

CLASIF.....
ADQUIS..... F-x-~~918~~
FECHA.....
PROCED.....

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

ANALES
DEL
INSTITUTO DE GEOLOGIA

TOMO XII

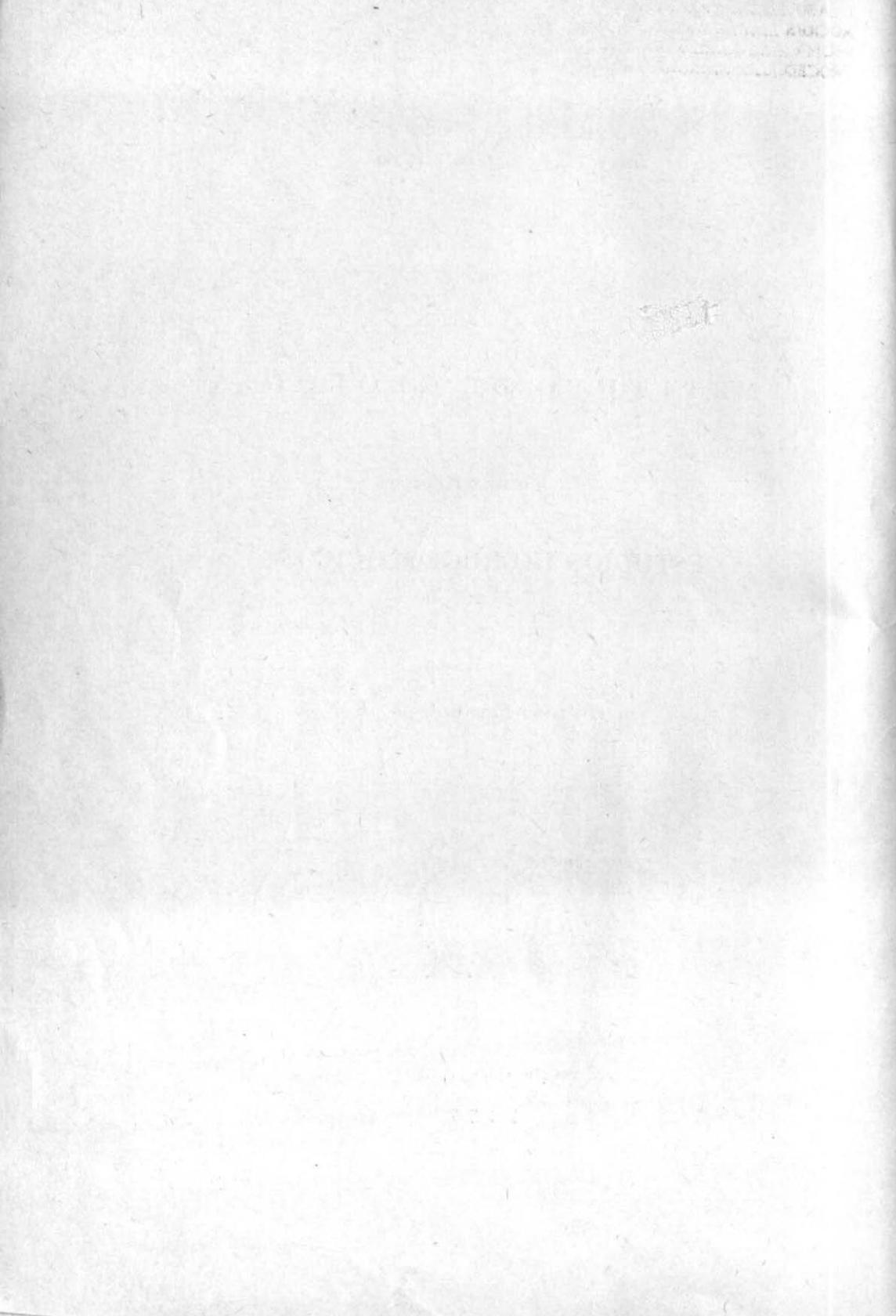
ESTUDIOS HIDROGEOLOGICOS

POR
EL GEÓLOGO LUIS BLÁSQUEZ L.



MEXICO, D. F.

1957



CONTENIDO

	Pág.
Hidrogeología de una parte del valle de Tehuacán, Edo. de Puebla.	9
Localización de la región estudiada	9
Vías de comunicación	10
Fisiografía	12
Sierra de Tehuacán	15
Sierra de Acultzingo	17
Sierrita del Monumento	17
Planicie de Tehuacán	20
Plan de Zapotitlán	22
Hidrografía	25
Geología	25
Rocas	25
Andesita	25
Basalto	25
Areniscas	27
Lutitas	27
Calizas	27
Margas, arcillas y areniscas	27
Conglomerados	27
Aluviones, arcillas y arenas	27
Tobas, calizas y travertinos	27
Gneis	27
Esquistos	27
Superposición	28
Tectónica	30
Bosquejo de la Geología Histórica	35
Hidrología Subterránea	35
Clima	37
Manantiales	39
Pozos	39

	Pág.
Galerías	41
Infiltración	45
Circulación del agua subterránea	47
Acuíferos	48
Calidad del agua	48
Explotación	53
Conclusiones	55

Ilustraciones

Fot. N ^o 1. Planicie de Tehuacán, vista desde Xochitlalpan hacia Chilac	12
Fot. N ^o 2. Planicie de Tehuacán hacia Chapulco	13
Fot. N ^o 3. Cañada de Chapulco, colgante respecto al valle de Tehuacán	14
Fot. N ^o 4. Sierra de Acultzingo, vista desde San Lorenzo hacia Acoquizco	16
Fot. N ^o 5. Sierra de Acultzingo, vista desde San Marcos hacia el C. de Santa Ana	16
Fot. N ^o 6. Laguna Núm. 1 o de El Llano, a la altitud de 2,560 m.	23
Fot. N ^o 7. Lagunilla de Nahualapa a la altitud de 2,627 m. . .	24
Fot. N ^o 8. Laguna Núm. 3 o Grande, vista con rumbo N 20° W.	24
Fot. N ^o 9. Laguna Grande mostrando dos circos muy francos	26
Fot. N ^o 10. Laguna Chica o Núm. 4	26
Fot. N ^o 11. Cerros de Sta. Ana y de Xochitlalpan, mostrando estratificación casi horizontal	29
Fot. N ^o 12. Cerro de Xochitlalpan, mostrando capas de areniscas casi horizontales	30
Fot. N ^o 13. Meseta de El Riego, vista desde Coapan hacia El Riego	32
Fot. N ^o 14. Meseta de El Riego a 3 Km. al N. de San Lorenzo	33
Fot. N ^o 15. Entrada lateral a la galería del E. de Chapulco . . .	41
Fot. N ^o 16. Tajo de Sta. Ana, al SW de Chapulco	42
Fot. N ^o 17. "Tecoate" en El Riego	42

Mapas

Carta del valle de Tehuacán	11
Carta geológica del valle de Tehuacán	34

Plano de las galerías de alumbramiento de aguas subterráneas de Tehuacán	44
II. Hidrogeología de la cuenca superior de los ríos Jamapa, Atoyac y una parte del Blanco.	
Localización de la región estudiada	57
Fisiografía	57
Hidrografía	59
Geomorfogenia	62
Obras hidráulicas	63
Geología	63
Rocas	63
Andesitas	63
Basalto	63
Brechas y arenas basálticas	63
Travertino	63
Pedernal	64
Calizas	64
Pizarras arcillosas	64
Arcillas	64
Areniscas	64
Arenas	64
Aluviones	64
Tilitas y aglomerados	64
Consideraciones estructurales	65
Rocas marinas	66
Rocas ígneas	70
Depósitos continentales	70
Geología histórica	73
Hidrología subterránea	79
Datos meteorológicos	79
Infiltración	80
Manifestaciones acuíferas	82
Emergencias	82
Pozos	85
Condiciones de las aguas subterráneas	85
Circulación	85

	Pág.
Acuíferos	88
Calidad del agua	92
Explotación	93
Conclusiones	94

Ilustraciones

Fot. N ^o 1. Tilitas con arcillas cerca del puente de San Miguel. Carretera Orizaba-Córdoba, Ver.	65
Fot. N ^o 2. Anticlinales en las pizarras. Carretera Orizaba, Córdoba, Ver.	66
Fot. N ^o 3. Pizarras cerca de Cuautlalpan. Carretera Orizaba-Córdoba, Ver.	67
Fot. N ^o 4. Anticlinal en calizas alternando con pizarra. Carretera Orizaba-Córdoba, Ver.	67
Fot. N ^o 5. Capas de pliegues cerrados en posición inclinada. Carretera Orizaba-Córdoba, Ver.	68
Fot. N ^o 6. Pliegues cerrados cerca de Las Cumbres. Carretera Orizaba-Córdoba, Ver.	68
Fot. N ^o 7. Alternancias de depósitos acuoglaciales cerca de Fortín, Ver. Carretera Orizaba-Córdoba, Ver.	72
Fot. N ^o 8. Alternancias de depósitos acuoglaciales, cerca de Fortín, Ver.	72
III. Hidrogeología del túnel del Lerma y zonas inmediatas. Monografía hidrogeológica de las obras de captación del Lerma. Hidrogeología del túnel del Lerma, Méx.	
Localización y descripción general de las obras	97
Fisiografía	101
Hidrografía	102
Geología	105
Rocas	105
Andesitas	105
Tobas andesíticas	105
Brechas andesíticas	105
Arenas y cenizas andesíticas	105
Basaltos	106

	Pág.
Aglomerados basálticos	106
Arenas y cenizas basálticas	106
Conglomerados	106
Petrografía	106
Estructuras	112
Hidrología externa	126
Clima	126
Escurrimiento	128
Hidrología subterránea	130
Manantiales	130
Pozos	131
Captaciones	132
Túnel del Lerma	132
Construcción de las obras	134

Ilustraciones

Fot. N° 1. Brechas andesíticas a la entrada del túnel del Lerma	114
Fot. N° 2. Acueducto del Lerma. Nivel 2,491.900, cerca de Las Palmas	114
Fot. N° 3. Acueducto del Lerma. Nivel 2,469.20, cerca de Ajo-lotes	116
Fot. N° 4. Tajo del Zapote, lado norte a 40 m. de la presa	116
Fot. N° 5. Nivel 2,421.60, cerca caja reposo río Borracho	117
Fot. N° 6. Nivel 2,469.2 cerca de Ajolotes, parte E. del cauce relleno	117
Fot. N° 7. Nivel 2,469.2 cerca de Ajolotes, parte W. del cauce relleno	118
Fot. N° 8. Nivel 2,421.70 a 1 Km. de la planta del río Borracho	118
Fot. N° 9. Lomas al N. del río Hondo, desde El Obraje	119
Fot. N° 10. Lomas al N. del río Hondo, desde la salida del túnel del Apagón	119
Fot. N° 11. Corte de la salida del túnel a La Cebada	120
Fot. N° 12. Nivel 2,421.5 cerca de la caja de Las Palmas	120
Fot. N° 13. Falla a la entrada del túnel de Las Brujas, distancia 39,114	121

	<u>Pág.</u>
Fot. N° 14. Nivel 2,421.6 a 1.5 Km. de la planta del río Borracho	121
Fot. N° 15. Nivel 2,421.9 a 0.9 Km. de la planta del río Borracho	122
Fot. N° 16. Nivel 2,315.4 cerca de la planta de Las Palmas	123

Mapas

Plano y perfil de las obras de captación del Lerma

IV. Hidrogeología de la región de Doblones, Coah.

Consideraciones fisiográficas	139
Consideraciones geológicas	140
Rocas	140
Formaciones	140
Geohidrología	142
Clima	142
Esguerrimiento	143
Infiltración	145
Acuíferos	146
Explotación	147
Conclusiones	147

Mapas

Cuenca de los ríos Nadadores y Monclova, afluentes del río Salado	148
---	-----

HIDROGEOLOGIA DE UNA PARTE DEL VALLE DE TEHUACAN, ESTADO DE PUEBLA

Por el Geólogo LUIS BLÁSQUEZ L.

LOCALIZACION DE LA REGION ESTUDIADA

La región estudiada pertenece a los ex distritos de Tehuacán y Tecamachalco, del Estado de Puebla. Se halla comprendida entre los 97°05' y 97°45' W, del meridiano de Greenwich, y los 18°08' y 18°50', de latitud norte. Pertenecen a la subcuenca del río Salado o de Tehuacán, de la cuenca del río Papaloapan y colinda por el N y W, con la subcuenca del río de Acatlán o Mixteco, de la cuenca del Balsas y, por el E, con la cuenca del río Blanco. Está limitada, al W, por una parte-aguas continental, entre las vertientes del Golfo de México y el Océano Pacífico y, al E, por la sierra de Acultzingo. Su parte baja se encuentra por Tilapa, a unos 880 m. de altura sobre el nivel del mar y su parte más alta por Esperanza, a 2,454 m. de altitud.

Su longitud mayor es de 90 Km. y su amplitud máxima de 60 Km., abarcando una superficie de 3,303 Km.², aproximadamente.

VIAS DE COMUNICACION

Recorre, la región, casi en su línea media, longitudinalmente, la vía del Ferrocarril Mexicano del Sur, de Puebla a Oaxaca, con las estaciones de Tlacotepec a 88 Km. de Puebla; Tepanco, 105 Km.; Carnero, 119 Km.; Tehuacán, 128 Km.; La Huerta, 142 Km.; Sánchez, 149 Km.; Pantzingo, 160 Km.; Altepexi, 162 Km.; San Sebastián, 167 Km.; Nopala, 174 Km.; Venta Salada, 181 Km., y Aldama 193 Km.

El ramal de Tehuacán a Esperanza, entronca con el Ferrocarril Mexicano y tiene las siguientes estaciones: Tehuacán, 0 Km.; Garci Crespo, Miahuatlán, 11 Km.; El Carmen, 16 Km.; Cabras, 19 Km.; Llano Grande, 24 Km.; La Defensa, 31 Km.; Cañada, 34 Km.; San Antonio Soledad, 42 Km.; El Salado, 43 Km., y Esperanza, 51 Km.

Los siguientes son los caminos carreteros de la región:

Puebla-Tehuacán, en un tramo de unos 70 Km., de Tecamachalco a Tehuacán. Pasa por Tlacotepec, Cacaloapan y Tepanco.

Esperanza-Tehuacán, que casi sigue la vía del ramal del mismo nombre.

Orizaba-Tehuacán, en un tramo de unos 32 Km., de Acultzingo a Tehuacán y pasa por Puente Colorado, Azumbilla, Chapulco y Santa Ana.

Tecamachalco-Esperanza, de 48 Km., que pasa por Venta, San Gregorio, Toluquilla, Tochapa, Xaltepec, Palmar de Bravo, Rancho del Tanque, Cuesta Blanca, Encrucijada y Hda. Esperanza.

Palmar de Bravo-Acultzingo, tramo del antiguo camino de México a Veracruz, de 26 Km., que pasa por Cañada Morelos y Cerro Gordo.

Tepanco-Miahuatlán, de 14 Km., que pasa por Magdalena Cuayucatepec.

Tehuacán-Zapotitlán Salinas, carretera de reciente construcción, de unos 20 Km. de desarrollo y que pasa por San Antonio Texcalan.

Tehuacán-Tilapa, de unos 60 Km., que pasa por San Diego Chalma, La Huerta, San Pablo Tepetzingo, Santa Cruz, Patzingo, Zinacatepec, Calipan, Dolores y San Rafael.

Ajalpan, Necoxcalco, San Antonio Cañada, Santa Catarina, Lagunas, Santa María del Monte. Además, hay pequeños tramos de caminos carreteros, como los de Santa Ana a Miahuatlán, El Carmen a Chapulco, El Carmen a Magdalena Cuayucatepec por Tecajete, Tehuacán a El Riego, Tehuacán a Zinacatepec por Coapan, San Marcos, Chilac, y San José Michuatlán; Santa Cruz a Axalpan y Zinacatepec, Venta Salada a Coxcatlán, y varios otros caminos de menor importancia.

Los caminos de herradura son muy numerosos. Los principales son: de Tehuacán a San Felipe Maderas, de unos 25 Km.; de Tehuacán a Huajuapán de León, pasando por Zapotitlán Salinas; de Axalpan a Santiago Tehuipango; de San Antonio Cañada a Vicente Guerrero (Santa María del Monte); de Calipan a San Sebastián Alcomunca y a Zoquitlán; de Coxcatlán a Coyomeapan, y finalmente, de Chapulco a San Felipe Maderas.

FISIOGRAFIA

El relieve de la región, aunque bastante complicado, puede ser descrito muy brevemente; se trata de un valle asimétrico, normal, orientado de NW a SE, bordeado, por su lado izquierdo o del NE, por la sierra de Acultzingo y por su lado derecho o del SW, por la sierra de Tehuacán. La longitud de este valle es de unos 87 Km., en la parte estudiada, con-

tados desde su origen y, su amplitud media, de 50 Km., correspondiendo 25 a la sierra de Acultzingo, 10 a la planicie que ocupa el fondo del valle y 15 a la sierra de Tehuacán.

La planicie, que es bastante angosta, desciende hasta cerca de Tehuacán, con pendiente de 4.4 a 12.5 m. por kilómetro, en seguida, se encuentra una zona de inclinación pronunciada, con algunas rupturas, que determinan escarpas de 3 a 40 m. de altura, descendiendo desde la altitud de 1,650 m. hasta la de 1,170 m., en unos 20 Km., con pendientes hasta de 43 m. por kilómetro; desde Chilao, por el W, San José Miahuatlán, por el centro y Zinacatepec por el E, se inicia un plano inclinado, bastante regular, con pendiente de 15.8 m. por kilómetro, que baja hasta 870 m. de altitud (Fot. 1).

A la planicie de Tehuacán concurren, por el NE, las de Cañada Morelos, que desciende desde la altitud de 2,454 m., por Esperanza, hasta 1,884 m. por el Carmen, con una pendiente de 17.8 m. por kilómetro; y de Chapulco (Fots. 2 y 3), que desciende desde los 2,135 m. hasta 1,880 m., con una pendiente de 18.2 m. por kilómetro. Por el SW, la cañada de Zapotitlán está separada de la planicie, por el profundo cañón de Tiltico.

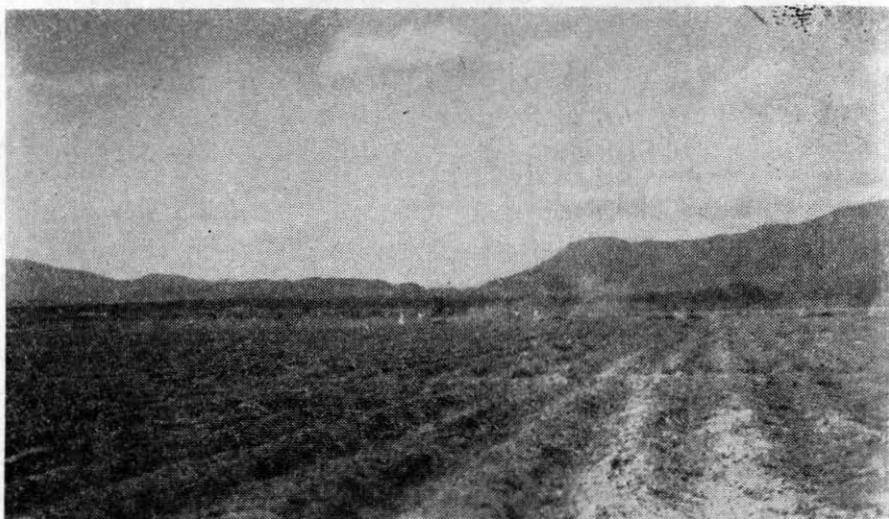
Sierra de Tehuacán. Por lo que muestran las cartas geográficas, parece que esta sierra no pertenece realmente a la Sierra Mixteca, por más que entronca con ella.



Fot. 1.—Planicie de Tehuacán vista desde Xochitlalpan hacia Chilac.



Fot. 2.—Planicie de Tehuacán hacia Chapulco.



Fot. 3.—Cañada de Chapulco, colgante respecto al valle de Tehuacán.

Lo que habrá de resolver la identidad de la sierra, es la correcta planificación o el reconocimiento detenido de toda la unidad, mientras tanto, sólo pueden presentarse apreciaciones sobre los rasgos orográficos de cartas, seguramente muy malas; pero que en accidentes de tal magnitud es posible que den una idea aproximada a la realidad.

En la parte sur oriental de la República, se nota una importante parte-aguas, con ligeras ondulaciones, sustentada en una recta de unos 620 Km., con rumbo $N65^{\circ}W$, que parte desde la línea divisoria con Guatemala, cerca de V. Tacana y llega a 6 Km. al E de Tamasulapa, Oax. Se sabe que dicha parte-aguas corresponde a una importante sierra, que es la conocida con el nombre de Sierra Juárez. Cerca de Tamasulapa, se encuentra el entronque de la Sierra Juárez, con la Sierra Mixteca, que tiene una longitud de 170 Km., desde Ixtayutla, Oax., hasta Mezquitilán, Oax., en el paralelo 18° , con rumbo $N9^{\circ}E$. En este punto está el vértice de un ángulo, pues el rumbo cambia a $N33^{\circ}W$, motivo por el que se considera a esta última porción como una sierra distinta, para la que se propone el nombre de sierra de Tehuacán, que tiene una longitud de 120 Km. hasta cerca de Amozoc, Pue.

La parte que se estudió tiene rumbo medio $N35^{\circ}W$ y 80 Km. de longitud y queda comprendida entre los 40 y 120 Km., a partir del extremo NW, cerca de Amozoc. En esta porción, las ondulaciones de la cresta en un plano horizontal, son bruscas y pronunciadas, formando

dos salientes principales que se apartan de la línea media 25 y 15 Km. al W, para alojar a los valles de Zapotitlán y Santa María Alta, respectivamente. Se consideran como de fisonomía distinta, cuatro zonas: la primera, al NW, entre los cerros Tequizotepetl y el Coatepetl, formando un anfiteatro muy abierto de lomeríos relativamente bajos, con su eje casi normal a la línea media de la sierra; la segunda, entre los cerros Coatepetl y Santa María, comprendiendo el vallecito de Nopalapan, también transversal; la tercera, entre los cerros Santa María y Moral, abarcando los valles de Texcalan y Zapotitlán, diagonales respecto de la línea media y donde se encuentran las elevaciones de mayor altura; y la cuarta, de vertientes reducidas de cursos transversales e independientes, con elevaciones de poca importancia, entre los cerros Moral y Campana.

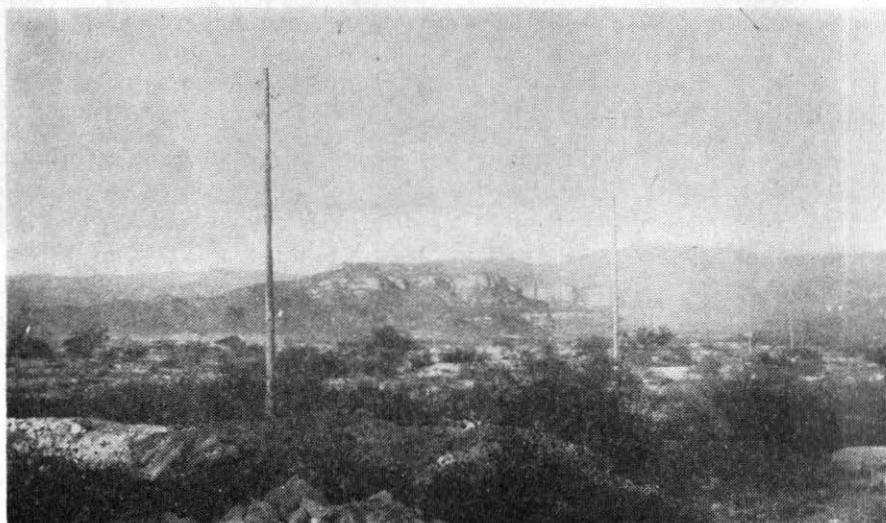
Como contrafuertes principales se mencionarán el de Teocali, que parte del cerro Coatepetl y llega a Teocali; y el de Chacatecatl, que tronca en el cerro Santa María o Chacatecatl y comprende los cerros Ventanilla, Xonacatepetl y Tecuantepetl. Del cerro Xonacatepetl se desprende un "brazo" diagonal, respecto al contrafuerte, que comprende el cerro Tarántula y, limitando por el N, el valle de Zapotitlán, llega cerca de Xoco al W de Chilac. Entre este brazo y las elevaciones correspondientes a los cerros Moral y Cumunoua, se forma el cañón de Tilitico. En realidad, el brazo del contrafuerte está comprendido entre el cerro Xonacatepetl y el Tarántula, porque el cambio de dirección que sufre, a partir de este último cerro, hace considerar como una "rama" la porción casi normal al brazo y, por consiguiente, paralela al contrafuerte, al E del cerro Tarántula, que da lugar a la formación del valle de Texcalan, entre el contrafuerte y la rama.

Sierra de Acultzingo. Estudios posteriores, más completos, definirán la identidad de esta sierra. Provisionalmente se considerará como una unidad fisiográfica de 60 Km. de longitud, con rumbo $N72^{\circ}W$, que se inicia por el SE, cerca de Acatlán, Ver., y termina a 6 Km. al W de Acultzingo.

En la región, la sierra de Acultzingo (Fots. 4 y 5) se extiende, a partir de su extremo W, hacia Acatlán, unos 46 Km., con rumbo medio $S48^{\circ}E$. Su cresta traza, en un plano horizontal, sinuosidades bruscas, aunque de poca amplitud relativa. Las altitudes mayores están comprendidas entre 2,500 y 2,700 m. sobre el nivel del mar. Como contrafuerte de la sierra pueden citarse a los de Cerro Gordo, Ahuatlampa, Piñones y Telpatláhuac. Estos dos últimos tienen importantes "brazos", como puede apreciarse en el esquema fisiográfico.



Fot. 4.—Sierra de Acultzingo vista desde San Lorenzo hacia Acoquiaco.



Fot. 5.—Sierra de Acultzingo vista desde San Marcos hacia el C. de Santa Ana.

Sierrita del Monumento. Esta pequeña unidad, prácticamente aislada (Fot. 2), está compuesta de un cuerpo principal, con su línea media de 15 Km., con rumbo N26°E, entre los cerros Ocotepetl y Tehuizotl. De uno y otro extremos parten contrafuertes hacia el NW, que terminan en los cerros de Tecamachalco, con una extensión de 36 Km. y cerca de Tepalcaula, con una longitud de 17 Km., respectivamente. Es de hacer notar que el contrafuerte Tehuizotl se halla en la prolongación hacia el NW del eje de la sierra de Acultzingo y que el contrafuerte Ocotepetl, que se halla al S del anterior, le es sensiblemente paralelo. En consecuencia, puede creerse que la sierra de Acultzingo continuaba hasta cerca de Tepalcaula o quizá, más al NW, siendo en ese caso, un contrafuerte la actual sierrita del Monumento y un "brazo", su contrafuerte Ocotepetl.

En el interior del valle, se encuentran elevaciones aisladas en forma de pequeños cerros o lomeríos, de más o menos altura, así como otras elevaciones ligadas con las sierras que bordean el valle. Entre las primeras, pueden citarse al notable cerrito de Tlacotepec, los cerritos de San Andrés, entre San Marcos y San Andrés, los lomeríos de Coyocoltepetl y al cerrito de San Pedro Xaltitica. Entre las segundas son de mencionarse los lomeríos de Cilocingo y Cacalotepec; los de Arcogtitla, que comprenden numerosos cerritos, como los de Potrero, Bolaños, Chichicaxtla, Tlaxitla, Cerro Morado, Peña Blanca, Tepemecate, Tecolochocaque, Mochichino, Nopalantzi, Huaxtla, Atlapexco y Tepezala; las elevadas mesas de Tepetroja; los lomeríos de Petlanco y Huaucingo; y los de La Escalera.

Tratadas brevemente las elevaciones principales, seguirán las depresiones y accidentes del interior del valle.

Planicie de Tehuacán. Se consideran cuatro unidades negativas principales: la planicie de Tehuacán y las cañadas Morelos, Chapulco y Zapotitlán.

La planicie de Tehuacán se liga, de una manera inapreciable, por el NW, con la planicie de Tecamachalco, con su parte-aguas entre Presa y Animas, que divide las corrientes que concurren a la depresión del Valsequillo, cercana a Santa Inés, de las que fluyen hacia Tlacotepec y Tehuacán.

Pueden distinguirse en la planicie tres zonas: una alta, una intermedia y una baja. La zona primera, tiene una pendiente media de 0.8%, variando de 0.44 a 1.25%. Los siguientes datos ilustran las relaciones de altitud y pendiente:

Perfil longitudinal de la parte alta de la planicie de Tehuacán.

LINEA DEL PERFIL	Altitud 1	Distancia al origen 2	Longitud línea 3	Diferencia de nivel m. 4	Pendiente % 5
Parte-aguas-Tlacotepec.....	2 045	9.0	9.0	40.0	0.44
Tlacotepec-Cañada Blanca.....	2 005	20.4	11.4	120.0	1.05
Cañada Blanca-Tepanco.....	1 885	26.0	5.6	70.0	1.25

1. Altura sobre el nivel del mar del primer punto de la línea.
2. Distancia al origen del segundo punto de la línea.
3. Distancia entre los puntos extremos de la línea.

LINEA DEL PERFIL	Altitud 1	Distancia al origen 2	Longitud línea 3	Diferencia de nivel m. 4	Pendiente % 5
Tepanco-Mpio. San Lorenzo.....	1 815	40.0	14.0	149.0	1.06
Mpio. San Lorenzo-Tehuacán.....	1 666	46.0	6.0	36.0	0.60
Tehuacán.....	1 630				

Perfil longitudinal de la planicie de Cañada Morelos.

LINEA DEL PERFIL	Altitud 1	Distancia al origen 2	Longitud línea 3	Diferencia de nivel m. 4	Pendiente % 5
Esperanza-Piletas.....	2 454	6.2	6.2	134.0	2.16
Piletas-Cañada-Morelos.....	2 320	15.6	9.4	50.0	0.53
Cañada Morelos Llano Grande.....	2 270	25.4	9.8	181.0	1.85
Llano Grande-El Carmen.....	2 089	33.5	8.1	205.0	2.53
El Carmen-Santiago Miahuatlán.....	1 884	37.9	4.4	99.0	2.25
Santiago Miahuatlán.....	1 785				

Perfil longitudinal del plan de Chapulco.

LINEA DEL PERFIL	Altitud 1	Distancia al origen 2	Longitud línea 3	Diferencia de nivel m. 4	Pendiente % 5
Puente Colorado-Ozumbilla.....	2 135	5.0	5.0	135.0	2.70
Ozumbilla-Chapulco.....	2 000	8.0	3.0	30.0	1.00
Chapulco-Santa Ana.....	1 970	15.0	7.0	120.0	1.71
Santa Ana.....	1 850				

La planicie de Cañada Morelos se liga, por el N, con la gran planicie Esperanza-San Martín-Oriental, quedando comprendida entre la sierrita del Monumento, por el W y el contrafuerte Cerro Gordo, de la sierra de Aculzingo, por el E.

El plan de Chapulco queda comprendido entre los contrafuertes de Cerro Gordo y Ahuatlampa, estando separado de la planicie de Tehuacán por un escalón bien marcado (Fot. 3).

La zona intermedia de la planicie de Tehuacán está comprendida entre El Riego, Tehuacán y Acoquiaco por el N y Chilac, San José Miahuatlán y Zinacatepec por el S. Es una zona con varias rupturas de pendiente, que determina tres terrazas: la primera entre el cerrito San Andrés, el manantial Cosahuatl y Santa Ana Cruz, a una altitud, en su pie, de 1,360 m.; la segunda, a una altitud, en su pie, de 1,270 m., cerca de Altepexi, Patzinco y Buenavista; y la tercera, entre Voco, Chilac, el manantial Axocotzingo, Matanza Vieja, el manantial Coyoatl y Zinacatepec, a la altitud, en su pie, de 1,170 a 1,190 m.

Estas terrazas tienen alturas de 3 a 20 m. en sus bordes y sus cortes llegan a ser verticales en algunos lugares aunque, en otros, los declives son muy suaves, dando lugar a pendientes un poco más pronunciadas que las generales.

Los siguientes datos corresponden a perfiles longitudinales de la zona intermedia de la planicie.

Perfil longitudinal occidental, zona intermedia.

LINEA DEL PERFIL	Altitud 1	Distancia al origen 2	Longitud línea 3	Diferencia de nivel m. 4	Pendiente %
El Riego-Coapan.....	1 700	2.6	2.6	95	3.65
Coapan-San Marcos.....	1 605	8.0	6.0	155	2.59
San Marcos-borde alto, 1er.....	1 450	10.0	2.0	80	4.00
Borde alto-Cosahuatl.....	1 370	10.02	0.02	10	50.00
Cosahuatl-borde alto 2o.....	1 360	13.62	3.6	70	1.94
Borde alto, 2o.-Pie 2o., terraza...	1 290	13.64	0.02	20	100.00
Pie 2o., terraza-borde alto 3o.....	1 270	17.44	3.80	10	0.26
Borde alto, 3o.-Axocotzingo.....	1 260	17.44	0.001	4	400.00
Axocotzingo.....	1 256				

Perfil longitudinal zona intermedia.

LINEA DEL PERFIL	Altitud 1	Distancia al origen 2	Longitud línea 3	Diferencia de nivel m. m.	Pendiente %
Tehuacán-Chalma.....	1 635	4.00	4.00	80	2.00
Chalma-La Huerta.....	1 555	6.20	2.20	95	4.32
La Huerta-Sta. Ana Cruz.....	1 460	9.10	3.10	65	2.10
Sta. Ana Cruz-Pie 1, terraza.....	1 395	9.14	0.04	35	87.50
Pie 1 terraza-borde alto 2o.....	1 360	15.14	6.00	70	1.17
Borde alto 2o.-Atzompa.....	1 290	15.19	0.05	20	40.00
Atzompa-borde alto 3o.....	1 270	22.09	6.90	95	1.38
Borde alto 3o.-Coyoátl.....	1 175	22.11	0.02	5	25.00
Coyoátl.....	1 170				

En cuanto a la zona baja de la planicie, se extiende al pie de la terraza 3ª o de Chilao, hacia el S, sin que sea posible señalar su límite, porque el estudio abarcó solamente hasta Tilapa. La característica principal de esta parte de la planicie es que, en ella, se levantan importantes elevaciones aisladas, en forma de lomeríos que alcanzan hasta 8 Km. de longitud, como son las mesas de Tepetroja. Los siguientes son los datos correspondientes a su perfil longitudinal, casi siguiendo la vía del ferrocarril.

Perfil longitudinal de la parte baja de la planicie de Tehuacán.

LINEA DEL PERFIL	Altitud 1	Distancia al origen 2	Longitud línea 3	Diferencia de nivel m. m.	Pendiente %
Coyoátl-Confluencia Comulco....	1 170	6.8	6.8	180	2.64
Confl. Comulco-Venta Salada.....	990	10.6	3.8	40	1.05
Venta Salada-San Rafael.....	950	20.6	10.0	80	0.80
San Rafael-Tilapa.....	870			0	0.00
Tilapa.....	870				

Plan de Zapotitlán. Esta extensión, angosta y alargada, no merece el calificativo de planicie y no forma parte de la planicie de Tehuacán, porque está separada de ella por el cañón de Tiltico.

El siguiente es su perfil longitudinal.

LINEA DEL PERFIL	Altitud 1	Distancia al origen 2	Longitud línea 3	Diferencia de nivel m. m.	Pendiente %
S. Juan Raya-Corral de Piedra....	1 740	3.7	3.7	70	1.89
Corral de Piedra-Zapotitlán.....	1 670	12.2	8.5	170	2.00
Zapotitlán-Salinas S. Martín.....	1 500	15.2	3.0	90	3.00
Salinas San Martín.....	1 410				

Para terminar se consigna la superficie ocupada por los distintos accidentes topográficos de que se ha hecho mención; cuya relación es la siguiente:

	Km. ²	Porcentaje
Elevaciones.....	2 761.9	81.8
Planicies.....	615.1	18.2
	3 377.0	100.0

ELEVACIONES.	Km. ²	Porcentaje parcial.	Porcentaje en el total.
Sierra de Acultzingo.....	1 073.9	38.9	31.8
Sierra de Tehuacán.....	741.2	26.8	21.9
Lomas marginales.....	599.8	21.7	17.8
Sierrita del Monumento.....	281.0	10.2	8.3
Mesas de Tepetroja.....	66.0	2.4	2.0
	2 761.9	100.0	81.8

LOMAS MARGINALES.	Km. ²	Porcentaje parcial.	Porcentaje en el total.
De la planicie de Tehuacán.....	368.6	61.5	10.9
De la planicie de Zinacatepec.....	155.5	25.9	4.6
De la planicie de la zona de terrazas.....	39.9	6.6	1.2
De la planicie de Cañada Morelos.....	19.4	3.3	0.6
De la planicie de Chapulco.....	16.4	2.7	0.5
	599.8	100.0	17.8

PLANICIES.	Km. ²	Porcentaje parcial.	Porcentaje en el total.
Tehuacán.....	168.3	27.4	5.0
Zinacatepec.....	156.6	25.4	4.7
Zona de terrazas.....	112.5	18.4	3.3
Cañada Morelos.....	99.5	16.2	2.9
Zapotitlán.....	53.8	8.7	1.6
Chapulco.....	14.4	2.3	0.4
Tecajete.....	10.0	1.6	0.3
	615.1	100.0	18.2

El plan de Tecajete queda enclavado en la sierrita del Monumento, al W de El Carmen y NE de Tepanco y, probablemente, corresponde a un antiguo "polje", lo mismo que el anfiteatro de San Luis Chochos, inmediato, y al NW del plan de Tecajete.

Hidrografía. La región estudiada pertenece a la cuenca del río Papaloapan, que tiene 38,739 Km.².

Los índices correspondientes a este río son los siguientes:

R I O	I N D I C E S					Area Km ²	Desarrollo Km	Desnivel Km
	Cate-górico	Especí-fico	Erosivo	Recorrido	Drenaje			
Papaloapan.....	9.5	7.10	8.45	1.81	134	38.739	290	2.450

El arroyo de Tehuacán es afluente del río Papaloapan, uniéndosele entre Tecomavaca y Quistepec, del Estado de Oaxaca. En la parte baja de su curso, desde cerca de Dolores, al S de Calipan, se le conoce con el nombre de río Salado. Los siguientes son los índices correspondientes a este curso:

C U R S O	I N D I C E S					Area en Kms. ²	Desarrollo en Kms.	Desnivel en Kms.
	Cate-górico	Especí-fico	Erosivo	Reco-rrido	Drenaje			
Arroyo Tehuacán...	0.746	2.04	14.18	1.40	36.7	4 390	120	1.700
Parte estudiada....	0.342	1.12	23.20	1.21	31.0	2 140	69	1.700
Parte en la sierra...	0.006	1.17	36.40	1.07	3.4	75	22	0.800
Parte en la planicie.	0.166	0.38	17.04	1.10	44.0	2 065	47	0.800
Cañada Morelos...	0.023	0.33	13.40	1.25	6.9	349	50	0.670
Cañada Chapulco...	0.005	0.07	11.40	1.25	7.3	183	25	0.285
Cañada Zapotitlán.	0.034	0.48	13.34	1.09	7.1	427	60	0.800

Los índices categóricos muestran que únicamente el curso Tehuacán, colector principal en la región, puede llamarse arroyo.¹ Los cursos de las cañadas Morelos, Chapulco y Zapotitlán son arroyuelos subafluentes, habiendo también torrenteras de este orden.

Los índices erosivos indican que el río Papaloapan, al igual que su afluente Tehuacán, son jóvenes y que los subafluentes están "en la infancia", algunos de ellos son típicamente "de montañas". Los índices de recorrido indican que el río Papaloapan está compuesto de cursos, en parte, longitudinales y en parte, transversales, mientras que los demás cursos considerados no muestran anomalía en sus índices.

¹ Según las convenciones adoptadas en: "Algunos índices numéricos para la clasificación y estudio de los ríos." Bol. XI, Soc. Geol. Méx. 1941. Núm. 1-6.

Para juzgar con acierto de los valores que alcanzan los índices de drenaje, se necesitaría conocer el de los distintos ríos, que en formaciones geológicas de igual naturaleza, descienden de la Sierra Madre Oriental al Golfo de México. Considerando en este caso a los ríos Japapa y Blanco, índices 37 y 29, respectivamente, llama la atención que el Papaloapan tenga 134. El correspondiente al arroyo de Tehuacán es de 38, interviniendo en esto la importancia de los subafuentes, como los de Cañada Morelos, de Zapotitlán y otro inferior, cercano a la confluencia, en Quistepec. Los arroyuelos subafuentes tienen índices entre 6.9 y 7.3, mientras que las torrenteras alcanzan valores 2.0 y 3.5. La deficiente planificación de la región impide presentar los índices correspondientes al resto de los subafuentes, pues seguramente no serían ni siquiera aproximados; pero se puede formar una idea acerca de ellos, consultando el esquema hidrográfico adjunto.

En la parte alta de la planicie de Tehuacán, los cursos tienen corto recorrido y no están bien establecidos, pues las aguas fluyen en extensos "bajíos" y se pierden por infiltración, en gran parte, no llegando, sino por excepción al arroyo de Tehuacán. Cerca del manantial San Lorenzo, se formaba una laguna que se extendía hacia El Riego.

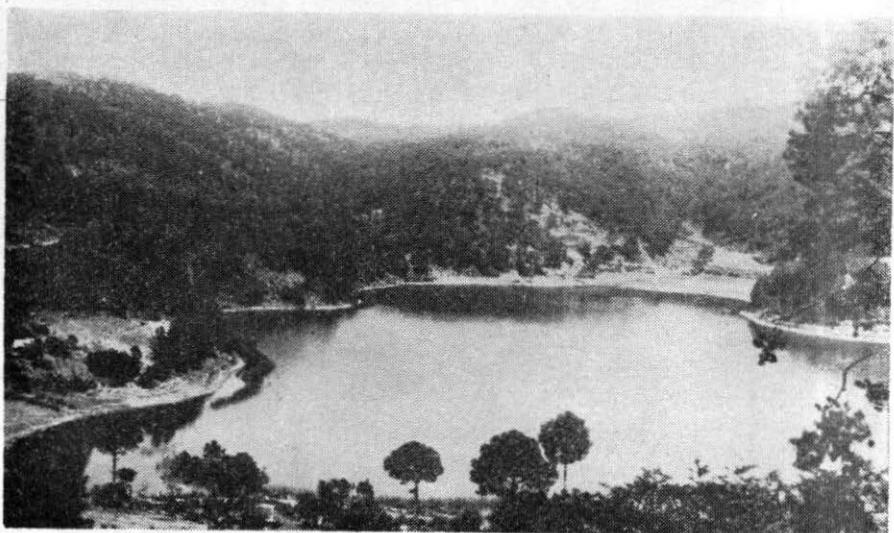
En las vertientes de las sierras, los fenómenos de pérdidas y resurgencias son muy frecuentes, encontrándose grandes resumideros o "dolinas", llamadas en la región "xihuicos" y amplias depresiones circula-



Fot. 6.—Laguna Núm. 1 o de El Llano, a la altitud de 2,560 m.



