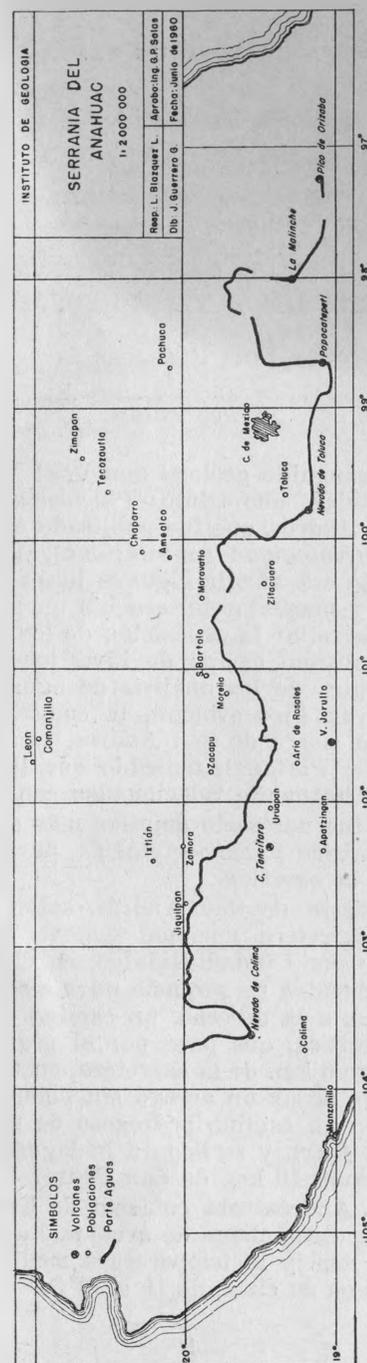


Fig. 1. Orientación general del eje principal de la Serranía del Anáhuac.

La línea recta Nevado de Colima-Popocatepetl tiene rumbo S87E-546 km. y pasa por los volcanes Tancítaro y Nevado de Toluca.

Para la mejor identificación de los puntos se dan a continuación sus coordenadas geográficas, incluyendo además su altitud en metros, reuniendo sus datos en el siguiente cuadro:

Punto	Nombre	Altura sobre el nivel del mar	Latitud N.	Longitud W. de Greenwich
1	Concepción.....	2 530	19.58	103.16
2	Santa Clara.....	2 440	19.21	101.32
3	San Andrés.....	3 940	19.48	100.35
4	Nevado de Toluca.....	4 600	19.07	99.45
5	Popocatepetl.....	5 452	19.02	98.38

La sierra de San Andrés ocupa la porción N del tramo comprendido entre Santa Clara y el cerro de San Andrés, cuya cima consiste en una elevada plataforma donde se levantan varios cerros y lomeríos, que separan pequeñas cuencas lacustres. La parte sur de esta sierra es conocida con el nombre de Ozumatlán.

Dentro de la zona referida, la cuenca más occidental y extensa es la de Piedra Labrada; en seguida, hacia el E, el grupo central de lagunas, formada por la laguna Larga, Ajolotes, llano de La Ardilla, llanos de Agua Fría y laguna de Los Azufres. La cuenca de La Compuerta está ligada con la de Agua Fría y con la de Los Jarros. La laguna Verde está a 5 km. al N del llano de Agua Fría y el llano de San Andrés es el más oriental y de mayor altura.

De este grupo de cuencas, el terreno desciende con fuerte pendiente hacia el SE, por San Pedro Jácuaró y Ciudad Hidalgo, formando la vertiente del río de Los Arcos. Hacia el NW desciende el terreno al lago de Cuitzeo y hacia el N al río Lerma.

Tanto en la vertiente del Arcos, como en la de Cuitzeo, se encuentran mesas bajas y alargadas, algunas con sus cubiertas inclinadas, denotando el movimiento de las efusiones riolíticas. El tipo de estas lomas puede verse entre San Pedro y Ciudad Hidalgo, y en las inmediaciones de este lugar.

Alturas sobre el nivel del mar de los lugares que en seguida se mencionan:

Sierra de San Andrés

	<i>Metros</i>
Cerro de San Andrés	3,450
Laguna de Los Azufres	2,855
El Currutaco	2,940
El Chillador	2,960
Laguna Larga	2,760
Llano de Ajolotes	2,812
Llano de La Ardilla	2,790
Llano de Agua Fría	2,885
Llano de La Compuerta	2,893
Llano de Los Jarros	2,875
Laguna Verde	2,855

Cuenca del río Tuzantla

San Pedro Jácuaró	2,157
Km. 218 carretera México-Guadalajara	2,075
Ciudad Hidalgo	2,040

Cuenca del lago de Cuitzeo

Salinas de Araro	1,835
Baños de Zimirao	1,845
Baños de Huingo	1,832
Baños de Atzimba	1,852
Zinapécuaro	1,874
Lago de Cuitzeo	1,828
Hervideros de San Agustín	1,828
Morelia (piso Catedral)	1,920
San José (hacienda)	1,860
Alvaro Obregón (San Bartolo)	1,846

GEOLOGIA

En la "Serranía del Anáhuac" se encuentran, principalmente, rocas efusivas que consisten en andesitas, como rocas más antiguas, riolitas y basaltos como las rocas más jóvenes.

Las andesitas son de colores rosados, grises y azulados y textura porfirítica, con fenocristales de hornblenda, augita, hiperstena, andesina, oligoclasa y albita. Se presentan algunas variedades que corresponden a la preponderancia de la hornblenda, la biotita o la hiperstena. Parece que la sucesión de las corrientes está en el orden que se han enumerado los minerales que forman las variedades antes indicadas.

Las andesitas de hiperstena están acompañadas por brechas y tobos y se presenta una subvariedad muy importante, que es una transición al basalto. Dicha andesita de hiperstena, interviene, en proporción

considerable, en la constitución geológica de esta serranía. Del volcán de Colima trata Ordóñez;⁵ de la sierra de Ozumatlán, en una parte pequeña, correspondiente a la cuenca del río Chiquito, de Morelia, Apolinar Hernández;⁶ de las sierras de San Andrés y Tlalpujahua, Flores,^{7, 8} y de una parte de las sierras de Patamba, Caurio, Santa Clara, Zirate y Ozumatlán el autor de este trabajo.⁹

La riolita forma gran parte de la sierra de Ozumatlán, particularmente en las mesas que se extienden desde los alrededores de Morelia hacia el lago de Cuitzeo y en la vertiente SE de la sierra de San Andrés.

El basalto constituye el mayor volumen de la "Serranía del Anáhuac", particularmente en las sierras de Patamba, Santa Clara, Ozumatlán y San Andrés.

Las andesitas más antiguas, que son las de hornblenda, descansan sobre pizarras sericíticas, posiblemente triásicas, en la sierra de Tlalpujahua, por Senguio, Aporo, Peña Redonda y los cerros Colorado y San Cristóbal.⁸ Se las ha considerado como miocénicas; forman corrientes muy importantes, superpuestas directamente, que en otras regiones, como en el mineral de Pachuca, alcanzan varios kilómetros de espesor. A estas estructuras se las llamará "Pachuqueñas".

Las andesitas posteriores, probablemente las hipersténicas, aparecen en corrientes con espesores de 50 a 200 m., alternando con brechas y tobas. Han sido observadas en otras regiones formando hasta 20 alternancias de lavas y material de proyección y alcanzando espesores hasta de 7 km. A estas estructuras se las llamará de "Las Cruces", por estar muy bien caracterizadas en la sierra de ese nombre.

Las andesitas hornbléndicas se relacionan con emisiones que constituyen la mayor parte de las sierras del sistema cordillerano y están cubiertas por las hipersténicas en las mismas sierras, y en otras del mismo sistema aparecen, exclusivamente, sin intervención de las hornbléndicas, así como en sierras de orientación N60E o cercanas a ésta.

En la sierra de San Andrés se interceptan ambos sistemas de fracturas, encontrándose en el N-S la sierra de Agustinos.

Sobre la plataforma donde se asientan las lagunas de Los Azufres, Larga, Verde y demás cuencas de que se habló, se hallan pequeños aparatos volcánicos, basálticos, que constituyen los cerros que separan esas cuencas. En la misma sierra de San Andrés se encuentran otros elevados cerros basálticos, como los de Calabaza (19.54-100.33), del Pilar (19.53-100.32.3), La Capilla (19.52.3-100.33), Conejo (19.51-100.32), Coyote (19.50.30-100.29), Mesa de León (19.49-100.31), Lagunilla (19.48-100.31), Prieto (19.47-100.33), Tunas (19.49-100.29.3), Janimoro (19.46-100.31), La Joya (19.45-100.31) y Silleta (19.45-100.32).

En la planicie Maravatio-Senguio, intermedia entre las sierras de San Andrés y Tlalpujahua, se encuentran varios volcancitos aislados, como son los cerros de La Herradura (19.44-100.32.3), Arcalanes (19.44.3-100.30.3), La Cruz (19.43-100.29.3), San Vicente (19.46-100.28), Pelón (19.47-100.27), Bermejo (19.49-100.26), Nogales (19.47-100.27), Campana (19.47-100.24) y Molcajete (19.45-100.24).

Para explicar los fenómenos postparoxísmicos de la sierra de San Andrés, se debe incursionar en gran parte de la "Serranía del Anáhuac" y aun abarcar, someramente, una extensión considerable del territorio mexicano, descuidando la geología detallada de la sierra referida, que no es esencial para el estudio de sus géiseres y fumarolas.

Es muy importante llamar la atención sobre las diversas clases de fracturas que se encuentran en la serranía y en la región central de México, y las que se dividirán en cuatro tipos principales:

a) Las emisoras de rocas ígneas, rellenas por éstas, aun cuando sean de muy diversas edades, pues fluctúan desde el Triásico hasta el Pleistoceno, que pertenecen a los dos sistemas antes aludidos;

b) Aquellas por donde circularon aguas magmáticas que formaron yacimientos minerales;

c) Las que sirven de conducto a aguas termales, gases y vapores que emergen en la actualidad;

d) Las que no tienen manifestaciones volcánicas, metalíferas ni de manantiales o gases.

Se habló ya de las fracturas de la clase a). Respecto de las correspondientes a las clases b), c) y d), pertenecen también a los "Sistemas Cordillerano y Michoacano" y son paralelas a las de emisiones ígneas, sin que se pueda decir si en algunos casos coincidan con ellas. Se necesitarían extensos estudios geofísicos de los sistemas completos de fracturas, para dilucidar este asunto y otros muy importantes de geología económica. Algunas fracturas de la clase b) cortan a las formaciones marinas que sirven de base a las ígneas, pero no a las andesitas; otras atraviesan bien a las andesitas de hornblenda, pero no a las de hipertena; otras cortan a todas estas formaciones y a las riolitas, pero no a los basaltos; y las más recientes atraviesan también a las últimas rocas: estas intersecciones determinan la edad de las fracturas.

