UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
INSTITUTO DE GEOLOGIA

DIRECTOR: INGENIERO EZEQUIEL ORDOÑEZ

ANALES
DEL
INSTITUTO DE GEOLOGIA

TOMO VIII

HIDROGEOLOGIA Y MINERALES NO-METALICOS DEL ESTADO DE TLAXCALA

POR
LUIS BLASQUEZ L.
y
RAUL LOZANO GARCIA

MEXICO, D. F.
1946

CONTENIDO

	Pág.
I.—Hidrogeología del Estado de Tlaxcala, por Luis Blásquez L.	1-51
Introducción	1
Localización de la región estudiada	1
Fisiografía	1
Sierra de Tlaxco	3
Sierra Nevada	3
Sierrita de Tlatzala	3
Volcán de La Malintzi	3
Lomeríos de Tlaxcala	4
Planicies	4
Superficie de los elementos fisiográficos	4
Elevaciones	5
Planicies	5
Hidrografía	5
Indices numéricos	6
Superficies de las cuencas hidrográficas	8
Cuencas fluviales abiertas	8
Cuencas cerradas	8
Listas de alturas sobre el nivel del mar	8
Sierra de Tlaxco (Cuenca de Tlaxco)	8
Cuenca del Texcalan	8
Cuenca del Terrenate	9
Cuenca del Zoapila	9
Sierra Nevada (Cuenca de Irolo)	9
Sierrita de Tlatzalan (Cuenca de Irolo)	10
Cuenca de Tocha	10
Cuenca de Tlaxco	10
Cuenca de Texcalac	10
Cuenca de Zahuapan	11
Cuenca directa del Atoyac	11
Volcán La Malintzi (Cuenca del Zahuapan)	11
Cuenca del Terrenate	11
Planicie Tocha-Irolo	12
Planicie de Tlaxco	12
Planicie de Texcalac	12
Planicie de Huamantla	13
Planicie de Oriental	13
Planicie de Panotla	13
Geología	13
Andesitas	14
Basaltos	16
Rellenos de los valles	17
Geología Histórica	21
Hidrología Subterránea	23
Clima	23
Datos meteorológicos	23
Suelos	39

CONTENIDO

Pág.

Agua subterránea 40
Manantiales 40
Pozos 45
Condiciones de las aguas subterráneas 45
Circulación 45
Acuíferos 47
Calidad del agua 48
Explotación 50
Conclusiones 51
II.—Minerales No-metálicos del Estado de Tlaxcala, por Raúl Lozano G. 55-99
Introducción 55
Arcillas 56
Origen de las arcillas de Tlaxcala 57
Arcillas residuales 58
Características físicas y químicas de las arcillas verdes 61
Aplicaciones industriales 66
1) Montmorillonita empleada como material de relleno cementante y plastificante 66
Papel 66
Telas ahuladas, linóleum, etc. 67
Industria cerámica 67
Cemento y otros materiales para construcción 67
Mástique 68
Discos fonográficos 68
Aisladores eléctricos 68
Lápices, crayones y colores al pastel 68
2. Empleo de la montmorillonita como adsorbente, absorbente y emulsificante 69
Jabones y detergentes 69
Decoloración de aceites y grasas 70
Pinturas, esmaltes y tintas 71
3) La montmorillonita empleada en medicamentos y cosméticos. 71
Posibilidades de explotación de los yacimientos de arcillas verdes 72
Capacidad 72
Vías de comunicación 73
Otras arcillas 74
Calizas 78
Aplicaciones industriales 79
Cal 79
Cales hidráulicas 80
Cementos 82
Cemento Portland 83
Posibilidades de explotación de las calizas 84
Vías de comunicación 85
Mármol 85
Aplicaciones industriales 86
Cal 86
Polvo y grano de mármol 86
Posibilidades de explotación 86
Vías de comunicación 87
Tizar 87
Aplicaciones industriales 89
Posibilidades de explotación 90
Vías de comunicación 91
Cenizas volcánicas 92
Aplicaciones industriales 93

CONTENIDO

	Pág.
Posibilidades de explotación	94
Vías de comunicación	95
Otros materiales volcánicos	96
Posibilidades de explotación	96
Tequesquite	96
Aplicaciones industriales	97
Posibilidades de explotación	97
Vías de comunicación	98
Calcedonia	98
Aplicaciones industriales	99
Posibilidades de explotación	99
Vías de comunicación	99
Conclusiones de utilidad práctica	99

ILUSTRACIONES

Pág.