Fot. 7.—Lagunilla de Nahualapa a la altitud de 2,627 m.



Fot. 8.—Laguna Núm. 3 o Grande, vista con rumbo N20°W.

res que posiblemente correspondieron a "poljes", como las de San Luis Chochos y Tecajete.

Es notable la existencia de cuatro lagunas en San Bernardino, en lo alto de la sierra de Acultzingo, a las altitudes de 2,627, 2,560, 2,460 y 2,400 m. sobre el nivel del mar. La laguna Núm. 1 o de El Llano, a la altitud de 2,560 m. es la más alejada de San Bernardino Lagunas y es de fondo cenagoso (Fot. 6). La lagunilla de Nahualapa o Núm. 2, es bastante pequeña (Fot. 7). La laguna Núm. 3 o Grande, es muy interesante (Fots. 8 y 9) y la laguna Núm. 4 o Chica (Fot. 10), es la más baja y está separada de la Núm. 3 por un puerto de poca amplitud.

Todas estas lagunas están casi inmediatas y parecen estar situadas en un mismo valle, exceptuando la Núm. 1.

GEOLOGIA

Rocas. Existen rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas. Las rocas ígneas son: andesita y basalto; las sedimentarias, areniscas, pizarras arcillosas, calizas, tobas arcillo-arenosas, conglomerados, aluviones, arcillas y arenas; las metamórficas gneis y esquistos.

Andesita. De color rosado y textura porfirítica. Se encuentra en el cerro Ocelotze, cerca de San Bernardino Lagunas.

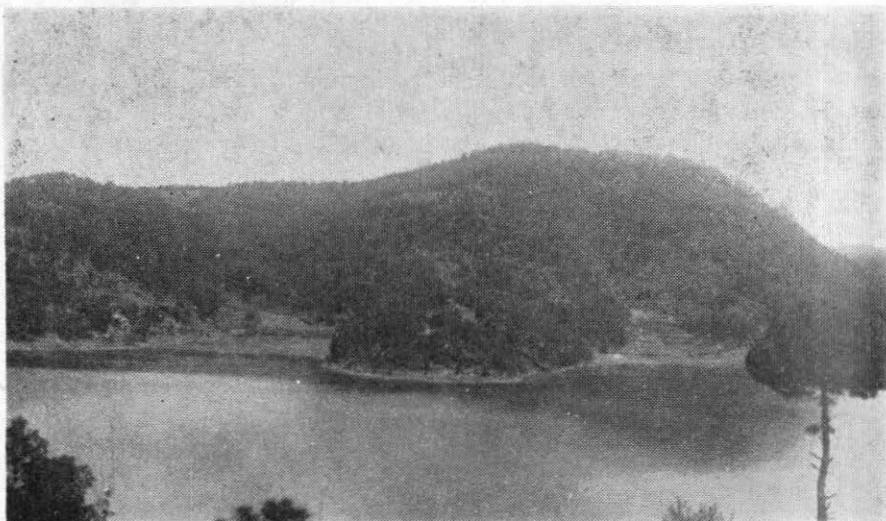
Basalto. De color negro, azulado y rojizo, con textura compacta, celular y escoriácea.

Se encuentra en el cerrito de Tlacotepec y con abundancia en la Cañada Morelos, cuyas corrientes llegan hasta las cercanías de la Hda. El Carmen; en Coayucatepec y en el subsuelo de la planicie de Tehuacán.

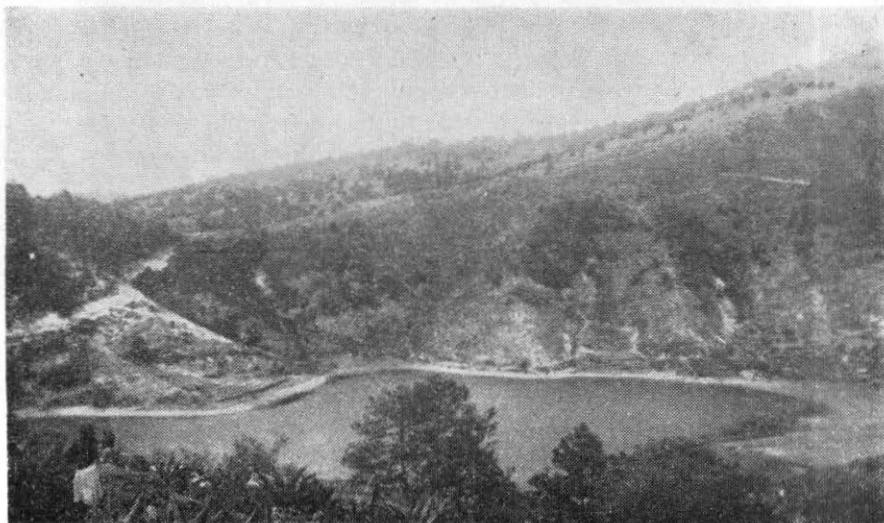
El cerrito Tlacotepec parece originado por una erupción y corresponder a un pequeño aparato volcánico. También se encuentra en la cañada de Zapotitlán.

Areniscas. De colores grises, verdosos, azulados y amarillentos, de grano fino y diversa capacidad. Se encuentran intercaladas en capas de espesores de 0.10 a 0.40 m. y formando estratos hasta de 50 m., entre las pizarras arcillosas, y también constituyendo formaciones de bastante potencia, inferiores a las pizarras arcillosas. Afloran en la sierra de Tehuacán, cerca de Texcalan, Zapotitlán y San Juan Raya y también en la sierra de Acultzingo, en las barrancas de San Ignacio y La Cañada.

Sobre las calizas se encuentran areniscas de menor compacidad que las anteriores, dispuestas con echado cercano a la horizontal, manifestándose en los alrededores de El Carmen, Tecajete, Calcahualco, San



Fot. 9.—Laguna Grande mostrando dos circos muy francos.



Fot. 10.—Laguna Chica o Núm. 4.

José Miahuatlán y, de una manera muy prominente, en los alrededores de Tetitlán, Axusco, San Rafael, Tilapa y las zonas de La Escalera.

Lutitas. De colores amarillentos, verdosos y violados. Se encuentran con diversos caracteres intercalados entre las areniscas y las calizas. Constituyen formaciones de importancia en la zona Tliltico-Agua Nueva y Coapan. Afloran en ambas sierras.

Calizas. De colores grises, azulados y amarillentos. Forman la mayor parte de las sierras que limitan el valle. Reposan sobre pizarras arcillosas y sobre areniscas, en estratificación concordante.

Margas, arcillas y areniscas. Se encuentran en el relleno del valle, alternando con diversos depósitos, dispuestas casi horizontalmente. Revisten singular importancia en las cañadas Morelos y Chapulco, así como en la parte alta del valle de Tehuacán.

Conglomerados. Son muy abundantes en la sierra de Acultzingo, apoyados sobre las calizas. Se encuentran también en la sierra de Tehuacán, en relación con dichas rocas. Constan de fragmentos calizos, cementados por materias arcillo-calcáreas.

En el relleno de los valles se encuentran alternando con tobas arcillo-arenosas y diversos acarreos.

Aluviones, arcillas y arenas. Alternando con tobas arcillo-arenosas, conglomerados y tobas calizas y travertinos, en el relleno del valle, en depósitos discontinuos, lenticulares y casi horizontales.

Tobas calizas y travertinos. Se encuentran en forma de depósitos angostos y alargados, llamados "tecoates", en estrecha relación con los cursos de agua, tanto superficial como subterránea.

En algunos lugares forman depósitos de gran volumen, como en las mesetas de El Riego y en la zona de las terrazas.

Gneis. En la zona de la sierra de Acultzingo, comprendida entre las barrancas de Coxcatlán y Tilapan, se encuentran afloramientos reducidos de esta roca, generalmente cubiertos por conglomerados compuestos de fragmentos gneísicos, cementados por arcillas rojizas. El gneis aparece surcado por vetillas cuarzosas y por diques aplíticos, con abundante mica muscovita.

Esquistos. De colores azulados, violados y verdosos, con abundantes granos de cuarzo. Se encuentran en muy reducidos afloramientos, cubiertos por conglomerados gneísicos, en la misma zona donde aparece el gneis.

Superposición. Las rocas descritas se encuentran en el siguiente orden de superposición: en la base se encuentran el gneis y los esquistos,

sobre ellos reposan conglomerados de fragmentos gneísicos; en seguida se encuentran, con inconformidad, lutitas, en cuya cima aparecen intercalaciones de areniscas, después, se encuentran lutitas, alternando con areniscas micáceas y bancos de calizas, sobre éstas, con estratificación concordante, reposan margas apizarradas yesíferas, con capas de caliza con pedernal y nódulo de calcedonia, que pasan a arcillas apizarradas, areniscas y aun conglomerados finos, de cemento calcáreo, arcilloso y margoso; vienen, después, calizas compactas con pedernal, con potencia muy considerable y, por último, los rellenos del valle, compuestos de areniscas y tobas arcillo-arenosas, tobas calizas, arcillas, aluviones, conglomerados y arenas, que alternan indistintamente.

Tectónica. Las formaciones de las pizarras, areniscas y calizas, han sufrido vigorosos esfuerzos de compresión, que las han plegado, fracturado y dislocado, aunque de diversa manera, debido a la diferente resistencia de las rocas.

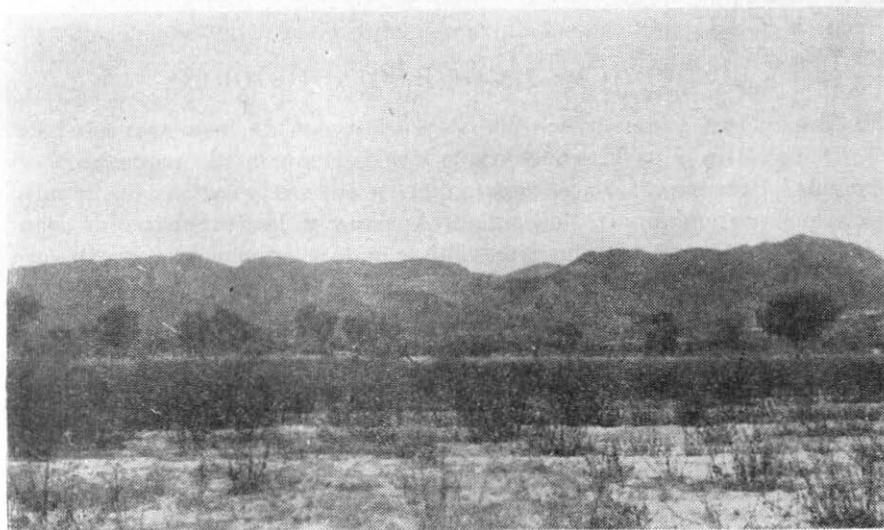
El cañón de Zapotitlán a Chilac, hasta Tliltico, ofrece un excelente campo para el estudio de la tectónica. En dicho cañón se observa, en Tliltico, un pequeño anticlinal, en las calizas compactas con cintas de pedernal, cuyo rumbo es N10°W. Se encuentran litoclasas, de alguna importancia, según el rumbo y el echado de las capas, aunque no se continúan con regularidad, por lo que son de clasificarse, en su mayor parte, como leptoclasas, y únicamente algunas, bastante separadas, orientadas según el echado de las capas, pueden clasificarse como diaclasas.

Existen numerosos plegamientos secundarios, algunos recostados hacia el W, cerrados, aun en las capas calizas, con fallas y aun *thrusts*, en sus vértices. Las fallas de saltos reducidos son muy abundantes. Las calizas, con estratos de cierta potencia, tienen plegamientos abiertos, de gran amplitud y solamente las calizas, con intercalaciones de pizarras, presentan pliegues más pronunciados, aunque no al grado que alcanzan las formaciones de pizarras o en las que predominan las mismas, pues en éstas se encuentran pliegues recostados en serie y superpuestos en el sentido vertical, apareciendo en los cerros como zigzags horizontales. Respecto al rumbo de las capas, varía tanto que, en muy cortas extensiones, pasa por todos los cuadrantes, pudiéndose notar ondulaciones muy fuertes y continuadas. Esta estructura tan complicada, se encuentra desde Paraje, hasta las salinas de San Gabriel, donde la formación de las pizarras alterna con gruesos bancos de caliza gris clara, generalmente muy fosilífera, en las que el rumbo y el echado de las capas es menos variable. Puede decirse que desde Tliltico hasta San Gabriel,

los echados al E dominan y desde ese lugar hasta cerca de San Juan Raya, los echados al SW.

Atendiendo a la naturaleza de los pliegues en las pizarras y formaciones donde éstas predominan, se considera imposible definir las estructuras principales de la región, pareciendo menos complicadas y mejor discernibles, las estructuras manifestadas por las calizas compactas y formaciones de estratos potentes de areniscas y bancos de calizas.

En la sierra de Acultzingo, las estructuras son también sumamente complicadas; pero puede creerse que sean de tipo isoclinal, con numerosos pliegues menores, algunos hasta de menos de un metro, como los que afectan a las lutitas. En la parte baja de la sierra inmediata a la planicie, se puede apreciar que las capas son casi horizontales (Fots. 11 y 12), dominando las areniscas en la base y encontrándose, arriba, calizas en gruesos bancos, como las del cerro Santa Ana; después, ascendiendo hacia la cresta de la sierra, se encuentran calizas sumamente plegadas, con capas en zigzags verticales y pliegues geniculados recumbentes. Los rumbos de las capas son cercanos al EW y los echados, tan variables, como corresponde a los numerosos pliegues sucesivos, verdaderamente intrincados; por último, en la parte alta de la sierra, se encuentran lutitas formando pliegues más complicados aún, con rumbos que se apartan poco de la dirección $N20^{\circ}W$. Estas mismas lutitas afloran



Fot. 11.—Cerros de Santa Ana y de Xochitlalpan, mostrando estratificación casi horizontal.



Fot. 12.—Cerro de Xochitlalpan, mostrando capas de areniscas casi horizontales.

en una zona intermedia del flanco de la sierra, con rumbo N20°E, lo que demuestra que existen ondulaciones en el sentido horizontal, cuya ley no es posible fijar, porque el estudio de las formaciones fue de simple reconocimiento.

BOSQUEJO DE LA GEOLOGIA HISTORICA

Los gneises que aparecen por Coxcoatlán, son de la misma edad de los de Tomellín y se ha considerado que pertenecen al Arqueano, por Ordóñez.¹ Sobre estas rocas reposan las areniscas y lutitas de Zapotitlán, que pertenecen al Neocomiano-Aptiano y las areniscas de San Juan Raya, del Aptiano superior.² En seguida, se encuentran en discordancia, las lutitas margosas del Gault, equivalentes a las "pizarras" de Necoxtla", después, se encuentran las calizas de Maltrata, del Vraconiano, afectadas por pliegues muy pronunciados y, en la cima de la formación marina, las calizas de Escamela, que Burekhardt llama de Cipiapa y que pertenecen al Cenomaniano y, en parte, al Turoniano.

La etapa continental se inició, probablemente, a fines del Cretácico y la erosión arrasó las formaciones del Cretácico superior y aun parte del Cretácico medio y del inferior, puesto que llegó a descubrir los

¹ Xme Congres Géologique International. Guide Géologique an Mexique, 1906. V.

² C. Burekhardt. Le Mésozoique Mexicane.

gneises del Arqueozoico. Los cursos fueron consecuentes originalmente y destruidas las formaciones del Cretácico superior, quedaron establecidos en la formación intensamente plegada, del Cretácico medio; desarrollándose grandemente los valles longitudinales, dentro de un relieve invertido.

Durante el Terciario tuvieron lugar, sin duda, depósitos fluviales de poca importancia, modificándose el régimen de los ríos, por la aparición de las grandes masas de rocas ígneas del Mioceno, que dieron lugar a las muy elevadas sierras que crearon, en ciertas regiones, un relieve totalmente distinto al existente en las formaciones cretácicas. Las sierras que contribuyeron a modificar el régimen de los ríos de la región, son las de Tlaxco, en el límite N del Estado de Tlaxcala y la Nevada, en el límite W del Estado de Puebla; pues el río Atoyac, alojado en un valle longitudinal, seguía su curso hacia el SE recorriendo el valle de Tehuacán.

En la región, las emisiones de rocas ígneas son de muy escasa importancia y no se toma en consideración más que a la pequeña zona de las lagunas de San Bernardino, donde las corrientes andesíticas del cerro Ocelotze, interceptaron los cursos de las torrenteras, previamente alojadas en los valles longitudinales y dieron origen a las lagunas Núm. 1, en un valle y Núms. 2 a 4, en otro valle, al W del anterior.

Durante la edad glacial, en el Plistoceno, la región sufrió su mayor transformación, pues los ventisqueros que descendían por el W de la sierra perteneciente al Pico de Orizaba o Citlaltépetl, llegaron a obstruir el valle longitudinal que recorría el primitivo río Atoyac, por el mecanismo de avance y retroceso de los hielos, desde las sierras Nevada y de Tlaxco, por un lado, y del Citlaltépetl, por el otro, pues estando más cercana esta última, había oportunidad de que cuando empezaba el avance de los ventisqueros, llegaran al valle principal, primero éstos, que los que provenían de las sierras más lejanas y, además, depositando cargas mayores de sedimentos que los otros ventisqueros que los diseminaban en áreas más extensas. Estos fenómenos, junto con la aparición de nuevo material volcánico de tipo basáltico, en la zona inmediata a Tlacotepec, determinaron la completa obstrucción del primitivo valle, dando lugar, después, a una gran laguna que se extendió hasta cubrir una buena parte del Estado de Puebla y la mayor parte del Estado de Tlaxcala.

Las aguas de la laguna llegaron a encontrar salida en algún puerto bajo de la sierrita Tentzon y labraron el profundo cañón de Molcaxac, hasta drenar completamente la laguna y dar origen al curso actual del río Atoyac.

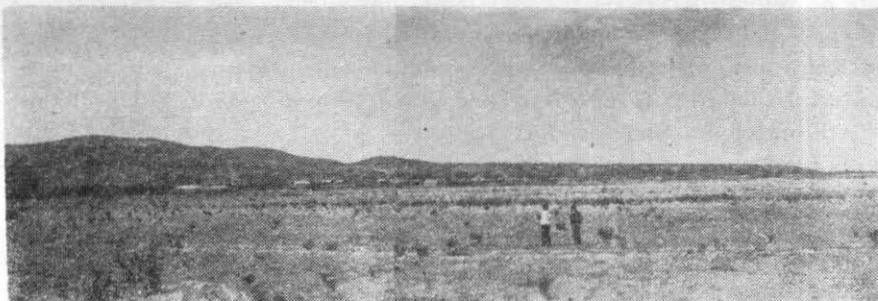
Puede asegurarse, pues, que gran parte del relleno del valle de Tehuacán, proviene del acarreo de sedimentos desde las sierras Nevada, de Tlaxco y del Citlaltépetl y así lo confirma la naturaleza del material, ya que se encuentran gravas y guijarros andesíticos y basálticos, en las capas que alternan con otra clase de acarreo, mientras que en las elevaciones inmediatas y aun alejadas en un radio muy grande, no se encuentra esta clase de rocas.

Las emisiones basálticas no dejan de tener importancia en los rellenos del valle, puesto que desde focos inmediatos a Tlacotepec, se extienden corrientes que se han encontrado en Tehuacán, a unos 80 m. de profundidad.

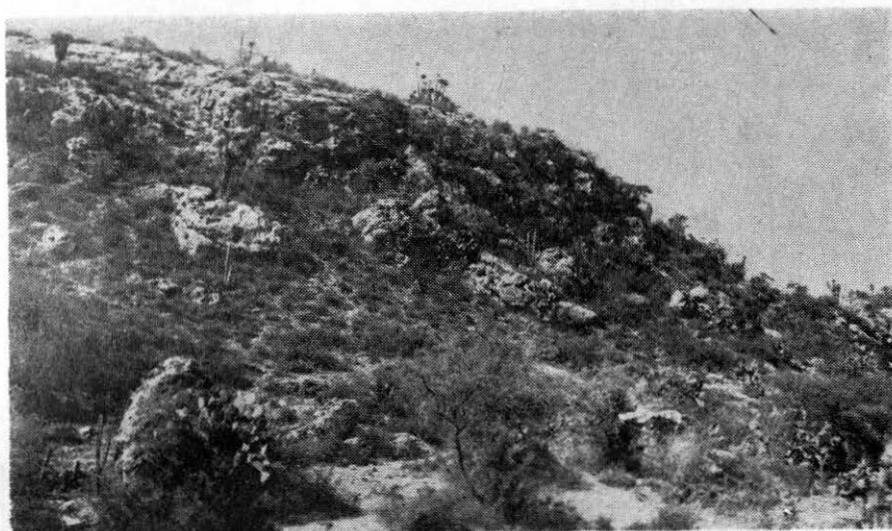
La erosión fluvial ha permitido la formación de terrazas, labradas en los materiales fluvioglaciales dejados por los ventisqueros, sobre todo, donde dominan las rocas fuertemente cementadas por los materiales calcáreos, de las elevaciones. La notable meseta de El Riego (fotos 13 y 14) es el resultado del trabajo de erosión del río, en un material endurecido y dispuesto en capas de poca inclinación, donde la precipitación química del carbonato de calcio y de magnesio, disuelto en las aguas subterráneas y, aun fluviales, desempeña un papel de gran importancia. Los bordes actuales de la meseta son, casi exclusivamente, de travertino. (Foto 14.)

La naturaleza de los valles correspondientes a los subafuentes principales, está señalada por la cañada de Chapulco, de forma canular o sección en U, que concurre al valle principal, dando lugar a un escalón que permite llamar a dicho valle, "colgante". (Foto 14.)

Durante los movimientos orogénicos se produjeron, sin duda, fracturas de importancia, algunas de las que fueron cubiertas por los sedimentos del relleno de los valles y que se denuncian a través de dichos



Fot. 13.—Meseta de El Riego vista desde Coapan hacia El Riego.



Fot. 14.—Meseta de El Riego a 3 Km. al N. de San Lorenzo.

rellenos, gracias a movimientos posteriores, que produjeron la fractura de las formaciones consolidadas del Plistoceno y Holoceno y se acusan indirectamente en la superficie del terreno, por medio de manifestaciones acuíferas o resumideros, que han determinado la formación de poljes. Una de estas fracturas está señalada por el notable alineamiento de los manantiales termales de San Lorenzo, El Riego, Cosahuatl, Atzompa y Coyoatl, siendo muy probable que las depresiones de San Luis Chochos y Tecajete, estén relacionados con esta fractura. Como ya se dijo, la cuenca cerrada de Tecajete corresponde a un polje, formado por el drenaje interno, a favor de uno o varios resumideros.

La erosión relacionada con la profundización del cañón de Quiotepéc, determinó en la parte baja del valle, la formación de mesetas y colinas aisladas, como las de La Escalera, cercanas a Tilapa. Estos accidentes son dignos de un estudio especial, pues su constitución es muy interesante. El Ing. Ordóñez se refiere a ella.¹

¹ Ordóñez. L. Archaïque...

HIDROLOGIA SUBTERRANEA

Clima. El valle de Tehuacán pertenece a la VII provincia fisiográfica de la República, correspondiente al Istmo de Tehuantepec, que tiene una área de 154,000 km.² y a la provincia geológica II-b. Cretácico del Sur, que tiene una superficie de 52,877 km.² Respecto a las lluvias, el valle se encuentra, en su mayor parte, en la zona de lluvias de 200 a 400 mm., que tiene en el Estado de Puebla una superficie de 4,568 Km.² Hay una porción de la sierra de Acultzingo que abarca sus flancos medios, que tiene una precipitación de 400 a 800 mm. y una faja, relativamente angosta, de las cumbres, con una precipitación de 800 a 1,000 mm. La temperatura media anual, en gran parte del valle de Tehuacán, es de 15° a 20°, teniendo zonas de temperaturas medias, en tre 10° y 15°, en las partes altas de la sierra de Acultzingo y de 20° a 25° y, aún más, en la parte baja del valle, por Tilapa.

El clima caliente de altitud, tipo mexicano, domina en gran parte del valle, representado por dos subtipos: el toluqueño¹ en las partes altas de las sierras de Acultzingo y Tehuacán y de la Cañada Morelos y El Lagunero, que domina en la planicie de Tehuacán y la sierra del mismo nombre. Hay una angosta zona, correspondiente a las terrazas centrales del valle, que tienen un clima de rápida transición y en la parte baja del mismo, se tiene ya un clima caliente, tipo sudanés.

Como medio de comparación se consignan los siguientes datos, publicados por el Servicio Meteorológico Mexicano.²

	Altitud	Precipitación en mm.	TEMPERATURAS		
			Media	Máxima extrema	Mínima extrema
Puebla.....	2 150	798.9	16.2	30.6	— 1.5
Orizaba.....	1 248	2 115.3	18.4	37.0	— 1.5
Tehuacán.....	1 676	476.4	18.6	37.0	— 5.0
Oaxaca.....	1 563	650.1	20.2	38.0	2.4
Tlacotalpan.....	31	1 080.2	27.2	41.5	10.5

Para definir las características de la precipitación y la temperatura, véanse los siguientes datos correspondientes a Tehuacán, como promedio, en el período 1921-1935.

¹ Clasificación que se adopta en el estudio hidrogeológico del estado de Michoacán I. G. de México. 1940 (inédito).

² Atlas Climatológico de México. Dirección de Geografía, Meteorología e Hidrología, período 1921-1935.

	Altura de lluvias en milímetros	Número de días con lluvia mayor de 0.1 mm	Temperatura en grados C.	Número de días con helada
ANUAL.....	476.4	44.0	18.6	8
Enero.....	2.2	1	15.8	2
Febrero.....	3.2	1	16.8	1
Marzo.....	3.9	1	18.5	1
Abril.....	16.6	3	20.0	1
Mayo.....	67.2	6	21.2	0
Junio.....	94.9	9	20.8	0
Julio.....	70.7	6	19.5	0
Agosto.....	57.2	6	19.9	0
Septiembre.....	118.7	9	20.1	1
Octubre.....	31.8	4	18.2	1
Noviembre.....	4.1	1	16.7	1
Diciembre.....	5.8	1	16.1	2

Como se ve, se demarca una estación seca, de noviembre a abril, que dura seis meses y una estación de lluvias de poca intensidad, de mayo a octubre, con su máximo en septiembre, mes en el que cae el 40% de la precipitación total.

Las gráficas adjuntas enseñan el régimen pluviométrico de la región, abarcando los datos de las siguientes localidades:

	Tepeaca	Tecamachalco	Chalehicomula	Esperanza
ANUAL.....	814.7	601.6	862.6	374.8
Enero.....	4.2	4.6	3.3	12.8
Febrero.....	8.0	11.5	6.5	0.1
Marzo.....	16.4	4.7	10.3	1.4
Abril.....	23.3	16.8	66.8	5.4
Mayo.....	100.5	108.6	99.3	23.2
Junio.....	152.1	108.9	141.4	32.3
Julio.....	114.0	95.9	131.0	64.2
Agosto.....	117.4	52.2	92.0	98.3
Septiembre.....	193.6	135.4	206.9	94.5
Octubre.....	62.3	46.7	72.8	37.8
Noviembre.....	13.3	8.2	10.5	3.6
Diciembre.....	9.6	8.1	21.8	1.2

Puede apreciarse que en todas las localidades rige la misma ley de variaciones de la lluvia, que se inicia con vigor en mayo, tiene un aumento en junio, decrece un poco en agosto, tiene su máximo en septiembre y termina en octubre, exceptuando a Orizaba y Tlacotalpan, donde termina en diciembre. Basado en los datos consignados, hay fundamento para tomar como precipitación los promedios correspon-

dientes a las siguientes localidades: Esperanza-Tehuacán, para la Cañada Morelos; Tecamachalco-Tehuacán, para la planicie de Tehuacán, y Tecamachalco-Esperanza para la sierrita del Monumento.

Para la sierra de Acultzingo, se toma en cuenta la precipitación en Orizaba y que el incremento de la misma es constante de Tehuacán a dicha ciudad, tomando en cuenta que la precipitación es principalmente orográfica, con abundancia de lluvias en la vertiente oriental de la sierra de Acultzingo y relativa escasez en la vertiente del lado de Tehuacán. Así resulta un promedio de precipitación para esta vertiente de 1,100 mm.

Para la planicie de Zinacatepec se toma en cuenta a la precipitación en Oaxaca y suponiendo también un incremento constante, se obtiene como promedio de precipitación de 500 mm.

De acuerdo con las ideas antes expuestas, la precipitación, en la región, está distribuida en la forma indicada en el siguiente cuadro:

Z O N A S	Precipitación en mm.	Superficie en K ²	Gasto hidráulico M ³ por seg.	Gasto hidráulico Lts. por seg. y K ²
1. Planicie de Tehuacán.....	539.0	442.1	7.550	17.12
2. Planicie de Cañada Morelos.....	425.0	118.9	1.608	13.50
3. Planicie de Chapulco.....	650.0	30.8	0.639	20.60
4. Sierrita del Monumento.....	488.2	291.0	4.520	15.50
5. Frac. Nte. de la sierra de Tehuacán.	650.0	174.0	3.580	20.60
6. Frac. Nte. de la sierra de Acultzingo.	1 000.0	180.0	5.720	31.80
		1 236.8	23.617	
7. Frac. sur de la sierra de Tehuacán...	700.0	621	13.800	22.20
8. Frac. sur de la sierra de Acultzingo...	1 100.0	894	31.170	34.90
9. Zona de terrazas.....	490.0	247	3.840	15.60
10. Planicie de Zinacatepec.....	500.0	378	6.010	15.90
11. Cañada de Zapotitlán.....	700.0	54	1.189	22.60
		2 194	56.009	

En la superficie de las planicies se ha considerado incluida la de las lomas bajas que las bordean, pues la precipitación es semejante entre ellas. Estos datos corresponden a dos regiones muy distintas: la superior, que abarca hasta la zona 6, prácticamente sin drenaje superficial, y la inferior, con drenaje bien establecido, comprendiendo las zonas 7 a 11.

Manantiales. En la región existen numerosos manantiales de pequeña importancia y varios termales de consideración. La siguiente lista comprende los manantiales visitados:

Municipio y nombre	Altura m.	Tem. agua grados C	Lts. por segundo	Distancia K	Rumbo	Clasificación	Situación
CHAPULCO:							
1. Chichicaxtla.....	2 265	14°0	0.2	11.00	N28°E	De superficie	Barranca.
2. Xonpantle.....	2 255	16°0	0.1	11.00	N24°E	De base	Barranca.
3. El Coronel.....	2 225	14°0	0.1	10.00	N27°E	De superficie	Barranca.
TEHUACAN:							
4. Los Sauces.....	2 082	18°7	8.0	17.00	N36°E	De superficie	Barranca.
5. Piedra Blanca.....	2 082	18°7	10.0	16.95	N36°E	De superficie	Barranca.
6. La Y Griega.....	2 035	18°7	7.0	14.00	N42°E	De superficie	Barranca.
7. Los Tres Ojos.....	1 850	21°0	3.0	8.00	N32°E	De superficie	Barranca.
8. Agua Escondida.....	1 740	21°0	1.0	6.00	N50°E	De superficie	Barranca.
9. San Lorenzo.....	1 666	26°0	80.0	6.00	N72°W	Artesiano	Planicie.
10. Cosahuatl.....	1 360	26°0	66.0	10.00	S26°E	Artesiano	Terraza.
ALTEPEXI:							
11. Atzompa.....	1 270	26°0	156.0	1.30	S60°W	Artesiano	Terraza.
SAN GABRIEL CHILAC:							
12. La Taza.....	1 360	26°0	522.0	.....	.....	Artesiano	.....
13. Axocotzingo.....	1 256	27°5	6.0	3.50	S88°E	Artesiano	.....
SAN JOSE MIAHUATLAN:							
14. Coyoatl.....	1 170	26°0	35.0	3.60	N62°E	Artesiano	Terraza.
15. La Ciénaga.....	1 170	26°0	460.0	3.50	.....	Artesiano	Planicie.
TEPANCO:							
16. Temolote.....	2 240	18°0	1.0	8.00	S35°W	De superficie	Sierra.
17. El Duraznillo.....	2 340	18°0	3.0	9.40	S36°W	De superficie	Sierra.
18. El Pajarito.....	2 320	16°0	4.0	10.00	S39°W	De superficie	Sierra.

Los manantiales anotados dan un gasto hidráulico de 1,362.4 litros por segundo, a los que hay que sumar unos 110 litros de pequeñas emergencias, en el fondo de la barranca de San Ignacio y 175 litros de los manantiales Apelhuatías, Zerpa, La Mesa y Trapiche, pertenecientes a Ajalpa y del manantial Los Alamos, de la hacienda de La Trinidad, obteniéndose así un gasto de 1,647 litros. Además, existen otros pequeños manantiales que son: pertenecientes al Municipio de Zapotitlán Salinas, los de Soyalapa, Miahuatepec, Tochiga, Taza, Salinas Chicas, de San Gabriel y de San Pedro, con aguas saladas que se explotan industrialmente; al Municipio de Chilac, los de Santo Tomás, San Miguel, Ameyalco, Purísima y Ascensión; el Municipio de Tehuacán, los de San Antonio Cañada, y al Municipio de Cañada Morelos, los de La Defensa.

Deben mencionarse algunos otros manantiales que existieron en la región, según informes proporcionados y que, en la actualidad, no se pueden tomar como tales, por las obras de captación emprendidas en ellos y son los de Nopala, Agua del Zopilote, Cañada Mora y Ahijadero Mater, entre Nopala y Cipiapa; Agua del Manche en la barranca de La Escondida, La Cantera en la hacienda del Carmen; San Juan, cerca de Tecajete; Alhuelican, Cruz Roja, El Huizache y Agua de la Virgen, en el Municipio de Tehuacán.

Según los datos anteriores, al agua producida por los manantiales en la región alta, sin drenaje superficial exterior a dicha región, es de unos 230 lts./seg., representando el 14% de la producción total de manantiales.

Pozos. Son escasos por la predominancia de las galerías subterráneas. El cuadro de la página siguiente reúne los datos relativos:

Se dice que en la hacienda del Carnero se encontró el agua a 23 m.; entre La Defensa y la parte angosta de la Cañada Morelos de 20 a 30 m.; en Santiago Miahuatlán se perforaron dos pozos, a las profundidades de 60, 120 y 180 m., que encontraron el agua a los 8.25, 35.9 y 100 m.; en la hacienda del Carmen se hizo un pozo de más de 60 m. sin encontrar agua y que en la estación de Tehuacán se perforó un pozo hasta 85 m., con el que se pretendía obtener agua artesiana; pero que tuvo que detener a esa profundidad, por haber encontrado una roca negra, sumamente dura, que no pudieron atravesar.

Todos los pozos que figuran en la lista, son comunes o excavados, con excepción de los números 3 y 8, que son entubados. En ninguno de ellos hay instalaciones importantes de bombeo, extrayéndose el agua

POZOS DE LA REGION DE TEHUACAN, PUE.

MUNICIPIO, LOCALIDAD O NOMBRE	Altura m.	Temp. agua grados C.	Profundidad al nivel del agua m.	Profundidad total m.	Distancia K	Rumbo	Acuífero	Situación
ESPERANZA:								
1. Hacienda Esperanza.....	2 420	18°0	46.6	50.0	2.0	N82°W	Freát.	Planicie.
2. El Saldo.....	2 330	17°5	6.6	10.0	5.0	S36°W	Freát.	Planicie.
3. Piletas.....	2 320	17°5	1.0	60.0	6.0	S42°W	Freát.	Planicie.
CHAPULCO:								
4. Puente de Vigas.....	2 015	18°0	39.5	40.0	7.0	N27°E	Freát.	Cañada.
5. Ozumbilla.....	2 000	18°0	30.0	31.0	3.0	N33°E	Freát.	Cañada.
SANTIAGO MIAHUATLAN:								
6. Tecajete.....	1 745	19°5	57.0	58.0	4.8	N66°W	Freát.	Polje.
7. Magdalena.....	1 745	21°3	30.4	34.0	3.6	S75°W	Freát.	Planicie.
TEPANCO:								
8. Tepanco.....	1 815	.....	70.0	190.0	1.0	.....	Freát.	Planicie.
9. Tepanco, cañada.....	1 797	21°0	51.2	65.0	0.8	S26°E	Freát.	Planicie.
TEHUACAN:								
10. Rancho Castillo.....	1 744	22°0	30.0	31.3	15.0	N59°W	Freát.	Planicie.
11. Col. Francisco I. Madero.....	1 697	20°0	15.0	15.3	10.0	N62°W	Freát.	Planicie.
12. Rancho Grande.....	1 700	23°0	14.0	18.0	12.0	N89°W	Freát.	Cañada.
13. Coapan.....	1 605	23°0	38.0	38.5	3.4	S19°W	Freát.	Terraza.

en pequeños volúmenes, intermitentemente. Garci-Crespo perforó tres pozos de más de 80 m., uno para abastecer el hotel y dos, de corto diámetro, para embotellar el agua; estos pozos trabajan alternativamente. Hay, además, un pozo perforado en una granja cercana a Garci-Crespo y otro de la fábrica de aguas gaseosas "El Sol", situado a 1,626 m. de altitud, con agua de 18°8 C. en las afueras de Tehuacán, por el camino a Coapa, que tienen instalaciones modernas de bombeo.

Galerías. Las obras de esta naturaleza son de gran importancia en la región, al grado de que hacen de ella la primera en la República, por su número y extensión. Este sistema de captación de aguas fue aplicado por primera vez, en Tehuacán, por los frailes franciscanos, casi a raíz de la conquista, cuando fue creado el marquesado de Oaxaca y desde entonces, se ha venido desarrollando la red de galerías hasta alcanzar la considerable extensión que hoy tienen.

En Chapulco existen varias galerías con diverso rumbo. La más importante principia cerca de Chapulco, a una altitud de 1,950 m., teniendo, en el pueblo, socavones laterales de acceso, para el servicio de los vecinos (foto 15), continúa siguiendo, en partes, el centro de la cañada y termina cerca de Puente de Vigas, donde las lumbreras tienen 40 m. de profundidad.

En terrenos de la hacienda de Santa Ana, existen tajos y galerías



Fot. 15.—Entrada lateral a la galería del E. de Chapulco.



Fot. 16.—Tajo de Santa Ana, al S. W.
de Chapulco.



Fot. 17.—“Tecoate” en El Riego.

profundas, algunas paralelas e inmediatas, con más de 10 m. de profundidad. La foto 16 muestra el tajo que conduce al antiguo manantial de Santa Ana, situado a 100 m. al E del Km. 263 de la carretera México-Orizaba, con agua de 23°C y un gasto hidráulico de unos 90 litros por segundo. Cerca del lugar del antiguo manantial de Santa Ana, el nivel del agua se encuentra a unos 1,865 m. de altitud y el del terreno a 1,875. La galería tiene rumbo S 46° W y el agua sale a flor de tierra, cerca de la hacienda Santa Ana, a 1,855 m. de altitud.

En Tecajete existen galerías siguiendo los arroyos de San Juan y La Escondida, con aguas saladas. En la primera se obtuvieron 18 l.p.s. y, en la segunda, 7 l.p.s. En Santiago Miahuatlán existen importantes galerías de más de 7 Km. de longitud y profundidades de 15 a 20 m.

En la planicie de Tehuacán es donde se encuentran las principales galerías, desde poco al N de Cinco Señores, hasta San Marcos. Los siguientes son los datos proporcionados por el Sr. Dr. Alberto Díaz Ceballos, a los que se les ha añadido las alturas sobre el nivel del mar y la temperatura del agua.

Zona de Garci-Crespo — San Lorenzo y El Riego

	Altitud boca — m.	Temperatura — agua	Gasto hidráu- lico l. p. s.
1. San Vicente.....	1 697	18°	43.0
2. Cosahuico.....	1 697	18°	12.0
3. Cinco Señores.....	1 681	18°	23.0
4. El Salado.....	1 660	18°	39.0
5. El Potrero.....	1 660	19°	53.0
6. El Cuadro.....	1 660	22°	12.0
7. El Monte.....	1 660	18°6	14.0
8. El Caballito.....	1 665	24°0	10.0
9. Cruz Roja.....	1 665	26°	28.0
10. Los Baños.....	1 664	26°	8.5
11. Aguas de Jorge.....	1 664	26°	10.5
12. La Virgen.....	1 660	26°	15.0
13. El Huizache.....	1 660	24°	32.0
14. La Mojonera.....			304.5
15. Alhuelican.....	1 656	22°	80.0
16. El Triunfo.....			
17. El Banco.....	1 636	22°	30.0
18. La Turbina.....	1 656		48.0
19. Méndez.....	1 655		16.0
20. Axoxopan.....	1 653		113.0

Se habrá notado que hasta la galería 19, todas explotan un acuífero con altitudes de 1,697 m. por San Vicente, 1,681 por Cinco Señores, 1,660 por San Lorenzo y El Riego y 1,636 m. por Tehuacán. Las

galerías del Humilladero, Urrutia Escurrea y Principales de Aldama, otro acuífero con altitudes entre 1,550 y 1,580 m.

La hacienda de Santa Cruz tiene extensas galerías. Se tomaron en ellas los siguientes datos: en el lugar denominado El Tanque, con altitud de 1,440 m., la obra tiene 23.80 m. de profundidad, es transversal al valle, con rumbo medio N 70° E, disminuyendo de profundidad a medida que desciende el lomerío, hacia la cañada de Nativitas.

En San Marcos existen varios tajos y galerías que llegan a cruzarse. Son, también, transversales al eje del valle y se encuentran inmediatas a las galerías de Santa Cruz, casi paralelas al S de éstas.

Infiltración. La superficie de las sierras de Acultzingo y Tehuacán, presenta los tres aspectos siguientes: cubierta de bosques, con suelos bastante gruesos; suelos delgados, con yerbales diseminados y rocas desnudas. Las lomas ofrecen suelos delgados con yerbales y arbustos bajos y las planicies tienen suelos gruesos, muy arenosos en algunos lugares.

Los datos expuestos en el cuadro de la página siguiente son relativos a la infiltración en el valle de Tehuacán.

En esta región alta, no basta la precipitación para producir corrientes de importancia en los arroyuelos, de manera que las aguas fluviales no llegan al arroyo de Tehuacán, sino que se infiltran en las planicies. No habiendo escurrimiento fuera de la región, hay que tomar en cuenta, solamente, las pérdidas por evaporación y del agua consumida por las plantas. Por los datos anteriores se creería que el agua correspondiente a las pérdidas por evaporación y al consumo de las plantas, representa el 55.3% de la precipitación, puesto que de los 23,607 litros por segundo, del agua de las lluvias, se obtienen 10,584 litros por segundo, como caudal de agua subterránea; pero no es así, puesto que el agua de escurrimiento de las sierras de Acultzingo, Tehuacán y Monumento, se convierte en subterránea en las planicies de la Cañada Morelos, Chapulco y Tehuacán. De modo aproximado pueden estimarse las pérdidas por los conceptos enunciados, alrededor del 40% de la precipitación, dejando un caudal subterráneo para la región alta, de unos 14,000 litros por segundo.