Por su importancia económica han sido mejor estudiadas las fracturas de la clase b). En las minas de Senguio (19.45-100.24), Aporo (19.40-100.24) y San Francisco de los Reyes⁷ (19.47-100.13) las vetas tienen rumbos N15-30W, las capas de las pizarras en las que arman tienen rumbos E-W y N80W. En Anganguero⁷ (19.38-100.17) existen vetas con rumbos N-S y E-W y también fracturas del Sistema Cordillerano.

En Tlalpujahua (19.50-100.11) y El Oro (19.48-100.08) el sistema de fracturas filonianas es "Cordillerano" N15-30W.⁷

Las litoclasas, seguramente paraclasas del grupo c), son también de los "Sistemas Cordillerano y Cascadiano" y, por consecuencia, paralelas a las a) y a las b). En la "Serranía del Anáhuac" son de mencionarse: la del "Sistema Cascadiano", que pasa cerca de la margen meridional del lago de Cuitzeo y forma la "Lista Blanca" en la sierra de San Andrés, tocando el límite meridional del llano de Agua Fría, donde se encuentran los cerros de "Las Humaredas". Cerca del margen del lago de Cuitzeo se encuentran los manantiales supertermales de Hervideros de San Agustín y el grupo de Zimirao, así como los termales de

los baños de San Juan, Zimirao y los de Huingo. En el mismo alineamiento, hacia el W, se encuentran después de estos manantiales del lago de Cuitzeo, las aguas termales de Zimbanguaro (19.59-101.30) al NW de Huaniqueo y las supertermales de Ixtlán de los Hervores (20.10-102.27).

Fracturas paralelas a ésta, hacia el sur, comprenden las emergencias de Pajacuarán (20.08-102.33) y laguna del Platanal (20.04-102.34) por el W; las emergencias de Chillador, Currutaco y laguna de Los Azufres, en la sierra de San Andrés, y por el E, los manantiales de San Lorenzo (19.41-100.3) y Jaripeo (19.39-100.30).

Estudiando la posición de otros manantiales hipertermales del Estado de Guanajuato, entre los que se cuentan los de Caldera de Cuitzeo (20.17-101.31) y Comanjilla (21.04-101.30) se ve que éstos están situados en una línea N-S que comprende a Zimbanguaro y que el hipertermales de San Bartolo (20.30-100.40) está en una línea N-S respecto a laguna Verde y laguna de Los Azufres. Es evidente que tratándose de varias fuentes de esta naturaleza, diseminadas en una región, se pueden encontrar varios alineamientos y que, en definitiva, sólo un buen estudio geofísico de fallas y diaclasas puede resolver sobre su verdadera relación de posición; pero aquí es claro el alineamiento de los numerosos manantiales hipertermales del lago de Cuitzeo y el de las fumarolas de la "Lista Blanca", así como que ambos alineamientos se corresponden, es decir forman uno solo.

La "Serranía del Anáhuac" forma el borde meridional de la altiplanicie mexicana, denominada en esta parte, por algunos autores, "Mesa Central" y representa también el límite de los sistemas montañosos "Cordillerano y Cascadiano". A partir de esta línea las condiciones geológicas cambian notablemente. En el litoral del Pacífico se encuentra una marcada deflexión y, en seguida, la costa tiene orientación media de S70E, hasta llegar a los 15°45' de latitud y 96°30' de longitud, donde se abre el golfo de Tehuantepec. La orientación del litoral es debida a la presencia de macizos arcaicos de rocas cristalinas, entre ellas el granito y el gneis, que condicionaron también la disposición del plegamiento de las rocas marinas, jurásicas y cretácicas.

Por el litoral del Golfo de México, las rocas marinas, también a partir de la misma línea, forman un arco que se hace más pronunciado al S del paralelo 18, contribuyendo a dar al país la forma de cornucopia que algunos autores han hecho notar. Para producir esta forma, contribuyen el Golfo de México con el mayor pronunciamiento de la curva de su litoral y la existencia del Golfo de Tehuantepec del lado del Pacífico, en la misma longitud geográfica.

Puede creerse que la cuenca transversal del Balsas, anterior a las actividades volcánicas del Terciario, marca también el límite de las corrientes del mismo período, no obstante que en muchos lugares de ella aparecen rocas efusivas, como núcleos aislados.

La misma cuenca se extendía al N hasta el límite meridional del Valle Salado de San Luis Potosí y Zacatecas y corresponde a la de un

río transversal, antecedente, con afluentes longitudinales subsecuentes. Su sorprendente desarrollo, pues casi llega al litoral del Golfo de México, hace pensar en la posibilidad de que se trate de una fosa tectónica.

Debe investigarse por qué las efusiones relacionadas con el "Sistema Cordillerano" no se extienden hacia el S de la "Serranía del Anáhuac".

Encontrándose en esta porción del país rocas premesozoicas, era de esperarse que las fallas del Terciario las afectaran y, al no suceder tal cosa, se abren interrogantes de mucho interés.

El autor supone que en esta porción central del país, se encuentra un bloque de rocas muy antiguas y de gran inestabilidad. Este bloque, movido por fuerzas epeirogénicas, sufrió un intenso levantamiento y actuó respecto a los sedimentos mesozoicos, ya plegados, como una gran intrusión. Para la producción de fracturas es necesario que se desarrollen esfuerzos de tensión, torsión, cortantes o de compresión. El levantamiento de este bloque produciría esfuerzos de tensión y cortantes, en toda su periferia, y de torsión en radios de gran alcance, que ocasionarían fracturas principalmente del tipo "Cordillerano", que pueden ligarse también con los esfuerzos orogénicos que produjeron el plegamiento del mismo tipo. "El Michoacano" asume un carácter local, más directamente en contacto con el bloque arqueozoico; movimientos sucesivos, acompañados con verdaderas intrusiones en este bloque y sus contornos, dio lugar a la repetición del fracturamiento, que por obedecer a la misma clase de esfuerzos, en iguales sentidos y de idénticos orígenes, produjo los mismos sistemas de fracturas, como son los clasificados en los tipos *a*, *b*, *c* y *d*.

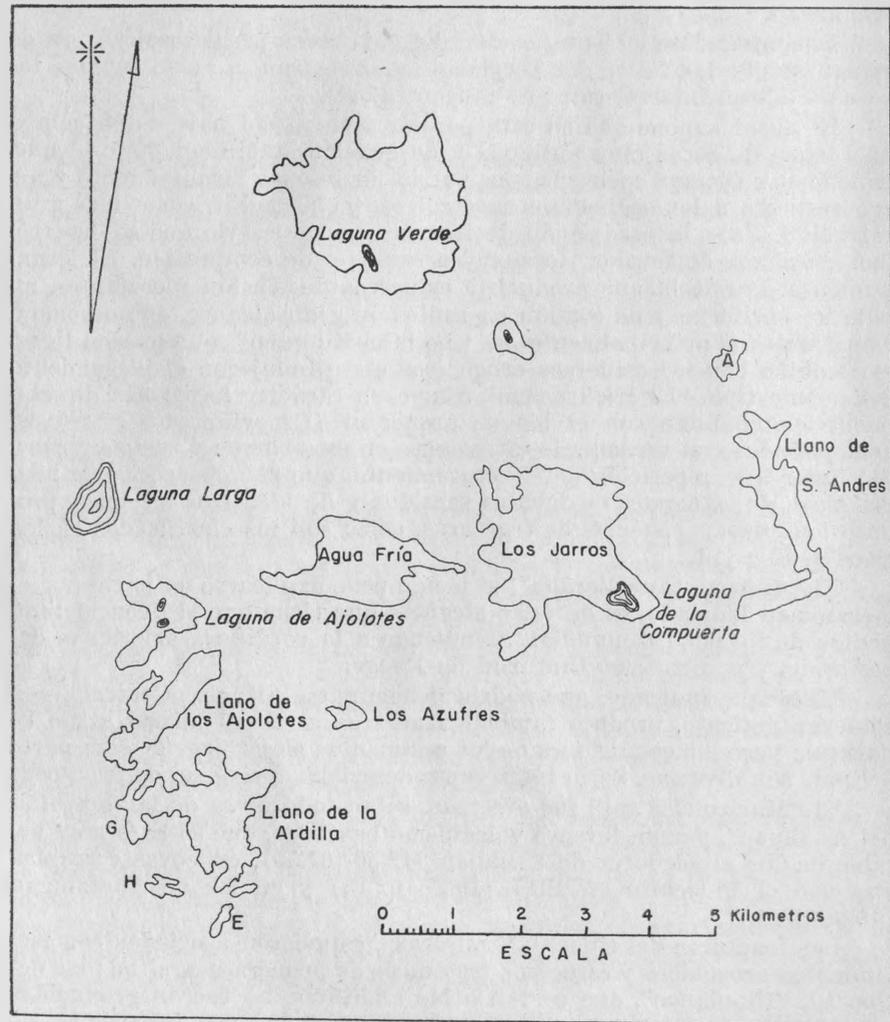
El "Sistema Cordillerano", si bien, puede explicarse en parte por el mecanismo indicado, es de tales alcances que tiene que ser considerado dentro de un cuadro mundial, atendiendo a la cordillera americana del borde del Pacífico y al Cinturón de Fuego.

El bloque indicado, que podría denominarse "Macizo Central", con su levantamiento, produjo también fracturas al S del mismo, como es natural; pero las condiciones de los sedimentos mesozoicos de esta parte del país son diversas. Sería interesante describir su sistema de fracturas.

El "Macizo Central" fue afectado, sobre todo cerca de la "Serranía del Anáhuac", por un intenso volcanismo basáltico, que se hace muy notable en los alrededores de Uruapan (19.50-101.56), en cuyas cercanías apareció el Parícutín en 1945 (19.27-102.15) y en los de Apatzingán (19.06-102.15).

Las fracturas del tipo *a*), "emisoras", estuvieron asociadas con movimientos orogénicos y esfuerzos tectónicos de primera magnitud; las del tipo *b*), "filonianas", que cortan a las andesitas, no fueron producidas ya por esfuerzos orogénicos y estuvieron asociadas con intrusiones de segunda magnitud, como residuos de la actividad orogénica; las del tipo *c*), "hidrotermales", están relacionadas con extrusiones e intrusiones menores, de tercera magnitud; y las del tipo *d*), "cuaternarias", se deben a movimientos epeirogénicos recientes y contemporáneos, generalmente locales.

FIGURA N° 2



CARTA DE LAS LAGUNAS DE LA SIERRA DE SAN ANDRES

Las fumarolas y solfataras de la sierra de San Andrés, el lago de Cuitzeo, Ixtlán de los Hervores y Laguna del Platanal, están relacionadas con el volcanismo reciente, probablemente con intrusiones, que acompañaron o siguieron a erupciones casi contemporáneas, que llegaron cerca de la superficie siguiendo las fracturas hidrotermales.