Fot. Nº 1.—Formas de exfoliación esférica en un afloramiento de andesita, sierra de Tlaxco..... 14
Fot. Nº 2.—Arenas y cenizas basálticas por el arroyo de San Bartolo..... 17
Fot. Nº 3.—Depósitos deltoides en el lomerío de Tizatlán..... 18
Fot. Nº 4.—Formación lacustre en el cerro de Tizatlán..... 19
Fot. Nº 5.—Falla en las capas de arcilla de Acatita..... 19
Fot. Nº 6.—Tobas basálticas con una capa de tierra vegetal intercalada.... 19

PLANOS

1.—Carta Geológica del Estado de Tlaxcala. Escala 1:300,000 (Mascarilla).
2.—Carta Hidrobatimétrica y de manantiales y pozos del Estado de Tlaxcala. Escala de 1:300,000 (Mascarilla).
3.—Carta Climatológica del Estado de Tlaxcala. Escala 1:300,000 (Mascarilla).
Fot. Nº 1.—Depósito de barro verde en la barranca de Chiahucingo..... 62
Fot. Nº 2.—Yacimiento arcilloso en la barranca de La Huerta, afluente de la de San Esteban Tizatlán..... 65
Fot. Nº 3.—Depósito de caolín en Tepeyanco, Tlax..... 75
Fot. Nº 4.—Horno para cocer loza corriente en La Trinidad Teneyac, Tlax. 76
Fot. Nº 5.—Horno empleado en Tlaxco para fabricar loza corriente..... 77
Fot. Nº 6.—Tanque para lavar el tizar en Ixtulco..... 92

I. PARTE

HIDROGEOLOGIA DEL ESTADO DE TLAXCALA

I PARTE

HIDROGEOLOGIA DEL ESTADO DE TLAXCALA

Por *Luis BLASQUEZ L.*

INTRODUCCION

Desde el año pasado se formuló por el señor Director del Instituto de Geología, ingeniero Manuel Santillán, el programa del estudio de la Geología Económica del Estado de Tlaxcala, que por razones económicas no fué posible realizar sino hasta el presente año.

El señor ingeniero Santillán tomó posesión de la gubernatura del Estado de Tlaxcala y ayudó pecuniariamente costeando los gastos de transporte para el logro del plan de itinerarios propuesto, que se llevó a cabo en dos meses, de marzo a mayo del presente año, siendo Director del Instituto de Geología, el señor ingeniero Teodoro Flores.

LOCALIZACIÓN DE LA REGIÓN ESTUDIADA

La región estudiada abarca todo el Estado de Tlaxcala comprendido entre los 97°37′ y 98°43′ al W. del meridiano de Greenwich y los 19°06′ y 19°44′ de latitud norte, con una superficie de 4027 kilómetros cuadrados.

FISIOGRAFIA

En la parte norte del Estado, con rumbo medio N 60° W. se extiende la sierra de Tlaxco en una longitud de unos 80 Km. siendo dicha sierra la unidad fisiográfica más importante de Tlaxcala, pues además

de que sus cumbres alcanzan alturas de más de 3,300 m. sobre el nivel del mar, ocupa una superficie de 1359 Km². igual al 33.8% de la total. Al pie de esta sierra se encuentran las principales planicies del Estado abarcando una superficie de 630.32 Km². que representan el 15.6% del total y el 73.4% de las planicies.

En el extremo W. del Estado se encuentra la continuación al norte de la Sierra Nevada, en una extensión de unos 20 Kms. que también se eleva a considerable altura sobrepasando en algunas cumbres los 3,000 m. de altitud. Esta sierra ocupa una superficie de 282 Km². Intimamente ligada con ella se encuentra la sierrita de Tlatzala, que se extiende en un área de 845 Km². en una longitud de unos 40 Km. en dirección casi paralela a la del eje de la sierra de Tlaxco, correspondiéndole el 21% de la superficie del Estado.