Los datos relativos a la región baja, que corresponden a la cuenca del arroyo Tehuacán, son los siguientes. (Véase cuadro en la pág. sig.)

Como se había notado, la infiltración en esta región del valle, es mucho menor que en la región alta, debiéndose esto a que las plani-

DATOS RELATIVOS A LA INFILTRACION EN EL VALLE DE TEHUACAN

	Precipitación — mm.	Superficie — K ²	Coefficiente de infiltración — %	Agua subte- rránea — Lts. p. seg.	Gasto hidráulico — Lts. p. seg. y K ²	Porcentaje en producción total
Planicie de Tehuacán.....	539	113.6	80	1 552	13.68	.....
Lomas de la planicie de Tehuacán.....	539	328.5	25	1 406	4.28	10.8
Planicie de Cañada Morelos.....	425	99.5	60	805	8.10	.....
Lomas de la Cañada Morelos.....	425	19.4	25	65	3.38	3.2
Planicie de Chapulco.....	650	14.4	60	178	12.39	.....
Lomas de la planicie de Chapulco.....	650	16.4	25	84	5.15	1.0
Plan de Tecajete.....	488	10.0	80	122	12.20	.....
Sierrita del Monumento.....	488	281.0	45	1 960	6.98	7.6
Sierra de Acultzingo, bosques.....	1 000	20.0	60	381	19.05	.....
Sierra de Acultzingo, pastales.....	1 000	133.0	50	2 101	15.85	.....
Sierra de Acultzingo, rocas.....	1 000	27.0	25	214	7.94	9.7
Sierra de Tehuacán, bosques.....	650	12.0	60	149	12.39	.....
Sierra de Tehuacán, pastales.....	650	142.0	50	1 464	10.30	.....
Sierra de Tehuacán, rocas.....	650	20.0	25	103	5.15	6.2
SUMAS.....		1 236.8		10 584		38.5

DATOS RELATIVOS A LA INFILTRACION EN LA REGION BAJA

	Precipitación — mm.	Superficie — K ²	Coefficiente de infiltración — %	Agua subte- rránea — Lts. p. seg.	Gasto hidráulico — Lts. p. seg. y K ²	Porcentaje en total
Planicie de Tehuacán.....	539	54.7	35	328	5.98	.....
Lomas de la planicie de Tehuacán.....	539	40.1	25	171	4.28	1.8
Zonas de terrazas.....	490	112.5	35	612	5.43	.....
Lomas laterales de la zona de terrazas.....	490	39.9	25	155	3.88	2.8
Planicie de Zinacatepec.....	500	156.6	40	993	6.33	.....
Lomas de la planicie de Zinacatepec.....	500	155.5	25	617	3.97	.....
Mesas de Tepetroja.....	500	66.0	10	105	1.59	6.2
Planicie de Zapotitlán.....	700	53.8	40	478	8.88	1.7
Sierra de Acultzingo.....	1 100	893.9	30	9 350	10.48	34.0
Sierra de Tehuacán.....	700	567.2	30	.....	6.67	15.0
SUMAS.....		2 140.2				61.5

cies de la región alta son muy arenosas, mientras que las bajas son bastante arcillosas y, también, a que en las sierras de esta región afloran pizarras y areniscas, en muy considerables extensiones, lo que hace bajar la infiltración en un 32% de la calculada para la región alta, siendo la infiltración media de estos, de 11.3 l.p.s. y K.², mientras que para la zona baja es de 7.7.

En el valle de Tehuacán los recursos acuíferos principales corresponden a la sierra de Acultzingo, que representa el 43.7%; siguen las planicies con un total de 27.5%, entre ellas, la de Tehuacán a la cabeza, con el 12.6%; después la sierra de Tehuacán, con el 21.2%; y al último, la sierrita del Monumento, con el 7.6%, incluyendo el polje de Tecajete.

Circulación del agua subterránea. Hay que atender el movimiento del agua en las dos estructuras geológicas principales, correspondientes a las rocas hidroclásticas marinas, representadas por las lutitas, areniscas y calizas; y a las rocas hidroclásticas y atmoclásticas continentales, que forman el relleno del valle.

La circulación en las calizas corresponde, casi exclusivamente, al tipo normal o descendente, que equivale al denominado por los norteamericanos *influent seepage*, por una parte y, por la otra, al *turbulent flow*, ya que en ciertas partes de las calizas, la infiltración forma pequeñas acumulaciones acuíferas que van circulando por conductos de disolución.

Hay algunos lugares, como en la barranca de San Ignacio, donde las calizas reposan sobre las pizarras y el agua que desciende de las primeras, toma una circulación mixta normal, también de tipo turbulento, o bien, donde las aguas de las calizas penetran a rellanos más o menos importantes, que permiten una circulación migratoria del tipo denominado por los norteamericanos *percolation* o *laminar flow*. En ciertas partes, los materiales de talud actúan como acuíferos y alimentan pequeños manantiales.

En lo general, se tiene que admitir que el agua subterránea de las formaciones marinas emigra de la región y alimenta fuentes vauclysianas, formando, además, acuíferos cautivos. En la zona alta, sin drenaje superficial, una proporción bastante considerable de las aguas que circulan en estas formaciones, penetran a los rellenos del valle a favor de las grietas y materiales permeables, en contacto con las calizas.

En los rellenos del valle, las aguas infiltradas de las lluvias, más las infiltradas en los cauces de los arroyos, tienen una muy corta cir-

culación normal, pues bien pronto alcanzan una capa impermeable y adquieren una circulación migratoria. Las aguas que provienen de las calizas, penetran en capas permeables inferiores y determinan varios horizontes acuíferos.

Acuíferos. Los acuíferos que se encuentran en los rellenos del valle son los más importantes de la región. En el freático superior se han localizado la mayor parte de las galerías de captación, como son las de las cañadas Morelos y Chapulco y las de la zona Garci-Crespo-San Lorenzo y El Riego. Solamente de esta última se extraen alrededor de 800 l.p.s., pudiéndose calcular el total de las explotadas, en unos 1,000 l.p.s., lo que representa el 25% del agua infiltrada en las planicies de la zona alta.

El gradiente de la superficie de este acuífero resulta de 0.578% a partir del manantial de San Lorenzo y tomando la cota del nivel del agua en los pozos 8 a 12.

Existe un segundo acuífero que tiene, en Tehuacán, la cota 1,587 metros y la cota 1,545 m. cerca de la planta hidroeléctrica número 2, lo que acusa un gradiente del 1.4%. Este mismo acuífero fue encontrado en la hacienda de La Huerta, a la cota 1,530 m. En general, puede creerse que de este segundo acuífero se extraen unos 800 l.p.s.

El tercer acuífero tiene obras de captación en Santa Cruz, con cota 1,416 m., el cuarto alimenta el manantial Cosahuatl a 1,360 m. y suministra, aproximadamente, un gasto hidráulico de unos 700 l.p.s.; el quinto da nacimiento a los manantiales de Atzompa y Axocotzingo, a las cotas 1,270 y 1,256 m., y el sexto acuífero alimenta los manantiales de Coyoatl y La Ciénaga, a la cota 1,170 m., dando un caudal de unos 500 l.p.s.

El total del agua producida por manantiales y obras de captación, alcanza unos 3,800 l.p.s. hasta la cota 1,170 m.; pero los recursos alcanzan a unos 8,000 l.p.s.

Todos los acuíferos considerados, con excepción del primero, tienen sus aguas sometidas a presión, pudiéndose considerar, en la mayor parte de ellos, como "ascendentes".

La posición de los manantiales 9 a 11 y 14, acusa un marcado alineamiento, lo que da base a la creencia de que esto se deba a la falla de que se habló al tratar la parte geológica, que favorece, en cada acuífero, la circulación en el plano de la misma, permitiendo la emergencia de las aguas.

Calidad del agua. Los siguientes son los análisis químicos de aguas:

ANÁLISIS QUÍMICOS DE LAS AGUAS DE LA REGIÓN DE TEHUACÁN, PUE.

	1 Laguna grande Sta. Catarina	2 Ma. San Lorenzo 1930	3 Pozo de Garci- Crespo 1920	4 Pozo de Garci- Crespo 1942	5 Soc. de la Virgen El Riego 1902	6 Soc. de la Virgen El Riego 1930	7 Soc. de la Virgen El Riego 1942
Cl.....	107.9	143	177	59.6	126.8	145	143.0
SO ⁴	2.2	72	89	57.7	73.0	72	74.0
NO ³					10.4		
Br.....					0.2		
HCO ³	295.3	603	746	618.6	633.0	611	708.2
B ⁰⁷		43	52			43	
BO ²					1.9		
Na.....	140.6	87	110	86.6	117.6		158.6
K.....	12.2	39	51	7.1	12.5	39	12.8
Li.....		8	10	2.9	10.8	8	2.1
NH ⁴					0.6		
Ca.....	19.6	109	133	119.8	113.8	107	134.4
Mg.....	6.1	49	60	35.6	34.6	50	39.4
Sr.....					0.4		
Ba.....					0.1		
Fe.....	0.1	17	21	0.1	0.2	17	0.2
Al(OH) ³							
SiO ²	16.4	43	40	52.8	52.9	50	51.2
Materias orgánicas.....		3	3			3	
SUMA.....			1 114		1 188.6		
Residuo a 110°C.....	487.2	900.00	1 108.00	743.60		911.00	1 017.60
Acidos fuertes. (Af).....		5.56	6.86	2.84	5.34	5.55	5.58
Acidos débiles. (Ad).....		10.44	12.95	10.16	10.35	10.54	11.62
Alcalis. (Al).....		5.92	7.52	4.37	7.17	5.44	7.53
Tierras alcalinas. (T).....		0.47	11.54	8.93	8.53	9.48	9.96
PROPIEDADES:							
Salinidad 1ª. (S1).....		11.12	13.72	5.68	10.67	11.10	11.16
Salinidad 2ª. (S2).....							
Alcalinidad 1ª. (A1).....		0.72	1.32	3.06	3.67	0.88	3.95

AGUAS DE LA REGION DE TEHUACAN, PUE.

	1 Laguna Grande, Sta. Catarina.	2 Mn. San Lorenzo 1930.	3 Pozo de Garci-Crespo 1930	4 Pozo de Garci-Crespo 1942.	5 Soc. de la Virgen. El Riego 1930	6 Soc. de la Virgen. El Riego 1930	7 Soc. de la Virgen. El Riego. 1942.
Alcalinidad 2 ^a , A2.....		18.94	23.08	17.26	17.05	18.96	19.34
Concentración.....		6.40	7.93	5.20	6.29	6.43	6.89
Clase de Palmer.....		1 ^a	1 ^a	1 ^a	1 ^a	1 ^a	1 ^a
Radiactividad.....			42.60			10.44	
Ph.....				6.90			7.10

COMPOSICION DE LAS AGUAS DE LA REGION DE TEHUACAN, PUE.

	8 Galería de Santa Ana. 1941.	9 Galería Alhuelcan. 1941	10 Embotelladora Covadonga 1930	11 Mn. Co- sahuatl. 1932	12 Mn. Atzompa. 1932.	13 Mn. San Ignacio. 1941.	14 San Antonio Texcalan 1913.
Cl.....	45.2	92.3	158	187	142	7.1	21.150
SO ₄	39.5	73.5	162	81	87	14.7	4.880
HCO ₃	528.5	382.5	570	550	578	251.2	8.125
B ₄ O ₇			43	43	43		
Na.....	65.3	79.1	141	102	92	40.0	19.000
K.....	1.9	4.0	40	38	38	7.0	174
Li.....			8	8	8		
Ca.....	102.5	106.7	112	120	114	60.8	87
Mg.....	32.9	38.4	43	43	43	6.6	8
Fe.....	0.2	0.1	15	7	10	0.2	
Al(OH) ₃							9
SiO ₂	54.0	54.0	81	81	69	14.8	
Materias orgánicas.....							482
SUMA.....		631.6	1 084	972	931	275.0	
Residuo a 110°C.....	614.4	671.4	1 103	991	961	291.6	50 748
VALORES DE REACCION M.G. POR LITRO:							
Acidos fuertes. (Af).....	2.09	4.35	7.87	6.91	5.78	0.56	696.89
Acidos débiles. (Ad).....	8.64	6.62	9.97	9.52	9.99	4.47	138.31
Alcalis. (Al).....	2.90	3.35	8.24	6.61	6.14	1.76	830.19
Tierras alcalinas. (T).....	7.83	7.62	9.06	9.57	9.27	3.27	5.01
PROPIEDADES:							
Salinidad 1ª. (S1).....	4.18	6.70	15.74	13.22	11.56	1.12	1 393.78
Salinidad 2ª. (S2).....		2.00		0.60			
Alcalinidad 1ª. (A1).....	1.62		0.74		0.72	2.40	266.60
Alcalinidad 2ª. (A2).....	15.66	13.24	18.12	18.54	18.54	6.54	10.02
Concentración.....	4.30	4.38	7.12	6.55	6.30	2.00	334.10
Clase de Palmer.....	1ª	3ª	1ª	3ª	1ª	1ª	1ª
Radioactividad.....			973.50				
Ph.....	7.00					7.20	

La fórmula de radicales $\left(\begin{array}{c|c} \text{Ad} & \text{T} \\ \text{Af} & \text{A}_1 \end{array} \right)$ es común a todas las aguas medicinales de Tehuacán y muestra variaciones de mayor actividad $\left(\begin{array}{c} \text{A}_2 \text{ S}_1 \\ \text{A}_1 \end{array} \right)$ como en el caso de los análisis números 2 a 8, 10 y 12, a menor actividad como en el caso del análisis número 13 $\left(\begin{array}{c} \text{A}_2 \\ \text{A}_1 \text{ S}_1 \end{array} \right)$, determina que se indique como fórmula representativa para las aguas medicinales, la siguiente: $\text{Ad} \left| \begin{array}{c} \text{T} \\ \text{A}_1 \end{array} \right. \left(\begin{array}{c} \text{A}_2 \text{ S}_1 \\ \text{A}_1 \end{array} \right)$. Estas fórmulas están escritas de acuerdo con las convenciones adoptadas en un estudio anterior¹ que se reproducirá aquí, en bien de la inmediata comprensión de las mismas: "Todo valor a la derecha de otro, en la misma línea horizontal, es menor si está separado por una línea vertical. El valor de todo símbolo situado abajo de otro, es menor. La línea vertical separa los aniones de los cationes y la fórmula representa, en realidad, una ecuación, puesto que la suma de las bases o valores positivos, es igual a la suma de los ácidos o valores negativos. Los símbolos usados en estas fórmulas figuran en el cuadro de los análisis.

Las aguas de Tehuacán muestran las características de circulación en formaciones geológicas variadas, con marcada tendencia a marcar "mezclas". En consecuencia, los índices de actividad química indican aguas tanto más valiosas, cuanto más individualizadas, dentro del tipo geoquímico, siendo de desear que nuestros médicos más autorizados hagan un buen estudio hidroterápico.

Es de llamar la atención la poca variabilidad del equilibrio químico, ya que no se nota ningún desplazamiento iónico en análisis que abarcan un buen lapso, como son los de El Riego de 1902 a 1942, que, además, revelan una creciente actividad química de sus aguas, pues sus concentraciones van en aumento, ya que son de 6.29 en 1902, 6.43 en 1930 y 6.89 en 1942.

La fórmula $\left(\begin{array}{c|c} \text{T} & \text{Ad} \\ \text{Al} & \text{Af} \end{array} \right) \left(\begin{array}{c} \text{A}_2 \text{ S}_1 \\ \text{S}_2 \end{array} \right)$ corresponde a las aguas de los análisis números 9 y 11, que en el orden geoquímico es una de las más comunes. Se trata de mezcla de aguas de variado origen, que han alcanzado gran estabilidad.

Las aguas de Laguna Grande, análisis número 1, están represen-

¹ Apuntes para la interpretación geoquímica de los análisis de aguas, por L. Blásquez L. Soc. Geol. Méx. 1941. (Inédito)

tadas por las fórmulas $\text{Al} \begin{vmatrix} \text{Ad} \\ \text{Af} \end{vmatrix} \begin{pmatrix} \text{A}_1 & \text{S}_1 \\ \text{A}_2 \end{pmatrix}$ siendo de notar su relativamente elevado contenido de Na, que motiva su predominante alcalinidad.

Muy conocidas son las aguas de los diversos manantiales de San Antonio Texcalan. El análisis número 14 queda dentro del grupo $\begin{pmatrix} \text{Al} \\ \text{T} \end{pmatrix} \begin{vmatrix} \text{Ad} \\ \text{Af} \end{vmatrix} \begin{pmatrix} \text{S}_1 & \text{A}_1 \\ \text{A}_2 \end{pmatrix}$ así como otros muchos. La preponderancia de los álcalis se debe al sodio, pero en lugar de tener A_1 en primer lugar, tiene S_1 por su alto contenido de cloro. Son idénticas a estas aguas las de las salinas de Miahuatepec, de esta misma región y, en el país, las de numerosas salinas, como las de Hornos en Viesca, Coah., San Juan Casala, Jal., Ixtlán de los Hervores, Mich., Magdalena, Etna, Oax., y otras muchas. Semejanza con aguas extranjeras las tienen, entre otras, con las de Coral Spring, Yellowstone National Park, U.S.A., Saline Spring, Prescott County, Ontario, Canadá, Lithia Springs, Carlsbad, Russell County, Ont. Canadá y Saratoga, N. Y. U.S.A.

Un problema que se presenta en todas las galerías de captación, consiste en el depósito de travertino, conocido en la región con el nombre de "sarro". Este material incrusta las paredes de las galerías y obliga a sus propietarios a frecuentes limpiezas, que resultan costosas, por la dureza del material. Se han dado casos en que resulta más económico abrir una nueva galería, que desasolar de "sarro" una existente. Este inconveniente puede fácilmente evitarse, provocando el desprendimiento del bicarbónico de las aguas, por medio de dispositivos que las agiten y aereen previamente.

Considerando la posibilidad de que por el crecimiento de la población de Tehuacán, haya necesidad de tratar las aguas duras, de galerías como las de Santa Ana, Alhuelican, o las del grupo Potrero, El Monte, La Turbina, etc., parece más indicado el procedimiento del Dr. Clark, consistente en la aplicación de lechadas de cal, para precipitar carbonato de calcio. Las aguas de Santa Ana, donde el valor de reacción del ácido carbónico excede al de las tierras alcalinas, permite la desaparición completa de la dureza temporal, no así las aguas de Alhuelican, donde el valor de los ácidos débiles es menor que el de las tierras alcalinas.

Explotación. La importancia de las aguas medicinales de Tehuacán es tal, que la vida económica de esta ciudad depende, en gran parte, de la explotación y utilización de las mismas. Es evidente que la explotación de las aguas subterráneas, para fines agrícolas o industria-

les, debe subordinarse al uso medicinal del agua; por lo tanto, las obras actuales de captación, como las de El Riego y Garci-Crespo y la emergencia de San Lorenzo, deben tener una amplia zona de protección, que impida el agotamiento de las fuentes, por la interposición o la influencia de galerías llevadas hasta esas zonas, por la desmedida codicia de los que conducen las captaciones sin escrúpulo ni freno, despreciando el perjuicio de los intereses legítimos.

El acuífero superior de los rellenos del valle, está ya explotado muy cerca de su límite de capacidad. Nuevas galerías sólo restarían caudal a las existentes que, como puede verse en el croquis, están ya bastante próximas.

El aprovechamiento de las aguas subterráneas para la agricultura en el valle de Tehuacán, será de una importancia secundaria, tan pronto como se dé principio a la irrigación con aguas de la presa de Valsequillo, sobre el río Atoyac, de manera que sería muy lamentable que se dañaran permanentemente las obras de captación de las aguas medicinales, con galerías que, a la postre, serían abandonadas por la introducción de la irrigación.

Las obras de captación se han emprendido sin tener un plan general, destinado a llevar a cabo una sola obra, de costo mínimo y rendimiento máximo. Actualmente, con el crecido número de galerías hechas aisladamente y la diversidad de intereses puestos en juego, es casi imposible llevar a cabo una sola obra destinada a captar integralmente el acuífero superior, aun cuando dicha obra podría trazarse. Es preferible que se establezca una legislación destinada a proteger, esencialmente, las aguas medicinales y, en seguida, cada una de las obras existentes, impidiendo ruinosas competencias y proscribiendo procedimientos alevosos que no sólo lesionan intereses privados, sino, a la postre, los de la colectividad. Habrá que declarar que una obra no podrá emprenderse, en lo sucesivo, dentro del perímetro de protección de otra, determinado por fajas de 1 km. de ancho a partir de la obra, en sentido transversal al valle y 2 km. en sentido longitudinal, medidos paralelamente a las obras o sus extremidades, o bien, en casos especiales, perímetros de protección fijados con la intervención de un perito. Se deberá establecer que las obras actuales no pueden ni prolongarse ni profundizarse más, pues eso movería a los distintos propietarios a la nociva carrera de profundización, a menos que no penetren en los perímetros de protección de otras obras y no las lesionen.

El aprovechamiento más completo posible de las aguas medicinales de Tehuacán, debe atender tanto al uso de las aguas como bebida, como

al de la aplicación de la radioactividad en los mismos manantiales, construyendo cámaras de inhalación de radio a semejanza de las existentes en algunos balnearios extranjeros, como los de Bath, en Inglaterra, con aparatos atomizadores de vapor o aire, para aplicaciones especiales en la nariz, los ojos y otras partes delicadas de la cara, pues debe recordarse que hay cinco maneras de absorber la emanación del radio, como son:¹

1. Por los pulmones.
2. Por los órganos digestivos.
3. Por la piel.
4. Por medio de diferentes formas de inyecciones.
5. Por aplicaciones locales externas.

Será fácil para los interesados en la materia, obtener diseños de las cámaras inhalatorias para el fin propuesto.

CONCLUSIONES

1. El acuífero freático de la planicie de Tehuacán, está muy cercano a su límite de explotación, en la parte inmediata a Tehuacán. El interés de la región estriba en no afectar las aguas medicinales, que constituyen la principal fuente de riqueza de la comarca, siendo ya urgente dictar medidas de protección, tanto para dichas aguas, como para evitar que, por competencias desenfrenadas, se emprendan obras cada vez más profundas, que acabarán por hacer nugatorios los frutos de las captaciones, con perjuicio de los intereses colectivos.

¹ Mineral Springs of Canada. Depart. of Mines. Ottawa. 1917. Núm. 435, p. 50.

HIDROGEOLOGIA DE LA CUENCA SUPERIOR DE LOS RIOS JAMAPA, ATOYAC Y UNA PARTE DEL BLANCO

LOCALIZACION DE LA REGION ESTUDIADA

La región estudiada se halla comprendida entre los $36^{\circ}43'$ y $97^{\circ}15'W$. del Meridiano de Greenwich y los $18^{\circ}45'$ y $13^{\circ}10'$ de latitud norte, en el estado de Veracruz, abarcando los municipios de Huatusco, Calcahualco, Alpatlahua, Coscomatepec, Tepatlaxco, Ixhuatlán (San Pedro), Tomatlán, Chocamán, Paso del Macho, La Perla, Atzacán, Atoyac, Fortín, Córdoba, Amatlán, (Reyes), Ixtaczoquitlán, San Lorenzo, El Naranjal, San Juan de la Punta, Coetzala y Cuichapa. Queda dentro de un polígono irregular, cuyos vértices son los siguientes: volcán Citlaltépetl, cerro Aguila, Atotonilco, Huatusco, Tepatlaxco, Paso del Macho, Atoyac, San Juan de la Punta, Cuichapa, El Naranjal, Orizaba y Chilapan. La superficie que abarca es de 1,600 Km.², aproximadamente.

FISIOGRAFIA

Relieve del suelo. Las elevaciones que se encuentran en la región, pertenecen a la Sierra Madre Oriental; su distribución no corresponde al de una sola unidad fisiográfica, pues están separadas por valles longitudinales y transversales, quedando muchas de ellas, completamente aisladas. Individualmente no forman sierra, sino series de cerros en grupos más o menos importantes, alineados en diferentes rumbos, siendo el dominante $N30^{\circ}W$. Primitivamente, las elevaciones consistieron en sierritas paralelas bastante cercanas; pero la erosión ha cortado a cada una de ellas en varias porciones que aparecen actualmente, como se ha dicho, formando cerros aislados. Se distinguen tres alineamientos principales: el oriental que comprende al N el cerro de Tepampa, al centro el cerro de la Ventana y al S el importante grupo de Ixviontla, Xopana-pa, Matlaquiáhuatl, Santa Rosa, San Bartolo, Manzanillo, La Cisterna,

Chiquihuite y otros; el central, que comprende al N el cerro de Ocopa, y en seguida hacia el S los cerros de Chocamán, San Antonio y Abra Chica, y el occidental que comprende los cerros de Tuzantla, Escamela, Cuautlalpan, Chicahuaxtla y el importante grupo de los cerros Alpocopa, Atzompantépetl, Malitzi y Texcuantla que pertenecen ya a la sierrita de Zongolica.

Independientemente de estas elevaciones, se encuentran al NW de la región, las correspondientes al Pico de Orizaba o Citlaltépetl, que es la eminencia principal de la comarca, y el volcán más alto de México. De este volcán, irradian varios contrafuertes, como el de Tuzantla con rumbo S50°E, el del cerro Chichimeca y Zacatla con rumbo S85°E, el de Tetelcingo con rumbo N80°E, el de Ayehualulco con rumbo N50°E, el del cerro Cuchilla y Xacal con rumbo N30°E, y el de los cerros Minas y Aguila, con rumbo N5°E.

Se considera innecesario extenderse más en la descripción de las elevaciones; en cuanto a su posición, podrá apreciarse mejor tomando en cuenta las indicaciones anteriores, y sólo se dirá que las formas de las elevaciones son, en la mayoría de los cerros, de perfiles casi rectos, con curvas poco pronunciadas, como los cerros de Escamela, Ocopa, Chocamán y Monte Blanco, habiendo algunos de perfiles cónicos, como el cerro de Chicahuaxtla y otros arredondados, como los cerros de San Antonio, cerca de Monte Blanco, Cuautlalpan y Abra Chica.

Las elevaciones de los alineamientos N30°W, tienen altitudes entre 800 m. al S del grupo Manzanillo y 2,800 m. cerca de Tuzantla, notándose menor altura, en general, en el alineamiento oriental y mayor en el occidental. El terreno en que se levantan estos cerros, desciende de W a E y de N a S, de 2,000 a 400 m. de altitud. Las elevaciones pertenecientes al Citlaltépetl se inician sobre un terreno con altitudes variables entre 2,600 y 3,000 m. alcanzando en el Pico de Orizaba, 5,540 m. sobre el nivel del mar.

Con relación a las depresiones, se verá que al E del grupo de cerros Manzanillo, se extiende la planicie costera, que alcanza en San Alejo, la altitud de 438 m.

No se puede considerar como planicies al resto de las depresiones, pues su relieve es bastante pronunciado, debido a la existencia de profundas barrancas que aislan porciones de terreno de diferente extensión, en forma de lomas de superficies más o menos planas, generalmente, con fuertes pendientes según el eje longitudinal de los valles, encontrándose algunas porciones de poca pendiente, que no merecen la denominación de planicies. A medida que se remonta el curso de los ríos,

las depresiones se hacen más angostas y el relieve más accidentado. Dada la estrecha relación de las depresiones con los ríos y arroyos. Se hará referencia a ellas al tratar la hidrografía.

Hidrografía. La red hidrográfica de la región es bastante complicada, notándose que los ríos son radiales en las inmediaciones del Pico de Orizaba; en seguida, toman rumbos entre S30°E y S70°E, en consonancia con los valles longitudinales, de las formaciones marinas del Cretácico; al salir de éstas, se dirigen a la costa, con rumbos cercanos a WE, el Jamapa y el Blanco y, trazando una porción de círculo con cuerda N60°E, el Atoyac. El río Jamapa tiene la mayor parte de sus afluentes por su vertiente N hasta Soledad de Doblado, y por su vertiente S en la planicie; el río Atoyac ocupa una posición casi central en su cuenca, teniendo sus afluentes principales por su vertiente S y el río Blanco tiene la mayor parte de sus afluentes por la vertiente N, casi todos en la porción montañosa, pues en la planicie no recibe afluentes de importancia.

El río Jamapa nace en las faldas del Citlaltépetl, cerca del cerro La Cuchilla, y con rumbo medio N48°E, avanza unos 16 Km. hasta cerca de Tlacoa, donde cambia su rumbo medio a S59°E, en una distancia de 23 Km., aproximadamente, hasta cerca de Tlamatoca, por donde sigue con rumbo medio N57°E, en una distancia de unos 9 Km., llegando a El Boquerón, donde se pierde al volverse su curso subterráneo. Desde El Boquerón hasta cerca de Tepatlaxco, continúa seco el antiguo curso, en la misma profunda barranca, en un tramo de unos 6 Km. con rumbo medio S60°E, recibiendo, en seguida, las aguas del afluente río Negro. Con su corriente restablecida, el río Jamapa continúa con rumbo medio S48°E, en un tramo de unos 8 Km., hasta cerca de La Defensa, ya fuera de la región estudiada.

El río Jamapa tiene, por su vertiente N, los siguientes afluentes principales: el Atotonilco, que nace al pie del cerro Aguila y se le reúne cerca de Tlacoa, con un desarrollo de unos 16 Km.; el Michapan, que tiene su origen en la resurgencia de ese nombre y se le reúne a unos 2 Km. aguas arriba del Boquerón, con un desarrollo de unos 5 Km., y el río Negro, con numerosos subafluentes, que nace entre Tizapa y Tepampa y se le reúne, como se ha dicho, cerca de Tepatlaxco, con un desarrollo de unos 28 Km. Por su vertiente sur, sólo se mencionará al Tecuanapa, que nace cerca de Vaquería y se le reúne al N de Tezongo, con un desarrollo de unos 20 Km.

La cuenca del Jamapa es muy accidentada, fluyendo tanto el río como sus afluentes y subafluentes, en profundas barrancas de flancos

acantilados o muy escarpados. La barranca más importante es la del Jamapa, que alcanza profundidades de 300 m. y amplitudes de 500 m. en su parte superior y 200 m. en su fondo. El terreno que queda comprendido entre estas profundas barrancas, es muy accidentado, desde las faldas del Citlaltépetl hasta cerca de Alpatlahua, quedando entre dichas barrancas espinazos rocallosos y crestas afiladas; es menos accidentado, desde el lugar antes dicho, hasta cerca de Ixhuatlán, donde la barranca del Jamapa está encajonada en un terreno de superficie menos irregular, si bien, donde las barrancas se aproximan, adquiere la forma de un lomo angosto; desde Ixhuatlán hasta cerca de El Boquerón, el suelo es bastante plano en la vertiente sur del río, ampliándose por Tepcapantal hasta 4 Km. Por su vertiente norte, el terreno consiste desde Tlamatoca y El Boquerón hasta Huatusco, en una serie de lomeríos de superficies inclinadas y más o menos angostas, separados también por las profundas barrancas, afluentes del Jamapa. Esta misma topografía se encuentra desde El Boquerón hasta La Defensa.

La red hidrográfica del Jamapa es de forma dendrítica, con valles simétricos en parte transversales y en parte longitudinales, con sus cursos consecuentes en el colector principal y en los afluentes más importantes y con el carácter de colgantes en la mayoría de los afluentes secundarios. El perfil del río se encuentra bastante alejado del perfil de equilibrio y, en su mayor parte, es de muy fuerte pendiente. El río tiene aguas permanentes desde los manantiales de El Jacal y cuando llega a El Boquerón lleva, en el estiaje, un caudal de unos 6,000 l.p.s. y, en las avenidas, caudales de más de 200,000 l.p.s., siendo entonces insuficiente El Boquerón, para conducir todas las aguas, derramándose el excedente por el antiguo curso, donde entonces se restablece la corriente.

El río Atoyac tiene una red hidrográfica muy complicada e irregular, en su mayor parte de forma dendrítica. Por la importancia de su recorrido, debía considerarse como colector principal al que se inicia en las faldas del Citlaltépetl, pasa cerca de Coscomatepec y Tomatlán, toma el nombre de río Seco cerca de Mixcalco; pasa al E de Córdoba, por la Peñuela, La Concepción, San Lorenzo y Sala de Agua y se reúne al Atoyac a unos 3 Km. al NE de la ranchería de Ojo de Agua; pero por su caudal permanente, se considera arteria principal la que nace en Ojo de Agua Grande y pasa por Atoyac.

La cuenca del río Atoyac tiene un relieve muy variado. Los afluentes Tlacuapa y Duraznillo, fluyen por barrancas profundas, de flancos escarpados de unos 100 m. de profundidad, 150 m. de anchura, en su

fondo y 200 a 300 m. de anchura, en su parte superior, en el Tlacuapa, hasta cerca de Cocalcingo y en el Duraznillo, hasta cerca de Tetlaxco, quedando entre estas barrancas y las de sus afluentes, crestas afiladas, lomeríos angostos y sólo entre Alpatlahua y San Nicolás, el elevado cerro arredondado de Ocopa. Entre Cocalcingo y Tozongo, la barranca se amplía y, después se reduce notablemente hasta adquirir la forma de un cauce común y corriente, hasta la confluencia del arroyo Tamazolapa, donde vuelve a encajonarse, cada vez más profundamente, hasta Mixcalco. El terreno comprendido entre estos ríos, desde cerca de Coscomatepec, Tetlaxco, Ixhuatlán y Chocamán, presenta planos bastante regulares, con pendientes de 2° a 10° al SE hasta Córdoba. Desde este lugar, hasta San Juan de la Punta, el terreno es también bastante plano, con pendientes de 2° a 4° y con ondulaciones suaves, estando los ríos poco encajonados y, en partes, con amplios cauces bajos.

En la red del Atoyac puede señalarse un fenómeno de captura en el pueblo del mismo nombre, pues, con toda probabilidad, el río seguía el flanco occidental del lomerío Corral de Piedra y, por el avance de la cabeza de un pequeño afluente del arroyo Chiquihuite, que ejecutó un corte transversal a dicho lomerío, se interceptó el curso del Atoyac que, abandonando su curso antiguo, se precipitó por la barranca del afluente mencionado, que tiene un salto de unos 8 m. y, después, bordea el lomerío Corral de Piedra, por su flanco oriental, donde tiene su límite la planicie costera.

El relieve del terreno es muy pronunciado en la cuenca del Metlac, desde su origen hasta cerca de Monte Blanco, donde recorre profundas barrancas del tipo Jamapa, separadas por afiladas crestas y elevados cerros, como el de Chilapan. Desde Monte Blanco, hasta cerca del puente Metlac, del F.C. Mexicano, el terreno bajo es de relieve moderado, con suaves ondulaciones y aspecto en todo semejante al del terreno recorrido por el río Seco. En seguida, se encuentra un extenso acantilado, como el que aparece en los cortes de la barranca de Metlac, en la parte recorrida por la vía del F.C. Mexicano, que se prolonga fuera de esa barranca, hacia el W, hasta las faldas del cerro Cuautlalpam, encontrándose al pie de ese acantilado, la resurgencia del Sonso.

A poca distancia del lugar donde la vía referida atraviesa la barranca, esta comienza a ampliarse, cerca del puente de San Miguel, en la carretera Orizaba-Córdoba y desaparece al fluir el río, al pie de los cerros de Chicahuaxtla, verificando la confluencia con el río Blanco, en terreno abierto.

El río Metlac tiene aguas permanentes desde cerca de Chilapan. Su caudal en el estiaje es superior a 2,000 l.p.s., llevando en tiempo de avenidas más de 50,000 l.p.s.

El río Blanco fue estudiado en una reducida porción de su curso, desde su confluencia con el río Orizaba, hasta cerca de Cuichapa. Se indicarán aquí los pequeños afluentes que se encuentran por su vertiente norte y son: el arroyuelo de Escamela y el de Zacatepec, que recorren terrenos de relieve moderado, con suaves ondulaciones, donde se alojan los cauces de los mismos, encajonados en algunos lugares.

Geomorfología. En el relieve del terreno intervienen, principalmente, agentes de la dinámica interna, de naturaleza volcánica en el Citlaltépetl y zona inmediata, y de orden tectónico en la formación del resto de las elevaciones calizas. Los principales agentes modeladores del relieve creado por estos agentes consistieron en procesos destructivo-constructivos sedimentarios, pues la abrasión glacial abrió profundos valles en U después, acarreos glaciales rellenaron los valles primitivos o principales y, por último, un nuevo período de abrasión, abrió valles secundarios en los rellenos indicados, dando lugar a las profundas barrancas del Jamapa, Tomatlán, Duraznillo, Chocamán, Metlac, etc., a las que concurren numerosos subafluentes colgantes.

La abrasión glacial modeló las elevaciones calizas, en las que se encuentran numerosos circos y aristas filosas y, posteriormente, la erosión fluvial ha modificado el relieve; ligeramente en la mayor parte del terreno y, notablemente, donde ha podido intervenir la permeabilidad especial de las calizas, cuya disolución origina cavernas que permiten la circulación subterránea de los ríos, causando pérdidas, como la del Jamapa en el Boquerón, o dando lugar a importantes resurgencias, como las del Atoyac y Chiquihuite. Se tratará con más detalle la génesis del relieve, después de mencionar los factores geológicos que intervinieron.

Obras hidráulicas. Orizaba cuenta con la importante planta hidroeléctrica de Tuxpango que le proporciona energía a Orizaba, así como a Córdoba, Veracruz y Puebla, y hay pequeñas instalaciones hidroeléctricas en Potrero Nuevo y Coscomatepec. Córdoba cuenta con una pésima instalación de abastecimiento de aguas no potables, y Coscomatepec con una captación de aguas potables, que se conducen por medio de un caño de mampostería, en mal estado, que facilita su contaminación, en el trayecto por las calles del pueblo.

GEOLOGIA

Rocas

Entre las rocas pirogénicas, se encuentra andesitas y basaltos; entre las piroclásticas, brechas y arenas basálticas; entre las hidrogénicas, travertino y pedernal; entre las biogénicas, calizas marinas; entre las hidroclásticas, pizarras arcillosas, arcillas, areniscas, arenas y aluviones; y entre las autoclásticas, tilitas y aglomerados.

Andesitas. Unas pueden clasificarse como de hornblenda e hiperstena y otras como basálticas. Las primeras son, generalmente, de textura porfirítica, con fenocristales de hornblenda e hiperstena, andesina, oligoclasa y biotita escasa, y se encuentran en la base del Citlaltépetl, en corrientes de 20 a 40 m. de potencia, que se extendieron hacia el NW hasta cerca de Tepetlapa; hacia el E hasta cerca de Tenex-tepec, y hacia el SE hasta cerca de Tepalcasanto, siendo el radio mayor de avance a partir del cráter, de cerca de 15 Km.

Las andesitas basálticas son de coloración oscura, gris y azulada, de textura felsítica y porfirítica, con fenocristales de hornblenda, augita y labradorita. Se encuentran en corrientes de 4 a 10 m. de potencia, abarcando una área más extensa que la ocupada por las andesitas francas, con sus límites por Alpatlahua, Ixtepec y Chilapan, avanzando hasta unos 22 Km.

Basalto. Su color es azul muy oscuro y negro, su textura felsítica y porfirítica, con fenocristales de augita, labradorita y olivino. Se encuentra en corrientes de 2 a 4 m. de potencia, desde las mayores alturas del Citlaltépetl hasta las faldas del mismo, extendiéndose en un radio de unos 5 Km.

Brechas y arenas basálticas. Las brechas basálticas son de colores negro y café muy oscuro, bastante compactas, con fragmentos muy irregulares, ampollosos y de aristas vivas. Se encuentran en el Citlaltépetl, en depósitos irregulares, desde la parte más elevada, hasta la base del cono volcánico. Las arenas basálticas son de colores negro y azul muy oscuro, con elementos de augita, piroxena y labradorita. Se encuentran desde la cumbre del Citlaltépetl, hasta las faldas del mismo, formando depósitos de importancia, hasta distancias de 18 Km. al E del volcán, por Tetelcingo.

Travertino. De colores amarillentos o blanquizeos, de textura botroidal, concrecionada, tufácea o compacta. Se encuentra formando parte de los acantilados comprendidos entre el cerro Chuauhtlalpan y

Fortín, y en numerosas grutas y cavernas, en forma de estalactitas y estalagmitas.

Pedernal. De color negro, textura vítrea y compacta. Se encuentra en capas de poco espesor, intercaladas entre estratos de calizas y de pizarras, y en forma de pequeñas masas irregulares, nódulos y cintas.

Calizas. Son bastante compactas y ofrecen una coloración amarillenta, gris azulada, blanquiza y en partes rojiza. Constituyen el material dominante en las elevaciones de la región, excepto el Citlaltépetl y se encuentran en capas de 0.05 a 0.50 m. y en bancos de 1 a 6 m. de espesor.

Pizarras arcillosas. De colores rojizos y amarillentos y poca compacidad. Se encuentran intercaladas entre las calizas, en estratos de 0.02 a 0.50 m. de espesor y, constituyendo por sí solas, una formación de importancia.

Arcillas. De diversa compacidad y coloración, dominando la rojiza. Forman parte de los rellenos de los valles, dispuestas en bancos de 2 a 10 m. de espesor.

Areniscas. Su coloración es gris, azulada y amarillenta y su compacidad variable. Existen areniscas de dos clases: marinas, intercaladas entre las pizarras y calizas, siendo muy compactas; y acuoglaciales, alternando con arcillas y otros materiales en el relleno de los valles, en bancos de 1 a 4 m. de espesor, siendo de compacidad media.

Arenas. De coloración semejante a la de las areniscas. Dispuestas en bancos de 1 a 8 m. de espesor, alternando con las arcillas, areniscas y otras rocas, en el relleno de los valles.

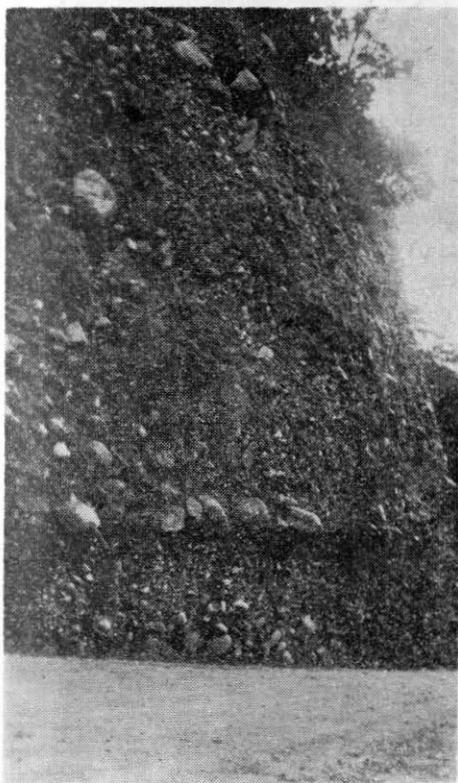
Aluviones. Compuestos de cantos subangulares de andesita, basalto y caliza, mezclados con arenas de diverso tamaño. Se encuentran en depósitos irregulares, en los cauces de los arroyos e intercalados entre los materiales de los rellenos de los valles.