FUMAROLAS, SOLFATARAS Y MANANTIALES

Con anterioridad se ha establecido la siguiente distinción entre las aguas termales: hipotermas de menos de 30°C., mesotermas entre 30° y 45°C.; hipertermas entre 45° y la ebullición; supratermas con temperaturas superiores a la ebullición. También se ha propuesto una nomenclatura en relación con una nueva clasificación de manantiales¹⁰ incluida en la Tabla 1, que consigna las alturas, temperaturas, gastos hidráulicos, clasificación y situación respecto a la cabecera municipal, que en cada caso antecede a la lista de las emergencias que aquí interesan. (Fig. Núm. 2.)

Tabla Núm. 1
CLASIFICACIÓN DE MANANTIALES

Nombre	Altura mt.	Temp. agua	Gasto hidráulico lt.p.s.	Dist. km.	Rumbo	Clasificación	Situación
CIUDAD HIDALGO (19.41-102.35)							
Los Azufres (1,3,4).....	2 855	42	0.5	15.0	N56W	Lívgico	34
Pozo Hediondo.....	—	—	0.0	—	—	—	—
San Alejo (2).....	2 789	36	5.0	20.0	N56W	Lívgico	31
Maritaro.....	2 790	85.5	0.5	20.0	N49W	Lívgico	31
Laguna Verde (18).....	2 870	85.5	0.1	21.5	N36W	Lívgico	34
El Chino.....	2 790	36	0.3	19.4	N50W	Lívgico	31
Las Humaredas.....	2 870	101	0.5	14.5	N45W	Lívgico	34
El Chillador.....	2 940	103	0.1	15.7	N54W	Lívgico	32
El Currutaco (17).....	2 940	87	0.0	15.8	N56W	Lívgico	32
Laguna Larga (15,19)...	2 760	32	0.5	19.9	N56W	Lásico	34
Ajolotes (28).....	2 789	52	1.5	18.4	N58W	Lásico	32
San Lorenzo (35).....	1 940	30	2.3	6.2	S65E	Lívgico	22
Jaripeo (37,38).....	1 925	27.2	5.8	10.0	S70E	Lívgico	22
ZINAPECUARO (19.53-100.40)							
Baños de Huingo (20)...	1 832	52	—	6.0	N20W	Rásico	10
Zimirao.....	1 845	87	2.0	5.6	N28W	Rásico	12
Zimirao (21).....	1 832	101	0.6	5.7	N28W	Rásico	10
Atzimba (34).....	1 852	32	200	1.4	N80W	Rásico	12
ALVARO OBREGON (19.52-101.00.3)							
San Juan (22).....	1 832	5	0.7	12.5	N65W	Rásico	10
CUITZEO (19.58-101.07)							
San Agustín (23).....	1 832	89	2.0	12.5	S30W	Rásico	10

N o m b r e	Altura mt.	Temp. agua	Gasto hidráulico lt.p.s.	Dist. km.	Rumbo	Clasificación	Situación
HUANIQUEO (19.56-101.26)							
Zimbanguaro.....	2 015	32	6.0	2.0	N50W	Rásico	10
IXTLAN DE LOS HERVORES (20.10-102.24)							
El Salitre (6).....	1 530	93.5	3.0	4.0	S38E	Lígvico	10
Pozo Verde (9).....	1 530	60.0	0.2	5.5	S28E	Lígvico	10
Pozo Blanco (8).....	1 530	85	0.1	4.5	S28E	Lígvico	10
Baño Grande (7).....	1 530	85	0.5	4.6	S29E	Lígvico	10
Baño Viejo (10).....	1 530	93	0.3	4.9	S30E	Lígvico	10
JIQUILPAN (19.59-102.32)							
Laguna El Platanal (24)	1 532	32	3	4.0	N57W	Lígvico	10
Pozo Prieto (25).....	1 532	96	1	3.5	N56W	Lígvico	10
PAJACUARAN (20.08-102.33)							
Pajacuarán.....	1 532	32	60	1.0	E	Rásico	10
MORELIA (19.42-101.11)							
Cointzio (40).....	1 909	32	10	7.3	S29W	Rásico	10
ZITACUARO (19.26-100.20)							
San José Purúa (30,39)	1545	32	—	15.0	N69W	Lívico	42
CUITZEO DE ABASOLO, GTO. (20.27-100.31)							
Caldera de Cuitzeo (112)	1 705	85	8	0.8	W	Rávico	10
LEON, GTO. (21.07-101.40)							
Comanjilla (33).....	1 915	94	7	22.0	S79W	Lígvico	21
APASEO, GTO. (20.33-100.42)							
San Bartolo (26).....	1 800	93.3	3	4.0	S	Lígvico	10
TECOZAUTLA, HGO. (20.33-99.43)							
Pathé (27).....	1 665	100	3	9.0	N55W	Lívico	43
Mothó.....	1 670	60	2	7.5	N39W	Lívico	42
Tarshidhó (32).....	1 586	48	6	7.5	N16W	Lívico	43
TEMAXCALCINGO (19.55-99.56)							
Tepetongo (11).....	2 316	32	15	18.0	N80W	Rásico	22

En la Tabla 2 aparece la composición química de algunas de estas aguas, y precediéndola los nombres de los manantiales correspondientes a los números que encabezan las columnas.

Lista de las emergencias que aparecen en la Tabla Núm. 2 a las que se refieren los números que encabezan las columnas.

1. Laguna de Los Azufres.
2. Manantial San Alejo.
3. Laguna de Los Azufres.
4. Laguna de Los Azufres, Geiser del W.
5. Laguna Larga.
6. Pozo de El Salitre de Ixtlán.
7. Baño Grande Ixtlán.
8. Pozo Blanco de Ixtlán.
9. Pozo Verde de Ixtlán.
10. Baño Viejo de Ixtlán.
11. Baños de Tepetongo.
12. Cuitzeo de Abasolo, Gto.
13. Laguna de los Volcanes, B. C.
14. Devils Inkpot Yellowstone National Park.
15. Bench Spring, Yellowstone, National Park.
16. Yellow Lake, crater del Taal, Luzzon, Filipinas.
17. El Currutaco.
18. Laguna Verde.
19. Laguna Larga.
20. Baños de Huingo.
21. Hervideros de Zimirao.
22. Baños de San Juan.
23. Hervideros de San Agustín.
24. Laguna del Platanal.
25. Hervideros de lodo de Jiquilpan.
26. Hervideros de San Bartolo, Apaseo.
27. Hervideros de Izi-Pathé.
28. Ajolotes.
29. Taimeo.
30. El Paraíso, San José Purúa.
31. San José Purúa.
32. Tashidhó.
33. Comanjilla.
34. Atzimba 1945.
35. San Lorenzo 1932.
36. San Lorenzo 1944.
37. Jaripeo 1932.
38. Jaripeo 1944.
39. San José Purúa 1942.
40. Cointzio, Morelia, 1932.

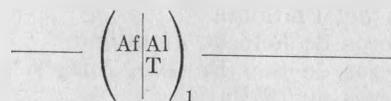
Tabla Núm. 2
ANÁLISIS QUÍMICOS DE AGUAS

MILIGRAMOS POR LITRO

	1	2	3	4	5
Cl.	—	10	21	21	7
SO ₄	181	31	618	258	44
SO ₄ libre	193	—	—	—	—
Na.	60	8	70	38	14
K.	19	1	50	55	13
Li.	—	—	—	—	—
Ca.	9	8	3	15	2
Mg.	2	2	—	—	—
Fe.	2	—	4	—	—
SiO ₂	236	134	—	—	—
Residuo	761	271	—	—	—

VALORES DE REACCIÓN — Mg. POR LITRO

Ácidos fuertes (Af)	3.76	0.93	4.59	5.97	1.12
Ácidos débiles (Ad)	—	—	—	—	—
Alcalis (Al)	3.11	0.35	4.34	5.23	0.96
Tierras alcalinas (T)	0.65	0.58	0.15	0.74	0.12



PROPIEDADES

Salinidad primaria (S ₁)	6.22	0.70	8.64	10.46	1.92
Salinidad secundaria (S ₂)	1.30	1.16	0.30	1.48	0.24
Alcalinidad secundaria (A ₂)	—	—	—	—	—
Salinidad total	7.52	1.86	9.18	11.94	2.24
Concentración	1.50	0.37	1.84	2.39	0.48
Unidades Curie (10 ⁻¹²)	116	—	—	—	—
Núm. Larios	47	27	47	47	47

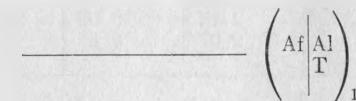
Tabla Núm. 2 (continúa)
ANÁLISIS QUÍMICOS DE AGUAS

MILIGRAMOS POR LITRO

	6	7	8	9	10
Cl.	240	443	436	471	436
SO ₄	293	229	253	292	249
SO ₄ libre	—	—	—	52	—
Na.	383	350	341	437	354
K.	24	18	22	6	24
Li.	3	3	3	—	3
Ca.	15	20	24	20	17
Mg.	—	—	—	—	—
Fe.	1	—	—	1	—
SiO ₂	204	195	204	240	186
Residuo	1 443	1 474	1 442	1 588	1 386

VALORES DE REACCIÓN — Mg. POR LITRO

Ácidos fuertes (Af)	18.47	17.17	17.30	19.4	17.37
Ácidos débiles (Ad)	—	—	—	1.3	—
Alcalis (Al)	17.69	16.15	16.06	19.1	16.51
Tierras alcalinas (T)	0.77	1.02	1.24	1.6	0.86



PROPIEDADES

Salinidad primaria (S ₁)	35.38	32.30	32.12	38.20	33.02
Salinidad secundaria (S ₂)	1.56	2.04	2.48	0.60	1.72
Alcalinidad secundaria (A ₂)	—	—	—	2.60	—
Salinidad total	36.94	34.34	34.60	41.40	34.74
Concentración	7.35	6.87	6.93	8.29	6.95
Unidades Curie (10 ⁻¹²)	—	—	—	—	—
Núm. Larios	45	44	44	45	44

Tabla Núm. 2 (continúa)
ANÁLISIS QUÍMICOS DE AGUAS

MILIGRAMOS POR LITRO

	11	12	13	14	15
Cl.	66	172	7 850	—	—
SO ₄	15	165	814	6	138
HCO ₃	123	—	—	2 279	—
HPO ₄	—	—	—	—	—
CO ₂ libre	—	—	—	43	—
Na.	38	183	4 465	980	57
K.	19	42	988	79	10
Li.	—	—	—	—	—
Ca.	25	12	336	39	—
Mg.	10	3	11	12	—
Fe.	—	—	—	—	—
Al ₂ O ₃	—	—	38	—	—
SiO ₂	27	79	167	89	241
Residuo	264	960	—	3 365	—