En la porción SE. de Tlaxcala se encuentra el alto macizo de La Malintzi, prácticamente aislado, alcanzando una altura de 4,440 m. y ocupando un área circular de 646 Km². con un diámetro de unos 36 Kms. Esta importante elevación que ocupa el 16.0% de la superficie total del Estado se encuentra alineada con la cresta de la sierrita de Tlatzala, que como ya se ha dicho, es casi paralela a la cresta de la sierra de Tlaxco.

Entre las dos crestas mencionadas queda comprendida la principal depresión del Estado, alojándose en su fondo, en el extremo NW. la gran planicie de Tocha-Irolo, que es la depresión mayor y mejor definida, con una superficie de 250 Km². En seguida hacia el SE. se encuentran las planicies de Tlaxco de 108 Km², la de Texcalac de 107 Km² y la de Huamantla de 107 Km²., separadas por lomeríos transversales de mayor o menor importancia. La planicie oriental se encuentra en el extremo E. alojada entre la sierra de Tlaxco y lomeríos secundarios, ocupando una superficie de 57 Km². (1)

Entre la sierrita de Tlatzalan y La Malintzi se forma una saliente, en la porción SE. del Estado, ocupada en parte por el pequeño contrafuerte de Tlaxcala, ligado con el volcán antes mencionado y por la planicie de Panotla, que tiene 228 Km²., donde se encuentran algunos cerros aislados.

La planicie de Tocha-Irolo está casi nivelada y es la más elevada, pues su altitud media es de 2,520 m. Las planicies de Tlaxco, Texca-

(1) Debe entenderse que las superficies, han sido determinadas con planímetro, en perímetros marcados en la Carta Geográfica de manera aproximada.

lac, Huamantla y Oriental descienden de occidente a oriente hasta 2,345 m. de altitud.

Hecha esta breve descripción a grandes rasgos, pasaremos a la descripción particular de las unidades fisiográficas.

Sierra de Tlaxco.—Esta sierra, que es parteaguas continental, se encuentra en la prolongación hacia el SE. de la sierra de Pachuca. Principia al E. de Tultengo y San Jerónimo, en el Estado de Hidalgo y termina al N. de Tequixquitla en el Estado de Tlaxcala. Tiene una longitud aproximada de 100 Km. con rumbo medio N 60° W, como ya se ha indicado. Los principales contrafuertes de esta sierra son los de Tliltepec y San Bartolo, siguiéndoles en importancia los de Quimicho y Tecoac.

Al W. del contrafuerte Tliltepec se extiende la planicie de Tocha; entre dicho contrafuerte y el de San Bartolo, la planicie de Tlaxco; entre este último y el de Quimicho, la planicie de Texcalac y al E. del de Quimicho, la planicie de Huamantla.

Sierra Nevada.—También es parteaguas continental y es aún de mayor importancia que la sierra de Tlaxco, por su elevación, ya que los volcanes Iztaccíhuatl y Popocatépetl, tienen alturas el primero, de 4,860 m. y el segundo de 5,450 m. sobre el nivel del mar. El principal contrafuerte de esta sierra dentro del Edo. de Tlaxcala, es el del Caracol que se dirige hacia el NE. y termina cerca de Arroyo, siguiéndolo en importancia los contrafuertes Bateas-Mazapa y Cuilotepec-Chametla.

Sierrita de Tlatzala.—El rumbo medio de su cresta es N 54° W. y la longitud de la misma de 43 Km. aproximadamente. Por su vertiente septentrional aparece como un macizo elevado en los cerros de Tlatzala, San Nicolás, San Blas y La Luz, y como un lomerío suave desde La Luz hasta cerca de Apizaco; por su vertiente meridional aparecen los elevados cerros de Nanacamilpa y Totolqueme y hacia el SE. se destacan las mesas que bordean la planicie de Panotla desde Ixtacuixtla, hasta Tlaxcala y Santa Cruz.

Volcán de La Malintzi.—Esta montaña tiene su base casi circular y se eleva a 4,400 m. de altitud. En sus faldas se encuentran algunas elevaciones que interrumpen la continuidad de las pendientes y al pie de ella aparecen también algunos cerros de corta altura como los de Cuajomulco, Cuatlapanco, Octlayo, Soltepec y Xalapaxco.