Tilitas y aglomerados. Compuestos de fragmentos de diverso tamaño de rocas ígneas. Las tilitas son muy compactas, y aparecen en bancos de 1 a 8 m. de potencia, con sus cantos angulares y subangulares, dispuestos sin estratificación ni clasificación, foto 1; cementados por arcillas y "harina de roca". Los aglomerados, compuestos también de fragmentos de rocas ígneas de diversos tamaños, desde pequeños cantos hasta grandes peñascos, forman depósitos irregulares en los rellenos de los valles, correspondiendo, generalmente, a morrenas terminales. En la superficie del terreno, los fragmentos se encuentran sueltos, demarcando zonas muy pedregosas, mientras que en el subsuelo forman acumulacio-

nes de cantos y peñascos, sepultados en arenas y arcillas incoherentes, que fácilmente se derrumban en los cortes del terreno.

CONSIDERACIONES ESTRUCTURALES

En la región se encuentra como formación inferior, calizas, con grandes pliegues isoclinales, anticlinoriums y sinclinoriums, compuestos de pliegues menores, recostados, recumbentes y en algunos lugares simétricos; sobre las calizas reposan pizarras arcillosas, que participan



Fot. 1.—Tilitas con arcillas cerca del puente de San Miguel. Carretera Orizaba-Córdoba, Ver.

de los plegamientos que afectan a las calizas inferiores; les siguen calizas en capas delgadas, igualmente plegadas; y después, calizas en bancos, con pliegues abiertos, casi simétricos.

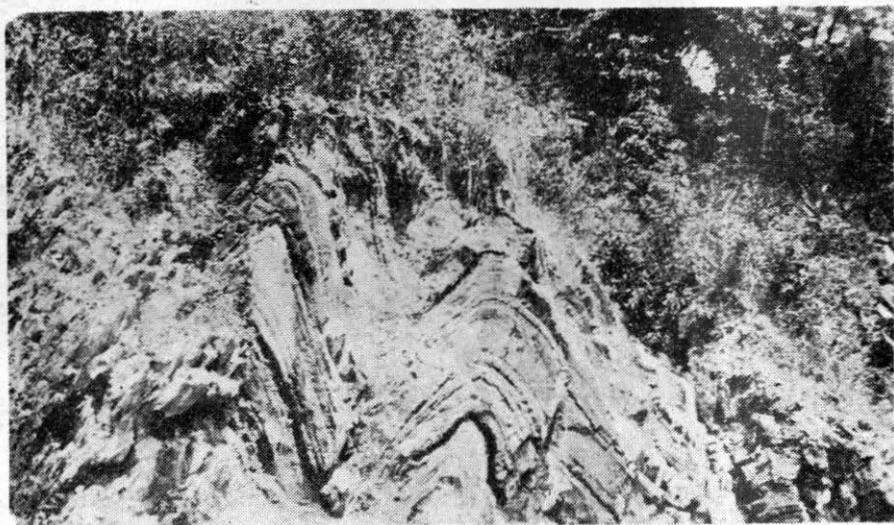
Sobre estas formaciones se apoyan las rocas ígneas en la pequeña

zona del Citlaltépetl, y en el resto de la región, en las depresiones, las rocas hidroclásticas que se han mencionado antes, dispuestas en capas y bancos con echados de 2° a 6° , en el sentido de las actuales corrientes fluviales que recorren los valles. Se estudiará con mayor detalle la naturaleza estructural correspondiente a estas rocas, agrupándolas en: rocas marinas, ígneas y continentales.

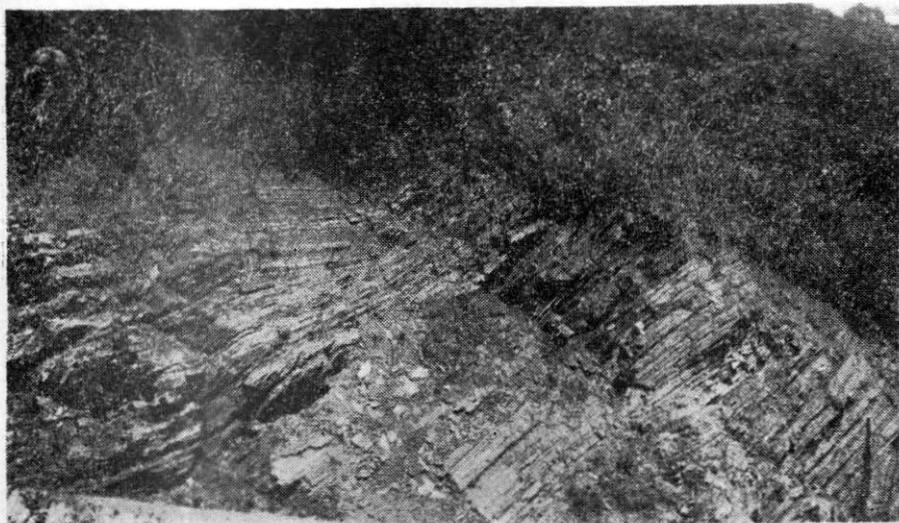
Rocas marinas. Las calizas inferiores alternan con pizarras, areniscas y pedernal, en capas delgadas y, a juzgar por las observaciones de campo, tienen una potencia de más de 200 m. Sus plegamientos principales son isoclinales, con rumbo $N30^{\circ}$ a $60^{\circ}W$ y echado al W en la mayor parte de la región. Se identificaron grandes sinclínoriums y anticlínoriums, de una amplitud de 4 Km., mientras que los pliegues secundarios llegan a tener amplitudes de 10 a 40 m. En algunos lugares, los plegamientos secundarios son tan pronunciados, que a su vez se dividen en plegamientos terciarios, como lo ilustra la foto Núm. 2, donde se muestra la cumbre de un anticlinal con pequeños plegamientos.

Sobre las calizas referidas se encuentran las pizarras arcillosas, sin que se pueda señalar con certidumbre su relación estratigráfica que, aparentemente, es concordante, aunque pudiera haber una pequeña discordancia angular, como lo asienta Burckhardt.¹ Las pizarras presen-

¹ Etude synthétique sur le Mésozoïque mexicain, par C. Burckhardt: Mémoires de la Société Paléontologique Suisse, Vol. II. 1930. p. 198.



Fot. 2.—Anticlinales en las pizarras. Carretera Orizaba-Córdoba, Ver.



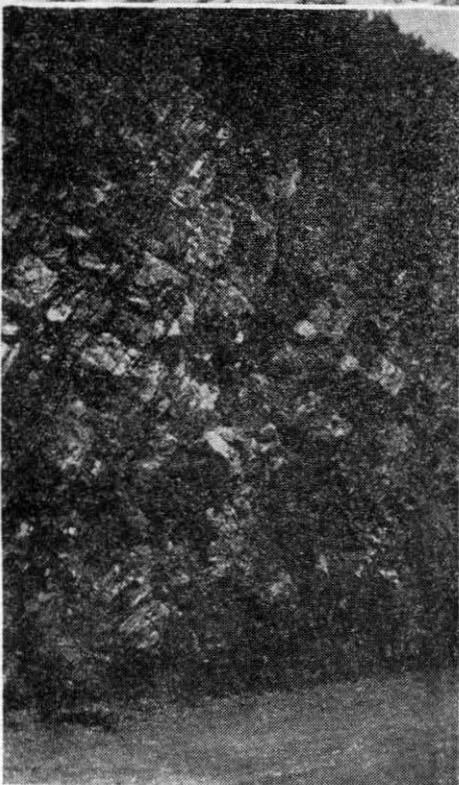
Fot. 3.—Pizarras cerca de Cautlalpan. Carretera Orizaba-Córdoba, Ver.



Fot. 4.—Anticlinal en calizas alternando con pizarras. Carretera Orizaba-Córdoba, Ver.



Fot. 5.—Capas de pliegues cerrados en posición inclinada. Carretera Orizaba-Córdoba, Ver.



Fot. 6.—Pliegues cerrados cerca de Las Cumbres. Carretera Orizaba-Córdoba, Ver.

tan, como las calizas inferiores, grandes pliegues isoclinales, con plegamientos secundarios, unas veces difícilmente identificables, foto Núm. 3, otras claramente manifiestos, foto Núm. 4. Su potencia es de unos 200 m.

Calizas en capas de espesores diferentes, foto Núm. 5, reposan sobre las pizarras arcillosas, afectadas también, por plegamientos parecidos a los que presentan las calizas inferiores y las pizarras, con grandes isoclinales compuestos, cuyos aleros están, a su vez, plegados como lo muestra la foto Núm. 6. En los estratos de estas calizas se observan rumbos $N25^{\circ}W$, con 60° de echado al W, por Cuautlalpan; NS y $N10^{\circ}E$ con echados de 30° a 85° al E, en El Boquerón; y en el lomerío de Corral de Piedra, se observa un rumbo $N10^{\circ}E$ y echados de 70° a 80° al E. El espesor de esta formación es de unos 400 metros.

Sobre las calizas indicadas se encuentran, por último, otras calizas dispuestas en gruesos bancos, con plegamientos muy distintos de los que presentan las formaciones inferiores, pues son abiertos, casi simétricos y de amplitud que alcanza 12 Km. Algunos autores dicen que las calizas superiores tienen una relación estratigráfica en discordancia con las calizas que las soportan, y que, las mismas, se depositaron después de que dichas formaciones habían sido plegadas,¹ pero parece poco fundada tal aseveración, puesto que de haber ocurrido un período continental intermedio, necesariamente las formaciones tendrían sedimentos de un mar regresivo primero y transgresivo después, y no sucederían a calizas con intercalaciones de arcillas, calizas más puras, por cuyo motivo, es de suponerse que las calizas superiores presentan pliegues abiertos, debido a la menor facilidad de los gruesos bancos para ceder a los esfuerzos de compresión, ya que siendo ésta una formación relativamente superficial, tuvo que experimentar fenómenos de fracturamiento, principalmente.

La potencia de las calizas en gruesos bancos, es superior a 400 m. y, los echados que presentan hacen suponer que el lomerío de Corral de Piedra, corresponde al alero W de un anticlinal, y que los cerros de Abra Chica corresponden al alero E de otro anticlinal, por lo que se infiere que al subsuelo de la depresión de Potrero corresponde un sinclinal, el que puede estar más o menos destruido por la erosión.

No puede señalarse la localización de fallas de gran importancia, como las que hace figurar el Dr. Böse² en sus cortes geológicos, pues sólo se ven numerosas fallas de pequeños saltos, en las calizas inferiores y en las intermedias, entre las cuales, la más importante es la que se encuentra en el túnel del kilómetro 339 de la vía del F.C. Mexicano, cerca de Atoyac.

¹ Burekhardt. Loc. Cit.

² Geología de los alrededores de Orizaba, por E. Böse. Bol. 13. Inst. Geol. de Méx.

Rocas ígneas. Las andesitas de hornblenda e hiperstena que, como se ha dicho, están dispuestas en corrientes de 20 a 40 m. de espesor, descienden de la base del cono volcánico del Citlaltépetl, sobrepuestas las unas a las otras, sin que se haya encontrado tobas andesíticas intermedias. Su echado es radial, de 30° a 10°, desde el volcán hasta distancias de 15 Km., y va disminuyendo hasta unos 4° cerca de sus términos. Esta sucesión de corrientes alcanza un espesor de más de 200 m. en la base del cono volcánico, y en sus extremos, un espesor de 40 a 100 m.

Sobre la estructura de andesita de hornblenda e hiperstena, se apoyan andesitas basálticas, indicando, sus planos de contacto, un período de erosión intermedio. Estas rocas avanzaron más que las anteriores andesitas y dieron lugar, también, a una sucesión de corrientes de 4 a 10 m. de potencia, que alcanzan espesores de 20 a 40 m. cerca de Alpatlahua, Ixtepec y Chilapan, mientras que, directamente abajo del cono volcánico, es probable que tengan espesores de cerca de 1,000 m., teniendo en cuenta, también, las rocas piroclásticas.

Las rocas basálticas se apoyan sobre las andesitas basálticas, con un contacto que revela, también, las rocas piroclásticas.

Las rocas basálticas se apoyan sobre las andesitas basálticas, con un contacto que revela un período de erosión intermedio, encontrándose brechas en depósitos irregulares, de fuerte inclinación, alternando con corrientes de poca potencia. Sobre la superficie andesítica, reposan arenas volcánicas, que se extienden en grandes áreas alrededor del Citlaltépetl, pero que alcanzan su mayor espesor en las faldas del mismo, en la plataforma donde se levanta el cono.

Las rocas ígneas están surcadas por grietas del tipo de las leptoclasas y, aunque es probable que en dichas rocas existan diaclasas y paraclasas, no es posible señalarlas, pues no hay grietas lo suficientemente extensas y profundas para ser clasificadas como diaclasas, ni se observan deslizamientos.

Depósitos continentales. Como la mayor extensión de los valles queda comprendida entre elevaciones calizas, encontrándose también esa roca en el subsuelo; el relleno de los mismos reposa, en su mayor extensión, sobre calizas y sólo en reducidas porciones, en rocas ígneas. No se conoce qué clase de rocas forman la parte inferior de los rellenos aunque se presume que sean de la misma naturaleza que el resto de los mismos, revelados por los profundos cortes de las barrancas.

Las estructuras de estas rocas son las correspondientes a depósitos de ventisqueros, que avanzaron hasta el mar y retrocedieron hasta sus

orígenes, varias veces, pudiendo señalarse dos alternativas de esa importancia, sin contar los avances y retrocesos parciales.

Como resultado de estos procesos, quedaron en el relleno de los valles, extensos depósitos de tilitas o materiales "subglaciales" y "englaciales", y aglomerados provenientes de los materiales "superglaciales", alternando con materiales acuoglaciales, correspondientes en su mayor parte a los depósitos que dan lugar a "conos de transición",¹ o "planicies frontales",² y con aluviones fluvio glaciales.

No se encuentran en la región morrenas frontales bien caracterizadas, ni se pudo identificar "aparatos fluvio glaciales" o "complejos glaciales",³ por lo que se cree que el retroceso de los ventisqueros fue muy rápido, dejando principalmente morrenas de fondo tipo profundo⁴ y, por excepción, de tipo "drumlin", con aglomerados de morrenas superficiales, que se extienden en depósitos irregulares de 1 a 8 m. de espesor, con planos inferiores, irregulares, de 2° a 6° de echado, en el sentido de las actuales corrientes fluviales. Sobre las tilitas reposan areniscas acuoglaciales en bancos de 1 a 4 m. de espesor, con echado de 2° a 6°, en el mismo sentido que las tilitas y con planos de estratificación bien marcados, foto Núm. 7, sobre estos bancos de arcilla con estratificación concordante e intercalaciones irregulares de acarreo fluvio glaciales, foto Núm. 8, arriba, se encuentran tilitas, areniscas y arcillas y así sucesivamente.

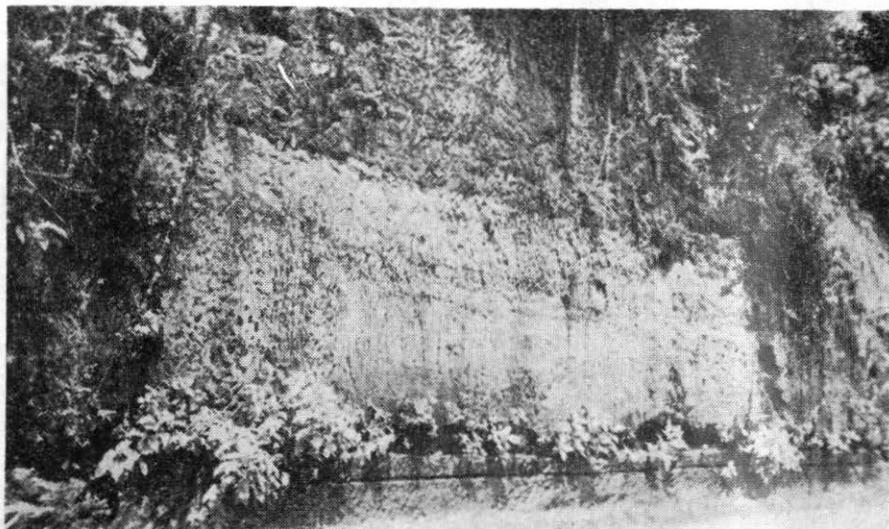
La disposición de los materiales que se ha indicado, no es continua en ningún sentido. Transversalmente, las morrenas de fondo quedan cubiertas, en parte de su extensión, por las morrenas medias y laterales, mientras que en algunos tramos, las morrenas frontales adquieren importancia y, además, como no se corresponden los acarreo de los diversos ventisqueros, ni aun los de uno mismo, puesto que al retroceder el frente, no seguía una línea recta normal a la dirección del retroceso, resulta que en un plano horizontal, junto a las tilitas se encuentran areniscas o arcillas. En una sección vertical, todavía en sentido transversal a los valles, las tilitas quedan separadas por depósitos de areniscas o arcillas y, en algunos lugares, cubiertas directamente por tilitas. La estructura resultante, figura 1, es sumamente irregular, con cuerpos de arenas, aglomerados y tilitas de formas caprichosas, confinados entre depósitos de areniscas y arcillas de forma también irregular. Complica aún más la estructura, la intervención de acarreo fluvio gla-

¹ E. Hang *Traité de Geologie*. T. I, p. 457.

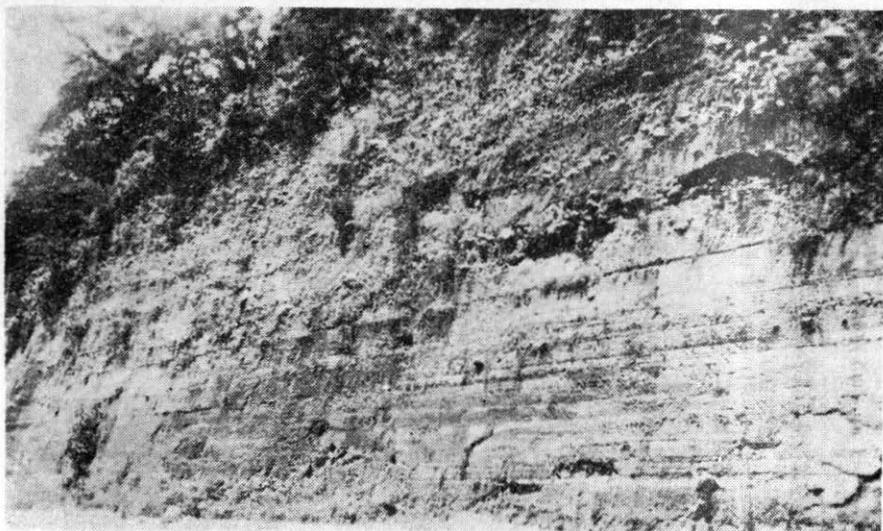
² Este nombre es provisional en substitución de "Apron plain".

³ E. Hang. *Loc. cit.* p. 457.

⁴ E. Hang. *Loc. cit.* p. 456.



Fot. 7.—Alternancias de depósitos acuoglaciales cerca de Fortín, Ver.
Carretera Orizaba-Córdoba, Ver.



Fot. 8.—Alternancias de depósitos acuoglaciales, cerca de Fortín, Ver.

ciales y fluviales simples, de los lapsos interglaciales, así como de los depósitos lacustres resultantes de embalses, producidos por la unión de morrenas marginales y frontales, principalmente, y de hundimientos locales, causados por la fusión de grandes bloques de hielo sepultados. Acaso también hayan existido lagos del tipo suizo, Märjeles, como lo hace presumir los deltas glaciales de Huátusco.

En el sentido longitudinal, las morrenas de fondo ocupan la zona inmediata al Citlaltépetl; le siguen, en el mismo estrato, las areniscas en extensiones más o menos grandes y, por último, las arcillas, encontrándose en algunos lugares, a continuación, tilitas, areniscas y arcillas. En la vertical, las tilitas no se corresponden sino en algunos lugares, con otras tilitas, superiores o inferiores, siendo más frecuente la correspondencia de las arenas y areniscas y, todavía más, la de las arcillas, de lo que resulta una estructura muy complicada, en la que algunos cuerpos de tilitas, arenas, areniscas y aglomerado, quedan completamente rodeados de arcillas, mientras que la mayor parte de dichos cuerpos tienen embutidos en las arcillas, solamente sus extremos inferiores. Respecto a la extensión de los planos estratigráficos, hay que examinar dos casos; pendiente fuerte de los fondos calizos, dando perfiles relativamente regulares, y pendiente suave de los planos, en cuyo caso, serán tanto más extensos cuanto más alejados se encuentren del fondo y más cercanos a los orígenes del valle; y pendiente cercana al paralelismo entre el fondo calizo y los planos estratigráficos de los rellenos, en cuyo caso, la longitud de los planos tendrá diferencias pequeñas, relativamente. Es muy probable que éste sea el caso, figura 2.

GEOLOGIA HISTORICA

Sólo se expondrán algunas inferencias que se desprenden de las observaciones sobre la constitución geológica de la comarca y a consignar los datos estratigráficos de los autores que merecen confianza, aunque se difiera en algunos conceptos, haciendo, además, algunas consideraciones generales.

Las rocas más antiguas que se encuentran en la región, son calizas, en delgadas capas, con intercalaciones de estratos de pizarras, areniscas y cintas de pedernal. Estas calizas, según el Dr. C. Burckhardt,¹ pertenecen al Aptiano superior (Gargaciano) entre cuyos fósiles se encuentran *Dufrenoya justinae* Hill y *Parahoplites* sp. y, siguiendo la división establecida por el Dr. Böse,² las denomina Burckhardt

¹ Etude synthétique sur le Mésozoïque mexicain, par C. Burckhardt: Mémoires de la Société Paléontologique Suisse. Vol. II. 1930. p. 197-198.

² Geología de los alrededores de Orizaba, por E. Böse. Bol. 13. Instituto Geológico de México.

“Parte inferior de las calizas de Maltrata”. En seguida se encuentran las pizarras arcillosas, denominadas por Böse “pizarras de Necoxtla”, que Burckhardt coloca en el Gault, admitiendo que en la base del Cretácido medio, o sea, entre las calizas inferiores de Maltrata y las pizarras de Escamela, hay una laguna y discordancia angular. En las pizarras referidas, no se han encontrado hasta ahora fósiles, los siguen calizas, también en delgadas capas, con intercalaciones de pedernal y pizarras arcillosas, cuya parte superior consta de bancos gruesos, que fueron denominados por Böse “calizas de Maltrata”, y el Dr. Burckhardt llama “parte superior de las calizas de Maltrata”, pertenecientes, según dicho autor, al Vraconiano. Sobre estas calizas, reposan otras con discordancia aparente, dispuestas en gruesos bancos, llamadas por Böse “calizas de Escamela” y que pertenecen, según Burckhardt, al Cenomaniano y, posiblemente en parte, al Turoniano.

El Dr. Burckhardt dice que la fauna fósil de las calizas del Aptiano superior, permite inferir que son de la zona bathyal,¹ y puede añadirse que el litoral estaba cercano, puesto que podían llegar los sedimentos finos que alternan con las calizas. Puede admitirse que se inició, en seguida, una regresión marina, que dio lugar a la formación de las pizarras arcillosas, ocurriendo ésta en el Gault.

Siguió una transgresión que restableció las condiciones de depósito de las calizas inferiores, cuyos fósiles permiten conocer que ese depósito ocurrió en el Vraconiano, y se inició una nueva regresión marina, menos rápida que la anterior, que dio lugar, al principiar, a una fauna que iba poco a poco perdiendo su carácter bathyal, e iba adquiriendo cada vez más un carácter nerítico, hasta el nerítico franco, que presentan las calizas del Cenomaniano y el Turoniano.

No se tienen datos para asegurar que dicha regresión se continuó hasta dar lugar al depósito de arcillas, arenas y gravas; pero es muy probable que así haya ocurrido, toda vez que se han encontrado en zonas inmediatas,² depósitos marinos de esa naturaleza, pertenecientes ya al Terciario. Si esos depósitos existieron en la región, actualmente han desaparecido, toda vez que la erosión glacial fue muy enérgica, así como la erosión fluvial, habiendo sido destruidas, en muchos lugares, las calizas del Turoniano, las del Cenomaniano, las pizarras del Gault y aun las calizas del Vraconiano. Para la mejor comprensión de lo expuesto, consúltense los cortes geológicos que acompañan a este informe.

Se cree que existieron tales depósitos, porque se considera que

¹ Loc. cit. p. 199.

² Barranca de Tatetla.

para permitir el plegamiento de las calizas, se requirió según se ha demostrado experimentalmente, una presión de arriba hacia abajo, es decir, una carga superior, que sólo pudo deberse al peso de los sedimentos arcillosos y arenosos referidos.

Los plegamientos que presentan las calizas, fueron producidos al parecer, con anterioridad e independientemente de la iniciación de la gran actividad volcánica del Mioceno, pues se observa que las capas de las formaciones marinas conservan su rumbo general, aun en las inmediaciones del Citlaltépetl y, sólo muy localmente, se encuentran allí irregularidades.

Puede creerse, por consiguiente, que entre el plegamiento de las calizas y la actividad volcánica, transcurrió un lapso que puede dividirse en dos partes, cuya relación no podría fijarse; la primera, comprendiendo el depósito de los sedimentos necesarios para formar la carga superior que llevó a las calizas hasta la zona donde se ejercitaron los esfuerzos de compresión lateral que las plegaron y, la segunda, para llevar a cabo ese plegamiento y permitir que las calizas emergieran hasta la altura en que actualmente se encuentran. Ese lapso abarcó el Emscheriano el Aturiano y el Daniano, del Neo Cretácico y el Eoceno, Oligoceno y parte del Mioceno, del Terciario.

No sabría decirse si la emersión de las calizas fue debida a esfuerzos de intrusión, a los mismos esfuerzos que las plegaron, a movimientos isostáticos o a una combinación de todos estos esfuerzos, ni si transcurrió un intervalo de tiempo, largo o corto, entre la emersión continental y la iniciación de la actividad volcánica; pero es de creer que antes de la misma, la erosión había modificado bastante la topografía original, en directa relación con las estructuras; pues se encontraban valles transversales que fueron seguidos por las lavas, como lo demuestran las corrientes andesíticas de Alpatlahua, entre las que sobresale la cresta caliza de Ayehualulco, que separaba dos valles.

De acuerdo con las ideas anteriormente expresadas, al verificarse la emersión continental, la incipiente red hidrográfica debió establecerse en terrenos consistentes en arcillas, más o menos incoherentes, arenas, areniscas y gravas, y los cursos consecuentes debieron tener direcciones cercanas a la normal a la playa de ese entonces. Conforme avanzó el proceso evolutivo del ciclo de erosión, los cauces profundizados, llegaron a las calizas de Escamala y, entonces, los cursos tomaron el carácter de superimpuestos. Arrastradas las arcillas y rocas asociadas, la red fluvial fue acomodándose a la estructura de las calizas superiores, aunque sin llegar a perder los rasgos principales de los colectores anteriormente

establecidos, desarrollándose los cursos subsecuentes en los sinclinales abiertos y simétricos de las calizas de Escamela. Al avanzar aún más la erosión, quedando destruidas las calizas referidas, en su mayor parte, los valles, anteriormente labrados en ellas, se establecieron en las calizas de Maltrata, donde el acomodamiento, de los cursos subsecuentes dio origen a valles longitudinales, que ocupan varios anticlinales y sinclinales secundarios, toda vez que en la estructura isoclinal, no tienen gran influencia los pliegues en la producción del relieve; pero los antiguos cursos principales se conservaron con ligeras modificaciones, debiéndose a ellos los grandes valles transversales que surcan a las calizas de Maltrata, aunque hayan contribuido en el desarrollo de los mismos, las fracturas normales al rumbo de las capas.

La actividad volcánica, en la región, tuvo como único representante al Citlaltépetl. No se encuentran depósitos de tobas o brechas andesíticas en las faldas o inmediaciones del Citlaltépetl pero, con toda probabilidad, existen en la base del cono volcánico, cubiertas por las corrientes efusivas que en series casi continuas, rodean al Citlaltépetl. Intervino un período de calma entre estas erupciones y las que dieron origen a las andesitas de hornblenda e hiperstena, avanzando las corrientes de estas rocas, aún más que las anteriores y, después de otro intervalo de calma, se iniciaron las erupciones de rocas basálticas. La actividad volcánica se inició a fines del Mioceno o principios del Plioceno, según reputados autores,¹ verificándose las erupciones basálticas en el Plistoceno y el Holoceno.

Durante el Plistoceno, la región quedó cubierta por grandes masas de hielo que, descendiendo desde el Citlaltépetl y cumbres comarcanas, llegaban hasta el mar. La edad Glacial tuvo una gran importancia en esta zona; pues los ventisqueros efectuaron un complicado trabajo destructivo y constructivo, ahondando los valles calizos y depositando su carga.

La corración glacial dio lugar en esos valles a formas en U, teniendo el fondo bastante amplio y plano, como pendientes de 1 a 2%; pues los ventisqueros avanzaron hasta mar adentro y pudieron profundizar notablemente los valles. Al sobrevenir el retroceso de los ventisqueros, como éste fue bastante rápido, los materiales acarreados por los hielos quedaron casi en el mismo lugar que ocupaban en los primeros ventisqueros, dispuestos en morrenas laterales, medias y, sobre todo, en morrenas de fondo de tipo profundo.²

Conforme retrocedían los ventisqueros, se depositaban, cerca de sus

¹ Bosquejo Geológico de México, Bol. IV, V y VI. Inst. Geol. de Méx., p. 233 y 234.

² E. Hang. Loc. Cit.

márgenes frontales, los sedimentos acarreados sobre la superficie de los mismos, en las zonas inmediatas al sitio de los "conos de transición", formándose las planicies frontales; es de creer que se extendía así, un depósito casi continuo de arenas y guijarros cubiertos por arcillas.

El avance temporal de los ventisqueros, permitía que éstos se sobrecargaran en sedimentos, arrastrando parte de los materiales previamente depositados, y se formaron algunas morrenas terminales, de pequeña importancia, dada la corta duración del estacionamiento. Al reanudarse el retroceso, los acarreo morrénicos se depositaban sobre los sedimentos acuoglaciales anteriormente erosionados.

Debido a la retención de las aguas en la superficie irregular de las morrenas de fondo, en las cavidades tipo "Kettle hole", o en los represos formados por los mismos ventisqueros transversales a los valles secundarios, existieron numerosos lagos, donde se depositaron arcillas y arenas finas acuoglaciales. Resultando, de todos estos procesos, el relleno de los valles calizos y de las depresiones comprendidas entre ellos.

Los ventisqueros simples, eran de tipo alpino o de montaña; pero éstos se reunían formando grandes ventisqueros compuestos, de tipo "Piedmontés", que a su vez se reunían formando un ventisquero continental. Entre los ventisqueros principales de la región, debe señalarse al Coscomatepec, Ixhuatlán, Ixcatla; al Ixtepec, Tomatlán, Córdoba, San Juan la Punta, que merece especial mención; y al Atzacán, Fortín, Amatlán, Cuichapa.

El ventisquero de Córdoba, bloqueó a los pequeños ventisqueros que descendían por los flancos del SE del grupo de cerros Matlaquiáhuatl, Manzanillo, etc., y, por el recodo que forman dichos cerros, no pudo extenderse hasta el pie de los mismos, resultando así la interesante depresión de Ojo de Agua Grande, que actualmente tiene salida hacia el E y cuya margen del N es recorrida por el río Atoyac, como ya se ha dicho.

Al retroceso de los hielos siguió un nuevo avance, siendo los ventisqueros, entonces, de menor importancia, puesto que labraron en los rellenos antiguos, valles más reducidos, a los que corresponden las actuales barrancas cuya forma en U, denota la clase de acciones erosivas que sufrieron, así como lo indica el carácter de numerosos cursos tributarios, que son colgantes, y el peculiar desgaste que sufrieron las paredes laterales de las barrancas, evidente en algunas. Estos últimos ventisqueros de importancia, posiblemente no llegaron hasta el mar y dejaron su carga en el cauce de las barrancas, siendo, en su mayor parte, transportada después, por las aguas de los ríos. En algunos lugares de las mismas, se

encuentran notables amontonamientos de grandes cantos que, probablemente, señalan morrenas terminales, habiendo también en ellas, bloques y peñascos erráticos.

Las observaciones que se hicieron en la región no permiten distinguir, en los rellenos de los valles, depósitos diatomíferos. Tampoco se tuvo la fortuna de encontrar la relación entre las fases glaciales y los períodos eruptivos, toda vez que no se encuentran rocas ígneas, efusivas o piroclásticas, intercaladas entre los rellenos, como en la cuenca de México, aunque se tienen fundamentos para creer que existan en la zona del Citlaltépetl.

La abrasión glacial desarrolló, en las elevaciones calizas, numerosos circos de todos tamaños, algunos de varios kilómetros de amplitud, como el correspondiente a la depresión de Ojo de Agua Grande, estando muchos de ellos, separados por filosas y prolongadas aristas.

Deltas glaciales se encuentran en las inmediaciones de Huatusco, constituyendo los cerros aislados de Santuario de Guadalupe, Tecolote, Tepetla, La Mesa y otros. Estos cerros tienen formaciones troncónicas, semejantes a los de pequeños aparatos volcánicos bien conservados. No se identificaron "eskers" ni "kames".

Durante el Holoceno, la erosión fluvial fue modificando, en parte, el relieve glacial, principalmente en las zonas calizas, debido a la disolución de esas rocas por las aguas cargadas del ácido carbónico, en las zonas de mayor circulación de éstas. Los ríos sufrieron cambios en su circulación, como el Jamapa en el Boquerón, y los valles sufrieron transformaciones, como en el caso de las dolinas y poljes de zonas calizas inmediatas, de las cercanías al S de Orizaba y de Zongolica. Al mismo tiempo, la desintegración de las rocas dio lugar a suelos residuales donde prosperó la vegetación, la que se extiende, en las inmediaciones del Citlaltépetl y en la mayor parte de las elevaciones. En la superficie de los rellenos se encuentra un manto más o menos grueso de tierra vegetal, donde se han emprendido cultivos de diverso género e importancia.

Los sedimentos calcáreos, acarreados por los ventisqueros, se mezclaron, en parte, con las arcillas y la "harina" de rocas ígneas y, donde son más puros, han sido atacados por las aguas carbonatadas, dando lugar a conductos irregulares en la masa de esos sedimentos, por los que emergen las aguas que se infiltran en dicha formación, como puede apreciarse en los cortes de la barranca del Metlac, desde Sumidero hasta Fortín. Probablemente fenómenos de esta índole causaron la pérdida del Sonso, en Sumidero.

HIDROLOGIA SUBTERRANEA

Datos meteorológicos. Los siguientes datos correspondientes a las lluvias y temperaturas normales, fueron suministrados por el Observatorio Meteorológico Central de Tacubaya, D. F.

MESES	HUATUSCO		ORIZABA		CORDOBA		PASO DEL MACHO
	Temper.	Precip.	Temper.	Precip.	Temper.	Precip.	Precip.
ANUAL.....	18°6	1 970.8	18°9	2 099.8	20°2	2 256.5	1 434.0
Enero.....	14°9	43.6	14°9	29.4	16°3	47.8	24.2
Febrero.....	17°8	31.8	16°4	51.2	17°6	36.9	19.5
Marzo.....	18°0	21.0	19°5	62.1	19°9	40.6	2.3
Abril.....	19°0	44.7	20°8	19.7	22°2	44.2	17.4
Mayo.....	21°0	147.4	20°7	112.8	23°3	105.7	202.0
Junio.....	20°1	333.8	20°4	315.1	22°4	395.1	262.7
Julio.....	19°6	315.2	19°8	473.0	21°5	375.8	287.0
Agosto.....	19°8	276.7	20°0	446.8	21°7	332.2	150.8
Septiembre.....	19°8	433.6	20°0	223.2	21°6	472.1	253.6
Octubre.....	19°5	165.4	19°6	191.0	20°5	245.2	147.6
Noviembre.....	17°4	82.7	18°2	115.5	18°4	97.5	47.4
Diciembre.....	15°5	74.9	16°5	64.0	17°0	63.4	19.5

Según los datos anteriores, se nota que la temporada de lluvias se inicia en mayo, tiene su mayor intensidad de junio a septiembre, descendiendo en octubre, para considerarse teminada, relativamente, en noviembre.

Se nota que en Huatusco la precipitación fue más abundante que en el resto de las estaciones, en abril y diciembre; en Orizaba lo fue en febrero, marzo, julio, agosto y noviembre; en Córdoba lo fue en enero, junio, septiembre y octubre; y en Paso del Macho lo fue sólo en mayo. Asimismo, se nota que en cinco meses del año, la relación de precipitación mayor a menor, corresponde a Orizaba, Córdoba, Huatusco y Paso del Macho, que están en los límites de la planicie costera. La altitud de mismo orden de precipitación se conserva entre todas las estaciones consideradas, exceptuando a Orizaba.

Las anteriores comparaciones hacen considerar que la precipitación obedece principalmente a influencias geográficas; pues tanto en Córdoba como en Orizaba, intervienen las elevaciones del Manzanillo, Matlaquíahuatl, etc., que interponiéndose a los vientos cargados de humedad que vienen del Golfo, provocan la precipitación, no así en Huatusco y Paso del Macho, que están en los límites de la planicie costera. La altitud de

los lugares determina, en general, mayor precipitación para los lugares más altos, en relación con los bajos, en condiciones idénticas en cuanto a la influencia antes señalada y, así, era de esperarse mayor precipitación en Orizaba que en Córdoba, como acontecía según observaciones antiguas; pudiéndose atribuir la disminución actual de precipitación en Orizaba, a la tala desmedida que han sufrido los montes que van quedando cerca de ese lugar, en la condición de eriales. Las consideraciones apuntadas, permitirán valuar a la precipitación de las diversas zonas, aunque con una base muy débil, dado el corto número de las Estaciones en que se han hecho las observaciones.

La evaporación en la región, es muy considerable, alcanzando 87%. El escurrimiento es también de importancia, sin que se pueda dar una idea de su magnitud, pues se carece de aforos de las corrientes fluviales.

Con objeto de distinguir las aguas frías de las termales, se consignará junto a las temperaturas de las aguas de los manantiales y pozos, la media anual correspondiente a la localidad, estimando, de acuerdo con los datos anotados, que la temperatura varía un grado en más o en menos, según que se descienda o asciendan 250 m., aproximadamente.

INFILTRACION

De acuerdo con la naturaleza de los suelos, la pendiente del terreno y la situación topográfica, se divide la región en cinco zonas, con las siguientes características:

I. Citlaltépetl. Pendientes fuertes, profundas barrancas, vegetación densa, suelos arenocillicos y de rocas efusivas. Superficie, 250 Km.². Precipitación, 2,500 mm. Infiltración, 35%. Volumen, 218.750,000 m.³, equivalentes a 6,930 l.p.s.

II. Elevaciones calizas superiores. Pendientes fuertes, vegetación abundante, suelos calizos, residuales, margosos y vegetales. Superficie, 500 Km.². Precipitación, 2,500 mm. Infiltración, 60%. Volumen, 750.000,000 m.³, equivalentes a 23,700 l.p.s.

III. Elevaciones calizas inferiores. Pendientes fuertes, vegetación mediana, suelos calizos, residuales, margosos y vegetales. Superficie, 70 Km.². Precipitación, 2,000 mm. Infiltración, 30%. Volumen, 42.000,000 m.³, equivalentes a 1,335 l.p.s.

IV. Parte alta de las depresiones. Pendientes medianas, barrancas profundas, suelos arcillo-arenosos. Superficie, 360 Km.². Precipitación,

MANANTIALES

NOMBRE	Gasto H L. P. S.	Alt. en mts.	Temp. Agua	Temp. media anual	Clasificación	Dist. Kmts.	Rumbo	Lugar de ref.	Situación
1. Atotonilco.....	10	2 055	32°5	16°0	Epiartesiano	11.0	N68°W	Alpatláhu	Barranca Jamapa.
2. San Miguel.....	3	2 700	12°5	13°0	De base	13.5	S88°W	Alpatláhu	Fal. C. S. Miguel.
3. El Nacimiento...	200	1 855	15°5	17°0	De brote	2.6	W	Coscomatepec	Barranca Ocoapa.
4. El Capulín.....	3	1 630	18°5	17°0	De base	1.7	W	Coscomatepec	Cubierta loma.
5. San Nicolás.....	10	1 645	18°2	17°0	De base	2.8	S56°W	Coscomatepec	Barranquilla.
6. Xala.....	10	1 880	20°0	16°5	De base	1.0	S45°W	Coscomatepec	Cubierta loma.
7. Ixtepec.....	100	1 572	15°5	17°7	De brote	3.5	S45°W	Coscomatepec	Barranca.
8. La Ceiba.....	200	1 316	18°6	18°6	De base	0.6	N20°W	Chocamán	Ladera lomita.
9. La Ceiba.....	3	530	21°0	21°8	De base.....	8.0	N74°W	Atoyac	Pie de cerro.
10. Ojo de Agua Santa Ana.....	200	1 335	15°0	18°6	De base.	2.3	N56°W	Sta. Ana Atz.	Pie de cerro.
11. Ojo de Agua Escamela.....	2 000	1 170	15°5	19°2	De base	4.0	N65°E	Orizaba	Pie de cerro.
RESURGENCIAS:									
12. Michapán.....	4 000	1 105	18°0	19°2	Vauclusiana	7.0	S8°E	Huatusco	Pie de cerro.
13. Ojo de Agua Grande.....	6 000	520	19°0	21°8	Vauclusiana	10.0	N18°E	Huajusco Reyes	Pie de cerro.
14. Atoyacuillo.....	2 000	620	20°0	21°4	Vauclusiana	14.0	N23°E	Huajusco Reyes	Pie de cerro.
15. Sumidero (boca de salida).....	6 000	965	17°0	20°0	Vauclusiana	10.0	N53°E	Orizaba	Pie de cantil.
16. Chiquihuite.....	4 000	420	21°0	22°2	Vauclusiana	3.0	N 3°E	Atoyac	Pie de cerro.
17. Tequecholapan...	2 000	735	20°0	21°0	Vauclusiana	1.0	S20°E	El Naranjal	Pie de cerro.
18. Ojo de Agua San Juan.....	4 000	310	24°0	22°7	Vauclusiana	3.0	N55°E	S. J. la Punta	Pie de cerro.

2,200 mm. Infiltración, 20%. Volumen, 158.400,000 m.³, equivalentes a 5,020 l.p.s.