VALORES DE REACCION — Mg. POR LITRO

Acidos fuertes (Af)	2.17	8.89	237.9	47.28	2.81
Acidos débiles (Ad)	2.03	—	—	—	—
Alcalis (Al)	2.14	8.02	220.30	44.01	2.81
Tierras alcalinas (T)	2.07	0.87	17.60	2.94	—

$$\left(\begin{array}{c} \text{Af} \\ \text{Al} \\ \text{T} \end{array} \right)_1$$

PROPIEDADES

Salinidad primaria (S ₁)	4.28	16.04	440.6	88.02	5.62
Salinidad secundaria (S ₂)	—	1.74	35.2	5.88	—
Alcalinidad secundaria (A ₂)	4.08	—	—	—	—
Salinidad total	8.42	17.78	475.8	94.56	5.62
Concentración	1.68	3.56	95.0	18.90	1.12
Radioactividad	—	—	—	—	—
Unidades Curie	—	—	—	—	—
Ph.	—	—	—	—	—
Núm. Larios	32	45	44	47	47

Tabla Núm. 2 (continúa)
ANÁLISIS QUÍMICOS DE AGUAS

MILIGRAMOS POR LITRO

	16	17	18	19	20
Cl.	12 755	7	—	596	472
SO ₄	2 564	412	146	514	57
NO ₃	—	—	—	12	—
HCO ₃	—	—	—	314	233
HPO ₄	340	—	1	—	—
CO ₂ libre	1 584	2 870	—	—	—
Na.	6 515	71	18	665	362
K.	372	4	6	52	2
Li.	—	—	—	8	8
Ca.	151	31	22	28	28
Mg.	264	41	11	—	—
Fe.	211	6	81	—	—
Al ₂ O ₃	—	—	4	—	—
SiO ₂	640	544	168	61	164
Residuo	26 989	4 984	816	2 310	1 276

VALORES DE REACCION — Mg. POR LITRO

Acidos fuertes (Af)	412.95	8.78	3.04	27.69	14.51
Acidos débiles (Ad)	10.74	—	—	5.15	3.92
Alcalis (Al)	292.97	3.41	0.92	31.43	16.99
Tierras alcalinas (T)	29.23	4.96	1.98	1.38	1.42

$$\left(\begin{array}{c} \text{Af} \\ \text{T} \\ \text{Al} \end{array} \right)_2$$

PROPIEDADES

Salinidad primaria (S ₁)	585.94	6.82	3.96	55.38	29.02
Salinidad secundaria (S ₂)	58.46	9.92	1.84	—	—
Alcalinidad primaria (A ₁)	—	—	—	7.48	4.96
Alcalinidad secundaria (A ₂)	—	—	—	2.32	2.88
Salinidad total	847.00	17.56	6.14	65.68	36.86
Concentración	109.50	—	1.23	13.13	7.37
Radioactividad	—	—	—	—	—
Unidades Curie	—	116.4	5.5	—	303.3
Ph.	—	4.6	2.9	8.3	—
Núm. Larios	44	57	07	45	44

Tabla Núm. 2 (continúa)
ANÁLISIS QUÍMICOS DE AGUAS

MILIGRAMOS POR LITRO

	21	22	23	24	25
Cl.	1 102	241	223	472	559
SO ₄	141	560	479	334	580
NO ₃	—	40	1	—	—
HCO ₃	269	903	750	464	886
Na.....	777	644	637	533	708
K.....	30	24	22	17	56
Li.....	20	4	4	4	—
Ca.....	21	88	12	54	151
Mg.....	—	5	—	12	31
Fe.....	—	—	—	—	24
SiO ₂	256	214	273	191	160
Residuo.....	2 676	2 727	1 937	1 970	2 708

VALORES DE REACCION — Mg. POR LITRO

Acidos fuertes (Af).....	34.02	25.34	16.25	20.20	27.88
Acidos débiles (Ad).....	4.56	14.83	12.30	7.70	14.55
Alcalis (Al).....	37.50	29.23	24.49	24.22	32.23
Tierras alcalinas (T).....	1.04	4.83	0.58	3.68	10.08



PROPIEDADES

Salinidad primaria (S ₁).....	63.04	50.68	32.50	40.40	55.64
Alcalinidad primaria (A ₁).....	6.96	7.78	16.48	8.04	8.82
Alcalinidad secundaria (A ₂).....	2.16	9.66	8.12	7.36	—
Salinidad total.....	77.16	68.12	57.10	55.80	84.62
Concentración.....	15.40	13.60	11.40	11.17	16.92
Unidades Curie.....	63.1	—	—	597.1	—
Ph.....	6.9	—	7.2	6.1	—
Núm. Larios.....	44	43	49	40	40

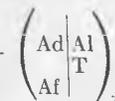
Tabla Núm. 2 (continúa)
ANÁLISIS QUÍMICOS DE AGUAS

MILIGRAMOS POR LITRO

	26	27	28	29	30
Cl.	100	118	21	2	163
SO ₄	166	143	96	18	13
NO ₃	—	—	—	—	2
HCO ₃	289	290	217	143	950
Na.....	46	148	100	31	269
K.....	136	46	10	6	4
Li.....	9	—	6	—	9
Ca.....	55	40	14	12	26
Mg.....	23	23	—	6	66
Fe.....	16	24	—	—	—
SiO ₂	89	202	148	120	128
Residuo.....	819	1 064	587	277	1 175

VALORES DE REACCION — Mg. POR LITRO

Acidos fuertes (Af).....	6.32	6.29	2.61	0.43	4.89
Acidos débiles (Ad).....	5.60	4.76	3.61	2.40	15.60
Alcalis (Al).....	6.70	7.01	5.42	1.51	12.25
Tierras alcalinas (T).....	5.22	4.04	0.68	1.07	6.75



PROPIEDADES

Salinidad primaria (S ₁).....	12.64	12.58	5.22	0.86	9.78
Alcalinidad primaria (A ₁).....	0.76	1.44	5.62	2.16	14.72
Alcalinidad secundaria (A ₂).....	10.44	8.08	1.60	2.64	16.48
Salinidad total.....	23.84	22.10	12.44	5.66	40.98
Concentración.....	4.78	4.42	2.49	1.00	8.00
Unidades Curie.....	—	—	—	411.3	—
Ph.....	—	—	6.1	6.5	—
Núm. Larios.....	00	30	49	31	51

Tabla Núm. 2 (continúa)
ANÁLISIS QUÍMICOS DE AGUAS

MILIGRAMOS POR LITRO

	31	32	33	34	35
Cl.	134	10	26	19	21
SO ₄	75	10	45	—	46
NO ₃	—	—	—	1	—
HCO ₃	2 667	139	357	90	1 293
HOP ₄	—	—	21	—	—
Na.	827	41	75	14	208
K.	168	3	36	2	23
Li.	—	—	5	—	—
Ca.	118	14	20	8	146
Mg.	36	3	11	3	97
Fe.	—	—	14	—	50
SiO ₂	154	58	134	96	122
Residuo	2 828	238	549	250	1 323

VALORES DE REACCION — Mg. POR LITRO

Acidos fuertes (Af)	5.32	0.54	1.67	0.54	1.61
Acidos débiles (Ad)	43.73	2.28	6.13	1.46	22.63
Alcalis (Al)	40.23	1.87	4.90	0.67	9.22
Tierras alcalinas (T)	8.82	0.97	1.90	0.69	14.62

$$\left(\begin{array}{c} \text{Ad} \\ \text{T} \\ \text{Al} \end{array} \right)_5$$

PROPIEDADES

Salinidad primaria (S ₁)	10.64	1.08	3.34	1.08	3.22
Alcalinidad primaria (A ₁)	69.82	2.66	8.46	0.26	15.22
Alcalinidad secundaria (A ₂)	17.64	1.90	3.80	1.38	29.24
Salinidad total	98.10	5.64	15.60	4.00	47.68
Concentración	19.65	1.13	3.02	0.80	9.56
Unidad Curie	—	—	—	186.7	—
Ph.	—	—	—	7.1	—
Núm. Larios	41	31	31	31	01

Tabla Núm. 2 (concluye)
ANÁLISIS QUÍMICOS DE AGUAS

MILIGRAMOS POR LITRO

	36	37	38	39	40
Cl.	11	21	8	162	11
SO ₄	—	46	—	8	3
HCO ₃	1 395	1 293	843	256	353
Na.	103	208	85	245	60
K.	1	23	1	25	4
Ca.	173	146	105	125	26
Mg.	122	97	62	93	21
Fe.	—	50	—	2	—
SiO ₂	129	122	100	133	79
Residuo	1 268	1 323	890	1 412	571

VALORES DE REACCION — Mg. POR LITRO

Acidos fuertes (Af)	0.32	1.61	0.24	4.72	0.41
Acidos débiles (Ad)	22.88	22.23	13.83	20.56	4.79
Alcalis (Al)	4.53	9.22	3.72	11.33	2.70
Tierras alcalinas (T)	18.66	14.62	10.33	13.92	3.49

$$\left(\begin{array}{c} \text{Ad} \\ \text{T} \\ \text{Al} \end{array} \right)_5$$

PROPIEDADES

Salinidad primaria (S ₁)	0.62	3.22	0.48	9.44	0.82
Alcalinidad primaria (A ₁)	8.42	15.22	6.96	13.22	4.58
Alcalinidad secundaria (A ₂)	37.34	29.24	20.70	27.90	5.00
Salinidad total	46.78	47.68	28.14	50.56	10.40
Concentración	9.38	9.56	5.01	10.10	2.00
Unidades Curie	—	—	—	11.0	244.3
Ph.	6.4	—	6.7	6.8	6.8
Núm. Larios	81	01	01	01	01

Antes de presentar las fórmulas comparativas de los análisis explicados en un trabajo anterior del autor de este estudio ¹¹ y en otras publicaciones ¹² se hará una breve descripción de ellas para facilitar su aplicación.

Se escribe primero el radical que tenga el mayor valor y a su derecha el que tenga el valor inmediato inferior si es del grupo opuesto. Si es del mismo grupo, supongamos aniones, se escribe abajo del primero, después el tercer radical en orden decreciente, teniendo cuidado de que en un lado queden los aniones y en el otro los cationes; pero haciendo siempre que los valores vayan disminuyendo de izquierda a derecha y de arriba abajo.

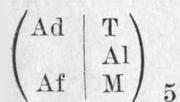
Los radicales se expresan en equivalentes de miligramos de hidrógeno. Los símbolos usados son:

Radicales positivos o cationes

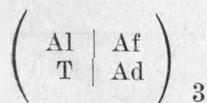
- Al Alcalis
- T Tierra alcalina
- M Metales

Radicales negativos o aniones

- Af Acidos fuertes
- Ad Acidos débiles

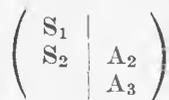


La fórmula 5 expresa que los ácidos débiles tienen el valor más alto de reacción y que los siguen en magnitud las tierras alcalinas, álcalis, ácidos fuertes y metales.



La fórmula 3 expresa que los alcalinos tienen el valor mayor y que les siguen los ácidos fuertes, tierras y ácidos débiles.