Lomeríos de Tlaxcala.—Se levantan en las inmediaciones de la capital del Estado a la que prácticamente circundan, separando la depresión donde se encuentra dicha ciudad, de la mayor depresión donde se aloja el vallecito de Santa Ana.

Planicies.—La planicie de Tocha es casi horizontal y en ella se encuentran las lagunas de Tocha y Soltepec, extendiéndose también en el Estado de Hidalgo. Un puerto bajo, al W. de Guadalupe, la separa de la planicie de Tlaxco; pero la transición es insensible, siendo posible considerar a las dos como integrantes de una sola. La planicie de Tlaxco tiene una altitud en su parte más alta de 2,563 m. y en su parte más baja de 2,484.

La planicie de Texcalac, situada al E. de la anterior, tiene una altitud media de 2,420 m. encontrándose comprendida entre las faldas N. de La Malintzi y la sierra de Tlaxco.

La planicie de Huamantla tiene una altitud media de 2,425 m. y se encuentra al E de la anterior, estando bordeada por las faldas NE. de La Malintzi.

La planicie oriental se encuentra en el extremo E. del Estado, al que pertenece una pequeña parte de la misma que es muy extensa ya que se prolonga al N. por más de 100 Km. en el Estado de Puebla donde se encuentran los pueblos de San Juan de los Llanos y Libres.

Por último, la planicie de Panotla ocupa la porción SW. del Estado y forma parte de la muy extensa planicie de Puebla. Entre la sierrita de Tlatzalan y el volcán de La Malintzi se forma una rinconada, que es donde está situada esta planicie cuya altitud media es de 2,210 m. Los lomeríos de Tlaxcala y los de Atoyatenco interrumpen la continuidad de la misma así como algunos cerros aislados.

SUPERFICIE DE LOS ELEMENTOS FISIOGRÁFICOS

	Superficie K²	Por ciento Total
Elevaciones	3,168.36	78.7
Planicies	858.64	21.3
	4,027.00	100.0
Lomas	2,508.99	62.3
Planicies	858.64	21.3
Montañas	659.37	16.4
	4,027.00	100.0

ELEVACIONES	Superficie K²	Por ciento Total
Sierra de Tlaxco	1,359.48	33.7
Sierrita de Tlatzala	845.64	21.0
Volcán de La Malintzi	570.60	14.2
Sierra Nevada	282.16	7.0
Lomeríos de Tlaxcala	75.48	1.9
Elevaciones aisladas	35.00	0.9
	3,168.36	78.7
PLANICIES		
Tocha	249.69	6.1
Panotla	228.32	5.7
Tlaxco	108.35	2.7
Texcala	107.50	2.7
Huamantla	107.32	2.7
Oriental	57.46	1.4
	858.64	21.3

HIDROGRAFIA

Existen en el Estado de Tlaxcala cuencas con drenaje superficial exterior o sean cuencas fluviales comunes y cuencas cerradas sin drenaje superficial al exterior de las mismas.

Las primeras ocupan el 57.7% de la superficie total del Estado, mientras que a las segundas corresponde el 42.3% pudiéndose apreciar, que aunque ocupan menor superficie que las primeras, son de mucha importancia relativa, pues se acercan a la mitad de la superficie total.

La cuenca más importante es la del río Zahuapan, afluente del Atoyac, perteneciente a la cuenca del gran río Balsas. Ocupa el 41.6% de la superficie del Estado y se extiende, desde la sierra de Tlaxco en su parte media y las planicies de Tlaxco y Texcalan, hasta abarcar la mayor parte del lomerío de Tlatzalan y de la planicie de Panotla. La cuenca del Atoyac propiamente se encuentra en la parte W. y SW. del Estado, contigua a la del Zahuapan y abarcando también parte del lomerío de Tlatzalan, por Magdalena, Españita y Miltepec; así como parte de la planicie de Panotla, por Ixtacuixtla y Tlacuitlapa.

Como parte de una cuenca fluvial debemos mencionar la correspondiente a las vertientes septentrionales de la sierra de Tlaxco, que pertenece a la cuenca del río Tecolutla. La superficie de esta cuenca en el Estado sólo es de unos 111 Km² y se encuentra al N. de Tlaxco y Terrenate.