V. Parte baja de las depresiones. Pendientes suaves, barrancas poco profundas y alejadas, suelos arcillo-arenosos, vegetación mediana. Superficie, 420 Km.² Precipitación, 2,000 mm. Infiltración, 30%. Volumen, 252.000,000 m.³, equivalentes a 8,000 l.p.s.

Las aguas infiltradas siguen diversos caminos en las distintas formaciones geológicas y se alojan en materiales permeables cuya disposición determina las condiciones en que se encuentran los acuíferos, por cuya razón, se distinguirán los acuíferos contenidos en el relleno de los valles, en las rocas ígneas y en las calizas.

MANIFESTACIONES ACUIFERAS

Emergencias. Se conocieron ocho manantiales de base,¹ dos de brote, uno epiartesiano y, además, siete resurgencias vauculsonianas, que en la lista siguiente se agrupan por Municipalidades, refiriéndolos a las cabeceras:

En cuanto a su gasto hidráulico y siguiendo la notación ya establecida,² sólo el manantial de Escamela es de gasto muy considerable (más de 1,000 l.p.s.); los manantiales del Nacimiento y Ojo de Agua de Santa Ana, son de gasto considerable (200 a 1,000 l.p.s.); los de La Pila e Ixtepec de gasto abundante (50 a 200 l.p.s.); los de Atotonilco, San Nicolás y Xala, de gasto mediano (10 a 50 l.p.s.); y los de El Capulín, San Miguel y La Ceiba, de gasto escaso (3 a 10 l.p.s.). Las resurgencias son todas de gasto muy considerable: Ojo de Agua Grande y Sumidero, de unos 6,000 l.p.s.;³ Michapán, Chiquihuite y Ojo de Agua de San Juan, de unos 4,000 l.p.s. y Atoyaquillo y Tequecholapan de unos 2,000 l.p.s. Algunas de estas emergencias disminuyen mucho en su caudal, en la estación seca, sin que se pueda dar una idea de la importancia de esa disminución, pues se requiere establecer, en ellas, estaciones de aforo.

Todas las resurgencias, exceptuando la de Sumidero, se encuentran en calizas de Escamela, así como los manantiales de La Pila, La Ceiba, Ojo de Agua de Escamela y Ojo de Agua de Santa Ana. La resurgencia de Sumidero y los manantiales de El Nacimiento, San Nicolás, Ixtepec y San Miguel, se encuentran en acarreos acuoglaciales, los de Xala y el

¹ Los detalles de esta clasificación, véase: Hidrogeología Acambay-Ixtlahuaca, Méx. 1931. Inst. Geol. de Méx. (Inédito.)

² Hidrogeología de la subcuenca Xochimilco-Chalco. Inst. Geol. de Méx. (Inédito), p. 68.

³ Gasto medio en el año.

Capulín, en tierras vegetales que cubren a esos acarreos, y el de Atotonilco, probablemente en la parte superior de las calizas de Maltrata.

El manantial de Atotonilco se encuentra a un nivel poco superior al del fondo de la barranca, cerca de la iglesia de la ranchería, del lado E de esa barranca. Depósitos de travertino cubren a las rocas por las que se verifica la emergencia, pero dado que calizas con intercalaciones de pizarras, afloran a unos 0.3 Km. aguas abajo del manantial, es de creer que la emergencia se verifica en calizas cubiertas por el travertino. Ambos flancos de la barranca consisten en corrientes superpuestas de andesita, que reposan sobre las calizas, cuyas capas son casi transversales a la dirección de la barranca y tienen fuerte echado en sentido contrario al de la corriente superficial. La emergencia es de franco carácter ascendente y está relacionada con un acuífero cautivo, localizado en calizas intercaladas entre pizarras. Existen en las inmediaciones de este manantial, numerosas emergencias situadas al pie de los acantilados andesíticos, a ambos lados de la barranca.

El pequeño manantial de San Miguel está situado en la falda SE del cerro del mismo nombre, que sufrió derrumbes en el terremoto del 3 de enero de 1920.¹ Emerge, sin violencia, en acarreos arenosos, acuoglaaciales, intercalados entre arcillas y aglomerados del mismo origen.

El manantial del Nacimiento se encuentra al pie del escarpado flanco que, en ese lugar, constituye el margen derecha de la barranca de Ocopa, a unos 2 m. sobre el fondo de la misma. La margen izquierda corresponde al elevado cerro calizo de Ocopa y, la derecha, a un lomerío de flancos escarpados y superficie superior ligeramente accidentada, constituido por arcillas, areniscas y conglomerados. La emergencia denuncia circulación forzada, por su carácter ascendente manifiesto, por lo que se infiere que el agua proviene de un acuífero cautivo, localizado en arenas y acarreos sueltos, intercalados entre arcillas y conglomerados. El manantial de Ixtepec tiene parecida situación topográfica y las mismas relaciones hidrogeológicas.

El manantial de El Capulín está situado sobre el lomerío que por el S bordea la barranca de Ocopa, en el fondo de un incipiente arroyuelo. Sus aguas emergen con alguna violencia del manto de tierra vegetal que cubre a las arcillas superiores. Proviene de un acuífero epifreático. El manantial de Xala está en idéntica situación topográfica y tiene relaciones hidrogeológicas semejantes.

El manantial de San Nicolás se encuentra en la vertiente derecha de una barranquilla, a unos 5 m. sobre el fondo y cerca del origen de la

¹ Bol. 38 del Instituto Geológico de México.

misma. El agua mana de un terreno regolítico con tierra vegetal, que cubre a sedimentos arcillosos, y proviene de un receptáculo epifreático.

El manantial de La Pila, emerge a corta distancia de la margen izquierda de un arroyuelo, al pie de una loma extendida y de poca altura, que se liga con el elevado cerro de Chocamán. El agua emerge de las calizas, con rápida corriente y no se le coloca entre los manantiales con certeza, pues bien pudiera ser una resurgencia.

El manantial de La Ceiba está situado al pie del cerro Manzanillo, en el origen de un arroyuelo. La emergencia se encuentra en calizas, verificándose a favor de los planos estratigráficos. Las aguas provienen de un acuífero freático.

El Ojo de Agua de Santa Ana se encuentra al pie de un cerro calizo, en el fondo de un arroyuelo que allí se inicia. El agua emerge de las calizas, siguiendo fracturas normales en los estratos, con regular velocidad. El Ojo de Agua de Escamela tiene idéntica situación topográfica, así como relaciones hidrogeológicas semejantes. Tampoco se podría colocar a estas dos emergencias en la clase de los manantiales, con toda seguridad.

La emergencia de Michapán está situada al pie de las faldas orientales del cerro de La Ventana, y da origen al río de Michapán, verificándose ésta por fracturas normales al rumbo de las capas calizas. La resurgencia corresponde, en parte, a la pérdida del río Durazno, que se resume en La Raya.

La resurgencia de Ojo de Agua Grande, se encuentra al pie de un cerro, casi en la línea media de un gran circo glacial, donde nace el río Atoyac. En atención al rumbo general de las calizas y pizarras sobre las que circula el agua, se estima que proviene de parte de los ríos Tomatlán y Jamapa, como ya se explicará.

La resurgencia del Atoyaquillo también se encuentra al pie de un cerro, en el origen de una barranquilla y, con toda probabilidad, corresponde también, en parte, a las aguas que se resumen en el curso del Jamapa.

La resurgencia de Sumidero se encuentra al pie de los acantilados que se extienden desde Sumidero hasta las faldas del Cuautlalpan y, se verifica verticalmente, dentro de una gruta. Corresponde a la pérdida del río Sonso, que se precipita en Sumidero, a menos de 1 Km. al NE de la resurgencia, habiendo entre esos puntos un desnivel de 100 m. El recorrido subterráneo, sigue conductos irregulares de disolución en margas de idéntica composición a los materiales calcáreos que afloran en los

cantiles de que se ha hablado, donde pueden verse numerosos conductos tubulares y cavernosos, de disolución, rodeados de travertino.

La resurgencia de Chiquihuite se verifica al pie del cerro del mismo nombre, a unos 30 m. al W de la margen del arroyo Chiquihuite, en calizas del Turoniano, dispuestas en gruesos bancos y afectadas por numerosas leptoclasas, que impiden el conocimiento de la estructura geológica por donde emergen las aguas, que salen con alguna violencia y, probablemente, corresponden a parte de las aguas del río Jamapa, que se pierden en el Boquerón.

La resurgencia de Tequecholapa está situada al pie del cerro Atzompantépetl, en el origen de una barranquilla, no lejos de la margen derecha del río Blanco, que en las cercanías está 40 m. más bajo. Las calizas afloran en capas con rumbo N30°W, y echado de 60° al E y parece que por los planos estratigráficos circulan las aguas que se resumen en Oxalpan.

Por último, la resurgencia de Ojo de Agua San Juan, se encuentra en la margen izquierda del río Seco, cerca de Puente Chico, a corta distancia de la misma. Las aguas circulan en calizas del Turoniano y provienen de infiltraciones del río Atoyac y de las aguas del Jamapa que se pierden en El Boquerón.

Pozos. Entre los escasos pozos de la región, sólo se visitaron ocho, que se agrupan por Municipalidades, refiriéndose a las cabeceras, los datos de rumbos y distancias. (Véase cuadro.)

Todos los pozos visitados tienen aguas poco profundas, con excepción del pozo 6 que las tiene profundas, y están excavados en acarreos acuoglaciales. Sus aguas son epicautivas, lo que es notable, porque los acuíferos se encuentran en lomeríos muy angostos y alargados, que separan profundas barrancas como en el caso de Tozongo, entre la del Jamapa y la Tlacuapa.

CONDICIONES DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS

Circulación. Como se ha dicho antes, se considera a este respecto, tres formaciones geológicas: los rellenos de valle, las rocas ígneas y las calizas.

En los rellenos de valle, las aguas penetran en las capas de arenas, areniscas poco coherentes, aglomerados, etc., por las numerosas leptoclasas que afectan a las arcillas compactas y a las areniscas y por los planos estratigráficos, distribuyéndose en los estratos permeables. En la parte alta de los valles donde las barrancas están muy próximas entre

sí y cortan profundamente los rellenos, las aguas infiltradas emergen en gran proporción, después de cortos recorridos, quedando la parte restante retenida en acumulaciones locales; pero donde los valles no están seccionados profundamente y las barrancas están bastante separadas, la mayor parte de las aguas infiltradas quedan almacenadas o circulan hacia zonas bajas.

En las rocas ígneas, las aguas se infiltran a favor de las leptoclasas de las andesitas y basaltos, así como por los intersticios de las brechas y arenas basálticas, emergiendo después de uno corto recorrido subterráneo, si las corrientes efusivas están seccionadas por barrancas próximas entre sí; pero circulando hacia los rellenos de valle yuxtapuestos o intercalados, y hacia las calizas inferiores, en las zonas no afectadas por barrancas profundas, próximas.

Las aguas que penetran en las calizas del Turoniano y del Cenomaniaco, descienden por los planos estratigráficos y por las numerosas litoclasas que afectan particularmente a estas rocas, siguiendo caminos en zig-zag, para emerger después de recorridos relativamente cortos, a través de dichas calizas, ya siguiendo direcciones transversales al rumbo de los estratos, como en el caso de la resurgencia de Michapán respecto al resumidero de La Raya, ya siguiendo direcciones concordantes con los estratos, generalmente hacia el SE, o bien, para descender hasta las calizas inferiores, como ocurre con la mayor parte de las aguas infiltradas.

En las calizas del Vraconiano, se infiltran directamente las aguas de las lluvias, en las numerosas elevaciones constituidas por dichas rocas, así como las aguas de los ríos y arroyos que fluyen en ellas y penetran, además, las aguas que provienen de las calizas superiores. Siguiendo, principalmente, los planos estratigráficos, descienden hasta las pizarras del Gault, donde la estructura isoclinal determina la circulación que se localiza en los diversos sinclinales. Puede creerse que las resurgencias de Ojo de Agua Grande y Atoyaquillo, provienen de aguas que se van resumiendo en el curso del río de Tomatlán, entre Monte Grande y Tecamilla, así como de aguas que se resumen en el curso del río Jamapa, desde Ixhuatlán hasta Ixcatetla; y que las resurgencias de Chiquihuite y Ojo de Agua de San Juan, provienen del Boquerón.

Las aguas que se infiltran en las calizas del Aptiano, circulan, también, siguiendo los planos estratigráficos, hasta llegar a los sinclinales principales, donde se establecen zonas de acumulación. Donde las formaciones están afectadas por profundos cortes, las aguas emergen, después de recorridos relativamente cortos, mientras que en las depresiones y

DATOS RELATIVOS A LOS POZOS DE LA REGION ESTUDIADA

Localidades	Altura mts.	Tem. agua grados C.	Prof. al nivel agua mts.	Prof. al fondo	Dis. en Kmts.	Rumbo	Situación	Temp. media anual
COSCOMATEPEC:								
Cabecera.....	1 495	19°0	18.5	21.5	.....	.....	Cub. lomerío	19°0
Tozongo.....	1 610	19°0	0.5	9.0	3.0	N34°W	Cub. lomerío	17°0
Tlaltengo.....	1 470	19°0	3.0	12.0	4.4	N77°E	Cub. lomerío	19°0
San Nicolás.....	1 663	18°0	5.3	11.2	3.2	S70°W	Cub. lomerío	17°0
HUATUSCO:								
Capulapa.....	1 000	21°5	10.0	12.0	8.4	S48°E	Cub. lomerío	19°0
AMATLAN:								
Paraje Nuevo.....	658	22°0	50.0	50.5	6.6	N60°E	Cub. loma	21°3
Potrero Viejo.....	610	25°0	0.8	11.0	.....	.....	Cub. loma	21°5
ATOYAC:								
Pozo Colorado.....	485	23°0	0.1	14.0	3.2	S20°W	Cub. loma	22°5
SAN LORENZO:								
Rancho María Serrano..	580	21°0	19.0	21.0	2.3	S77°W	Cub. loma	21°0

lugares donde no puedan emerger en esas condiciones, las aguas pueden quedar confinadas y a presión.

Como tanto en las calizas del Vraconiano, como en las del Aptiano, hay intercalaciones de pizarras arcillosas, las aguas que circulan en las calizas pueden quedar cautivas, como lo revelan los manantiales termales de Atotonilco, que circulan en calizas del Vraconiano, cerca del contacto con las pizarras del Gault.

No parece muy importante el papel de las diaclasas transversales al rumbo de las capas, pues la existencia de manantiales relativamente próximos y con fuertes desniveles, indica que las aguas que circulan por los distintos sinclinales, no encuentran fracturas lo suficientemente importantes para darles salida en los puntos más bajos; así se explica que las copiosas infiltraciones y pérdidas que dan origen a la resurgencia de Ojo de Agua Grande a 520 m. de altitud, no emerjan interpuestas entre una y otra resurgencia.

Acuíferos. En los rellenos de valle existen acuíferos epifreáticos y epicautivos. Los acuíferos epifreáticos son de muy corta importancia. Generalmente, se encuentran localizados en mantos de tierra vegetal y terrenos regolíticos y residuales, que cubren a los sedimentos acuoglaaciales en la parte superior de lomas o lomeríos extensos y planos, así como en las hondonadas y pequeñas cañadas que afectan a la superficie de algunas lomas.

Los acuíferos epicautivos son más comunes y de mayor importancia. Están localizados en arenas, aglomerados y aluviones, intercalados, como se ha dicho, entre arcillas y tilitas. Los acuíferos superiores, en muchos de los que se encuentran pozos, experimentan fuertes variaciones de carga que se traducen en notables oscilaciones de nivel, habiendo pozos que derraman en tiempo de aguas, o llegan éstas a cortas distancias de la superficie, como en los pozos 2 y 8, mientras que en la estación seca descende el nivel del agua hasta el fondo de ellos. Es de mencionar a este respecto, el caso del acuífero epicautivo del lomerío de las Tenerías, cercano a Coscomatepec, donde se verificó el derrumbe del 3 de agosto de 1932, descrito por el Sr. Ing. Teodoro Flores,¹ pues demuestra las condiciones en que se encuentran los acuíferos de ese tipo, por cuya razón, se le concederá atención particular. El fenómeno ocurrió, según los informes proporcionados por varios testigos presenciales, en forma de un derrumbamiento del terreno, acompañado de un ruido intenso, como de una explosión, habiendo sido arrojadas a la altura, grandes cantidades de lodo que, proyectado con gran fuerza, inundó con una

¹ Informe relativo al deslizamiento de tierras ocurrido en Coscomatepec, Ver. "Ignición en México", Vol. V. Núm. 6, Oct. 1932.

rapidez increíble la pequeña cañada, en cuyo origen se verificó el derrumbe. Al parecer el fenómeno fue debido a un exceso de presión hidrostática en el acuífero epicautivo, que venció la resistencia de las arcillas que confinaban el material permeable, cerca de su extremo inferior; pues el peso de los estratos impermeables superiores, de unos 10 m. de espesor, fue menor que el de la columna de agua correspondiente al acuífero. Si en el mismo se hubieran encontrado pozos, por ellos habría derramado el exceso de agua, como en pozos de acuíferos en idénticas condiciones, y no habría ocurrido el derrumbe. Para creer lo expuesto, se estima que el terreno en que ocurrió el fenómeno es de muy suave pendiente;¹ los planos stratigráficos son casi horizontales;² no habían ocurrido lluvias en el lugar, con varios días de anticipación; las cantidades de agua que salieron entonces, fueron muy superiores a las correspondientes a la saturación local del terreno, a la que, por otra parte, no había lugar, porque el material de la superficie era impermeable; siguen saliendo, hasta la fecha, aguas abundantes que provienen de un acuífero epicautivo; antes del fenómeno existía en la cañada, a poca distancia del lugar del derrumbe, un manantial permanente, que seguramente tenía su origen en el acuífero referido; por último, ese año fue de precipitación pluvial excepcionalmente abundante, y hubo oportunidad para que el acuífero sufriera también una presión excepcional, que no pudieron resistir los bancos de arcilla que cubrían al acuífero en su extremo inferior, donde era mayor la presión.

Los acuíferos epicautivos, profundos, son muy extensos en el subsuelo de las depresiones, donde las barrancas no seccionan la formación hasta cerca de su base, como por Córdoba, Potrero, Cuichapa y San Juan la Punta. En el sentido longitudinal, respecto a los valles, son continuos los inferiores hasta distancias considerables, y a menores distancias los superiores, pudiendo ser algunos de los intermedios, más extensos que los inmediatamente inferiores, y encontrarse algunos en comunicación en grande o pequeña parte de su longitud. En el sentido transversal, hay acuíferos de secciones muy irregulares, completamente aislados de los otros, mientras que algunos se comunican en uno o varios puntos. Estos contactos facilitan la emigración de las aguas de acuíferos inferiores a superiores, modificando el contenido de los mismos, según que se comuniquen en su extremo inferior o cerca de él, en sus partes medias o superiores. Se podrá formar una idea sobre la localización de estos acuíferos examinando los cortes esquemáticos de las figs. 1 y 2.

Según las determinaciones que se hicieron al tratar de la infiltración,

¹ Véase el croquis del Ing. Flores en la revista citada, p. 664.

² Así los vio también el Ing. Flores, Loc. cit.

y según lo que se ha dicho de la circulación del agua en las rocas ígneas, puede estimarse que se infiltran directamente en los rellenos, en la parte superior de los valles, considerando como tal, a las porciones comprendidas entre el contacto con las rocas ígneas, Fortín y Trinidad, por un lado y Pedregal, por el otro, unos 158 millones de metros cúbicos anualmente, que producirían un caudal de unos 5,000 l.p.s., teniendo que añadir las aguas que penetran de las rocas ígneas, que pueden aumentar el caudal a unos 7,000 l.p.s. Las barrancas profundas cortan un buen número de acuíferos, de donde resulta que cierta proporción de esta agua es descargada en dichos colectores. Sin embargo, dado el carácter epicautivo dominante, puede creerse que se encontrarán aguas como las que alimentan los pozos 1 a 5, con relativa frecuencia.

Las aguas que penetran a los acuíferos epicautivos más extensos, llegan a la parte baja de las depresiones, donde continúan su circulación o son detenidas. Se estima que en dicha parte baja, se infiltran unos 250 millones de metros cúbicos, capaces de producir caudales de 8,000 l.p.s.; que penetran de la parte alta unos 3,000 l.p.s.; y de infiltraciones de las aguas corrientes en los cursos de los ríos y arroyos de la parte superior, un volumen igual o superior al del agua infiltrada de las lluvias. Así resulta un caudal de unos 20,000 l.p.s., del que hay que disminuir el volumen de las aguas que emergen fuera de la región, como en el caso de los manantiales de Cuichapan y las que descienden hasta las calizas. Debido también al carácter epicautivo de los acuíferos, así como a la irregularidad de su distribución, las aguas se encuentran diseminadas, en la zona, con diferentes concentraciones, encontrándose al lado de acuíferos que sólo pueden suministrar un caudal exiguo, otros de capacidad considerable. Puede estimarse que el volumen aproximado de los rellenos en la parte baja de las depresiones, siendo su superficie de 420 Km.² y su profundidad media de 200 m. es de 84,000 millones de metros cúbicos, y siendo el volumen del agua infiltrada de 630 millones de metros cúbicos, resulta que los acuíferos ocupan el 1/133 del volumen total. Ahora bien, si se tuviera un acuífero freático, la distribución del agua sería tal, que podría obtenerse un caudal de 1 l.p.s. por cada 2,100 m.² de superficie, con una zona saturada de 4.0 m. de espesor, teniendo en cuenta una permeabilidad media de 25%; pero como se tienen acuíferos epicautivos más o menos aislados, a diferentes niveles y de espesores muy variables, resulta una capacidad de movimiento de las aguas, proporcional a las cargas, por consecuencia, una probable superficie mayor de acuífero afectada por determinada obra y un ren-

dimiento que puede elevarse hasta 15 ó 20 veces respecto al que se podría obtener en las condiciones del manto freático.

En las rocas ígneas del Citlaltépetl, se encuentran acuíferos epifreáticos en las capas de arenas volcánicas que reposan sobre tilitas y acarreos acuoglaciales, así como en las leptoclasas que afectan a las rocas efusivas. La mayor parte de las aguas infiltradas, emerge por manantiales, como el del Jacal, que da origen al río Jamapa, pudiéndose estimar, para las corrientes superficiales, una contribución de unos 3,000 l.p.s. El resto de las aguas se distribuye entre las rocas de los rellenos de valle y las calizas, a las que desciende un caudal de unos 2,000 l.p.s.

Los receptáculos en las calizas son sumamente complicados, pues como es natural, afectan formas resultantes de las estructuras complejas de las rocas marinas.

En las calizas del Turoniano no existen acuíferos propiamente, pues las aguas infiltradas no se acumulan, sino que debido a la facilidad que encuentran para circular, descienden hacia las calizas del Cenomaniano y el Vraconiano, y vuelven a salir a la superficie, donde estas calizas se acercan al nivel del terreno. Las infiltraciones en las calizas del Turoniano y Cenomaniano, alcanzan el elevado volumen de 750 millones de metros cúbicos anuales, capaces de suministrar un gasto de 23,800 l.p.s., y por otra parte, las pérdidas de los ríos suman un volumen de unos 12,000 l.p.s., mientras que las resurgencias arrojan un caudal de 22,000 l.p.s. y los manantiales de las calizas proporcionan unos 4,000 l.p.s., resultando así, que a las calizas inferiores descienden unos 10,000 l.p.s. Estas aguas pueden circular por las mismas calizas del Turoniano, hacia niveles inferiores, fuera de la región estudiada, y quedar sujetas a presión, puesto que dichas calizas quedan confinadas entre los rellenos de valle, arriba, y las calizas del Vraconiano y pizarras del Gault, abajo. Probablemente a los acuíferos de esta naturaleza, se deben las emergencias de alta termalidad de Panoaya y Carrizal.¹ Una parte de estas aguas emerge después de un recorrido relativamente corto, como en Ojo de Agua de San Juan y Cuichapa.

En las calizas del Vraconiano se encuentran acuíferos epicautivos, localizados en los sinclinatoriums, con aguas sometidas a diferentes presiones. El manantial de Atotonilco, con una temperatura 16° superior a la media anual, revela la existencia de un acuífero epicautivo profundo.

Es de observar que las formaciones marinas han sufrido un levantamiento mayor por el Citlaltépetl, según se puede apreciar por las altu-

¹ Hidrogeología de la región del puerto de Veracruz y sus alrededores, por L. Blásquez L. Inst. Geol. Nal. 1930 (inédito), p. 14 y 15.

ras de las calizas del Aptiano, en el corte A-B, respecto al corte G-H y, en consecuencia, puede creerse que, cuando menos en la región, los acuíferos epicaútivos de las calizas del Vraconiano, tienen mayor importancia en el subsuelo de la depresión de Potrero.

Respecto a los acuíferos de las calizas del Aptiano, es de esperar que todos sean epicaútivos o cautivos, dado que se encuentran abajo de las pizarras del Gault y que abajo de ellas, probablemente también se encuentran pizarras, y eso sin tomar en cuenta que en la misma formación del Aptiano hay intercalaciones de pizarras.

Calidad del agua. Según los análisis que se consignan más adelante, de aguas provenientes de los rellenos de valle, es de presumir que las de esta clase de acuíferos sean potables, en cuanto a su contenido mineral; pues en cuanto al orden bacteriológico, dependerá de la posición de los acuíferos respecto a los centros poblados y demás focos de contaminación y en el caso de explotación de aguas profundas, de las condiciones de entubación de las perforaciones, etc.

Dado el resultado de los análisis, la posición de los acuíferos, sus condiciones de explotación y los caracteres organolépticos de las aguas, es de creer que sean potables las de los manantiales de San Miguel, el Nacimiento, El Capulín, San Nicolás, Xala e Ixtepec, que provienen de rellenos de valle, y que no lo sean las de la mayoría de los pozos; igualmente se estima por su directa relación con los ríos, que no son potables las aguas de las resurgencias y, respecto a las de manantiales de las calizas, la mayoría son de potabilidad dudosa, siendo indispensables, en cada caso, los análisis químico y bacteriológico.

Los siguientes son los análisis químicos que se pueden consignar:

	Manantial Las Tenerías (1)	Manantial El Nacimiento
	Miligramos por litro	Miligramos por litro
Cl.	50	7
SO ₄	6	7
NO ₃	—	6
CO ₃	34	65
Na.	25	8
K.	16	4
Ca.	10	38
Mg.	8	3
Fe.	14	2
SiO ₂	8	21
Materia orgánica	3	2
SUMA	174	163
Residuo a 110°C.	168	157

(1) Muestras de agua tomadas por el Ing. T. Flores en el lugar del derrumbe del 3 de agosto de 1932. Análisis practicado por el Prof. Carlos Casto. Loc. cit.

	Valores de reacción	
	Acidos fuertes.....	1.44	0.44
Acidos débiles.....	1.07	2.06
Alcalis.....	1.40	0.44
Tierras alcalinas.....	1.09	2.06
Valor hipotético.....	5.00	5.00
Valor real de concentración.....	5.32	5.20
Salinidad primaria.....	3.00	0.90
Alcalinidad secundaria.....	2.32	4.30
Clase de Palmer.....	III	II

El agua del manantial de Las Tenerías resultó entonces, casi a raíz del derrumbe que allí ocurrió, clorurada sódica, carbonatada potásica, mientras que el agua del manantial de El Nacimiento, resultó carbonatada cálcica.

Explotación. Para utilizar las aguas de los acuíferos epifreáticos, se pueden emplear pozos comunes combinados con galerías en su fondo, tan largos como lo indiquen los veneros que se corten. En la mayoría de los casos, las aguas no serán abundantes ni potables, por estar contaminadas, habiendo sitios donde, por su abundancia, pueden explotarse, como en los alrededores de Orizaba, Córdoba, Amatlán, San José de los Corrales, San Lorenzo y San Juan la Punta, depurando el agua para utilizarla en usos domésticos.

La explotación de los acuíferos epicautivos de los rellenos de valle, podrá hacerse por medio de pozos comunes, hasta profundidades de 30 m. y, por medio de perforaciones entubadas, hasta profundidades de 800 m. entre Coscomatepec y Tomatlán; de 400 m. por Orizaba y Córdoba; y de 500 m. por Amatlán y La Concepción. Dadas las diversas presiones a que se encuentran sometidas las aguas de los acuíferos, se podrían presentar casos en que una vez obtenido el caudal suficiente de agua, al continuar la perforación se pierda todo o parte de ese caudal, debido a que se encuentran acuíferos inferiores de menor presión y hasta materiales permeables secos; por tal motivo, se llevará un registro cuidadoso de las variaciones del nivel del agua en el pozo para proyectar la cementación del mismo, hasta la profundidad requerida, y el aislamiento de las zonas o acuíferos que determinen pérdidas de agua, por medios adecuados. Las zonas favorables para practicar perforaciones, son aquellas donde los rellenos no tienen cortes profundos ni próximos entre sí, en atención a lo cual, se recomienda se perforen pozos profundos por Córdoba, Amatlán, Potrero Viejo y La Concepción. Las

aguas que se encuentren, serán lo suficientemente abundantes para usos domésticos, de poblados de cierta importancia, pudiéndose multiplicar los pozos, de acuerdo con los resultados obtenidos, en caso ofrecido. El nivel del agua quedará cercano a la superficie, o a poca profundidad, en la mayoría de los pozos localizados en los puntos bajos del terreno.

En cuanto a los acuíferos de las calizas, probablemente no serán susceptibles de explotación, los contenidos en las del Turoniano, dentro de la región estudiada, pues como ya se dijo, las aguas emigran fuera de la misma y penetran a las calizas inferiores, y así lo serán las del Vraconiano, debiéndose llevar las perforaciones hasta profundidades de 700 a 800 m. por Amatlán y La Concepción, teniendo cuidado de aislar las calizas del Turoniano, si en ellas se experimentan pérdidas. No es imposible predecir cuál será el nivel piezométrico de estas aguas, que pueden ser artesianas o subartesianas, poco profundas.

Debe recomendarse para explotar las aguas superficiales, que se estudie una derivación en el río Blanco, entre Tuxpango y Zapoapita, a 750 m. de altura sobre el nivel del mar, cerca de Puente de Micos, para llevar las aguas por medio de un canal de suficiente capacidad, a La Peñuela, dominar el valle de Potrero, e irrigar las tierras. El canal tendrá un desarrollo de unos 12 Km. hasta La Peñuela. También podrían tomarse las aguas del río Metlac, abajo de Mata Larga, siempre que el caudal de agua de este río, sea suficiente para las necesidades de la irrigación, durante el estiaje.

CONCLUSIONES

1. Para la utilización del agua superficial, es de recomendarse se estudie un proyecto de presa de derivación, sobre el río Blanco, cerca del Puente de Micos o sobre el río Metlac, abajo de Mata Larga, para conducir las aguas en un canal de suficiente capacidad y un desarrollo de unos 12 Km. a Peñuela, donde se distribuirán para irrigar el valle de Potrero.

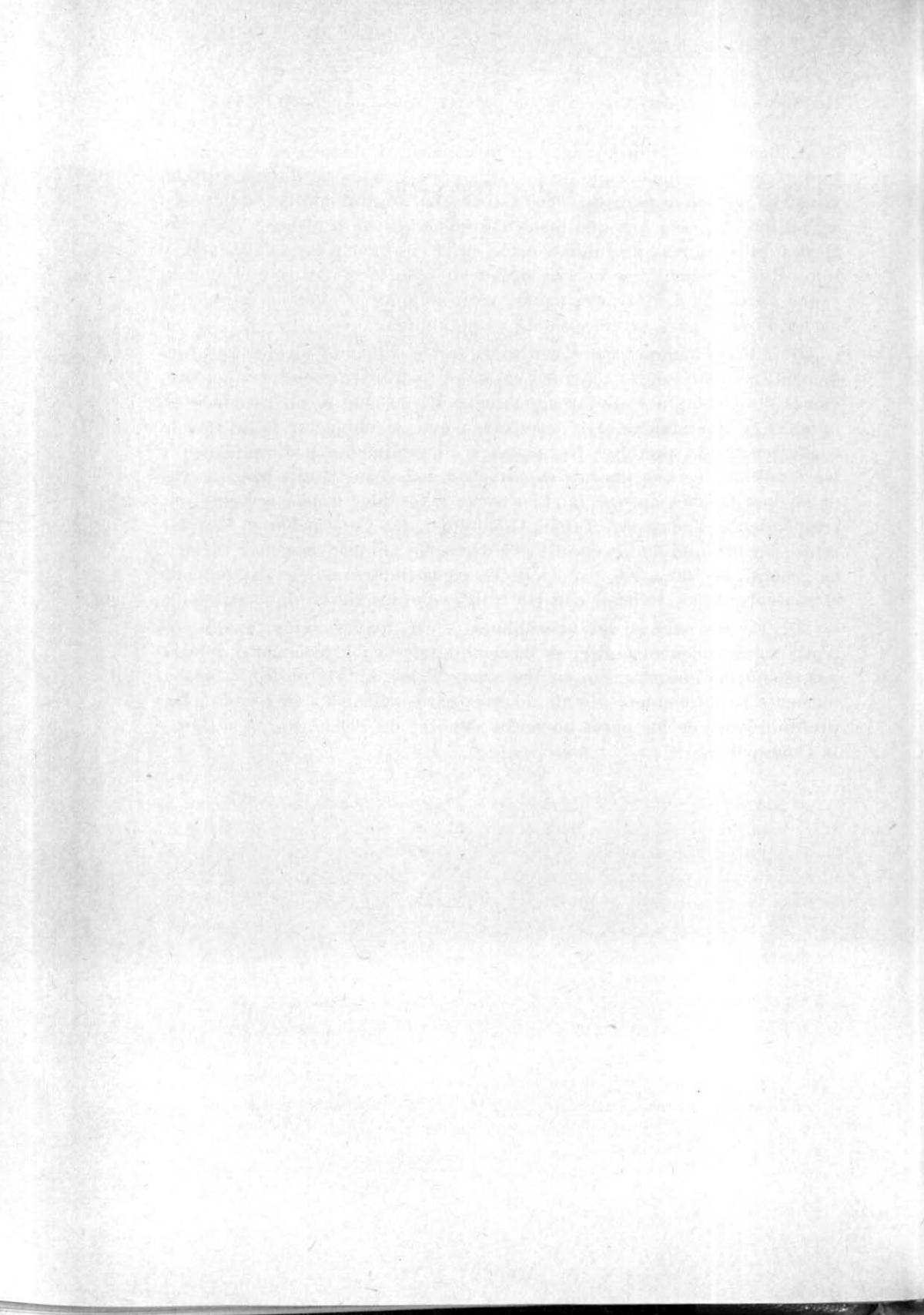
2. Para la explotación de las aguas epifreáticas, es de recomendarse se excaven pozos comunes con galerías en su fondo, en los alrededores de Coscomatepec, entre este lugar y Rodeo, Orizaba, Córdoba, Amatlán, Potrero Viejo, San José del Corral, San Lorenzo y San Juan la Punta.

3. Acuíferos epicautivos de corta capacidad, se encuentran irregularmente distribuidos en los rellenos de valle, y serán susceptibles de explotación por medio de pozos comunes, con profundidades de 10 a

30 m. Las aguas serán potables en la mayoría de los casos, experimentarán fuertes variaciones de nivel en las temporadas de lluvias y secas, y podrán utilizarse para usos domésticos. La localización de estos pozos es indiferente, toda vez que pueden estar relativamente cercanos a los bordes de barrancas profundas, como en el caso del pozo de Tozongo, y sólo es de recomendarse que se sitúen lejos de focos de contaminación, y que antes de utilizar sus aguas, se practique su análisis químico y bacteriológico, para cerciorarse de su potabilidad.

4. En las partes bajas y centrales de los valles no cortados profundamente por barrancas cercanas entre sí, podrán emprenderse perforaciones destinadas a explotar aguas epicautivas, que serán ascendentes, potables y abundantes. Los resultados que se obtengan indicarán la conveniencia de perforar los pozos a determinadas profundidades y los rendimientos que puedan suministrar, así como darán luces acerca de su localización apropiada. Las zonas favorables a este respecto, corresponden a Zacatepec, Tapia, Guadalupe, La Concepción y San Lorenzo. La profundidad a que deberán llevarse las perforaciones variará, en general, de 100 a 300 m.; siendo de recomendarse que se llegue hasta el contacto de los rellenos con las calizas que les sirven de asiento.

5. En las calizas del Vraconiano y, con mayor razón, en las del Aptiano, se encontrarán aguas termominerales subartesianas o artesianas, como las que emergen en los manantiales de Atotonilco, y probablemente lo suficientemente abundantes para utilizarlas en regadío. Las profundidades de los pozos no serán menores de 700 m. por Amatlán y la Concepción.



HIDROGEOLOGIA DEL TUNEL DEL LERMA Y ZONAS INMEDIATAS

MONOGRAFIA HIDROGEOLOGICA DE LAS OBRAS DE CAPTACION DEL LERMA

HIDROGEOLOGIA DEL TUNEL DEL LERMA, MEX.

LOCALIZACION Y DESCRIPCION GENERAL DE LAS OBRAS

Las obras del Lerma, tienen su origen en los manantiales de Almoloya del Río, en el valle de Toluca, a 2,577 m. de altura sobre el nivel del mar. Las aguas se conducen por medio de un acueducto tubular de 22,537 m. de longitud hasta la boca de entrada del túnel, en la barranca de Alférez, al SW y en las inmediaciones del pueblito de Atarasquillo. La pendiente es del 0.0002 y la sección varía de 2.62 m. de diámetro a 3.26 m., siendo su capacidad mayor de 14 m.³ por segundo.

El túnel principia, como ya se dijo, en las inmediaciones de Atarasquillo, pasa en la vertical del cerro de La Campana, donde tiene su mayor abrigo, que es de 799 m. a 6,660 m. de la boca de entrada, o sea la distancia 29,200 m. del origen y sale cerca de Dos Ríos, a la distancia 36,871 m., siendo su longitud de 14,334 m. La cota de salida es de 2 562.944 y la pendiente del 0.000672.

En el túnel existen cuatro lumbreras: la primera que se denominó "Lumbrera O" de 122 m. de profundidad y está en la distancia 24,054;¹ la segunda lumbrera se denominó Núm. 1 y tiene 218 m. de profundidad, estando a la distancia 25,338 del origen del acueducto, que será en lo sucesivo el punto de referencia para las distancias, salvo que se indique lo contrario; la tercera perforación es la "Lumbrera Núm. 2" con

¹ Todas las distancias se dan en metros.

208 m. de profundidad, a la distancia 32,424; por último, la cuarta lumbrera recibió el nombre de "Pozo 3" y tiene 53 m. de profundidad, estando a la distancia 36,195.

De la boca de salida del túnel parte un acueducto circular de 3.26 m. de diámetro y 0.0002 de pendiente, construido con dos capas de ladrillo comprimido y una capa de 0.40 m. de espesor, de mampostería, que llega a la distancia 38,251, donde se encuentra el terraplén del Obraje, de 287 m. de longitud.

Antes de entrar al terraplén, se construyó un tanque de mampostería, donde descarga sus aguas el acueducto y de la que parten tres tubos de acero de 1.50 de diámetro, con juntas flexibles, que pasan sobre el terraplén, el que no está bien consolidado y que irá descendiendo de altura, en su cresta, por cierto lapso, hasta que llegue a su total consolidación. Mientras tanto, los tubos de acero descansan sobre durmientes que se podrán calzar o subir en la medida necesaria.

El Ing. Terrés, estimó conveniente el paso de las barrancas por medio de terraplenes, porque no se pierde carga hidráulica, como en el caso del paso por sifones, lo que es muy importante para la generación de fuerza hidroeléctrica y no se tiene una estructura tan vulnerable como la de un puente de mampostería, concreto o acero, en caso de atentados.

Además, el Ing. Terrés pensó que sería posible que, con el tiempo los terraplenes se consolidaran y sirvieran de paso del acueducto y también de cortinas para la regularización de las corrientes fluviales y para almacenamiento, cuya importancia estaría determinada por la experiencia.

A la salida del terraplén, a la distancia 38,538, se encuentra otro tanque de transición, de mampostería, donde descargan los tubos de acero y de donde parte el acueducto con su sección regular de 3.26 m. de diámetro y el material utilizado en su construcción, o sea ladrillo, tabique y piedra, que se llamará mampostería mixta, como ya se describió.

El agua llega al segundo túnel, que principia en la distancia 38,746 y termina en 38,918, con una longitud de 172 m., habiéndose dado el nombre de túnel de El Apagón. Continúa el acueducto y a la distancia 39,114, encuentra el tercer túnel, que recibe el nombre de Brujas y tiene 100 m. de longitud. Sigue el acueducto, para terminar en su primer nivel, con una longitud de 2,645 m. a la distancia 39,516, donde se construyó un tanque de reposo, del que parten dos tubos de acero de 1.06 m. de diámetro y 243.50 m. de longitud, hasta las turbinas de la

primera planta de San Bartolito con 93 m. de caída, capaz de generar 4,250 KW. con 6,000 l.p.s.¹ y 7,100 KW. con 10,000 l.p.s.

Las excedencias que se derramen en la caja de reposo, cuando no trabaje la planta o existan demasías, seguirán un escalerado proyectado por el Ing. Terrés, que nulifica la acción erosiva del agua.

Las turbinas desfogarán en el túnel de La Vela, o cuarto en el sistema, de 162 m. de longitud y continúa el acueducto regular, hasta la distancia 40,414, donde el acueducto llega a la barranca de Ajolotes, y donde se ha construido de concreto, en el paso de la misma, apoyado en pilares, en una distancia de 23 m., siguiendo, en seguida, como acueducto regular, hasta la distancia 42,786, con un desarrollo, en este segundo nivel, de 3,270 m., llegando al tanque de reposo, para la segunda planta, del Monte o Río Borracho, con 46 m. de caída, que podrá generar 2,340 KW. con 6,000 l.p.s. y 3,900 KW. con 10,000 l.p.s.

La planta está en la distancia 42,916 y desfoga en un sifón de 58 m. de longitud, que pasa el río Borracho y se establece el tercer nivel del acueducto, que parte de la distancia 43,014 y llega a 49,179 con un desarrollo de 6,165 m.

En este tramo se encuentra, primero, el terraplén del Tecojote de 50 m. de largo, sobre el que pasan tres tubos flexibles de acero, de 1.50 m. de diámetro, que principian a la distancia 43,406; en seguida está el corte del Tejocote de 200 m. de longitud, que principia en 43,636; después sigue el túnel del Rey, que es el quinto y tiene 65 m. de longitud, principiando en 44,166; viene a continuación el corte del Montecito, de 150 m. de largo, que principia en 44,506; en seguida se encuentra el terraplén del Zapote, de 163 m. de longitud y 85 m. de altura, para pasar la barranca del mismo nombre, por medio de la triple tubería de acero, descrita cuando se habló del terraplén del Obraje.