Se denomina también S₁ la salinidad primaria, S₂ la salinidad secundaria, A₁ la alcalinidad primaria, A₂ la alcalinidad secundaria y A₃ la alcalinidad terciaria. La fórmula:



Expresa que la salinidad primaria es la mayor, siguiéndole la salinidad secundaria y las alcalinidades secundarias y terciarias.

Como ejemplo de aplicación de estas ideas se incluye el análisis 30 de San José Purúa.

INSTITUTO DE GEOLOGIA

Análisis de Aguas

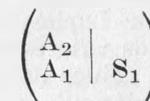
Análisis Núm. 30, colectada por el Ing. José Gómez Tagle. Marzo, 1945, procedente de las fuentes termales de El Paraíso. Balneario de San José Purúa. Municipalidad de Zitácuaro, Mich.

Mg. por litro	Coeficiente reacción	Valores de reacción			Porcentaje	Fórmula
		-	+	Radicales		
Cl.....	163.3	0.0282	4.60			$\left(\begin{array}{c c} \text{Ad} & \text{Al} \\ \text{Af} & \text{T} \end{array} \right)$
SO ₄	12.8	208	0.27			
NO ₃	1.0	161	0.02	4.89 Af	11.9	
HCO ₃	949.9	164	15.60	15.60 Ad	38.1	
Na.....	269.4	435		11.70		
K.....	3.8	256		0.09		
Li.....	3.2	1441		0.46	12.25 Al	
Ca.....	26.0	499		1.30		
Mg.....	66.3	822		5.45		
Otros.....	—	—		1.49	8.24 T	
Residuo...	1 675.2		20.49	20.49	40.98	100.0

Propiedades

Salinidad primaria 11.9 Af + 11.9 Al = 23.8 S₁
 Alcalinidad primaria 29.9 Al - 11.9 Af + 18 Ad = 36.0 A₁
 Alcalinidad secundaria 20.1 T + 20.1 Ad = 40.2 A₂
 100.0

Fórmula



$$\text{Concentración} = \frac{\text{Salinidad total}}{\text{Salinidad normal}} = \frac{40.98}{5} = 8.2$$

Atendiendo a las fórmulas de las aguas de Ixtlán de los Hervores, 6-10 se ve que hay identidad de origen, pues corresponden a la fórmula 1, que señala la mayor actividad química, se podría decir, juventud. Es de llamar la atención, que precisamente esas aguas sean las de menor concentración (11 p. 36).

Las aguas de los manantiales 17-18 tienen la fórmula:

$$\left(\begin{array}{c|c} \text{Af} & \text{T} \\ \hline & \text{Al} \end{array} \right)_2$$

Puede verse que los álcalis pasan al tercer lugar. Un grado aún menor de actividad, corresponde a la fórmula:

$$\left(\begin{array}{c|c} \text{Al} & \text{Af} \\ \hline \text{T} & \text{Ad} \end{array} \right)_3$$

donde los álcalis ocupan el primer lugar, como ocurre en las aguas del balneario de Huingo 20 y las 19 a 27.

En cuarto lugar, mostrando consanguinidad con estas aguas están las de Ajolotes 28, y las del 29 al 33, cuya fórmula es:

$$\left(\begin{array}{c|c} \text{Ad} & \text{Al} \\ \hline \text{Af} & \text{T} \end{array} \right)_4$$

Vienen al final las aguas de fórmula:

$$\left(\begin{array}{c|c} \text{Ad} & \text{T} \\ \hline \text{Af} & \text{M} \end{array} \right)_5$$

que corresponden a los manantiales 34 ó 40 de Jaripeo, de San José Purúa, San Lorenzo y otros. Figura Núm. 2.

METODO LARIOS

Para completar la identificación de estas aguas, se utilizará el método del distinguido geoquímico don Hermión Larios, que aparece publicado en la revista *Ingeniería Hidráulica*.¹²

El señor Larios reduce los valores de los aniones a porcientos y, asimismo, los valores de los cationes. En cuanto a los primeros, coloca el grupo de ácidos débiles representado por HCO_3 en el vértice superior *A*, de un triángulo equilátero, cuya base se apoya en el eje *O-X*; al grupo SO_4 lo coloca en el origen *C* de ejes coordenados cartesianos, y al grupo *Cl* y demás ácidos fuertes, en el vértice más alejado *B*. (Fig. 3.)

Para situar los puntos dentro del triángulo se sigue el método gráfico explicado por Larios; pero el cálculo es tan simple que en la mayoría de los casos es preferible recurrir a él. Si el punto debe situarse atendiendo a las relaciones: $\text{Na} > \text{Ca} > \text{Mg}$, se partirá del vértice del triángulo *Ca* (Fig. 4) y se medirán *Na* de *Ca* hacia *Na* marcando el punto provisional *b*. Después se trazará una paralela a $\text{Ca} \rightarrow \text{Mg}$ y se

medirá a partir de *b* la magnitud *Mg*, marcando el punto definitivo que representa los cationes, bases o radicales positivos.

Si se trata de la relación $\text{Ca} > \text{Na} > \text{Mg}$, se medirá *Ca* sobre la línea $\text{Na} \rightarrow \text{Ca}$, situando un punto provisional y trazando desde éste una paralela a *Mg*, *Ca* para medir desde él la magnitud *Mg*.

En las Figuras 5 a 8 se marcan los casos de situación de puntos. De ellos se deduce la regla de que la primera línea está marcada por el mayor valor y el que le sigue, tomando la magnitud mayor a partir del vértice correspondiente a la segunda magnitud, para trazar desde ese punto una línea paralela al lado del triángulo que marca los valores de segunda y tercera magnitud y sobre ella se mide ésta, a partir del lado que sirvió para trazar la primera línea.

Las fórmulas para calcular las coordenadas de los puntos se consignan en las mismas figuras.

La originalidad del señor Larios estriba en haber dividido el triángulo equilátero en diez partes iguales, tal como lo muestra la Fig. 3, con la numeración indicada en ella, que permite la clasificación centesimal. Cuando el punto de los cationes de un análisis cae dentro de una de estas áreas, toma su número y lo propio ocurre con el punto de los aniones; así se tienen dos números que permiten escribir decenas y unidades, llegando hasta el 99.

Para dar expresión a estos números, el Sr. Larios determina, con su método, la posición de los puntos, de tal manera que cuando el de los aniones cae cerca del vértice *A*, indica su alto contenido en HCO_3 , en el área 1. Si domina el *Cl*, cae en la porción 4, cerca del vértice *B*, y si el SO_4 , el punto queda en la porción 7. A medida que el punto se aleja de un vértice, disminuye el contenido de ese radical, sea que se trate de los aniones o de los cationes y cuando queda dentro del área 0, los radicales son casi del mismo valor o iguales si el punto ocupa el centro del triángulo. En cualquier caso, es fácil interpretar el significado del número que le corresponde a una agua, en vista de su análisis químico.

Situando los aniones de los análisis presentados, se ve que las aguas de la mayor parte de las emergencias de la sierra de San Andrés, quedan sobre la línea $\text{SO}_4 - \text{Cl}$ correspondiéndoles como segundo número el 4 o el 7, pues las de laguna Verde, laguna Larga o el Currutaco, tienen SO_4 en tal abundancia que además del combinado, lo hay libre.

Las aguas de Ixtlán de los Hervores, contienen además *Cl*; pero el SO_4 continúa en primer lugar. En la tabla Núm. 2 se dan también los números de Larios. En la Fig. 4 están situados los cationes.

En las inmediaciones de los hervideros de San Agustín, se encuentran eflorescencias, cuya composición se muestra en el análisis que se adjunta. Su fórmula característica es

$$\left(\begin{array}{c|c} \text{Al} & \text{Af} \\ \hline \text{T} & \text{Ad} \end{array} \right)$$

igual a la del agua del manantial referido.

Como en la recolección de la muestra se mezclaron impurezas, puede verse en el análisis un alto contenido de arcilla, expresada en Al_2O_3 y SiO_2 . El Sr. Raúl Lozano se refiere a estas sales (9. p. 96). En otro trabajo del mismo autor se da idea de la clase de minerales que se encuentran en eflorescencias de igual naturaleza (14. p. 36-51).

Análisis número 11091

Eflorescencias procedentes de los manantiales de los Hervideros de San Agustín en Cuitzeo, Edo. de Michoacán:

	%
Sílice (SiO_2)	21.92
Sulfúrico (SO_3)	22.33
Cloro (Cl)	1.00
Carbónico (CO_2)	5.50
Oxido férrico (Fe_2O_3)	1.82
Oxido de aluminio (Al_2O_3)	12.19
Oxido de calcio (CaO)	3.85
Oxido de magnesio (MgO)	0.83
Oxido de sodio (Na_2O)	20.38
Oxido de potasio (K_2O)	0.14
Agua a 110°	6.29
Pérdida por calcinación	3.68

REPRESENTACION DE LOS ANALISIS POR UN PUNTO

Para abreviar más aún la representación gráfica de los análisis, se ha creído conveniente que un solo punto los represente en vez de dos y para ello se aplica la combinación de los radicales en la forma propuesta por Palmer,¹⁵ recalculando las propiedades que él distingue en porcentajes y atendiendo solamente a las tres de mayor cuantía, según el análisis. Estas propiedades son: salinidad primaria, símbolo S_1 ; salinidad secundaria, S_2 ; alcalinidad primaria, A_1 ; alcalinidad secundaria, A_2 , y en algunos casos alcalinidad terciaria, A_3 que aquí no se toma en cuenta.

Atendiendo a las cuatro propiedades más comunes para la situación de los puntos se requiere un rombo (Fig. 9), pero fundamentalmente se utiliza el triángulo, ya que la figura puede dividirse en dos partes: una formando el triángulo $S_2 A_2 S_1$ y la otra el triángulo $A_2 A_1 S_1$. Al reunir las sólo se ha evitado la repetición del lado común $A_2 S_1$.

Tratándose del triángulo invertido $S_2 A_2 S_1$, las fórmulas para el cálculo de las coordenadas se consignan en la Fig. 8.

Si sólo existe una propiedad, la representación se reduce a un punto en el vértice correspondiente del triángulo; si existen dos, el punto quedará en la línea del triángulo, que une los vértices marcados con

las respectivas propiedades. El agua 15, de Bench Spring tiene solamente S_1 , las aguas 1 a 8 de la sierra de San Andrés y de Ixtlán, así como otras que pueden verse en la tabla Núm. 2, tienen S_1 y S_2 .

En la Tabla Núm. 3 se dan los porcentajes de salinidades y alcalinidades que han servido para situar los puntos.

En la Fig. 9 se han situado los puntos correspondientes a los análisis que figuran en la Tabla Núm. 2.

Se deja para los investigadores el estudio de la relación de posición y la significación de ella en cuanto a la interpretación geoquímica, ya que se trazan líneas de trayectorias muy interesantes, como la marcada por los puntos 19, 20, 24, 30, 36.