Este terraplén comienza en la distancia 45,006; a continuación está el túnel de La Cebada, de 155 m. de longitud, sexto en el sistema, que principia en la distancia 45,546; después se encuentra la barranca del Lobo, que se pasa también por un terraplén idéntico a los anteriores con 89 m. de longitud y 60 m. de altura, con los dos tubos flexibles apoyados en durmientes; en seguida se encuentra el pequeño túnel de Las Palmas, de 29 m. de longitud, que principia a la distancia 48,775 y sirve para cruzar el camino que sigue por el acueducto, hasta la entrada del túnel Núm. 1 o principal; por último, a la distancia 49,179, se encuentra el tanque de reposo de Las Palmas, de donde parte las tuberías de presión para la tercera planta o de Las Palmas, con 106 m.

¹ Se usará siempre esta abreviación para litros por segundo.

de caída, capaz de generar 5,150 KW. con 6,000 l.p.s. y 8,600 KW. con 10,000 l.p.s. La caja de reposo, como las anteriores, tiene su escalerado para recibir las aguas excedentes o no utilizadas en la planta por cualquiera circunstancia.

El cuarto nivel, con pendiente de 0.0002, como todos los otros del acueducto, se inicia en el desfogue de Las Palmas, a la distancia 49,029, teniendo 3,940 m. de desarrollo. En este nivel¹ hay dos terraplenes y tres túneles: el terraplén del Chilpo, de 18 m. de longitud, que principia en 49,371; el terraplén de La Zorra de 55 m. de largo, con su principio a 49,666; el 8º túnel, de río Hondo, entre 49,959, y 50,019; el 9º túnel, Eureka, de 143 m. que principia en 50,310; y el 10º túnel, del Conscripto, de 55 m. de largo, entre 52,659 y 52,714. A la distancia 52,969 termina este nivel y principia la caída de San Joaquín de 28 m. altura, capaz de generar 1,376 K.W. con 6,750 l.p.s. y 2,038 K.W., con 10,000 l.p.s.

A la salida de la planta hidroeléctrica de San Joaquín, se inicia el quinto y último nivel del acueducto, de 3,387 m. de longitud, que principia en 53,027 y termina en la cámara de distribución de Dolores, a la distancia final de 56,414, que representa la longitud total de la obra. En este nivel hay dos sifones, cuatro túneles y un puente-canal.

Primero se encuentra el 11º túnel, del Aguacate, de 33 m. de largo, que principia en 53,027, encontrándose en seguida el puente de San Joaquín, de 107 m. de longitud, que termina en 53,167; sigue el 12º túnel de San Joaquín, de 899 m. de largo, entre 53,195 y 54,094, con un sifón interior de 213 m., entre 53,300 y 53,513; entre 54,145 y 54,194 está el puente de Tecamachalco, de 49 m. de largo; entre 54,210 y 54,670, está el 13º túnel de Tecamachalco, con 460 m. de longitud; sigue el puente de Barrilaco, de 35 m. de largo y entre 54,710 y 55,224 está el 14º y último túnel, de Barrilaco, con 514 m. de longitud; viene después el paso del Conejo, de 51 m. de largo y a continuación principia el sifón de Dolores, de 325 m. de longitud, que termina en 55,328 y, con sólo 50 m. más, se llega al vertedor de Dolores, de 31 m. de largo; por último, a la distancia final de 56,414, se encuentra la cámara de distribución de Dolores.

De una manera general, puede decirse que la obra consta de cinco niveles o líneas de muy corta pendiente, separados por cuatro caídas. La primera línea tiene, en el valle del Lerma, 22,537 m. entre los manantiales de Almoloya del Río y la entrada del túnel principal o del Lerma; sigue el túnel referido de 14,334 m. y, a continuación, el acueducto

¹ Se llamará así a las líneas de corta pendiente comprendidas entre las caídas.

en la cuenca de México, de 2,645 m., dando un desarrollo total, para esa primera línea de pendiente, de 39,516 m.

La segunda línea está a 96 m. abajo del término de la primera, principia en la planta de San Bartolito y termina en la caja de reposo del río Borracho, con una longitud de 3,270 m.

La tercera línea está 46 m. abajo de la anterior y tiene 6,165 m. de desarrollo. Principia en la planta del río Borracho y termina en la caja de Las Palmas.

La cuarta línea principia 106 m. abajo del término de la anterior, en la planta de Las Palmas y termina en la caja de San Joaquín, con una longitud de 3,940 m.

Por último, la quinta línea se inicia 28 m. abajo del término de la cuarta, en la planta de San Joaquín y termina en la caja de distribución de Dolores, con un desarrollo de 3,387 m.

En la obra existen: 14 túneles que suman una longitud de 17,181 m. o sea 2,847 m., además del túnel principal; seis terraplenes que suman 662 m.; cinco puentes con longitud total de 265 m.; tres sifones que suman 596 m.; y cuatro caídas que dan 263 m. de caída total y pueden generar de 13,116 a 21,638 K.W. Los tramos de acueducto, en su mayor parte de mampostería mixta; pero con tramos bastante largos de concreto, sobre todo en el valle de Toluca, suman 37,954 m. de longitud.

FISIOGRAFIA

Hay tres regiones muy interesantes para el presente estudio: la cuenca alimentadora de los manantiales de Almoloya del Río a San Miguel Ameyalco como parte de la cuenca del Lerma; la sierra de Las Cruces y Monte Alto y la cuenca de México.

No se pueden describir estas regiones sino en la parte relacionada con las obras del Lerma.

La cuenca alimentadora de los manantiales de Almoloya del Río a San Miguel Ameyalco, ha sido estudiada con anterioridad. En ella se comprenden las siguientes superficies:

Sierra de Las Cruces	228.14 Km. ²
Nevado de Toluca	248.28 ..
Cerros del Pedregal	109.05 ..
Planicie de Toluca	408.32 ..

La amplitud media de la sierra de Las Cruces es de 16 Km., en dicha cuenca, desde su cresta hasta su intersección con la planicie de Toluca; la amplitud del Nevado de Toluca o Xinantecatl, es de unos 17 Km.; y la planicie que separa estas elevaciones, tiene una anchura media de 11 Km., siendo la mínima de 9 Km., entre las cercanías de Rayón y Almoleya del Río y la máxima de 21 Km. entre Toluca y Ameyalco. La extensión máxima de esta planicie es de 21 Km., de S a N, desde Tenango del Valle, hasta unos 3 Km. al N de Doña Rosa, sin considerar la totalidad de la misma, sino únicamente la región estudiada.

La sierra de Las Cruces tiene un rumbo medio de $N46^{\circ}W$ y una longitud entre los puntos extremos de su cresta, en la porción considerada, de unos 22 Km., desde el cerro del Ajusco hasta el cerro de la Campana. Del cerro del Ajusco parte un contrafuerte de unos 15 Km. de longitud que llega al cerro Chalchihuites, situado a unos 5 Km. al S del cerro Loco, que figura en el croquis que acompaña el estudio hidrogeológico de la cuenca alta del Lerma ¹.

En relación con la zona de la sierra atravesada por el túnel de Lerma, debe decirse que la elevación principal, en la cumbre de la misma, es el cerro de La Campana, de 3,425 m. de altitud, siguiéndole en importancia los cerros que se encuentran de N a S, también en la cresta de la sierra, de Yautepéc, Piedra del Molino y Canales, La Palma y La Marquesa. El trazo de la parte-aguas es muy ondulado.

De N a S se encuentran, por la vertiente oriental de la sierra, los contrafuertes de Capilla de Santa Cruz, que arranca del cerro Piedra del Molino y comprende los cerros de Las Piedras y El Manzano, con una longitud de unos 4 Km., San Martín que parte del cerro de La Palma y comprende los cerros de Caballete, San Martín, La Cruz y Coronita, así como las lomas Regis y Huixquilucan, con una extensión de 11 Km. y La Marquesa.

Por la vertiente occidental del valle de Toluca se encuentran los contrafuertes de Atarasquillo, que parte del cerro Yautepéc, con una longitud de unos 6 Km.; Santiago que arranca del cerro Canales y tiene una extensión de unos 8 Km.; y Salazar que entronca en el cerro de La Palma y con una longitud de unos 8 Km. termina, como los anteriores en la planicie de Toluca.

Hidrografía. No se hablará de los ríos que interceptan el acueducto, en la planicie de Toluca, como son el Capulhuac y el de Ocoyoacac, a los que se hizo referencia en el estudio de la cuenca alta del Lerma.²

¹ Anales del Instituto de Geología, T: VI, 1936:

² Loc. cit.

Los que interceptan el acueducto en la cuenca de México son los de Ajolotes o Huixquilucan, afluente del río Hondo, Obraje, Zapote y Lobo, afluentes del mismo río; San Joaquín y Tecamachalco, afluentes del río del Consulado, que nacen en las lomas del pie de la sierra a bastante distancia de la cresta; y Barrilaco, afluente del Tecamachalco, de menor importancia aún.

Los arroyos que corresponden a la sierra de Las Cruces en la parte atravesada por el túnel del Lerma, son los de Atarasquillo y Alférez,¹ que desembocan en las ciénagas del Lerma, que se encuentran en la planicie de Toluca.

El arroyo de Atarasquillo, nace cerca del C. Yautepec y con rumbo medio S 40° W y un desarrollo de 4.6 km. llega cerca de la lumbre-ra 1, donde cambia su rumbo a S 80° W en una distancia de 3 km., hasta llegar cerca de la boca de entrada del túnel. Por su margen derecha o boreal, recibe numerosos arroyuelos de poca importancia y, por su margen izquierda, dos de relativa importancia, de unos 3,500 m. de desarrollo y el Sabanillas de unos 2 km.

El arroyo Alférez nace cerca del C. La Palma y tiene un rumbo medio de E-W hasta la entrada del túnel del Lerma, en seguida se adentra en la planicie llegando a las ciénagas del Lerma. Sólo un afluente tiene consideración, como es el que nace cerca del C. Canales y se reúne al Alférez por su margen derecha o boreal, en la parte media del curso, con un desarrollo de 3.7 km.

En la vertiente oriental de la sierra, también en la parte atravesada por el túnel del Lerma, se encuentran varios arroyos pertenecientes a la cuenca del río de Los Remedios, que en su origen se llama río de San Francisco desde el pie del cerro Canales hasta la confluencia del arroyo de Huixquilucan o río Ajolotes, desde cuyo lugar toma el nombre de río Hondo, que conserva hasta la confluencia del río Totolica, tomando en seguida el nombre de río de Los Remedios, con el que llega hasta la desviación combinada y finalmente por el canal de Ríos Unidos, al lago de Texcoco.

El arroyo San Francisco tiene como afluentes principales al de Laureles, por su margen derecha y al Santa Cruz por la izquierda. El primero nace en los flancos NE del cerro de La Palma, mientras que el segundo nace cerca del cerro del Manzano.

El arroyo de Huixquilucan nace entre los cerros de La Palma y La Marquesa y con un desarrollo de unos 14 km. llega a San Bartolito donde se reúne con el arroyo de San Francisco, formando el río Hondo.

¹ Véase carta hidrográfica adjunta.

Los datos que dan mejor idea de estos arroyos los proporciona el cuadro siguiente de índices numéricos:¹

	Desarrollo Kms.	Desnivel Kms.	Area Km. ²	Í N D I C E S				
				Categoría	Específico	Erosivo	Drenaje	Recorrido
Santa Cruz.....	7.2	0.34	11.70	0.0004	0.025	47.3	1.62	1.24
Huixquilucan.....	8.5	0.36	11.10	0.0004	0.031	42.4	1.31	1.15
San Francisco.....	8.8	0.35	20.60	0.0007	0.048	39.8	2.34	1.22
Los Remedios.....	50.8	1.06	509.94	0.0054	0.540	20.8	10.00	1.39
Atarasquillo.....	7.0	0.43	17.16	0.0007	0.030	61.5	2.45	1.15
Alfárez.....	9.5	0.60	14.09	0.0008	0.057	63.2	1.48	1.30

Los índices categóricos permiten clasificar a todos los cursos, de torrenteras, exceptuando al río de Los Remedios que resulta "arroyuelo", no obstante que se ha tomado hasta su desembocadura en el lago de Texcoco; los índices erosivos, permiten calificarlos en la "infancia", exceptuando al Atarasquillo y Alfárez que son "de montaña"; los índices de drenaje son bajos y están de acuerdo con el estado del ciclo erosivo; los de recorrido son también bajos, como corresponde a la naturaleza simple de las estructuras geológicas.

La comparación de estos índices y los de los cursos de la misma sierra, en las cuencas de los ríos Magdalena y Eslava, situadas en su extremo sur y en la cuenca de México, permiten apreciar su semejanza.²

En cuanto a los cursos, en su totalidad, no se ha considerado más que al río de Los Remedios atendiendo a sus índices hidrográficos; pues los restantes se toman en cuenta hasta las proximidades de los cursos, respecto a la entrada del túnel del Lerma, en el caso del Atarasquillo y el Alfárez y de la salida del mismo túnel en el caso del Santa Cruz y San Francisco, que como ya se dijo forman parte de la cuenca del río de Los Remedios.

Para obviar la consulta del estudio mencionado³ sobre los índices calculados, se dirá que el erosivo representa la pendiente media, en metros, por kilómetro; el de drenaje, el área media en kilómetros cuadrados, por kilómetros de desarrollo del curso; el de recorrido, la relación del desarrollo total del mismo curso, respecto a la línea recta que une sus extremos; el categórico, es una parte decimal del producto del área de la cuenca, por su desnivel; y el específico, una parte decimal

¹ Consúltese: "Algunos índices numéricos para la clasificación y estudio de los ríos". Bol. Soc. Geol. Méx. T. XI-6.

² Hidrología de las cuencas de los ríos Magdalena y Eslava. Inst. Geol. de Méx. (Inédito.)

³ Loc. cit.

del producto del desnivel, entre los extremos del curso por el desarrollo del mismo.

GEOLOGIA

Rocas. En la sierra de Las Cruces y en las planicies de México y Toluca, existen rocas pirogénicas, piroclásticas e hidroclásticas: entre las primeras se mencionan a las andesitas y los basaltos; entre las segundas las tobas, brechas, arenas, cenizas andesíticas y arenas, cenizas y aglomerados basálticos, y entre las últimas, conglomerados, arcillas, areniscas, arenas, gravas y aluviones.

Andesitas. Su coloración es muy variada, dominando los colores gris azulado y rojizo, su textura es generalmente porfirítica, encontrándose también texturas microlíticas y hasta afaníticas. Hay andesitas de hornblenda e hiperstena, de hiperstena y basálticas. Al final de este capítulo, aparece el estudio microscópico hecho por el Sr. Ariel Hernández Velasco.

Las andesitas se encuentran en la sierra de Las Cruces, en numerosos afloramientos dispuestos en corrientes de espesor variable, entre 20 y 300 m. En el túnel del Lerma se cortaron numerosas corrientes.

Tobas andesíticas. Son de colores rosados, amarillentos y grises, teniendo diferente dureza y compacidad. Se les encuentra en varias zonas en el interior del túnel y en algunos cortes del acueducto en la cuenca de México.

Brechas andesíticas. Puede decirse que constituyen la formación geológica más importante, por su potencia y extensión. Incluyen fragmentos andesíticos y basálticos en menor cantidad, cementados por arenas y cenizas volcánicas. La forma y distribución de los fragmentos es aparentemente muy caprichosa; pero es posible distinguir zonas con grandes fragmentos dispersos rodeados de fragmentos pequeños o agrupados formando una brecha de grandes peñascos; con fragmentos de tamaño mediano y pequeño regularmente distribuidos y relativamente abundantes, con esos fragmentos agrupados casi regularmente o dispersos y aislados.

Las brechas forman depósitos de mucho espesor apoyados sobre las corrientes andesíticas.

Arenas y cenizas andesíticas. Son de colores rosados, amarillentos y blanquiczos. Su compacidad es generalmente imperfecta; por lo que en lo general pueden considerarse estas rocas como incoherentes. Forman depósitos intercalados entre las brechas o superpuestas a ellas.

Basaltos. Su color es siempre oscuro, en algunos lugares casi negro, en otros rojizo o azulado. Su textura es compacta o vesicular. Se encuentra dispuesto en corrientes generalmente de poco espesor en las inmediaciones de Almoloya del Río, de los viveros de Texcaltengo y entre Amomolulco y San Miguel Ameyalco. Se encuentran también en el interior del túnel del Lerma.

Aglomerados basálticos. Forman acumulaciones caóticas de bloques intermezclados con tezontles en las corrientes de Amolulco-Ameyalco y en algunas zonas cercanas a Texcaltengo.

Arenas y cenizas basálticas. Las arenas son de color negro y forman depósitos incoherentes que alcanzan espesores hasta de 10 m.; las cenizas son grises, azuladas y amarillentas y están generalmente oxidadas en sus elementos ferromagnesianos, tomando colores morenos y rojizos. Se encuentran en abundancia en el subsuelo de la planicie de Toluca, en las zonas basálticas, en las lomas de uno y otro lado de la sierra, en el interior del túnel y en el subsuelo de la planicie de México.

Conglomerados. Incluyen cantos andesíticos de todos tamaños, cementados por arenas y cenizas volcánicas y arcillas. Se encuentran en los flancos de la sierra, en una y otra vertiente. La distribución de los fragmentos es muy irregular y forman depósitos caóticos semejantes a las morrenas.

Petrografía. Como se estima de mucha importancia la clasificación apropiada de las rocas, el Instituto de Geología hizo un muestreo sistemático del túnel tomando muestras orientadas en los tramos de roca maciza, es decir, en las corrientes andesíticas cortadas por el túnel y muestras comunes en el resto, con el deseo de hacer después un muestreo dirigido, en vista de los resultados obtenidos en el sistemático.

No pudiendo esperar los resultados de ese estudio, se resolvió hacer un estudio preliminar, apoyado en un muestreo mínimo, que resultó de 50 muestras. Como al tener la clasificación microscópica de las rocas aparecieron ciertos puntos dudosos, se procedió a efectuar el análisis químico de ellas, para resolver esas dudas. Las siguientes son las clasificaciones microscópicas:

Muestra No.	Localidad	Clasificación	Observaciones
560	T. L. 23+020	Andesita basáltica.	Color gris oscuro. Textura: porfírica. Microtextura: hipocrystalina porfírica. Andesina, oligoclasa labradorita, fenocristales de hiperstena.

Muestra No.	Localidad	Clasificación	Observaciones
561	T. L. 23+180	<i>Andesita</i> basáltica.	<p>Inclusiones formadas por cristalitas de plagioclasa con microtextura pilotaxítica fluidal.</p> <p>Color gris oscuro. Textura: granular con fenocristales de hiperstena. Microtextura: hipocristalina, porfirítica.</p> <p>Andesina, oligoclasa, hiperstena, labradorita, augita.</p>
562	T. L. 23+300	<i>Basalto</i> de hiperstena.	<p>Color gris oscuro con fenocristales de hiperstena. Textura: granular compacta. Microtextura: hipocristalina porfirítica.</p> <p>Fenocristales de labradorita, bitownita, hiperstena, augita.</p>
563	T. L. 23+420	<i>Basalto</i> de hiperstena	<p>Color gris muy oscuro. Textura: granular compacta. Microtextura: hipocristalina porfirítica.</p> <p>Labradorita, bitownita, fenocristales de hiperstena y augita.</p>
564	T. L. 23+720	<i>Basalto</i> de hiperstena	<p>Color gris oscuro. Textura: granular compacta con fenocristales de hiperstena. Microtextura: hipocristalina porfirítica.</p> <p>Labradorita, bitownita, hiperstena, augita, olivino.</p>
565	T. L. 24+100	<i>Basalto</i> andesítico.	<p>Color gris oscuro. Textura: granular compacta. Microtextura: hipohialina y hialofílica.</p> <p>Labradorita, anortita, hiperstena, augita, andesina.</p> <p>Fenocristales sonados de plagioclasa.</p>
566	T. L. 24+240	<i>Basalto</i> andesítico.	<p>Color gris oscuro. Textura: granular compacta. Microtextura: hipohialina, y hialofílica.</p> <p>Labradorita, anortita, hiperstena, augita, andesina.</p> <p>Fenocristales sonados de plagioclasa.</p>
567	T. L. 24+480	<i>Basalto</i> de hiperstena.	<p>Color gris. Textura: granular porfirítica. Microtextura: hipocristalina, hialofílica.</p> <p>Labradorita, anortita, hiperstena, augita, olivino.</p>
567a	T. L. 24+480	<i>Basalto</i> andesítico.	<p>Color gris oscuro. Textura: granular compacta. Microtextura: hipohialina y hialofílica.</p> <p>Labradorita, anortita, hiperstena, augita, andesina.</p> <p>Fenocristales sonados de plagioclasa. (Id. a la 565.).</p>

Muestra No.	Localidad	Clasificación	Observaciones
568	T. L. 24+540	<i>Andesita</i> de hiperstena.	Color gris claro. Textura: granular compacta, con fenocristales de hiperstena. Andesina, oligoclasa, hiperstena, augita.
569	T. L. 24+580	<i>Andesita</i> de hiperstena.	Color gris oscuro. Textura: granular porfirítica. Microtextura: hipocristalina hialofílica. Andesina, botownita, hiperstena, oligoclasa.
570	T. L. 24+860	<i>Andesita</i> basáltica.	Color gris oscuro, parcialmente oxidada. Textura: granular porfirítica. Microtextura: hipocristalina hialofílica. Andesina, oligoclasa, hiperstena.
571	T. L. 24+920	<i>Andesita</i> basáltica.	Color gris. Textura: granular porfirítica. Microtextura: hipocristalina hialofílica. Andesina, oligoclasa, hiperstena, labradorita.
572	T. L. 24+960	<i>Andesita</i> de hiperstena.	Color rojizo. Textura: granular, en algunas porciones de la muestra se presenta la textura soplada. Microtextura: hipohialina hialofílica. Andesina, oligoclasa, hiperstena.
573	T. L. 25+020	<i>Andesita</i> de hornblenda.	Color gris claro, fenocristales de hornblenda. Textura: granular, Microtextura: hipocristalina porfirítica. Andesina, oligoclasa, hornblenda basáltica con los bordes reabsorbidos, hiperstena. Fenocristales de andesina zonada.
573a	T. L. 25+160	<i>Andesita</i> de hiperstena.	Color gris rosado. Textura: granular. Microtextura: hipocristalina porfirítica. Andesina, oligoclasa, hiperstena, augita, hiperstena reabsorbida.
574	T. L. 25+260	<i>Andesita</i> de hiperstena.	Color gris rosado. Textura: porfídica granular. Microtextura: hipocristalina porfirítica. Andesina zonada, oligoclasa, hiperstena, hornblenda reabsorbida.
575	T. L. 25+500	<i>Andesita</i> de hiperstena.	Color rosado oscuro. Textura: porfídica granular. Microtextura: hipocristalina hialofílica, fenocristales de plagioclasa. Andesina, oligoclasa, hiperstena, augita.

Muestra No.	Localidad	Clasificación	Observaciones
577	T. L. 25+800	Andesita de hiperstena.	Color gris. Textura: porfídica granular. Microtextura: hipohialina porfirítica. Andesina zonada, oligoclasa, hiperstena, augita.
578	T. L. 26+140	Andesita de hiperstena? Toba andesítica?	Color gris claro. Muy alterada. Microtextura: hipocrystalina hialofíltica. Oligoclasa, andesina zonada, hiperstena, augita.
579	T. L. 26+340	Andesita de hiperstena.	Color gris oscuro. Textura: granular, porfirítica. Microtextura: hipohialina hialofíltica. Oligoclasa, andesina, hiperstena, augita.
580	T. L. 26+780	Andesita de hiperstena.	Color claro. Textura: granular muy alterada, correspondiendo a una toba. Microtextura: hipohialina porfirítica. Andesina, oligoclasa, hiperstena.
581	T. L. 26+940	Andesina de hiperstena.	Color gris claro. Textura: Porfirítica granular. Microtextura: hipohialina hialofíltica. Andesina, oligoclasa, hiperstena.
582	T. L. 27+240	Andesita basáltica?	Color oscuro. Textura compacta con fenocristales de hiperstena. Microtextura: hipohialina hialofíltica. Andesina, oligoclasa, hiperstena, labradorita.
583	T. L. 27+290	Aglomerado.	Color rosado, poco compacta. Textura: brechoide. Microtextura: hipocrystalina hialofíltica. Labradorita, andesina, oligoclasa, hiperstena. De procedencia andesítico-basáltica?
584	T. L. 27+540	Andesita de hornblenda.	Color gris claro. Textura: Porfirítica. Microtextura: hipohialina granofírica. Andesina, fenocristales de andesina zonada, oligoclasa, hornblenda con figuras de corrosión, hiperstena.
585	T. L. 27+740	Aglomerado.	Color gris. Textura: Brechoide. Microtextura: hipohialina pilotaxítica.
586	T. L.	Aglomerado.	Labradorita, bitownita, andesina y hornblenda. De procedencia basáltica.
587	T. L. 28+220	Andesita de hiperstena.	Color gris verdoso. Textura: compacta, fácilmente desintegrable. Microtextura: hipohialina hialofíltica y fluidal. Andesina zonada, oligoclasa, hiperstena, clorita? (Roca alterada.).

Muestra No.	Localidad	Clasificación	Observaciones
588	T. L. 28+680	<i>Basalto de augita.</i>	Color gris. Textura: compacta. Microtextura: hipohialina hialofíltica. Labradorita, bitownita, augita, hipers-tena.
589	T. L. 28+729	<i>Brecha.</i>	Color gris claro. Textura: brecho de. Microtextura: hipocristalina intergranular. Labradorita, bitownita, augita. (Inclusiones de basalto en tobas.)
590	T. L. 28+720	<i>Toba andesítica.</i>	Color rosado. Textura: granular pulverulenta, poco compacta. Microtextura: hipocristalina hialofíltica. Andesina, oligoclasa, hiperstena, hornblenda.
591	T. L. 28+720	<i>Andesita de hornblenda muy alterada e incluyendo fragmentos de basalto?</i>	Color gris muy claro. Textura: granular pulverulenta y brechoide en partes. Microtextura: hipocristalina porfirítica. Oligoclasa, andesina, hornblenda.
592	T. L. 28+940	<i>Andesita de hornblenda.</i>	Roca de color rosado. Textura: granular porfirítica. Microtextura: hipohialina hialofíltica. Andesina, oligoclasa, hornblenda.
593	T. L. 29+100	<i>Basalto de hornblenda.</i>	Color verdoso. Textura: compacta. Microtextura: hipocristalina pilotaxítica. Labradorita, bitownita, hornblenda muy alterada.
594	T. L. 29+360	<i>Andesita de hornblenda.</i>	Color gris. Textura: parcialmente vesicular, fenocristales de hornblenda. Microtextura: granofírica, hialofíltica, hipocristalina. Fenocristales de andesina y oligoclasa, fenocristales de hornblenda, hipers-tena.
595	T. L. 29+560	<i>Brecha andesítica.</i>	Color verdoso. Textura: brechoide de los fragmentos macizos: compacta. Microtextura: hipocristalina hialofíltica. Fenocristales de andesina, oligoclasa, hornblenda.
596	T. L. 29+760	<i>Toba andesítica?</i>	Color verdoso muy claro. Text. granular pulverulenta, parcialmente brechoide. Microtextura: hipohialina pilotaxítica. Andesina y fenocristales de hornblenda.
597	T. L. 29+960	<i>Toba basáltica?</i>	Color rosado. Textura: granular pulverulenta. Microtextura: hipohialina pilotaxítica. Labradorita?, andesina?, hornblenda.

Muestra No.	Localidad	Clasificación	Observaciones
598	T. L. 30+500	<i>Andesita</i> de hornblenda.	Color gris, ligeramente verdoso. Textura: compacta, Microtextura: hipohialina granofírica. Andesina, oligoclasa, hornblenda muy alterada.
599	T. L. 30+930	<i>Andesita</i> de hornblenda.	Idéntica a la anterior. Presenta un grado mayor de alteración.
600	T. L. 31+050	<i>Basalto</i> andesítico? <i>Andesita</i> de hornblenda?	Color rosado, compacto en su textura, algunos fenocristales de plagioclasa. Microtextura: hipocristalinos hialofílica. Andesina?, labradorita y hornblenda muy alterada.
601	T. L. 32+800	<i>Andesita</i> de hornblenda e hiperstena.	Color claro. Textura: porfirítica granular. Microtextura: hipocristalina granofírica. Andesina zonada, oligoclasa, hornblenda, hiperstena.
602	T. L. 33+750	<i>Andesita</i> de hornblenda.	Id. que la anterior.
603	T. L. 33+950	<i>Andesita</i> de hornblenda e hiperstena.	Idem que la anterior.
604	T. L. 34+250	<i>Andesita</i> de hornblenda e hiperstena.	Color claro. Textura: porfirítica hipocristalina, fenocristales de andesina zonada en su microtextura granofírica. Andesina, oligoclasa, hornblenda, hiperstena.
605	T. L. 34+920	<i>Andesita</i> de hornblenda e hiperstena.	Color claro. Textura: porfirítica, ligeramente alterada. Microtextura: hipocristalina granofírica, hialofílica, fenocristales de andesina zonada. Andesina, oligoclasa, hornblenda, hiperstena.
606	T. L. 35+750	<i>Andesita</i> de hornblenda e hiperstena.	Idem que la anterior. (El desarrollo de los fenocristales de plagioclasa es menor al de las muestras anteriores.).
607	T. L. 35+550	<i>Andesita</i> de hornblenda e hiperstena.	Color claro. Textura: brechoide. Microtextura: hipohialina granofírica. Andesina, oligoclasa, hornblenda, hiperstena.

Estructuras. El túnel revela esencialmente varias alternancias de lavas con brechas y tobas, pudiéndose suponer que hay ciertas corrientes más antiguas con características litológicas particulares, como por ejemplo, andesitas predominantemente hornbléndicas, con menor o mayor abundancia de hiperstena. Esas andesitas deberán ocupar la parte central de la sierra y se les supone en el túnel, desde el Km. 28,750, hasta el 36,870, extendiéndose hacia la superficie hasta el cerro de La Campana, cuya vertical se encuentra entre 28,700 y 29,600, en la sección vertical, según el eje del túnel. Las corrientes posteriores se suponen de tipo esencialmente hipersténico, aun cuando puedan contener también augita y aun hornblenda.

Esas corrientes pueden encontrarse en uno y otro lado de las líneas de emisión, aunque puede haber algunas que se hayan derramado hacia un lado. Parece más aceptable la idea de una estructura estratiforme del conjunto volcánico, que la idea de un todo caótico producido por extravasaciones muy viscosas, donde las lavas se acumulaban en masas irregulares y se extendían envolviendo los materiales fragmentarios y formando zonas brechosas embebidas, caracterizadas por su irregularidad, en disposición y litología. En tal caso sería imposible distinguir la antigüedad ni la disposición de las corrientes. Contra esta hipótesis está el gran espesor de algunas brechas que indica, en cada caso un período brechógeno bien definido, durante el cual se formaron las poderosas corrientes de lodo que movieron todo el material fragmentario sin clasificarlo. En seguida continuaba la actividad volcánica, sea principiada nuevamente con erupciones paroxismales cuyos materiales se confundían con los del anterior período brechógeno o iniciada por efusiones; pero produciendo generalmente una gruesa y continua corriente de lava o en muchos casos una corriente delgada.

Las estructuras geológicas se definieron considerando solamente la litología obtenida de acuerdo con el muestreo mínimo que se hizo, y consiste en la distinción de dos cuerpos principales: el andesítico y el basáltico. Quizá sea posible dividir la parte andesítica en dos cuerpos: uno constituido por andesitas de hornblenda e hiperstena y otro por andesitas de hiperstena; pero no se logró observar ninguna superposición clara, que resolviera este asunto y aunque bien puede suceder que las dos clases de andesitas se deban exclusivamente a diferenciaciones magmáticas, aun del tipo de variación de temperatura o del agua con el magma, sí llama la atención que la hornblenda se encuentre en un tramo bien definido, como es la sección oriental del túnel y que no se

presente con igual abundancia en el tramo occidental, donde en su mayor parte está reabsorbida.

Puede creerse, en consecuencia, que no es muy definida, en el túnel, la relación de la andesita de hornblenda respecto a la de hiperstena y que más bien se trata de variaciones de tipo secundario.

Por el contrario, las andesitas basálticas sí se distinguen de las anteriores por una clara superposición, tratándose evidentemente de un segundo cuerpo efusivo, posterior al andesítico.

La estructura de la sierra consta, de acuerdo con estas ideas, de dos cuerpos volcánicos: el primero andesítico, el segundo de andesitas basálticas y basaltos.

Fuera del túnel pueden apreciarse en los cortes del acueducto, sobre todo en las faldas orientales, estructuras muy variadas, correspondientes a brechas volcánicas transportadas, arenas y cenizas volcánicas y rocas efusivas.

Las andesitas de la primera corriente que atraviesa el túnel en su salida de Dos Ríos, están cortadas por pequeños cauces, rellenos por brechas de acarreo, que revelan el deslizamiento de ese material, que debió moverse con lentitud, en una forma en todo semejante a la de un glaciar.

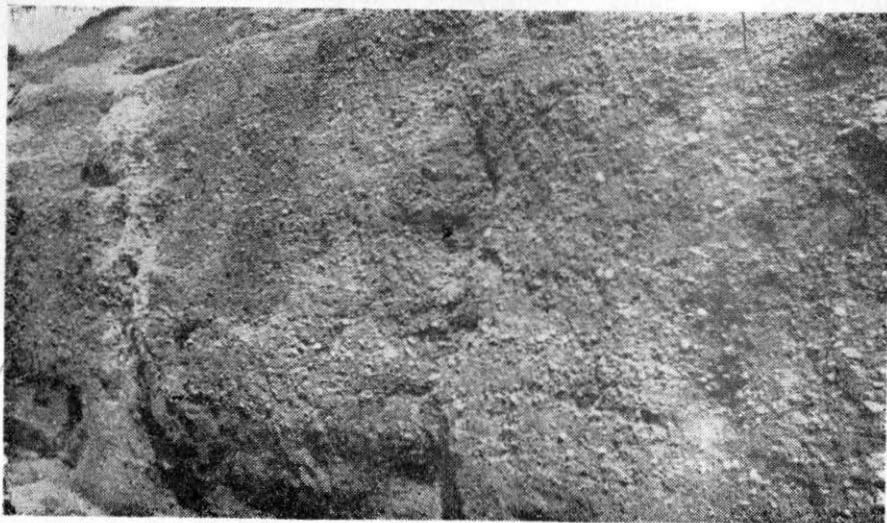
En depósitos de grandes magnitudes, como los correspondientes a las brechas intercaladas entre las corrientes andesíticas del interior de la sierra, que alcanzan espesores hasta de 1,500 m., la disposición del material es caótica, encontrándose grandes peñascos, hasta de 5 m. de diámetro medio o bien de eje mayor hasta de 30 m. y en su contorno peñascos menores de eje longitudinal hasta de 0.70 m. foto Núm. 1.

La suma de los espesores de los depósitos de brechas y tobas intercalados entre las corrientes andesíticas perforadas por el túnel del Lerma es de 5,700 m. considerando la parte del mismo comprendida entre el eje de la sierra y el contacto de las brechas con la corriente que se encuentra a la salida del túnel, cubriendo una distancia de 7,050 m. que incluye las referidas corrientes.

Mientras más alejados están los lugares del punto de partida de las brechas, o sea de las líneas de emisión, más pequeños se van haciendo los fragmentos mayores, reduciéndose a dimensiones de 0.05 m. de diámetro y también van mostrando vestigios de estratificación, foto Núm. 2. Las aristas van desapareciendo y los fragmentos toman la forma de los cantos rodados. Sin embargo, donde los deslizamientos de las grandes acumulaciones de materiales piroclástico eran de gran cuantía, se trans-



Fot. 1.—Brechas andesíticas a la entrada del túnel del Lerma.



Fot. 2.—Acueducto del Lerma. Nivel 2,421.900, cerca de Las Palmas.

portaban peñascos tan grandes como los comunes de las partes altas de las sierras, ofreciendo el aspecto de erráticos glaciales.

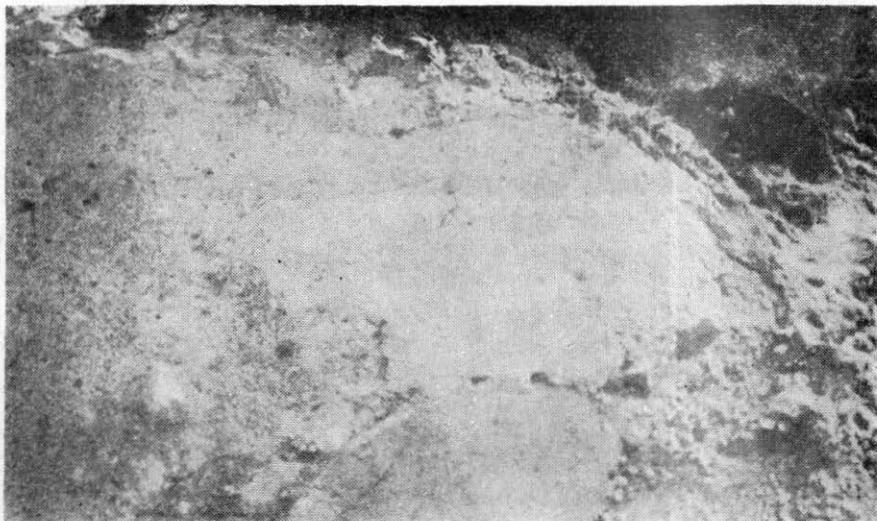
Muy interesante resulta el transporte de este material volcánico, pues revela que fue por deslizamiento con un carácter envolvente que permitió el arrastre de material poco consolidado, perteneciente a depósitos anteriores del todo similares, que a su vez incluyen fragmentos casi incoherentes y tanto los bloques de acarreo primarios, como los secundarios y menores, muestran arredondamiento con formas ovaladas, foto Núm. 3, o elípticas. Las dimensiones de estos bloques alcanzan más de 10 m. de eje mayor y además de su forma arredondada indicadora de un lento movimiento giratorio, indican también desplazamientos horizontales que arrastraban material grueso del lado contrario al que recibió el empuje, foto Núm. 4. Muy frecuentemente los bloques incluidos están constituidos por pómez muy fina, foto Núm. 5, mostrando estratificación.

Algunos acarreos posteriores se verificaron cuando el material anterior había alcanzado cierta consolidación y había sido erosionado formándose barrancos profundos. En el corte del acueducto se encuentran numerosos cauces rellenos, en algunos de los cuales pueden verse bloques arredondados semejantes a los descritos y de material del todo idéntico al envolvente. Estos rellenos de cauce están, frecuentemente, a su vez, erosionados, mostrando un cauce más pequeño, relleno también por acarreos caóticos, fotos Núms. 6 y 7.

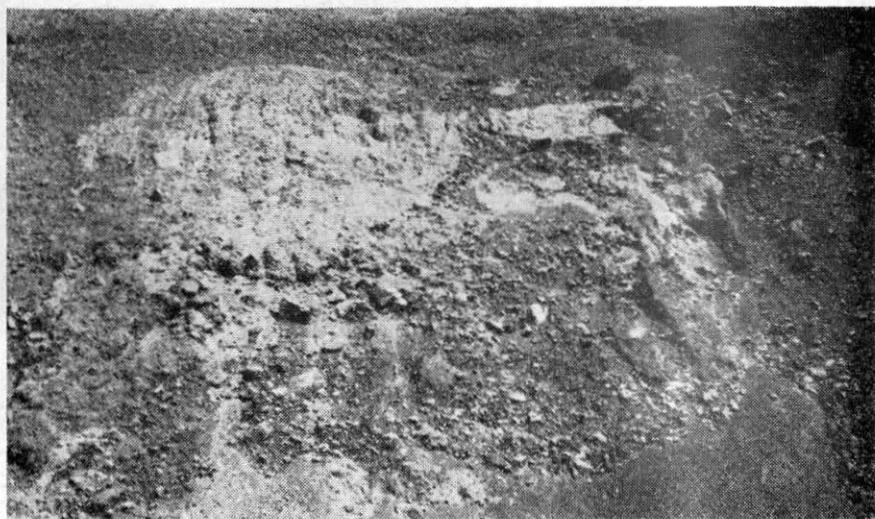
Durante la formación de estos depósitos, intervinieron también acarres francamente fluviales, donde se observan aluviones de cantos muy bien arredondados y estratificados, o intercalaciones de arenas y arcillas de estratificación cruzada, foto Núm. 8 o de tipo menos regular, foto Núm. 9.

Los depósitos directos de material piroclástico, no fueron incorporados al del material de movimiento envolvente o de deslizamiento en las partes alejadas, donde existía reposo y en esos lugares se encuentran series de alternancias de arenas, cenizas, lapilli y hasta pómez, que alcanzan un espesor máximo de 180 m., fotos Núms. 10 y 11. La regularidad de los planos estratigráficos es notoria, fotos Núms. 12 y 13.

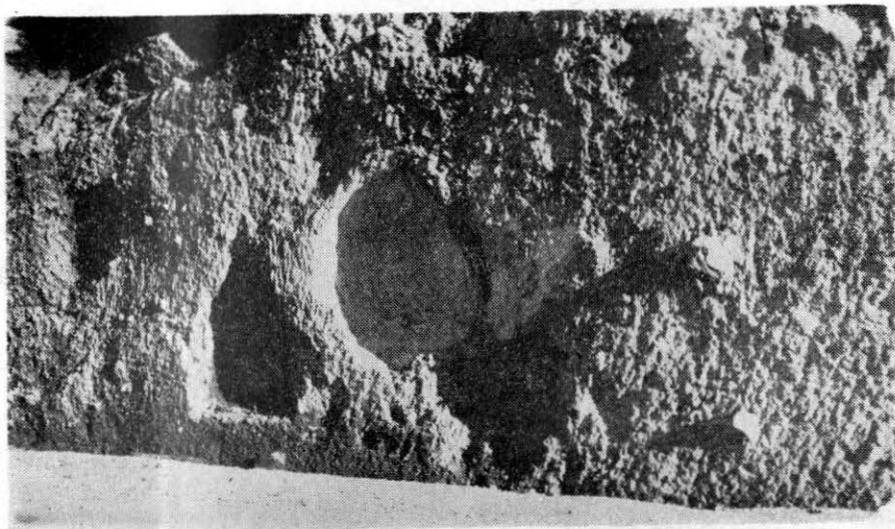
Es notable la existencia de fallas, que afectan tanto a las corrientes andesíticas, foto Núm. 14, como a los depósitos piroclásticos, foto Núm. 15. En algunos lugares hay una transición brusca de contacto vertical, en el que no se notan planos de deslizamiento ni de fractura, entre un depósito fino de arenas y cenizas, por un lado, y un depósito



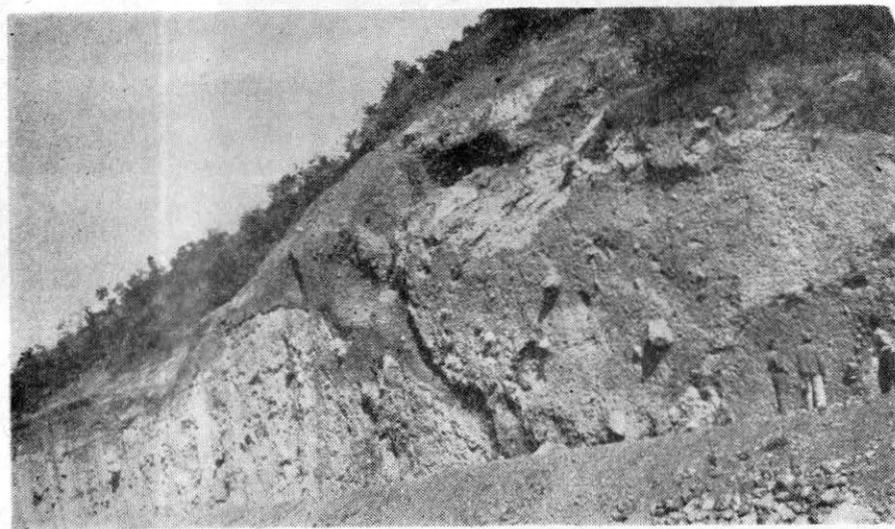
Fot. 3.—Acueducto del Lerma. Nivel 2,469.20, cerca de Ajolotes.