La línea 9, 19, 20, 24, 30, 36, es elíptica y parte de altos valores de S_1 a magnitudes igualmente grandes de A_2 , con un incremento máximo en su parte media de A_1 . Pasa de las aguas de las lagunas de la sierra de San Andrés a los manantiales de San Lorenzo, fuertemente carbonatados. Su ley de variación quizá esté expresada por la ecuación de la curva, en cuyo caso se tendría:

$$y_1 = \frac{A_1}{S_1 - A_2} \sqrt{A_1^2 - X_1^2}$$

$$X_1 = \frac{S_1 - A_2}{A_1} \sqrt{(S_1 - A_2)^2 - y_1^2}$$

$$y = X_1 \operatorname{sen} \varphi - y_1 \operatorname{sen} \varphi$$

$$X = X_1 \operatorname{cos} \varphi + y_1 \operatorname{cos} \varphi$$

En estas fórmulas X_1 representaría el tiempo que podrá tomarse en cuenta si se determina para cualquier intervalo de la trayectoria y deducirse para la totalidad o bien conociendo el lapso completo en que ocurrió la variación y en seguida poder aplicar las fórmulas para cualquier tiempo intermedio. En este caso habría que saber qué tiempo ha transcurrido desde la aparición de las primeras solfataras con aguas del tipo 15 ó 9, hasta la producción de aguas del tipo 36 manantiales de San Lorenzo, en el supuesto de que ambas fueran de igual composición inicialmente, permaneciendo la primera sin variación notable, mientras que la última evoluciona rápidamente. También podrá determinarse la variación relacionada al tiempo si se hacen análisis de la misma agua con el intervalo mayor del mismo, se sitúan los puntos conforme al método que se está describiendo y se calculan las variaciones en la X .

En la figura 9 puede verse que del tronco 9, 19, 21, parten ramas que sugieren una evolución principal hacia A_2 , alcalinidad secundaria, con una tendencia también hacia A_1 , alcalinidad primaria. Hay líneas casi paralelas a $A_1 - A_2$ que marcan la evolución de A_1 a A_2 y líneas

convergentes a A₁ mostrando la tendencia del cambio de salinidad primaria a alcalinidad primaria.

En todos los casos las curvas obtenidas, con los trazos, permiten encontrar relaciones matemáticas entre los análisis y hacer muy variadas interpretaciones.

Tabla Núm. 3
PORCIENTO DE SALINIDADES Y ALCALINIDADES

	S ₁	S ₂	A ₁	A ₂	X	Y
1	82.6	17.4	—	—	—	—
2	37.6	62.4	—	—	—	—
3	94.2	5.8	—	—	—	—
4	87.8	12.2	—	—	—	—
5	85.6	14.4	—	—	—	—
6	95.8	4.2	—	—	—	—
7	94.1	5.9	—	—	—	—
8	92.9	7.1	—	—	—	—
9	92.3	1.4	—	6.3	1.9	13.7
10	95.1	4.9	—	—	—	—
11	50.7	—	—	49.3	—	—
12	90.2	9.8	—	—	—	—
13	92.8	7.2	—	—	—	—
14	93.8	6.2	—	—	—	—
15	100.0	—	—	—	—	—
16	93.1	6.9	—	—	—	—
17	43.5	56.5	—	—	—	—
18	70.0	30.0	—	—	—	—
19	84.2	—	11.4	4.4	18.0	3.8
20	79.0	—	13.4	8.6	25.3	7.4
21	88.2	—	9.0	2.8	19.1	2.3
22	74.5	—	11.4	14.1	42.8	7.9
23	57.0	—	28.8	14.2	50.2	12.3
24	72.4	—	14.4	13.2	34.2	15.5
25	89.5	—	10.5	—	—	—
26	53.0	—	3.2	43.8	48.4	2.8
27	57.0	—	6.5	36.5	46.7	5.6
28	42.1	—	45.1	12.8	51.5	11.1
29	14.6	—	38.8	46.6	62.1	40.0
30	23.8	—	36.0	40.2	51.0	34.9
31	10.8	—	71.2	18.0	70.2	15.6
32	19.1	—	47.2	33.7	64.1	29.2
33	23.4	—	52.2	24.4	64.4	21.2
34	39.7	—	9.6	—	69.8	34.2
35	6.8	—	31.9	61.3	62.6	53.1
36	2.2	—	18.0	79.8	57.9	69.2
37	6.7	—	31.9	61.4	32.6	53.2
38	1.7	—	24.7	73.6	60.5	63.8
39	18.6	—	26.2	55.2	53.8	47.6
40	7.9	—	44.1	48.0	68.9	41.6

Fig. 3
Aniones segun los analisis de la tabla N° 2

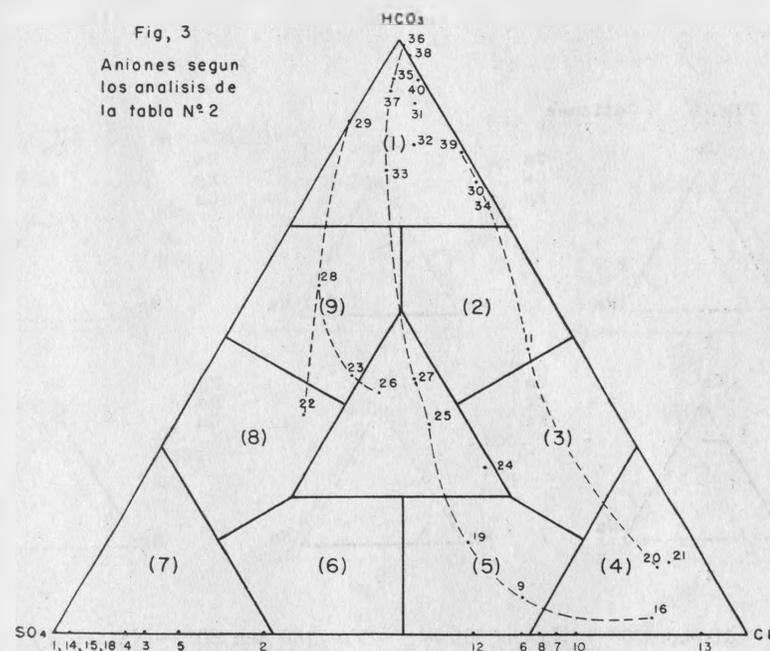


Fig. 4
Cationes segun los analisis de la tabla N° 2

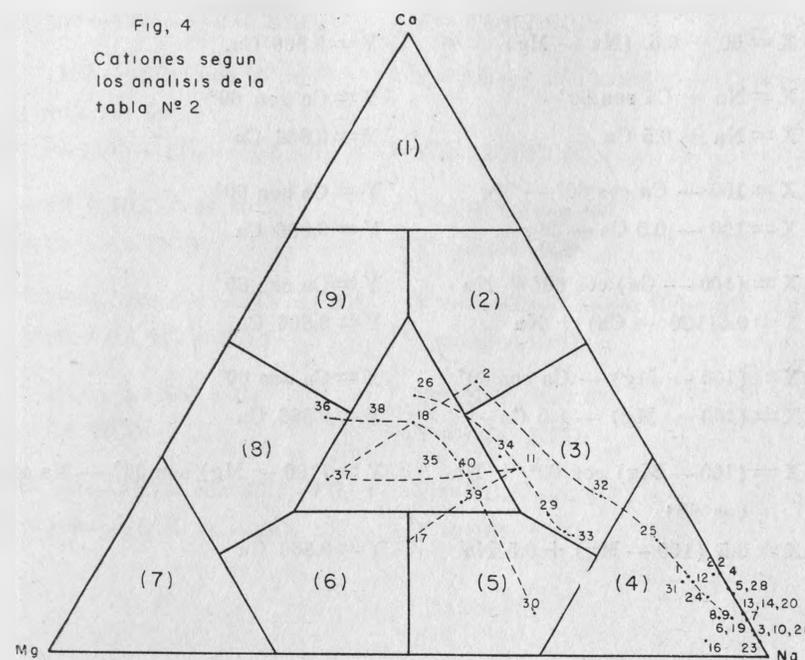
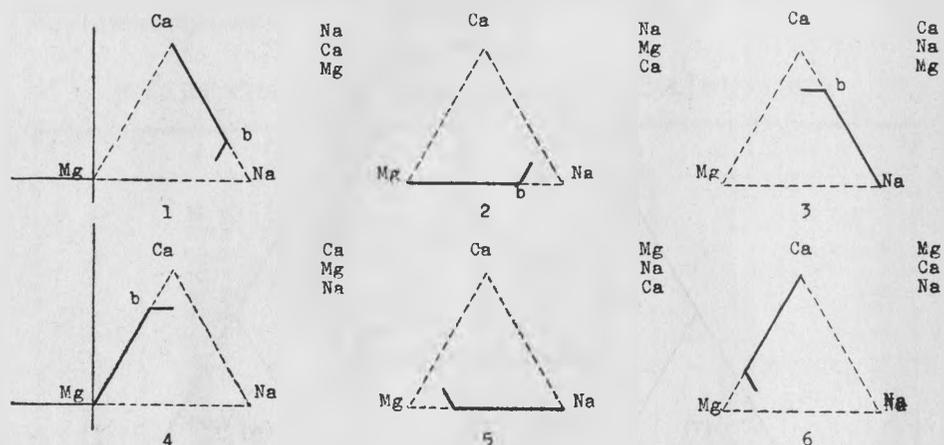
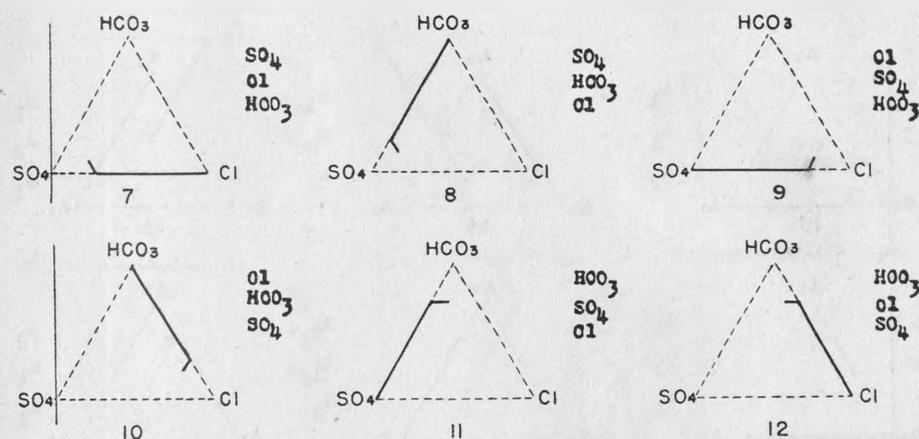


Fig. 5 Cationes



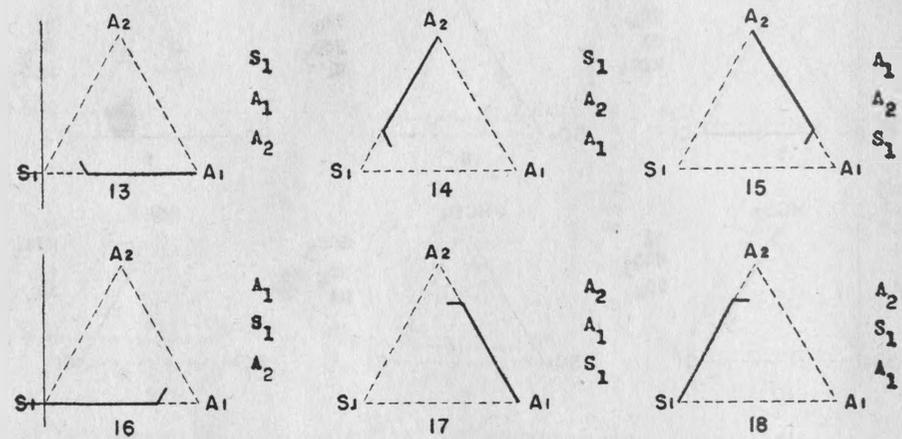
- (1) $X = 100 \cos 60^\circ + Na \cos 60^\circ - Mg \cos 60^\circ$
 $X = 50 + 0.5 (Na - Mg)$
 $Y = 100 \sin 60^\circ - Na \sin 60^\circ - Mg \sin 60^\circ$
 $Y = 0.866 Ca$
- (2) $X = Na + Ca \sin 60^\circ$
 $X = Na + 0.5 Ca$
 $Y = Ca \sin 60^\circ$
 $Y = 0.866 Ca$
- (3) $X = 100 - Ca \cos 60^\circ - Mg$
 $X = 100 - 0.5 Ca - Mg$
 $Y = Ca \sin 60^\circ$
 $Y = 0.866 Ca$
- (4) $X = (100 - Ca) \cos 60^\circ + Na$
 $X = 0.5(100 - Ca) + Na$
 $Y = Ca \sin 60^\circ$
 $Y = 0.866 Ca$
- (5) $X = (100 - Mg) - Ca \cos 60^\circ$
 $X = (100 - Mg) - 0.5 Ca$
 $Y = Ca \sin 60^\circ$
 $Y = 0.866 Ca$
- (6) $X = (100 - Mg) \cos 60^\circ + Na$
 $X = 0.5 (100 - Mg) + 0.5 Na$
 $Y = (100 - Mg) \sin 60^\circ - Na \sin 60^\circ$
 $Y = 0.866 Ca$

FIGURA 6 ANIONES



- (7) $X = 100 - SO_4 - HCO_3 \cos 60^\circ$
 $X = 100 - SO_4 - 0.5 HCO_3$
 $Y = HCO_3 \sin 60^\circ$
 $Y = 0.866 HCO_3$
- (8) $X = (100 - SO_4) \cos 60^\circ + Cl \cos 60^\circ$
 $X = 0.5 (100 - SO_4) + 0.5 Cl$
 $Y = 100 - SO_4 \sin 60^\circ - Cl \sin 60^\circ$
 $Y = 0.866 HCO_3$
- (9) $X = Cl + HCO_3 \cos 60^\circ$
 $X = Cl + 0.5 HCO_3$
 $Y = HCO_3 \sin 60^\circ$
 $Y = 0.866 HCO_3$
- (10) $X = 50 + Cl \cos 60^\circ - SO_4 \cos 60^\circ$
 $X = 50 + 0.5 (Cl - SO_4)$
 $Y = 2(100 - Cl) \sin 60^\circ - SO_4 \sin 60^\circ$
 $Y = 0.866 HCO_3$
- (11) $X = HCO_3 \cos 60^\circ + Cl$
 $X = 0.5 HCO_3 + Cl$
 $Y = HCO_3 \sin 60^\circ$
 $Y = 0.866 HCO_3$
- (12) $X = 100 - HCO_3 \cos 60^\circ - SO_4$
 $X = 100 - 0.5 HCO_3 - SO_4$
 $Y = HCO_3 \sin 60^\circ$
 $Y = 0.866 HCO_3$

FIGURA 7 S₁ A₂ A₁



(13) $X = 100 - S_1 + A_2 \cos 60^\circ$ $Y = A_2 \sin 60^\circ$
 $X = 100 - S_1 + 0.5 A_2$ $Y = 0.866 A_2$

(14) $X = (100 - S_1) \cos 60^\circ + A_1 \cos 60^\circ$ $Y = (100 - S_1) \sin 60^\circ - A_1 \sin 60^\circ$
 $X = 0.5 (100 - A_1)$ $Y = 0.866 A_2$

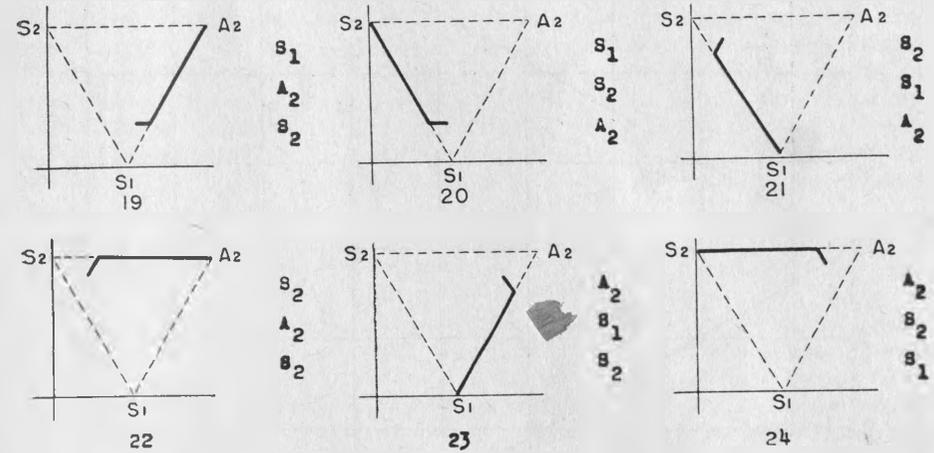
(15) $X = A_1 \cos 60^\circ - S_1 \cos 60^\circ$ $Y = (100 - A_1) \sin 60^\circ - S_1 \sin 60^\circ$
 $X = 0.5 (A_1 - S_1)$ $Y = 0.866 A_2$

(16) $X = A_1 + A_2 \cos 60^\circ$ $Y = A_2 \sin 60^\circ$
 $X = A_1 + 0.5 A_2$ $Y = 0.866 A_2$

(17) $X = 100 - A_2 \cos 60^\circ - S_1$ $Y = A_2 \sin 60^\circ$
 $X = 100 - 0.5 A_2 - S_1$ $Y = 0.866 A_2$

(18) $X = A_2 \cos 60^\circ + A_1$ $Y = A_2 \sin 60^\circ$
 $X = 0.5 A_2 + A_1$ $Y = 0.866 A_2$

FIGURA 8 TRIANGULO S₁, S₂, A₂



(19) $X = 100 - (S_1 \cos 60^\circ - S_2)$ $Y = (100 - S_1) \sin 60^\circ$
 $X = 100 - 0.5 S_1 - S_2$ $Y = 0.866 (100 - S_1)$

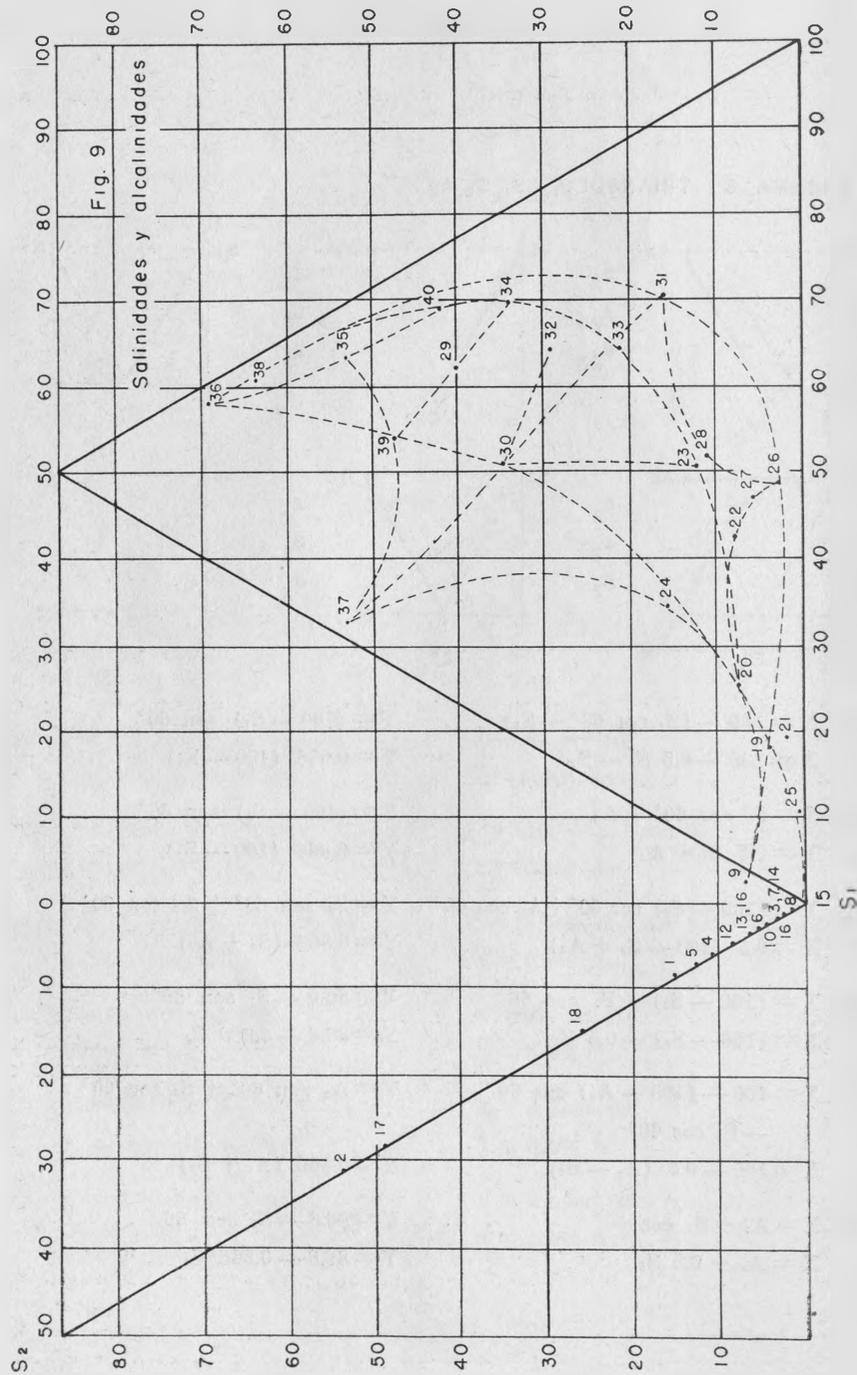
(20) $X = S_1 \cos 60^\circ + A_2$ $Y = (100 - S_1) \sin 60^\circ$
 $X = 0.5 S_1 + A_2$ $Y = 0.866 (100 - S_1)$