Fot. 4.—Tajo del Zapote, lado norte a 40 m. de la presa.



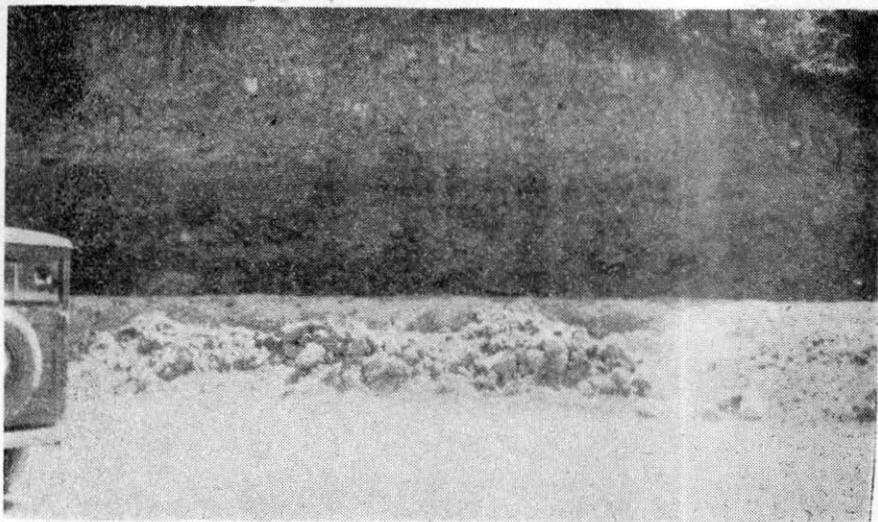
Fot. 5.—Nivel 2,421.60, cerca caja reposo río Borracho.



Fot. 6.—Nivel 2,469.2 cerca de Ajolotes, parte E. del cauce relleno.



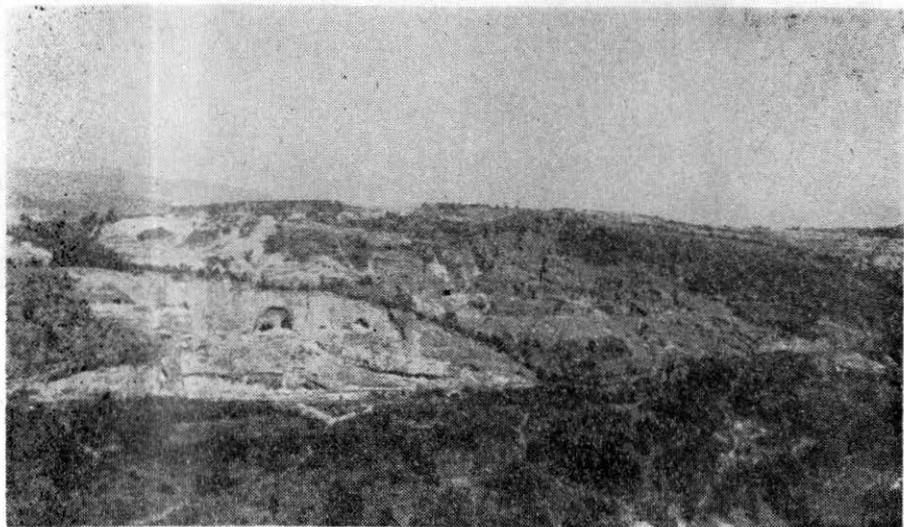
Fot. 7.—Nivel 2,469.2 cerca de Ajolotes, parte W. del cauce relleno.



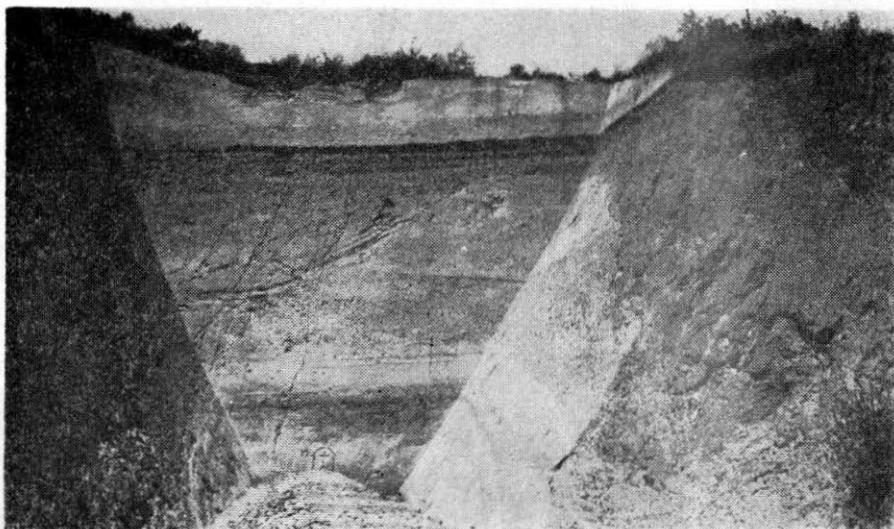
Fot. 8.—Nivel 2,421.70 a 1 km. de la planta del río Borracho.



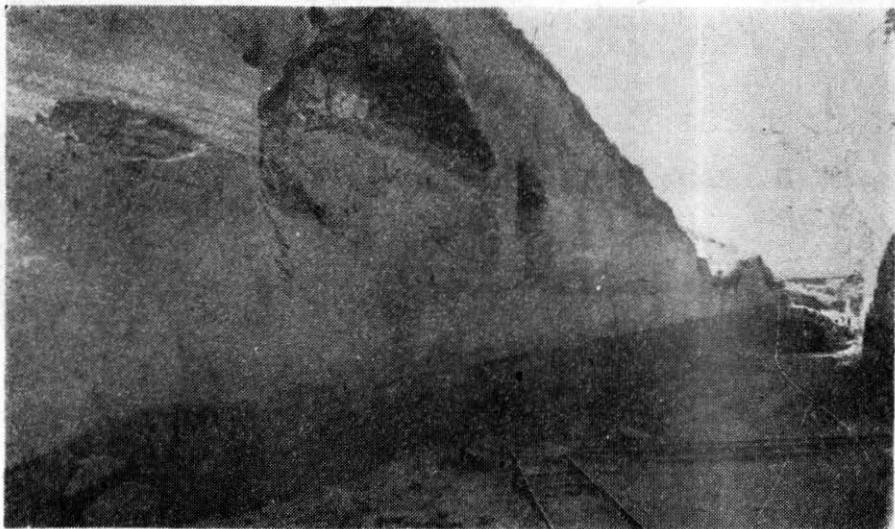
Fot. 9.—Lomas del N. del río Hondo, desde El Obraje.



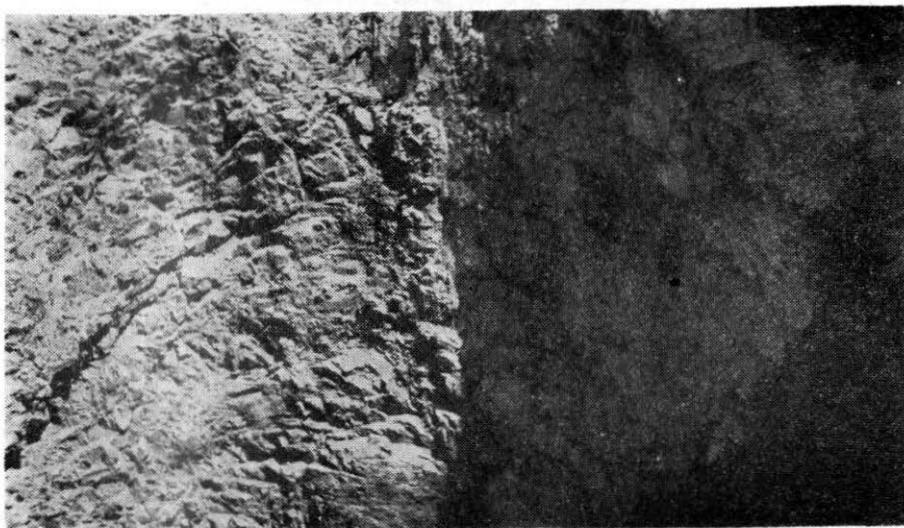
Fot. 10.—Lomas del N. del río Hondo, desde la salida del túnel del Apagón.



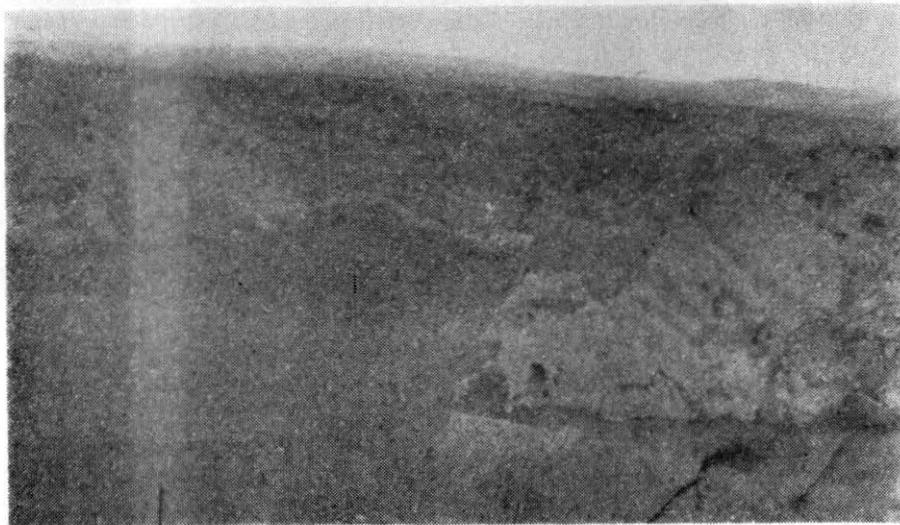
Fot. 11.—Corte de la salida del túnel de La Cebada.



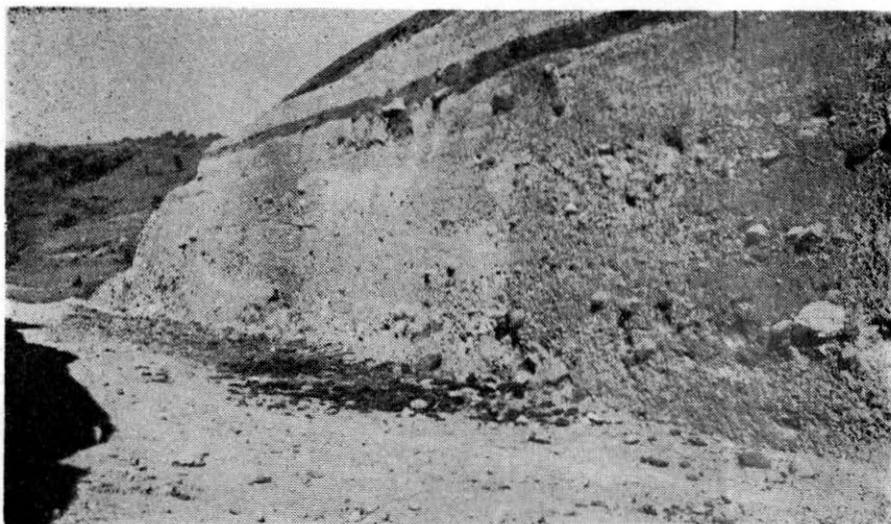
Fot. 12.—Nivel 2,421.5 cerca de la caja de Las Palmas.



Fot. 13.—Falla a la entrada del túnel de Las Brujas, distancia 39,114.



Fot. 14.—Nivel 2,421.6 a 1.5 km. de la planta del río Borracho.



Fot. 15.—Nivel 2,421.9 a 0.9 km. de la planta del río Borracho.

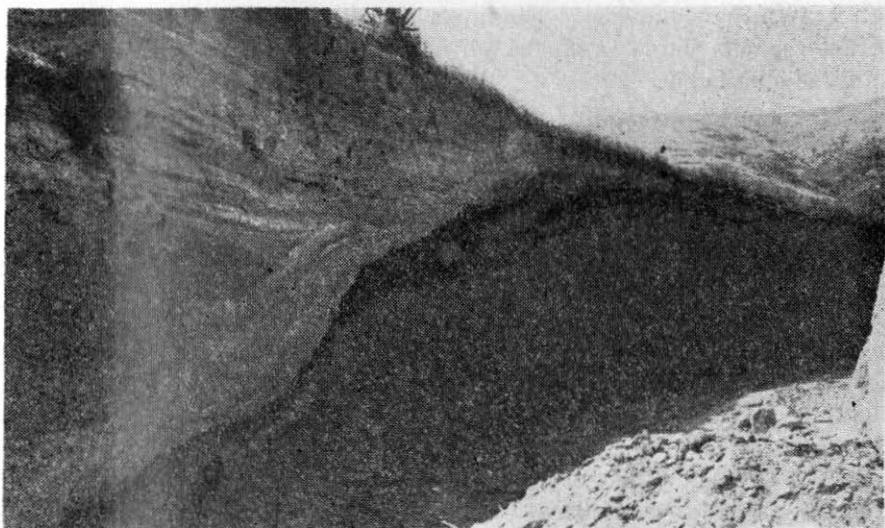
mal estratificado incluyendo fragmentos grandes semi-arredondados, foto Núm. 16.

Que el material en su conjunto ha sufrido movimientos tectónicos importantes, lo demuestran las fallas francas del interior del túnel y aun las leptodasas de las efusiones andesíticas, en el cerro de San Bartolito, que muestran arqueamientos denotadores de los movimientos que culminaron con la fractura de esos depósitos.

Algunos contactos sin plano definido son, al parecer, el resultado de cortes de la erosión en materiales suaves, seguidos por nuevos depósitos de otra naturaleza, después de un período relativamente corto, foto Núm. 14 y quizá en este caso se encuentre el material ilustrado en la foto Núm. 16. Otros contactos se deben a discordancias muy ilustrativas. Se encuentran, en la base, un depósito de arenas volcánicas, bastante regular, que no exhibe estratificación y que fue erosionado, llegando en un período relativamente largo, a producirse suelos vegetales y superficies indicadoras del establecimiento de un drenaje avanzado. Vino después un segundo depósito, esta vez relativamente bien estratificado, que alcanzó un espesor superior a 1 m. que a su vez fue erosionado; pero no tanto que permitiera una discordancia tan notable como la primera; a continuación, se depositaron arenas volcánicas, con espesores de más de 5 m., que a su vez fueron erosionadas y arrastradas de las

cúspides de las lomas, produciéndose barrancas como la mostrada en las fotos Núms. 6 y 7 y, a continuación, un cuarto depósito, nuevamente estratificado, de un espesor de más de 1 m. que también fue erosionado, produciéndose las barranquillas secundarias que también ilustran las fotografías antes referidas. Después vino un nuevo depósito de arenas de tamaño uniforme, alternando con pómez y cenizas que constituye el depósito superior, donde se ha formado el actual suelo vegetal que la erosión está atacando.

Como el espesor de los depósitos inferiores al nivel correspondiente a estas discordancias es de varios centenares de metros, es lógico suponer que durante su formación ocurrieron también interrupciones representadas por períodos de erosión y que existan alternancias entre



Fot. 16.—Nivel 2,315.4 cerca de la planta de Las Palmas.

arenas, cenizas, lapilli y pómez, así como material brechoide o conglomerado, como en efecto lo demuestra el estudio de los cortes de los pozos perforados en la cuenca y de las barrancas entre las cotas 2,230 y 2,570.

En la caída de Las Palmas, se pueden notar una serie de estratos y gruesos bancos de planos estratigráficos, casi horizontales, bien definidos, con un espesor total de 120 m. En la superficie se encuentra una capa de acarreo irregulares con gravas pequeñas arredondadas, disemi-

nadas en arenas y cenizas volcánicas, con un espesor de 5 m.; abajo se encuentra un depósito de arenas y cenizas de 5 m. de espesor, después un depósito de gravas y arenas pumíticas de 7 m. de espesor y abajo un banco de 5 m. de arenas y cenizas muy alteradas. La base de este depósito tiene aquí la cota del fondo del acueducto o sea 2,422 m. sobre el nivel del mar.

Abajo del nivel anterior se encuentra un banco de arenas y cenizas volcánicas de 29 m. de espesor y a continuación una capa de arena de 6 m.; sigue, hacia abajo, un gran banco de pómez, de 65 m. de potencia y después un banco de arenas y cenizas de 6 m., llegando al nivel del siguiente tramo del acueducto a la cota 2,315 m.

Desde este nivel, en los cortes del acueducto hasta Dolores, se camina, hacia capas menos profundas, llegando a los depósitos irregulares con gravas arredondadas y las capas de arenas y cenizas, que se van caracterizando por la intercalación de caliche, en venas, lentillas y laminillas onduladas.

Hay muchas incógnitas que aún no pueden depejarse. Es una de ellas, cuál es el espesor mayor de la formación volcánica. Se tenía la esperanza que el túnel cortara cerca del eje de la sierra, formaciones sedimentarias cretácicas o de principios del Cenozoico; pero lo único que se encontró fueron venillas e incrustaciones de Aragonita que hacen pensar en la proximidad de depósitos calcáreos.

Otra de las incógnitas es la correspondencia de las capas y bancos descritos que se encuentran en los flancos de la sierra y en la extensa zona de las lomas, con las del subsuelo de la planicie de México. Se ha visto que hay numerosos períodos brechógenos y cineríticos, separados por lapsos de erosión más o menos prolongados, depósitos completamente semejantes en su constitución litológica, cuya correlación sólo puede efectuarse por medios paleontológicos. Es de esperarse que las brechas y conglomerados se hayan extendido siguiendo una secuencia de poco avance inicial, por la ausencia de grandes alturas, aumentando éste progresivamente casi en función de la componente horizontal de los esfuerzos de gravedad desarrollados en las pendientes, que pronto alcanzaron un límite, desde el cual el avance disminuyó progresivamente.

A juzgar por los depósitos de conglomerados y brechas encontrados en el subsuelo de la planicie, el avance a favor de deslizamientos y envolvimientos, tipo morrena, pudo llegar al centro de la cuenca y poner en contacto o sobreponer materiales provenientes de las sierras de Las Cruces, Nevada y Pachuca.

Las arenas, cenizas y depósitos pumíticos, representan los depósitos superiores, donde intervienen en mayor o menor grado acarrees fluviales y en las desembocaduras de los arroyos principales depósitos deltaicos.

Se ha podido identificar, depósitos francamente glaciales, desde alturas de 5,000 m. hasta 3,400 m. sobre el nivel del mar, en la sierra Nevada. En la sierra de Las Cruces no se encontró evidencia de esta clase de depósitos, dada la fácil confusión con las brechas volcánicas, de cuyo depósito ya se trató. Solamente encontrando morrenas terminales, como las del Iztaccihuatl, se puede tener seguridad de que se trata de acarrees glaciales.

Existen también depósitos lacustres desde las partes altas de las lomas, pues los movimientos de las brechas, seguramente obstruyeron algunas barrancas y se formaron represas, donde se verificó el depósito de arenas y arcillas de acarreo, llegando hasta florecer floras diatomíferas.

No se sabría resolver hasta que punto fueron modificadas, por movimientos tectónicos las estructuras compuestas por esta complejidad de depósitos. En el cuerpo de la sierra, las dislocaciones son muy importantes. En el Km. 34 + 800 se encuentra un cuerpo andesítico inexplicablemente delgado, que no corresponde a un dique, sugiriendo un importante deslizamiento en un plano de falla que dejó asomar en este nivel el vértice superior de una corriente cortada y trasladada hacia abajo. Las fallas pueden también duplicar el espesor tanto de las corrientes efusivas como el de los depósitos de brechas. Esta duplicación pudiera ocurrir en el gran depósito de brechas comprendido entre las distancias 31 + 180 y 32 + 600, único de ese espesor en la sierra.

Se mencionarán las fallas más importantes que se identificaron con certeza en el interior del túnel.

Distancia	Rumbo	Echado
24 410	N 5°E	80°E
25 870	N 5°E	60°E
26 430	N 5°E	65°E
26 560	N10°E	V
28 960	N 5°E	60°E
29 016	N 5°E	60°E
29 020	N25°W	65°E
29 080	N 5°E	60°E
29 090	N25°W	65°E
29 146	N20°E	45°E
29 158	N40°W	70°E

Distancia	Rumbo	Echado
29 546	N30°W	35°E
29 840	N30°W	60°E
34 410	N80°W	V
34 710	N30°W	60°E
35 850	N30°W	V
36 183	N70°W	85°NE

La falla del 24,410 muestra un pequeño salto y es inversa. Las fallas del 28,960 al 29,840 ocupan la porción central de la sierra y corresponden a una zona extremadamente quebrada, donde no pudieron definirse las estructuras correspondientes al eje de la sierra, que entre las distancias 28,830 y 29,150 muestran planos de contacto arqueados, los primeros con echado al W y los segundos con echado al E.

La falla del Km. 29,546 dislocó una corriente andesítica, cuyo vértice superior del miembro movido hacia abajo, aparece en el túnel con un espesor de sólo 10 m. La falla del 34,410 muestra en el espejo estrías casi horizontales.

Es de llamar la atención que un buen número de importantes fallas son casi paralelas al eje de la sierra cuyo eje tiene rumbo N30°W.

HIDROLOGIA EXTERNA

Clima. Como es bien sabido uno de los factores de mayor importancia en la hidrología es el clima; pues la cantidad de agua disponible está en relación en primer lugar con el régimen pluviométrico, en segundo lugar con la temperatura ambiente y en tercer lugar con la naturaleza del suelo, afectada a su vez por la lluvia y el calor, además de la constitución litológica. En la región considerada se tienen zonas de tipo climatológico diverso.

Para que puedan apreciarse los datos meteorológicos, se presenta la siguiente tabla:

LOCALIDAD	Altura sobre el nivel del mar	Precipitación media anual	Temperatura media	Indice de Lang.
Toluca.....	2 640	791.4	10°7	73.8
Santiago.....	2 620	999.0	11°0	90.6
Ocoyoacac.....	2 578	1 117.0	13°1	89.3
Huixquilucan.....	2 720	1 115.0	13°7	84.0
Presa San Joaquín.....	2 315	718.0	14°7	48.8
México, D. F.....	2 240	568.0	15°5	36.6

De acuerdo con el índice de Lang, tanto México, D. F., como la presa de San Joaquín, se encuentran en una provincia subhúmeda con clima mesotermal "a".¹ Huixquilucan, Ocoyoacac y Santiago Tianguistengo, se encuentran en una provincia húmeda con clima microtermal.

Según los datos que figuran en la publicación de los señores ingenieros José C. Gómez y Jorge A. Vivó², Ocoyoacac y Toluca tienen un clima de tipo Cwbg, de acuerdo con la clasificación de Koppen, mientras que Huixquilucan tiene un clima tipo Cwbg. Esto quiere decir que para todos estos lugares el clima es templado moderado lluvioso, con invierno seco no riguroso (de pradera), la temperatura media de cuatro meses o más, es superior a 10°C y la del mes más cálido inferior a 22°C. La temperatura máxima es anterior al solsticio de verano. La lluvia es periódica y el invierno es seco. Durante el mes más lluvioso de verano, las lluvias son 10 veces o más superiores que en el mes más seco. El clima de Huixquilucan tiene además la característica de ser isotermal o de diferencia entre las temperaturas medias mensuales extremas; inferior a 5°C.

En la región considerada las altitudes están comprendidas entre 2,240 m. en la ciudad de México y 3,655 m. en la cumbre del cerro Chalchihuites, y puede considerarse que las temperaturas medias anuales varían entre 15°5 y 7°2. La precipitación varía entre 568 como mínimo del lado del Valle de México y 791, del lado del Valle de Toluca, a 1,200 m. en las cumbres de las sierras.

Los climas, según las distinciones anotadas en el trabajo citado,³ son:

1. Lluvias medianas de 6ª categoría, temperatura "semitibia a": México, D. F.
2. Lluvias medianas de 4ª categoría, temperatura "semitibia a": Presa San Joaquín (subtipo Tlaxcala).
3. Lluvias abundantes de 12ª categoría, temperatura fría: Toluca.
4. Lluvias abundantes de 10ª categoría, temperatura fresca: Huixquilucan.
5. Lluvias abundantes de 9ª categoría, temperatura fresca: Ocoyoacac.
6. Lluvias abundantes de 9ª categoría, temperatura fresca fría: Santiago Tianguistengo.

Atendiendo a la precipitación en la zona drenada por el túnel, ésta

¹ Véase Anales del Instituto de Geología. T. VIII. 1946. p. 30-31

² Climatología de México Inst. Panamericano de Geog. e Hist. 1946. p. 34-35.

³ Anales del Instituto de Geología. T. VIII. 1946. p. 30-31.

resulta de 1,100 mm. anuales y la temperatura media entre 13°6 y 9°0 o sea de 11°3. El clima de la zona media, en la montaña, tiene índice de Lang 97.5 y es fresco frío con lluvia abundante de 7^a

Escurrimiento. No se hará referencia a la zona alimentadora de los manantiales de Almoloya del Río, pues ya se hizo en otro estudio.¹

Para los fines de este capítulo no tiene importancia la zona del acueducto en la cuenca de México. En la sierra atravesada por el túnel del Lerma, se tienen las cuencas de los arroyos de Atarasquillo y Alférez, de la cuenca del Lerma, vertiente occidental de la sierra de Las Cruces; y las cuencas de los arroyos Santa Cruz, San Francisco y Ajoletes, en la vertiente oriental de la misma sierra, en la cuenca de México.

Se considera aquí el escurrimiento primario y secundario, es decir, torrencial y temporal, conjuntamente y, además, el escurrimiento terciario o afluente.² Se carece de observaciones directas; pero dada la similitud con otras cuencas de la misma sierra, donde se han hecho estudios de escurrimiento, se aplicarán los coeficientes expresados, en tantos por ciento de la precipitación, encontrados en ellas. La siguiente tabla muestra los datos de escurrimiento:

	Primario.	Secundario.	Efluente.	Primario más secund.	Total.
Río Magdalena.....	16.1	4.9	13.3	21.0	34.3
Río Eslava.....	6.9	3.7	6.8	10.5	17.3
Presa La Concepción.....					22.0
Presa Guadalupe.....					28.2
Presa de Castro.....			10.0	35.0	45.0
Río de Los Remedios.....			19.0	9.0	28.0

Los datos de los ríos Magdalena y Eslava son originales y los restantes fueron proporcionados bondadosamente por el Ing. Manuel Arenas, del Departamento de Hidrología de la Secretaría de Recursos Hidráulicos.

Por simple apreciación se adoptarán los siguientes valores:

Cuenca	N O M B R E	ESCURRIMIENTO EN %		
		Efluente	Primario más Secundario.	Total.
1.	Atarasquillo.....	10	10	20
2.	Alférez.....	15	10	25
3.	Santa Cruz.....	15	10	25
4.	San Francisco.....	10	15	25
5.	Huixquilucan.....	10	15	25

¹ Loc. cit.

² Hidrología de las cuencas Magdalena y Eslava. Loc. cit.

Estas apreciaciones se hacen en vista de la naturaleza de los suelos, la vegetación y la constitución litológica, además de la importancia de los manantiales:

Los datos resultantes del escurrimiento se consignan en los siguientes cuadros.

CUADRO NUM. 1
Escurrecimiento primario más secundario

Cuenca	Superficie M ²	P R E C I P I T A C I O N			E S C U R R I M I E N T O		
		Altura m.	Volumen m ³ .	Gasto L. P. S.	Coe- ficiente	Volumen m ³ .	Gasto L. P. S.
1	17 160 000	1.10	18 876 000	598.5	10	1 887 600	59.85
2	14 090 000	1.10	15 499 000	491.5	10	1 549 900	49.15
3	8 850 000	1.10	9 735 000	308.7	10	973 500	30.87
4	19 800 000	1.10	21 780 000	690.6	15	3 267 000	103.60
5	10 977 200	1.10	12 074 920	382.9	15	1 811 238	57.43
Suma..	70 877 200		77 964 920	2 472.2		9 489 238	300.90

Coefficiente medio 12.17. Precipitación l.p.s. por km² 34.8. Escurrecimiento l.p.s. por km² 4.2.

CUADRO NUM. 2
Escurrecimiento efluente

Cuenca	N O M B R E	Volumen m ³	Gasto L. P. S.
1	Atarasquillo.....	1 887 600	59.85
2	Alferez.....	2 324 850	73.72
3	Santa Cruz.....	1 460 250	46.30
4	San Francisco.....	2 178 000	69.06
5	Huixquilucan.....	1 207 492	38.29
	SUMAS.....	9 058 192	287.22

Coefficiente medio 11.61. Escurrecimiento l.p.s. por km² 4.06.

CUADRO NUM. 3
Escurrecimiento total

Cuenca	N O M B R E	Volumen m ³	Gasto L. P. S.
1	Atarasquillo.....	3 775 200	119.71
2	Alferez.....	3 874 750	122.86
3	Santa Cruz.....	2 433 750	77.17
4	San Francisco.....	5 445 000	172.66
5	Huixquilucan.....	3 018 730	95.72
	SUMAS.....	18 547 430	588.12

Coefficiente medio 23.78. Escurrecimiento l.p.s. por km² 8.29.

No se pueden calcular las avenidas por el Método Racional Modificado, donde intervienen numerosos factores, entre ellos la intensidad de la lluvia, que se desconoce, razón por la que se emplea el método racional que es mucho más simple. Se empleará la fórmula:

$$Q = c i A \text{ donde}$$

Q = Gasto en metros cúbicos por segundo.

$c = 0.122$, determinado en la cuenca del Eslava ¹.

$i = 42$ milímetros de lluvia por hora, según datos de otras fuentes ².

$A = 17.16$ Km.² superficie de la cuenca de Atarasquillo.

$Q = 0.122 \times 42 \times 17.16 = 88$ m.³/seg.

En la cuenca del arroyo Alférez, cuya superficie es de 14.09 Km.² se obtienen 70 m.³/seg. con el mismo coeficiente e igual intensidad de lluvia. Para las cuencas de Santa Cruz y San Francisco, cuyos arroyos se reúnen poco arriba del túnel del Lerma, se obtienen con igual fórmula 147 m.³/seg., pues la superficie de las cuencas es de 28.65 Km.² y en el caso de que ambos arroyos tuvieran crecientes máximas simultáneamente. El Santa Cruz puede dar 45.3 y el San Francisco 102 m.³/seg.

Es evidente que para utilizar las aguas torrenciales se requiere la construcción de pequeñas presas de regularización que captarían todo el escurrimiento.

HIDROLOGIA SUBTERRANEA

Manantiales. Los manantiales de la región son muy numerosos. El siguiente cuadro consigna los datos de algunos de ellos.

NOMBRE	Altura	Temp. agua	Temp. media localidad	Gasto L. P. S.	Dist. Km.	Rumbo	Clasificación (3)
1. Agua Santa.....	3 050	11.5	10.6	2.3	4.2	S18°W	Lácico 34
2. Agua del Macho.	2 890	11.5	11.5	6.0	3.0	23	Lécico 34
3. Rincón Allende..	2 875	11.0	11.6	14.0	5.2	30	Récico 34
4. Laureles.....	2 795	11.8	12.2	12.0	3.5	56	Récico 34
5. Agua Bendita...	2 718	13.5	12.6	9.0	2.0	72	Lácico 33
6. El Tinaco.....	2 790	11.0	12.2	3.0	3.6	76	Rácico 33
7. Las Peñitas.....	2 820	11.0	12.0	5.0	4.7	83	Récico 34
8. Tía Mónica.....	2 840	11.0	11.9	6.0	4.1	87	Rácico 33
9. Pozote.....	3 090	10.0	10.0	2.0	6.4	N76°W	Rácico 34
10. Tenganí.....	2 860	12.0	12.0	3.0	5.0	65	Reámico 34
11. Jigui.....	2 820	14.0	12.0	2.0	3.0	45	Lécico 33
12. Los Cedros.....	2 850	13.0	12.0	4.0	3.2	39	Lácico 32
13. Nace el Agua....	2 988	10.0	11.0	100.0	6.2	N81°E	Récico 34

¹ Loc. cit.

² Loc. cit.

³ Esta clasificación fue presentada por el autor al XIX Congreso Geológico Internacional celebrado en Argelia en 1952 y publicada en las Memorias del mismo.

Los manantiales 1 a 3 están en la barranca de Huixquilucan, 4 y 5 en la San Francisco; 6 a 8 en la Piedra Grande; 9 a 12 en la Santa Cruz, y 13 en la Alférez.

Los rumbos y distancias de los manantiales 1 a 12 se refieren a la iglesia de Huixquilucan. El 13 se da respecto a Atarasquillo.

Todos los manantiales han experimentado la influencia del drenaje del túnel. Algunos se han secado completamente, como los de la barranca de San Francisco (4 y 5), la mayor parte de los de la barranca de Santa Cruz (10 a 12) y los de la cañada Alférez, entre ellos, Nace el Agua (13). Todos los restantes han disminuido su gasto. Estos manantiales fueron visitados en 1931, cuando todos ellos fluían normalmente y los datos de temperatura y gasto fueron tomados en diciembre del año referido y consignados en un estudio anterior¹. Las diferencias de temperatura del agua, con la media anual de la localidad, son debidas a intemperismo y todas ellas son frías. Las temperaturas medias se han calculado tomando una disminución de temperatura de 0.0059 por metro, a partir del nivel de la ciudad de México, con 15.5°C de temperatura media anual. El descenso por metro se obtuvo comparando México con San Rafael, Méx., dando 0.0079, que resultó el mayor valor; con Huixquilucan, que dio 0.0039 el valor menor y con el Desierto de los Leones, que es de 0.0058. El promedio resultó de 0.00588, igual al que se encontró para el Estado de Tlaxcala.²

Pozos. En la región se consideran como pozos a las cuatro lumbreras del túnel, y se visitaron además, dos pozos en la planicie de Toluca y un pozo en río Hondo. Sus datos correspondientes figuran en el cuadro adjunto:

Nombre o Localidad	Altura m.	Temp. agua	Prof. al nivel del agua m.	Prof. total m.	Distancia Km.	Situación
1. Almoloya.....	2 570	18°	0	125	0.480	Planicie.
2. Alta Empresa.....	2 574	18°	1	130	15.632	Planicie.
3. Lumbrera 0.....	2 688	19°	90	116	24.054	Montaña.
4. Lumbrera 1.....	2 790	19°	110	219	25.338	Montaña.
5. Lumbrera 2.....	2 781	19°	104	213	32.424	Montaña.
6. Lumbrera 3.....	2 614	18°	50	51	36.230	Montaña.
7. Río Hondo.....	2 297	16°	37	49	.....	Barranca.

Los datos correspondientes a las lumbreras, permiten trazar el perfil freático según el eje del túnel del Lerma, cuyo gradiente resulta del 7.45% como máximo y con valores generales del 2.25 al 3.10%. El gra-

¹ Hidrología de la subcuenca Texcoco. Inst. Geol. (Inédito.)

² Loc. cit.

diente típico resulta del 2.2, para distancias de más de 5 Km.; el gradiente mínimo de 0.3%.

Las distancias que se consignan se refieren al origen del acueducto en Almoloya del Río y están tomadas siguiendo el trazo del acueducto y del túnel.

Captaciones. Los manantiales de Pretunta, Ixcayoapa, Ixcayoapita y los del grupo de Almoloya del Río, fueron cortados por un extenso y profundo tajo, en cuyo fondo se instaló una galería de concreto para conducir el agua a un gran tanque receptor en el origen del acueducto, donde se instalaron seis bombas de turbina vertical para elevar el agua hasta 10 m.

Los manantiales de Texcaltengo también fueron captados por una galería filtrante que cortó corrientes basálticas del pedregal que se encuentra en ese lugar. Los manantiales de Alta Empresa fueron captados por medio de varias perforaciones de las que se bombea el agua al acueducto. En Ameyalco se construyó un pequeño tanque de captación y se condujo el agua al acueducto principal, por medio de una tubería ordinaria.

Además de estas captaciones se perforaron 30 pozos a lo largo del acueducto en el valle del Lerma hasta 125 m. de profundidad. No se operan sino unos cuantos; pues se dice que su rendimiento en general es sumamente bajo. En efecto, si el gasto total de las obras del Lerma varía entre 2,00 y 3,000 l.p.s., se tiene que admitir que dando el túnel de 700 a 900 l.p.s., queda para el resto de las captaciones de 1,300 a 2,100 l.p.s. y si los manantiales producen de 1,000 a 2,000 l.p.s. quedaría para los pozos un gasto de 100 a 300 l.p.s., que sería bajísimo para 30 pozos, puesto que daría de 3.3 a 10 l.p.s. Se cree que sólo unos cuantos pozos bastan para producir ese gasto y que algunos de ellos no soportan el bombeo en la temporada de secas.

Túnel del Lerma. La obra recibe numerosas aportaciones de agua almacenada en las grietas de la endesita, así como en los poros de las arenas y material incoherente de los aglomerados volcánicos. A medida que progresaba el cuele del túnel, el agua emergía concentrada en los frentes, dejando atrás algunos tramos secos, que produjeron mucha agua cuando el frente estaba en ellos. Con frecuencia el agua salía de las grietas con presión muy considerable, que alcanzaba hasta 20 atmósferas y que perdía generalmente en menos de 24 horas.

En noviembre de 1948 se hizo un levantamiento de las zonas acuíferas del túnel, dos meses después de la terminación del cuele, y gracias a la franca cooperación de parte de los ingenieros de la Cía. de Cons-

TABLA NUM. 4

FECHA	Frente de Dos Ríos			Frente de Atarasquillo			Gasto total
	Gasto L. P. S.		Cuele.	Gasto L. P. S.		Cuele.	
	Total	Por m.		Total	Por m.		
	1		870				
13 julio 1945.....	80	0.072	1 970	1		100	180
11 abril 1946.....	291	0.121	3 190	280	0.137	2 138	571
25 julio 1946.....	291	0.096	3 900	397	0.165	2 505	688
17 agosto 1946.....	295	0.095	3 970	420	0.163	2 669	715
10 octubre 1946.....	315	0.086	4 504	490	0.176	2 884	805
7 noviembre 1946..	350	0.089	4 785	580	0.201	2 983	930
27 diciembre 1946..	390	0.098	4 830	600	0.195	3 173	990
26 junio 1947.....	400	0.091	5 254	640	0.191	3 450	1 040
10 octubre 1947....	480	0.103	5 504	700	0.188	3 806	1 180
8 noviembre 1947..	550	0.113	5 696	715	0.179	4 078	1 265
15 noviembre 1947..	560	0.114	5 749	645	0.160	4 141	1 205
22 noviembre 1947..	550	0.112	5 776	635	0.155	4 206	1 185
29 noviembre 1947..	550	0.111	5 806	660	0.158	4 282	1 210
6 diciembre 1947..	548	0.110	5 851	644	0.151	4 351	1 192
13 diciembre 1947..	430	0.085	5 912	650	0.151	4 404	1 080
20 diciembre 1947..	445	0.086	6 009	650	0.149	4 466	1 095
27 diciembre 1947..	455	0.087	6 082	640	0.146	4 488	1 095
3 enero 1948.....	523	0.099	6 164	635	0.143	4 531	1 158
10 enero 1948.....	560	0.103	6 266	580	0.129	4 606	1 140
17 enero 1948.....	560	0.101	6 363	590	0.129	4 657	1 150
24 enero 1948.....	560	0.100	6 442	638	0.139	4 710	1 198
31 enero 1948.....	552	0.097	6 505	628	0.135	4 765	1 180
7 febrero 1948.....	468	0.081	6 578	647	0.138	4 798	1 115
14 febrero 1948....	550	0.095	6 658	609	0.127	4 846	1 159
21 febrero 1948....	572	0.097	6 746	632	0.131	4 892	1 204
28 febrero 1948....	559	0.093	6 835	642	0.132	4 957	1 201
6 marzo 1948.....	544	0.089	6 932	655	0.133	5 011	1 199
13 marzo 1948.....	530	0.086	7 014	683	0.137	5 067	1 216
20 marzo 1948.....	513	0.082	7 111	713	0.142	5 103	1 226
27 marzo 1948.....	540	0.085	7 170	729	0.145	5 124	1 269
3 abril 1948.....	555	0.087	7 234	740	0.146	5 174	1 295
10 abril 1948.....	549	0.085	7 322	700	0.137	5 203	1 249
17 abril 1948.....	500	0.077	7 404	700	0.135	5 265	1 200
24 abril 1948.....	500	0.076	7 474	679	0.130	5 329	1 179
1º mayo 1948.....	500	0.075	7 554	735	0.140	5 361	1 235
8 mayo 1948.....	500	0.074	7 627	696	0.131	5 402	1 196
15 mayo 1948.....	500	0.073	7 712	698	0.131	5 422	1 198
22 mayo 1948.....	500	0.073	7 767	715	0.133	5 455	1 215
29 mayo 1948.....	500	0.072	7 809	676	0.126	5 463	1 176
5 junio 1948.....	500	0.072	7 854	711	0.132	5 463	1 211
12 junio 1948.....	500	0.071	7 863	794	0.148	5 463	1 294
19 junio 1948.....	500	0.071	7 931	700	0.130	5 499	1 200
26 junio 1948.....	500	0.070	8 015	833	0.152	5 559	1 333
3 julio 1948.....	500	0.069	8 097	782	0.143	5 560	1 282
10 julio 1948.....	500	0.068	8 184	838	0.152	5 560	1 338
17 julio 1948.....	500	0.068	8 258	956	0.175	5 560	1 456
24 julio 1948.....	500	0.067	8 310	990	0.181	5 560	1 490
31 julio 1948.....	550	0.073	8 364	929	0.170	5 560	1 479
7 agosto 1948.....	550	0.073	8 433	969	0.177	5 560	1 519
14 agosto 1948.....	550	0.072	8 508	945	0.171	5 598	1 495
26 agosto 1948.....	580	0.075	8 618	940	0.167	5 715	1 520

trucciones y Urbanizaciones, particularmente el Ing. de Minas, Jesús Farfán, se adjunta en seguida.