(21) $X = (100 - S_2) \cos 60^\circ + A_2 \cos 60^\circ$ $Y = S_2 \sin 60^\circ + A_2 \sin 60^\circ$
 $X = 0.5 (100 - S_2 + A_2)$ $Y = 0.866 (S_2 + A_2)$

(22) $X = (100 - S_2) - S_1 \cos 60^\circ$ $Y = 86.6 - S_1 \sin 60^\circ$
 $X = (100 - S_2) - 0.5 S_1$ $Y = 86.6 - 0.866 S_1$

(23) $X = 100 - (100 - A_2) \cos 60^\circ -$ $Y = A_2 \sin 60^\circ + S_2 \sin 60^\circ$
 $- S_2 \cos 60^\circ$ $X = 100 - 0.5 (A_2 - S_2)$ $Y = 0.866 (A_2 + S_2)$

(24) $X = A_2 + S_1 \cos 60^\circ$ $Y = 86.6 - S_1 \sin 60^\circ$
 $X = A_2 + 0.5 S_1$ $Y = 86.6 - 0.866 S_1$



Atendiendo a la composición del agua se presume que las del tipo $\left(\text{Af} \left| \begin{array}{c} \text{Al} \\ \text{T} \end{array} \right. \right)$ y aun del tipo $\left(\text{Al} \left| \begin{array}{c} \text{Af} \\ \text{T} \end{array} \right. \right)$ se ponen en contacto con ro-

cas calientes de intrusiones casi contemporáneas, es decir, holocénicas. No es de creerse que sean aguas juveniles, porque los moradores de la región han observado una relación íntima entre las temporadas de lluvias y secas y el gasto hidráulico de las emergencias. Algunas, como El Currutaco, es impresionante poco después de las lluvias, pues su agua hierve con energía y pequeñas columnas de vapor proyectan un lodo plumizo que se agita con violencia en un pozo que tiene el aspecto de un cratercito del tipo de los llamados volcanes de lodo, de unos 6 m. de diámetro. En la temporada de secas llega a secarse y permanecer completamente inactivo.

Todas las emergencias de la sierra de San Andrés, experimentan idénticas influencias de las temporadas indicadas, de manera que son las aguas de infiltración las que en su descenso llegan a las rocas calientes, adquieren elevada temperatura, disuelven las substancias solubles contenidas en los antiguos magmas y se elevan impulsadas por el vapor y los gases hasta la superficie del terreno, aprovechando las fracturas que llegan hasta las intrusiones referidas. En el caso de las emergencias de la sierra de San Andrés, donde las aguas subterráneas son bastante profundas, no es posible pensar en aguas brotantes, cuyo nivel piezométrico supere al del terreno en lugares tan elevados como los manantiales de San Alejo, Ajolotes o El Chino, debiéndose las emergencias hipertermales a la impulsión por gases y vapores. Por estas razones se clasifica a estas emergencias como lígvicas.

En el caso del manantial de San Alejo, hay concurrencia de aguas epifreáticas, de manera que en la misma poza del balneario se aprecia la llegada de agua fría por algunos orificios, tibia por otros y caliente por los demás. El manantial debiera clasificarse sin la contribución de las aguas calientes como lecmico; pero el predominio de las aguas termales hace que se clasifique como lígvico.

Puede verse en la tabla Núm. 2, que algunos materiales de la sierra de San Andrés tienen aguas sulfatadas cloruradas y que otros de fórmula semejante, de Ixtlán de los Hervores, tienen ya una proporción mayor de cloro, dominando todavía el sulfúrico. En los hervideros de lodo de Jiquilpan, el Cl supera al SO_4 y entonces aparece el carbónico como anión principal, por más que la fórmula es del tipo 3. Lo mismo ocurre con Izi-Pathé. En la laguna de Los Volcanes, B. C., el Cl también supera el SO_4 ; pero no aparece el carbónico. En otros manantiales, como los del lago de Cuitzeo, entre ellos los hervideros de San Agustín, el SO_4 domina al Cl; pero el carbónico es el anión principal. En manantiales de aguas más mezcladas, de fórmula 5, domina enteramente el carbónico, particularmente en San Lorenzo y Jaripeo. Estos manantiales, en condiciones normales, serían récmicos y por la intervención de los gases son rigvicos. En San Lorenzo es notable la efervescencia del agua por el desprendimiento de gas carbónico, y se deben mantener

abiertas las puertas del baño para evitar la intoxicación. Una emergencia semejante se encuentra en Pozo Hediondo, que también llaman "Mata Pájaros", donde perecen las aves que tratan de abreviar en la orilla del agua.

Algunas emergencias francamente volcánicas, de otros países, como las de Yellowstone National Park, son de aguas totalmente sulfúricas, aunque de baja concentración y contienen también SO_4 libre. Lo mismo puede decirse del volcán Taal, de Luzzon, Filipinas, que tiene gran concentración y bastante Cl, siendo de la fórmula 1.

Basados en estas observaciones se aventura la idea de que las aguas volcánicas o de contactos ígneos, son primordialmente sulfúricas, que pasan con el tiempo a una segunda etapa de dominio del cloro y, por último, a la supremacía del carbónico. Quizá se encuentre una relación definida de edad entre estas etapas. Ocurre también que a medida que se pasa de una etapa a otra disminuye la temperatura del agua, llegando hasta las aguas hipotermas. El hervidero de San Bartolo representa una excepción a esta regla, pues es carbónico e hipertermal, lo que puede explicarse suponiendo mayor masa de la intrusión, un lavado mayor de aguas de infiltración con poco efecto enfriador, o bien, la intervención de rocas calcáreas.

La presencia del cloro en las aguas volcánicas es tan evidente como la del sulfúrico. En el Parícutín, desde los primeros días que se observaron fumarolas, el Cl fue más abundante que el SO_4 . En cuanto al HCO_3 , pudiera deberse a la reacción de uno u otro ácido en presencia de rocas calcáreas, sobre todo cuando se desprende con abundancia como en el caso de los manantiales de San Lorenzo 35 y 36 y Jarípeo 37 y 38. En la mayoría de los casos de manantiales con predominio de HCO_3 , las aguas meteóricas lo disuelven, principalmente en los suelos orgánicos y cargados con ácidos orgánicos del humus, reaccionan en presencia de rocas calcáreas con el desprendimiento del

carbónico. La gran mayoría de las aguas de la fórmula $\left(\begin{array}{c|c} \text{Ad} & \text{T} \\ \hline & \text{Al} \end{array} \right)$

en general son comunes, de régimen hidrológico claro y sin intervención alguna de vulcanismo. Las que se han estudiado, no obstante, sí tienen influencia volcánica, como lo demuestra la desusual abundancia de carbónico y el desprendimiento de estos gases.

El ascenso de las aguas lígicas a la superficie del terreno, está asociado al desprendimiento de gases y vapores y, en la mayoría de los casos, no producen gastos hidráulicos o los tienen insignificantes.

Un aspecto interesante de la explotación del azufre lo presenta el señor Lozano en el trabajo que ya se ha citado (9. p. 101-104).

Es de mencionarse que en el llenamiento de las vetas intervinieron también aguas cargadas de sulfúrico, que dieron lugar a la importante zona de los sulfuros.

Podrían adelantarse muchas hipótesis sobre genética de fumarolas y solfataras, pero por ahora se cree que baste con presentar algunas

ideas sobre los fenómenos postparoxísmicos de la sierra de San Andrés y sus relaciones con las fracturas y el vulcanismo de esta parte de México.

La "Serranía del Anáhuac", de la que forma parte la sierra de San Andrés, con sus majestuosos volcanes, el Popocatepetl, el Nevado de Toluca y el Volcán de Colima, con sus millares de conos volcánicos, muchos casi intactos, con su vulcanismo de ayer, el Jorullo y de hoy el Parícutín, es un grandioso escenario del vulcanismo.

BIBLIOGRAFIA

- ¹ *Importancia del Eje Volcánico*, por Pedro C. Sánchez, "Gala" 1935. Inst. Panm. de Geog. e Historia. Publ. 11.
- ² *Orogénesis de la República Mexicana en relación a su relieve actual*, por Ramiro Robles Ramos. Com. Nal. de Irrig. Mayo-junio, 1942.
- ³ *La Hidrogeología en México*, por Luis Blásquez L. Rev. Mex. de Ing. y Arq. Vol XX, N° 12. 1942, p. 555.
- ⁴ *Structural Symmetry in North America*, by Arthur Keith. Am. Geol. Soc. Bull. Vol. 39 (1938), p. 333.
- ⁵ *El Volcán de Colima y el Ceboruco*, por Ezequiel Ordóñez. Mem. y Rev. de la Soc. Cient. Antonio Alzate. T. II, 1888.
- ⁶ *Hidrogeología del valle de Morelia*, por Apolinar Hernández, An. Inst. de Geol. T. VI, 1936.
- ⁷ *Estudio Geológico Minero de los Distritos de El Oro y Tlalpujahuá*, por Teodoro Flores. Inst. Geol. de Méx. Bol. 37, 1920.
- ⁸ *Geología Minera de la región NE del Estado de Michoacán*, por Teodoro Flores. Inst. Geol. de Méx. Bol. 52, 1946.
- ⁹ *Hidrogeología y minerales no metálicos de la zona norte del Edo. de Michoacán*, por L. Blásquez L. y Raúl Lozano García. Inst. Geol. de Méx. Anales. T. IX, 1946.
- ¹⁰ *Nouvelle Classification des Sources*, por Luis Blásquez L. Congrès Géologique International. Comptes Rendus de la Dix-Neuvième Session. Section VIII. L'Hydrogéologie des Régions arides et Sub-Arides. Fascicule VIII. Alger, 1953.
- ¹¹ *Apuntes para la interpretación geoquímica de los análisis de aguas*, por L. Blásquez L. Bol. Soc. Geol. Méx. T. XV, 1950.
- ¹² *Método Larios para la clasificación centesimal de las aguas naturales, empleando el diagrama triangular*, por Hermión Larios. Ingeniería Hidráulica en México. Abril-mayo-junio, 1952. Vol. VI, N° 2, pp. 14-23.
- ¹³ *A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analysis*. Arthur M. Piper. Trans. Amer. Geoph. Union. (Secc. Hydr), pp. 914-923. Washington, D. C., 1944.
- ¹⁴ *Geología económica de los valles de San Vicente y de San Marcos, Coah.*, por Raúl Lozano García. An. del Inst. Geol. T. X, 1951.
- ¹⁵ *The geochemical interpretation of water analysis*, Chase Palmer U. S. Geol. Survey. Bull. 479, 1911.