La producción del túnel era en esas fechas de 1,200 l.p.s. Actualmente, después de cuatro años, el gasto oscila entre 700 y 900 l.p.s. según la importancia de la precipitación y la época del año; pues las temporadas de secas y lluvias se acusan muy bien. Los datos que se obtuvieron relativos a la producción acuifera del túnel figuran en la tabla Núm. 4 y muestran cómo fue creciendo el gasto en ambos frentes, hasta la histórica comunicación del 26 de agosto de 1948, realizada a la distancia $28 + 252.20$ o sea de 8,618 m. de la boca de Dos Ríos y a 5,715 m. de la boca de entrada o de Atarasquillo, obteniéndose un gasto total de 1,520 l.p.s.

Tomando en cuenta esta producción, o sea, la total de agosto de 1948 y la actual de agosto de 1952 se aprecia una reducción de 728 l.p.s. o sea del 48%.

Gran parte de la merma, es debida al drenaje de la zona superior de la acumulación de aguas subterráneas afectada por el túnel. La parte que corresponde a la influencia de la precipitación, es desconocida, pues en toda la región inmediata al túnel, no existen pluviómetros.

Puede considerarse como zona de captación del túnel, una longitud de 13,300 m. con una producción máxima de 1,520 l. o sea un rendimiento por metro de 0.114 l.p.s. y un rendimiento mínimo fijo de 0.053 l.p.s. Atendiendo a las zonas realmente acuíferas la longitud productiva era de 7,400 m. en noviembre de 1948 con 1,200 l.p.s. dando un rendimiento de 0.162 l.p.s. por metro. El rendimiento actual en la zona de acuíferos, es de 0.0945 l.p.s.

CONSTRUCCION DE LAS OBRAS

El acueducto en la planicie de Toluca, se inició a poca distancia de los manantiales de Almoloya sin captar esas aguas, operación que se llevó a cabo varios años después, poco antes de la terminación del túnel del Lerma. En la región de Tepoxoco, se tropezó con cierta dificultad en la formación basáltica; donde hubo pequeños derrumbes.

En el túnel hubo frecuentes inundaciones, sobre todo del lado de Atarasquillo, que paralizaron los trabajos durante varias semanas, hasta que se instalaron las suficientes bombas para dominar las inundaciones. En el frente de Dos Ríos hubo también grandes avenidas del tipo de las aguas encampanadas que produjeron chorros de muy fuerte presión. Las principales dificultades durante la construcción del túnel

consistieron en las avalanchas de agua, que no se pudieron prever con exactitud. Sin embargo, en un estudio anterior, se dice:¹

“El túnel cortaría tilitas acuíferas, andesitas y quizá tobas andesíticas que también contienen aguas en sus contactos y fracturas; los acuíferos darían al principio enormes volúmenes de agua, hasta establecerse su drenaje normal hacia el túnel, debiéndose tomar las precauciones necesarias para proteger a los obreros y para poder seguir el avance de la obra; se necesitarían también lumbreras de ventilación y sobre todo fuertes ademes para atravesar las tilitas, especialmente donde los fragmentos de la roca maciza estuvieran sueltos”...

Lo que se indica antes estuvo de acuerdo con la realidad, pues se encontraron dos zonas de arenas sueltas que produjeron derrumbes de importancia, que se dominaron con grandes esfuerzos. El primero se presentó en el Km. 35 + 610 y hubo necesidad de ademar un gran rebaje producido por el desalojamiento del material suelto. El volumen de roca extraído en un tramo horizontal de menos de 30 m., fue de más de 10,000 m.³ cuando por el cuele normal debió de ser de 360 m.³. Este derrumbe preocupó grandemente a los constructores y ya se pensaba abrir contracañones cuando pudo detenerse el derrumbe quedando el ademe como el de una ruina en las minas.

A mediados de noviembre de 1946 se presentó el segundo derrumbe, al llegar a una zona de aglomerados volcánicos con rocas andesíticas de diverso tamaño, desde grandes bloques hasta gravas y arenas con mayor abundancia de éstas. El derrumbe ocurrió en el Km. 32 + 40.

Con la experiencia del derrumbe del 35 + 610 ya no se intentó extraer el material suelto, procediéndose a construir un tapón de concreto de 10 m. de espesor, dejando tubos para inyectar cemento a muy alta presión. Se hicieron taladros con barrena de diamante hasta 30 m. del frente del tapón de concreto y se continuó la inyección, consumiéndose más de 800 toneladas de cemento.

Cuando se consiguió tener un macizo importante de concreto, se reanudó la perforación después de varios meses de interrupción y a medida que el cuele avanzaba se colocaron marcos de acero, con una capacidad extraordinaria de carga, lográndose dominar el obstáculo.

En el frente de Atarasquillo no hubo derrumbes; pero en cambio las inundaciones detuvieron más frecuentemente la marcha de la perforación, quedando paralizados los trabajos en cada ocasión por varias semanas.

¹ Hidrología de la zona de Tenango del Valle, Almoloya del Río, Amomolulco y sus vertientes en el Estado de México, por el Ing. Apolinar Hernández y Luis Blásquez L. Anales del Instituto de Geología. Tomo VI. 1936. p. 89.

Un conocimiento previo de las condiciones geológicas e hidrológicas de las formaciones que serían atravesadas por el túnel, hubiera demandado un sondeo muy compacto, con espaciamento de 20 m. y un estudio muy completo de las muestras, principalmente de permeabilidad, porosidad y consolidación. Tratándose de las corrientes andesíticas, hubiera sido casi imposible predecir el funcionamiento de las grietas respecto a las saturaciones acuíferas. La suma de las longitudes de los sondeos hubiera excedido a 300 Km. y el costo de ellos sobrepasado al del propio túnel.

Las condiciones generales previstas fueron acertadas; pero es indudable que para la construcción, se requiere un conocimiento detallado del terreno que se va a perforar, hasta donde las condiciones económicas lo permitan.

Además del túnel principal, en el de San Joaquín se presentaron derrumbes de importancia que obligaron a construir un túnel inferior en sifón, de 213 m. de longitud.

Es oportuno mencionar el caso de los túneles gemelos de Broadway, en Berkeley Hills., California, E. U. A. donde un estudio geológico preliminar no pudo poner de manifiesto las condiciones geológicas del terreno que interesan desde el punto de vista de la construcción. En la revista "Economic Geology"¹ se lee:

"La historia del túnel de Broadway acentúa la necesidad de contar con un estudio geológico lo más detallado posible, más bien que solamente un mero reconocimiento previo a la construcción de un túnel. Los detalles geológicos de esta área en particular dan énfasis al cuidado con que debe hacerse tal estudio. Es más, aún después de contar con él, quedará incertidumbre respecto algunas zonas que hacen imprudente que los contratistas emprendan la construcción de túneles por un precio fijo."

"En el túnel de Broadway el comportamiento de las formaciones geológicas, no previsto respecto a la construcción, fue el siguiente:

1. Se encontraron presiones laterales, debido a rocas falladas.
2. Las areniscas y arcillas miocénicas fueron extremadamente inestables.
3. Se encontraron arenas sueltas y pedernal miocénico Claremont excesivamente fracturado.
4. Se presentaron gases y aceites inflamables en el pedernal que constituyeron un constante peligro.
5. La distribución de las rocas fue demasiado irregular y asimétrica.

¹ "Economic Geology". Geology of the Broadway Tunnel, Berkeley Hills. Calif. by Ben M. Page. Vol. 45 march-april 1950. N° 2. p. 166.

ca, con multitud de contactos inestables, particularmente con lentes de areniscas.

6. Se encontraron diques de diabasa, alterada por procesos hidrotermales, que resultaron peligrosos por su debilidad y plasticidad."

En las páginas 143 a 144 y 146 de la misma revista se asienta:

"El Distrito de Caminos, antes de proceder a convocar a concurso a los contratistas empleó a un prominente geólogo para que examinara el terreno que tendría que ser atravesado por los túneles. El geólogo, que era reputado como una autoridad, hizo un reconocimiento que le permitió formular un estudio preliminar. Su informe fue muy favorable y fue adjuntado en las especificaciones para la construcción del túnel; pero no fue tomado como base oficial para las mismas. El Distrito de Caminos puso el informe geológico a la disposición de los interesados; pero claramente no se hizo responsable de las predicciones del geólogo.

"El contrato fue concedido a una corporación que comprendía seis compañías muy experimentadas, con una base de precios unitarios convenidos y por la suma de 3.700,000 dólares. Las compañías contratistas al igual que sus competidoras, descansaron en las predicciones del geólogo. Ninguna de las compañías condujo por su cuenta investigaciones geológicas, porque se consideraba que tal cosa solamente representaría una innecesaria duplicación de estudios. Cuando se principió la excavación del túnel los contratistas descubrieron que el terreno era totalmente inconsistente, contrariamente a lo que se había predicho, aunque las formaciones principales se hubieran identificado correctamente y que como pasa muy a menudo, ciertas propiedades físicas del comportamiento subterráneo de las rocas, no pudo ser previsto por el geólogo, los constructores o los propietarios.

"Desde el mismo principio de la excavación en 1934, fue difícil controlar el terreno. Pequeños túneles pilotos, equivocadamente llamados perforaciones, fueron abiertos en el lugar correspondiente a la excavación principal, ocupando ambos lados, después los lados y el arco de cada túnel se excavaba al mismo tiempo que se ademaba con madera. El núcleo o roca que permaneció en el seno de cada perforación fue removido en etapas sucesivas, habiendo servido primero como un soporte a los puntales hasta que se colocó el ademe definitivo de marcos muy juntos. A pesar del uso de madera muy gruesa, ocurrieron dos serios derrumbes, uno de los cuales ocasionó la muerte de 3 trabajadores. En algunos lugares, concreto-gunita fue aplicado al ademe para proporcionar estabilidad hasta que se hizo el revestimiento de concreto. La necesidad de estos costosos medios de soporte no fue sospechada ni

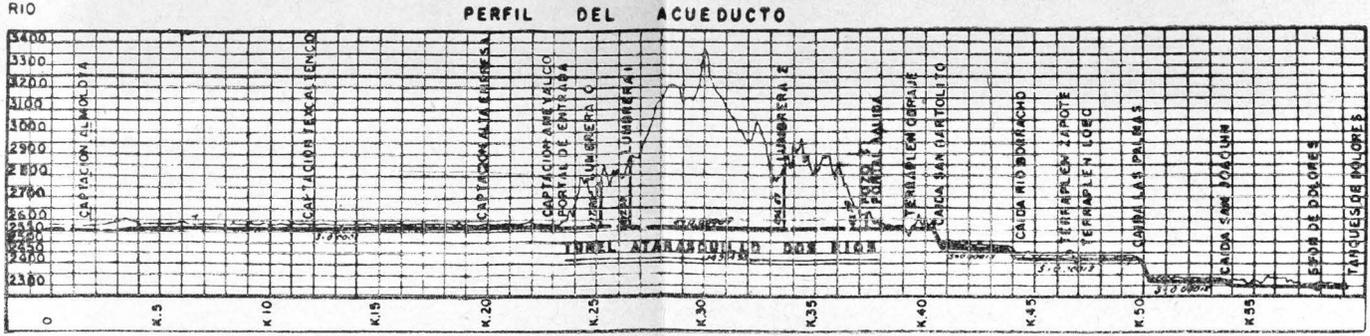
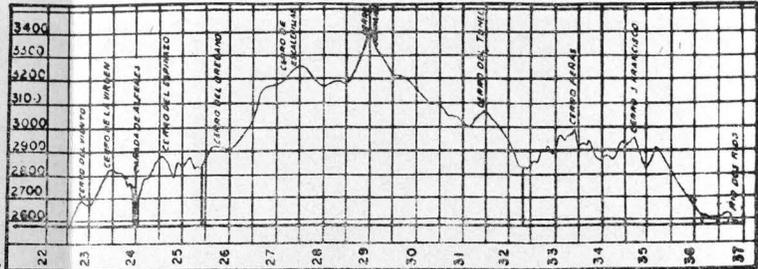
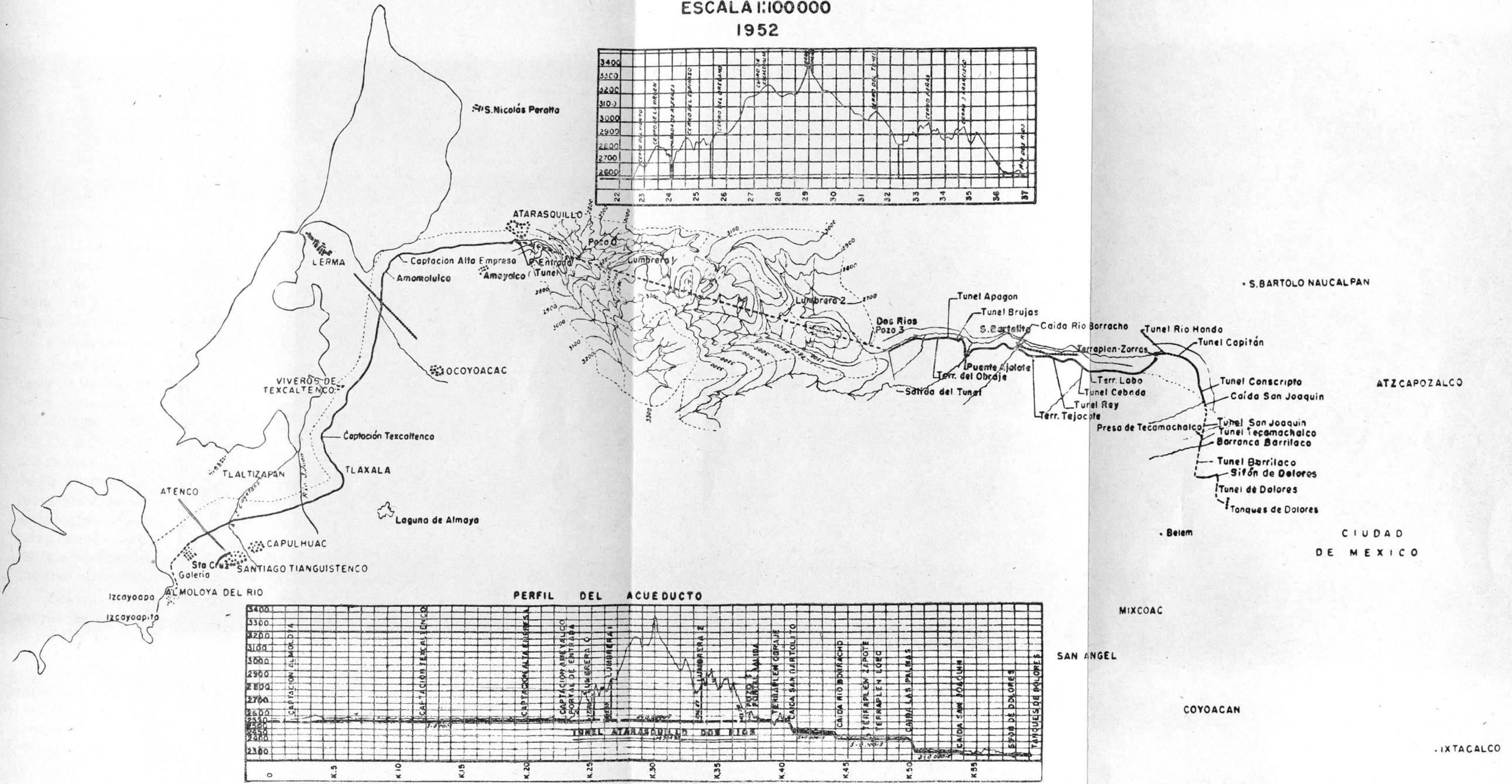
por los propietarios ni por los contratistas. Los constructores habían proyectado perforar el túnel con un frente casi vertical usando un jumbo; pero esta medida relativamente económica no pudo ser adoptada porque el terreno no soportó cortes verticales de las dimensiones del túnel.

“Los contratistas lucharon con adversas condiciones durante dos años. Su contrato fue cancelado de acuerdo con las cláusulas del mismo por no haber terminado el túnel en el plazo comprometido, por más que se había construido el 70%. Los contratistas entablaron un juicio contra el Distrito por la cantidad de: \$ 3,259,695.00, pero no tuvieron éxito. En 1937 el túnel Broadway fue terminado por otras compañías que usaron esencialmente los mismos costosos métodos de construcción.”

Se sabe también que en el túnel del sistema de riego de la presa de Valsequillo, en Puebla, se presentaron condiciones geológicas no previstas, pues en las pizarras de estratos verticales se produjeron grandes derrumbes que se dominaron solamente con marcos de acero.

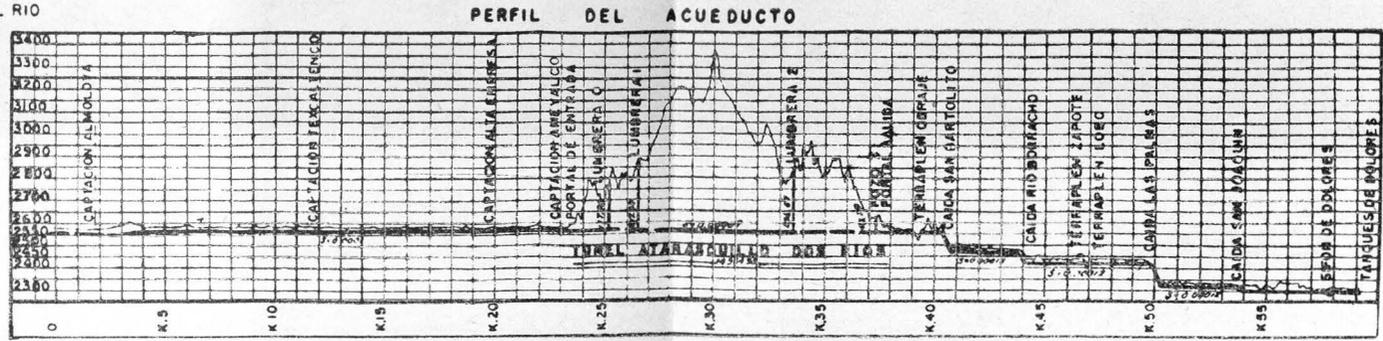
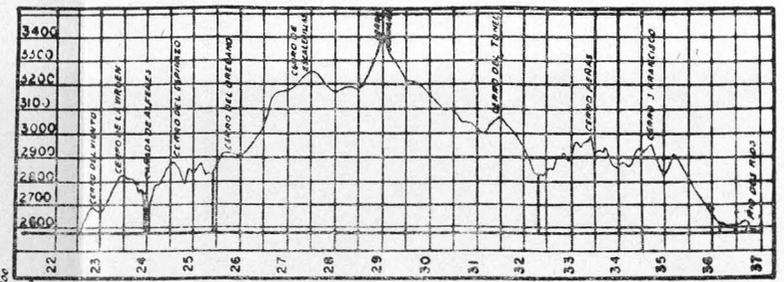
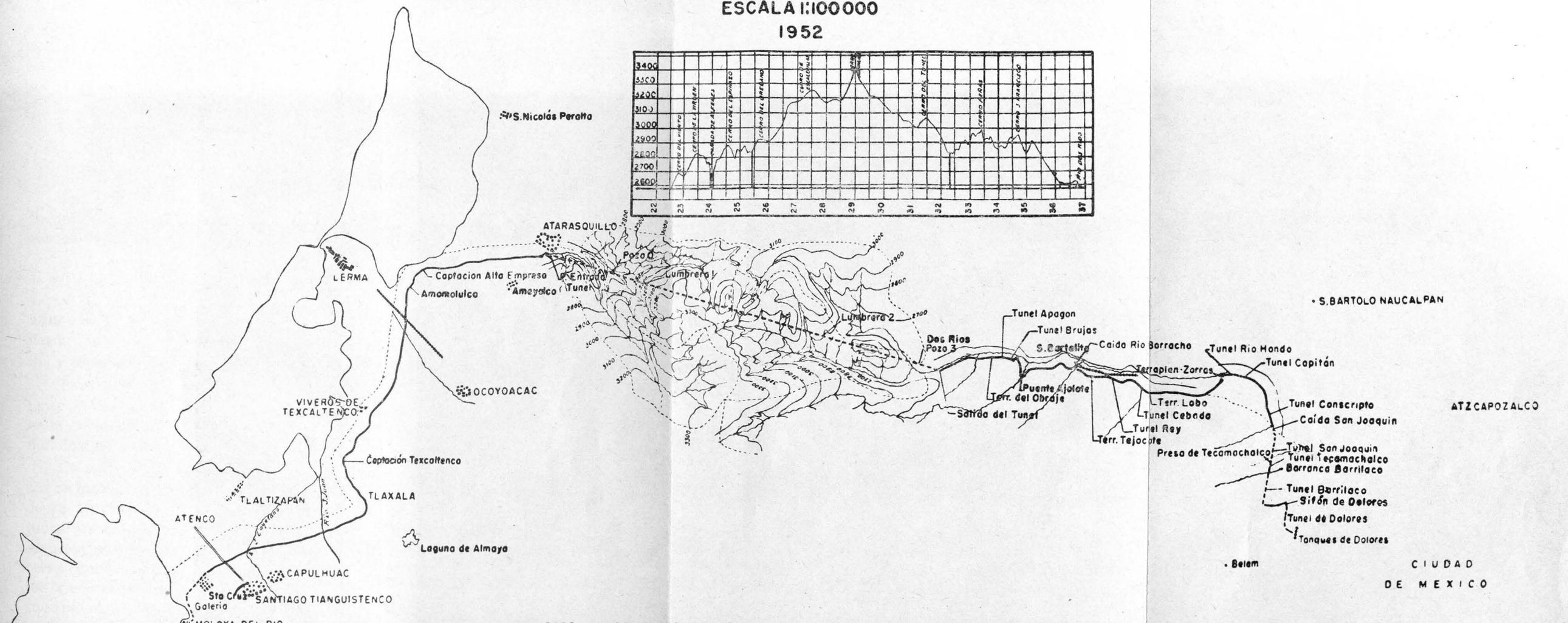
PLANO Y PERFIL de las Obras de Captación del LERMA.

ESCALA 1:100000
1952



PLANO Y PERFIL de las Obras de Captación del LERMA.

ESCALA 1:100000
1952



S. BARTOLO NAUCALPAN

ATZCAPOZALCO

CIUDAD DE MEXICO

MIXCOAC

SAN ANGEL

COYOACAN

IXTACALCO

HIDROGEOLOGIA DE LA REGION DE DOBLONES, COAH.

Consideraciones fisiográficas

Las estaciones de Rosario y Doblones se encuentran en una cañada bordeada, en primer término, por terrazas bajas y, en las parte-aguas, por sierras de relativa poca altura y de corta longitud.

Al N de estas estaciones se encuentra la sierra de La Madera, que se extiende en unos 50 Km., entre las cercanías de Belloc y Cuatro Ciénegas. Al S de las mismas estaciones se levanta la sierra de La Lagunilla o de La Fragua y, hacia el E de la misma, guardando cierto paralelismo, las sierras de San Marcos y La Purísima, orientadas de NW a SE y separadas por distancias que varían entre 30 y 35 Km.

Para tener una idea mejor de la topografía de la región, hay que tener en cuenta una mayor extensión, hasta el valle de Monclova, que se halla enclavado en la cuenca del río Nadadores, afluente del Sabinas o Salado, que a su vez lo es del río Bravo.

Es muy difícil distinguir aquí sistemas de elevaciones. El esfuerzo que se hace puede conducir a presentar un cuadro distinto del real, donde se agrupan los elementos fisiográficos arbitrariamente y un conjunto afectado por el afán sistemático, que no represente siquiera un esquema aproximado; pero los resúmenes fisiográficos sólo pueden hacerse cuando se cuenta con buenas cartas geográficas y, mientras tanto, la concepción del sistema referido, que se describe en seguida, puede tomarse como una descripción preliminar.

Dentro de la gran variedad de rumbos que ofrecen las crestas de las sierras, se ha creído notar dos principales, rectangulares: uno paralelo al río Bravo, en su curso entre Villa Acuña y Camargo, que afecta a la mayoría de las crestas y otro normal al anterior, que sigue también algunas sierras y, principalmente, los cursos de los ríos. Según este esquema simplista, se trataría de una topografía creada por ríos consecuentes longitudinales, conectados por ríos subsecuentes transversales, más importantes, conectando los primitivos cursos longitudinales por fenóme-

nos de captura. Reservando para el futuro el resolver si este es el caso, se adoptará, por comodidad, este plan de exposición del relieve de la región.

La cuenca del río Nadadores es asimétrica, encontrándose el mismo muy cerca de las parte-aguas del N, entre Arocha y Boquillas y muy cerca de la parte-aguas del S, entre Celemania y Hermanas. En otras palabras, la vertiente del S es muy extensa entre Arocha y Boquillas, mientras que la vertiente del N es bastante dilatada, entre Celemania y Hermanas.

El río de Nadadores es longitudinal entre su nacimiento, cerca de Arocha y Doblones, en tanto que es transversal entre Doblones y Hermanas. El río Monclova, que nace en Bocatoche, es transversal hasta Castaños, en seguida, longitudinal en un corto tramo; después, transversal hasta Hermanas, donde se reúne con el Nadadores. El río Salado es transversal hasta El Alamo, cerca de la presa Don Martín; longitudinal desde ese lugar hasta Los Galeana y, predominantemente transversal, desde aquí hasta su confluencia con el río Bravo.

En la región, sólo en la sierra de Los Alamitos, en la parte-aguas SE de la cuenca, se encuentran cumbres que sobrepasan los 3,000 m. de altitud. La altura media del resto de las elevaciones está comprendida entre 1,500 y 2,000 m. Las planicies tienen poco más de 700 m. de altura sobre el nivel del mar, en las inmediaciones de Cuatro Ciénegas y entre 400 y 600 m. por Hermanas y Monclova.

Consideraciones geológicas

Rocas. En la región sólo existen rocas sedimentarias, en su mayor parte de origen marino, y consisten en calizas, lutitas apizarradas, areniscas, arkosas y conglomerados. Como de origen continental ocurren arcillas, aluviones, arenas y aglomerados.

Formaciones. Pueden distinguirse cinco formaciones, que se describirán brevemente: la primera, inferior, consiste en arkosas, que alternan con unas cuantas capas de calizas y con gruesos depósitos de esquistos arcillosos, de color café oscuro o negro; en seguida, en notable discordancia, se apoya sobre la formación anterior, otra de capas calizas delgadas, que en partes tiene gruesos bancos y alternancias de pizarras arcillosas. En seguida, viene una formación, también caliza, concordante con la anterior, con capas delgadas y, a continuación, discordante, una formación superior, de gruesos bancos calizos y, por último, también discordante, la formación superior continental.

La formación inferior ha sido colocada en el Jurásico, del Kimeridgiano medio al superior, por C. Burckhardt,¹ quien dice que fue estudiada por varios geólogos de las Compañías Petroleras, al S y SE de Cuatro Ciénegas, a 48 Km. en Barril Viejo.

Las arkosas contienen fragmentos de granito, algunos de gran tamaño relativo, es decir, hasta de 0.1 m. de diámetro, que acusan la proximidad de una costa.

En una discordancia notable, reposa sobre esta formación la segunda, perteneciente al Cretácico inferior, consistente en calizas en capas delgadas, con pliegues muy pronunciados en las sierras de La Madera, al N de las estaciones de Belloc y Doblones; Lagunilla, al S de las mismas estaciones; Las Ovejas, al N de Cuatro Ciénegas y de Boquillas; San Marcos y La Purísima, al S de los lugares antes mencionados; Capulín y El Cristo, al N de La Polca y Celamanía; La Gloria y, en general, en todas las sierras de la región. El rumbo de las capas varía entre N30°W y N60°W y sus echados cambian desde la horizontal a la vertical e inclinaciones comprendidas entre éstas, tanto al NE como al SW, de acuerdo con la forma de los pliegues, generalmente asimétricos, cerrados, geniculados, frecuentemente recostados.

Es de notarse que aunque los pliegues principales tienen rumbos de NW-SE, también en el sentido de estos rumbos se observan ondulaciones bastante fuertes, aunque no llegan a producir estructuras dómicas como las naviculares de Monterrey.

En esta formación del Cretácico inferior, se han identificado fósiles del Aptiano y se ha podido observar que su espesor total aumenta al S de Cuatro Ciénegas, de manera que teniendo 450 m. en Barril Viejo, en el valle de La Muralla, al SW de Baján, cerca de Dolores, a una distancia de Barril Viejo de 50 Km. al SE, el espesor es de cerca de 1,000 m.

La formación del Cretácico medio empieza en el Gargasiano y tiene 900 m. de espesor, tanto por Barril Viejo, como por Potrero de la Pátula; pero en el valle de La Muralla su espesor aumenta también considerablemente.

Según los datos de Burckhardt, esta formación tiene, de abajo a arriba: 185 m. de aglomerados y aluviones, 329 m. de calizas silicosas, con nódulos de pedernal, 88 m., siempre refiriéndose al espesor, de aluviones, 42 m. de calizas arcillosas, alternando con conglomerados multicolores y 688 m. de calizas compactas, con concreciones ferruginosas y

¹ Etude Synthétique sur le Mésozoïque Mexicain. Mémoires de la Société Paléontologique Suisse. Vol. II. 1930. p. 143.

nódulos de pedernal. El Cretácico medio es concordante con el inferior y participa de los mismos plegamientos.

Sobre esta formación descansa, en discordancia, la última que se encuentra en las elevaciones, o sea, la del Cretácico superior, consistente en gruesos bancos calizos, casi horizontales, afectados por pliegues abiertos, muy suaves, que coronan casi todas las sierras de la región. El espesor de esta formación es alrededor de 100 m. en la sierra de La Madera.

Por último, la quinta formación sólo se encuentra en las planicies y los flancos de las montañas, recubriendo discordantemente a las formaciones anteriores y consiste de arcilla, arenas y aluviones en las planicies, con espesores que llegan a 60 m. en algunos lugares, mientras que en los flancos de la sierra forma conos de deyección con aluviones, aglomerados, arcillas, conglomerados y brechas. Esta formación es reciente.

Muy notables son, en la región, las terrazas escalonadas que, como en la región de Monterrey, N. L., están labradas en las rocas de las formaciones marinas. También aquí se acusan movimientos epirogénicos, que dieron lugar a la formación de cañones, como el del Carmen, en Celemania y el de Boca de Tres Ríos, en La Muralla. Estos movimientos, además de otros factores, dieron lugar también a la formación de mesetas y terrazas. Es digno de notar que hubo algunos movimientos locales, que hicieron perder su horizontalidad primitiva a las terrazas cuyas cubiertas o superficies superiores, aparecen a veces con fuerte inclinación.

GEOHIDROLOGIA

Clima. El clima es un factor de extraordinaria importancia en la Geohidrología. Se consignan primero los datos meteorológicos que se han podido reunir.

NOMBRE DE LA ESTACION	Altura sobre el nivel del mar — metros	TEMPERATURA			Precipitación Anual	Indice de Lang.
		Máx.	Mín.	Med.		
El Burro.....	1 110	41.6	— 4.17	21.3	151.3	7.1
Cuatro Ciénegas.....	742	44.0	— 2.0	23.0	133.4	5.8
Don Martín.....	240	44.4	— 7.4	22.7	460.6	20.5
Múzquiz.....	504	49.0	— 9.0	22.4	702.4	31.4
Piedras Negras.....	220	43.9	— 11.9	21.7	517.6	23.9
Monclova.....	586	42.0	— 7.8	21.1	385.4	18.3
Nueva Rosita.....	430	45.0	— 8.5	21.8	442.3	20.3
Sabinas.....	340	44.6	— 5.2	21.1	592.4	26.8
Sierra Mojada.....	1 256	43.0	— 10.0	21.2	393.4	18.5

Atendiendo al índice de Lang, que sirve para caracterizar con detalles el clima de una región, se tienen las siguientes provincias:

Provincia árida.

Lluvia casi nula. Caliente moderado.

5.8 Cuatro Ciénegas.

Provincia semiárida.

Lluvia muy escasa. Caliente moderado.

18.3 Monclova.

18.5 Sierra Mojada.

Lluvia bastante escasa.

20.3 Rosita (Mineral Nueva Rosita).

Lluvia escasa. Caliente medio.

26.8 Sabinas.

Provincia subhúmeda.

Lluvia mediana de 7ª Caliente medio (b).

31.4 Múzquiz.

Para los fines hidrológicos se estima que dichas provincias tienen las siguientes precipitaciones y áreas territoriales:

PROVINCIA	Precipitación en m.	Superficie en millones de m. ²	Volumen en m. ³
1. Múzquiz (Zona 1).....	0.7024	5 685	3 993 144 000
2. Cuatro Ciénegas (Zona 2).....	0.1334	7 406	987 960 400
3. Sabinas (Zona 3).....	0.5924	1 511	895 116 400
4. Monclova (Zona 4).....	0.3854	3 384	1 304 193 600

Escurrimiento. Existen en la región dos clases de terrenos de distinto comportamiento con respecto al escurrimiento: las montañas calizas con flancos generalmente escarpados, pero de superficie resquebrajada y que presenta numerosos obstáculos al escurrimiento y las planicies de reducida pendiente. El siguiente cuadro da los valores del escurrimiento.

	Superficie en Km. ²	PRECIPITACION			ESCURRENTIA	
		Altura en m.	Volumen en miles de m ³	Gasto en m ² por seg.	Coef. de escurri- miento en %	Gasto en m. ³ por seg.
MONTAÑAS:						
5. Múzquiz, Zona 1.....	5 685	0.7024	3 993 144	126.62	1.0	1.26
6. Cuatro Ciénegas, Zona 2.	3 627	0.1334	438 842	13.92	1.0	0.13
7. Sabinas, Zona 3.....	1 064	0.5924	630 314	19.99	1.0	0.19
8. Monclova, Zona 4.....	585	0.3854	225 459	7.15	1.0	0.07
PLANICIES:						
9. Cuatro Ciénegas, Zona 2.	640	0.1334	85 376	2.71	0.5	0.01
10. El Hundido, Zona 2.....	2 690	0.1334	358 846	11.38	0.5	0.05
11. El Barril, Zona 2.....	449	0.1334	59 897	1.90	0.5	0.01
12. Monclova, Zona 3.....	2 799	0.5924	1 658 128	52.58	0.5	0.27
13. Monclova, Zona 4.....	465	0.3854	179 211	5.68	0.5	0.03
TOTAL.....	17 986			241.93		2.02
CUENCAS:						
RIO DE NADADORES, HASTA DOBLONES:						
14. Montañas, Zona 2.....	1 154	0.1334	153 944	4.88	1.0	0.05
15. Planicie, Zona 2.....	789	0.1334	105 253	3.34	0.5	0.01
RIO DE NADADORES HASTA EL CAÑON DEL CARMEN (CELEMANIA):						
16. Montañas, Zona 1.....	1 854	0.7024	1 302 250	41.29	1.0	0.41
17. Montañas, Zona 2.....	526	0.1334	70 168	2.22	1.0	0.02
18. Planicies, Zona 2.....	1 929	0.1334	257 329	8.16	0.5	0.04
TOTAL.....	4 309			51.67		0.47
RIO DE NADADORES, HASTA HERMANAS:						
19. Montañas, Zona 1.....	3 066	0.7024	2 153 558	68.29	1.0	0.68
20. Montañas, Zona 2.....	526	0.1334	70 168	2.22	1.0	0.02
21. Montañas, Zona 3.....	1 046	0.5924	619 650	19.65	1.0	0.19
22. Planicies, Zona 2.....	1 929	0.1334	257 329	8.16	0.5	0.04
23. Planicies, Zona 3.....	465	0.5924	257 466	8.16	0.5	0.04
24. Planicies, Zona 4.....	1 036	0.3854	399 274	12.66	0.5	0.06
TOTAL.....	8 068			119.14		1.03
RIO MONCLOVA:						
25. Montañas, Zona 4.....	909	0.3854	350 329	11.11	1.0	0.11
26. Planicies, Zona 4.....	1 197	0.3854	461 324	14.63	0.5	0.07
TOTAL.....	2 106			25.74		0.18

	Superficie en Km. ²	PRECIPITACION			ESCURRENTIA	
		Altura en m.	Volumen en miles de m ³	Gasto en m ³ por seg.	Coef. de escurri- miento en %	Gasto en m. ³ por seg.
ARROYO EL HUIZACHAL:						
27. Montañas, Zona 4.....	439	0.3854	169.910	5.36	1.0	0.05
28. Planicies, Zona 4.....	617	0.3854	237.792	7.54	0.5	0.03
TOTAL.....	1 056			12.90		0.08
ARROYOS DE:						
29. Becerra, Zona 2.....	454	0.1334	60 564	1.92	0.7	0.13
30. Barril Viejo, Zona 2.....	1 657	0.1334	221 044	7.01	0.7	0.49
31. Cuatro Ciénegas, Zona 2.....	373	0.1334	49 758	1.58	1.0	0.01
32. Las Ovejas, Zona 1.....	309	0.7024	217 042	6.88	1.0	0.07
33. Rancho Nuevo, Zona 1.....	508	0.7024	356 819	11.31	1.0	0.11
34. El Cristo, Zona 1.....	1 032	0.7024	724 877	22.98	0.8	0.18
35. La Víbora, Zonas 1 y 3...	2 458	0.6474	1 591 309	50.46	0.8	0.40
TOTAL.....	6 791			102.14		1.39

Llama la atención lo reducido del coeficiente de escurrimiento; pero el mismo está basado en los aforos de la estación de Progreso, cuyo gasto medio en 14 años, de 1936 a 1949, es de 431 l.p.s., teniendo una cuenca de 13,767 Km.² y dando un gasto por Km.² de 0.0313 l.p.s. que, aplicado a la superficie de la cuenca considerada hasta Hermanas, da un gasto de 252 l.p.s.

Los cálculos realizados al respecto, indican 1,290 l.p.s., o sea, 5 veces más, debido a que al recorrer la cuenca, se encontró que gran parte del río Nadadores, entre Celemania y Hermanas, es utilizado en irrigación, tomando sus aguas para numerosos predios agrícolas, mientras que pasa otro tanto con las aguas del río Monclova, que se aprovechan desde Castaños, por Monclova y aguas abajo de esta localidad. A la estación de aforo de Progreso llega alrededor de la quinta parte del caudal correspondiente al río, considerando sus afluentes Monclova y El Huizachal.

Infiltración. En esta región, el renglón principal de la distribución del agua llovida, corresponde a la evaporación. Se presenta el siguiente cuadro:

	Superficie en Km. ²	Gasto en m ³ . por seg.	Coef. de infiltración	Gasto en m ³ . por seg.	Gasto en lps. por Km. ² .
CUENCA DEL RIO NADADORES					
HASTA DOBLONES:					
14. Montañas.....	1 154	4.88	15	0.732	0.62
15. Planicies.....	789	3.34	5	0.167	0.21
TOTAL.....	1 943	8.22		0.899	
HASTA EL CAÑON DEL CARMEN:					
16. y 17. Montañas.....	2 380	43.51	15	6.526	2.75
18. Planicies.....	1 929	8.16	5	0.408	0.21
TOTAL.....	4 309	51.67		6.934	
HASTA HERMANAS:					
19. a 21 Montañas.....	4 638	90.16	15	13.524	2.90
22. a 24 Planicies.....	3 430	28.98	5	1.449	0.42
TOTAL.....	8 068	119.14		14.973	
CUENCA DEL RIO MONCLOVA HASTA HERMANAS					
25. y 28 Montañas.....	1 348	16.47	15	2.470	1.83
26. y 29 Planicies.....	1 814	22.17	5	1.108	0.62
TOTAL.....	3 162	98.64		3.578	

Acuíferos. Los acuíferos principales se hallan entre los estratos calizos, que aparecen intercalados entre capas de areniscas y pizarras. En los niveles superiores del subsuelo de las planicies, se encuentran acuíferos freáticos poco profundos, en las llanuras de Cuatro Ciénegas y Monclova; en tanto que en los estratos profundos se encuentran aguas cautivas, de carácter artesiano, solamente en partes bajas de dichas planicies. Estos mantos acuíferos se encuentran desde los 90 m. de profundidad, hasta cerca de 300 m. en el subsuelo de la llanura de Cuatro Ciénegas, con su nivel piezométrico a elevaciones de 720 m. sobre el nivel del mar.

Los estratos impermeables de las sierras de El Cristo, La Purísima y Sacramento, limitan esta cuenca artesiana por el E, independizándola de la cuenca, también artesiana, de Monclova y Hermanas, estando separadas por la interposición de barreras impermeables entre ellas, constituidas por las pizarras y esquistos arcillosos.

Explotación. Sólo se tratará de la zona comprendida entre Socorro y Doblones. En ella existen acuíferos epifreáticos poco profundos, particularmente en Rosario, donde se encuentra el nivel del agua a 5 m., razón por la que es conveniente efectuar pruebas de bombeo en el pozo cercano de la vía, practicando excavaciones hasta alcanzar al fondo impermeable.

Es de esperarse que el rendimiento de esta clase de pozos sea bastante bajo; pero pueden hacerse varios, cerca del cauce del arroyo, para obtener aguas subálveas, que son las de calidad menos mala y alcanzar un abastecimiento de 2 a 3 l.p.s. por cada pozo, situándolos a distancias de 50 m. entre ellos.

Las aguas freáticas son profundas y más abundantes, teniendo sus niveles, en Doblones, entre 35 y 90 m. de profundidad. Existen también aguas cautivas, que es probable asciendan hasta unos 30 m. de profundidad. Es de inferirse que las aguas freáticas sean de calidad semejante a las cautivas, pero éstas pueden ofrecer mejores condiciones de bombeo y permiten la extracción de mayores volúmenes de agua.

CONCLUSIONES

1ª Pueden explotarse las aguas epifreáticas subálveas en zonas inmediatas al cauce del río, particularmente en la localidad de ese nombre, debiéndose extender las exploraciones, por medio de pozos ordinarios, a las inmediaciones de la estación de Doblones. Los pozos serán, probablemente, de poco rendimiento; pero puede atacarse la explotación de varios de ellos, simultáneamente, separándolos a distancias no menores de 50 m.

2ª En el subsuelo de la zona comprendida entre Socorro y Doblones, existen aguas freáticas que, en este último lugar, se encontrarán entre 35 y 90 m. de profundidad y pueden explotarse por medio de pozos excavados hasta la profundidad mayor que se ha indicado; pero como existen aguas cautivas ascendentes, es preferible ejecutar perforaciones que lleguen a 250 m. de profundidad, las que permitirán que el agua se eleve hasta los niveles del agua freática y posiblemente a niveles más altos, facilitando el bombeo y ofreciendo posibilidades de extracción de mayores cantidades de agua.

3ª Las aguas epifreáticas son, probablemente, de mejor calidad que las freáticas y, éstas, de calidad cuando menos semejante a las cautivas. En la zona de Monclova, el agua mejora en calidad a medida que se obtiene mayor profundidad.