Las cuencas cerradas ocupan los extremos NE y SE del Estado a uno y otro lado de la cuenca del río Zahuapan, que las separa. Al NE.

se encuentran las cuencas de Tocha e Irolo, que forman parte de la gran cuenca de México, y que en el Estado tienen como puntos principales a Quintanilla, Tepeyahualco, Guadalupe, Calpulalpan, Nanacamilpa, Zotoluca y La Luz. Al SE. se encuentran las cuencas de los arroyos de Terrenate y Zoapila pertenecientes a la gran cuenca de Oriental. Estas cuencas abarcan el extremo E. de la sierra de Tlaxco y las planicies de Huamantla y Oriental, encontrándose en la cuenca de Terrenate los pueblos de Terrenate, Huamantla, Ixtenco y Citlaltepec; y en la cuenca de Zoapila los pueblos de Alzayanca y Tequixquitla.

De la cuenca del Balsas sólo se abarca el 2%, de la cuenca de Oriental el 13.7%, de la cuenca de México el 9.5% y de la del Tecolutla menos del 1%. Los siguientes *índices numéricos* son los que caracterizan a los cursos de la región:

CURSO	INDICES					Desarrollo	Desnivel
	Categórico	Específico	Erosivo	De recorrido	De drenaje		
Balsas	29.280	21.00	4.00	1.71	139.4	725.0	2.900
Atoyac-1		4.20	9.50	1.49		210.0	2.000
Atoyac-2		0.43	12.00	1.15		60.0	0.720
Zahuapan	0.112	0.47	9.50	1.31	23.8	70.5	0.670
Tlaxco	0.021	0.25	11.50	1.27	8.3	47.0	0.540
Tlaxco-3		0.03	31.00	1.25		10.0	0.310
Tlaxco-4		0.08	6.22	1.11		37.0	0.230
Texcalan	0.029	0.19	14.10	1.12	15.1	37.0	0.520
Texcalan-3		0.02	72.00	1.25		5.0	0.360
Texcalan-4		0.05	5.00	1.10		32.0	0.160
Terrenate-1		0.30	8.40	1.62		60.0	0.505
Terrenate-2	0.025	0.17	11.00	1.48	13.9	40.0	0.440
Terrenate-3		0.005	33.30	1.09		12.0	0.400
Terrenate-4		0.001	1.43	1.40		28.0	0.040
Zoapila	0.012	0.13	13.19	1.39	9.3	32.0	0.422
Zoapila-3		0.02	69.50	1.09		5.0	0.347
Zoapila-4		0.02	2.78	1.11		27.0	0.075
Irolo	0.015	0.12	13.50	1.25	12.4	30.0	0.405
Irolo-3		0.09	16.26	1.14		24.0	0.390
Irolo-4		0.001	2.50	1.09		6.0	0.015

1. Todo el curso.
2. El curso hasta el punto más bajo en el Estado.
3. El curso en la montaña.
4. El curso en la planicie.

El río Atoyac tiene su confluencia con el Balsas a unos 16 Km. al SE. de Chiautla, Pue., en el mismo llama la atención lo elevado de su índice de recorrido, que acusa complicación de ajuste. No puedo fijar

sus índices categórico y de drenaje, porque no conozco la cuenca en el Estado de Puebla y las cartas geográficas disponibles no son completamente satisfactorias. Los índices categóricos indican que únicamente el Zahuapan, considerado desde el origen del curso del Texcalan, puede denominarse arroyo, los demás son arroyuelos. (1)

Los índices de drenaje de los arroyuelos alcanzan un promedio de 11.8, que representa un 50% de exceso sobre los valores medios de las cuencas elementales simples, acusando en consecuencia valles compuestos con cursos de significación del orden "subtributario" (2), y con tramos importantes de planicie.

Atendiendo a los índices erosivos, puede considerarse al río Balsas como joven, así como su afluente Atoyac y el subafluente Zahuapan. Los arroyuelos están "en la infancia" (2) y dan lugar a fenómenos interesantes cuando sus índices erosivos cambian bruscamente de los tramos de montaña a los de planicie, pues las aguas de sus torrenteras disminuyen rápidamente velocidad y pierden su poder de arrastre de sedimentos, los que son depositados en las planicies. A este respecto es digna de señalarse la planicie de Oriental, desde Franco y Mazarraza hasta Oriental. En la planicie de Tlaxco, el índice erosivo baja a la 5ª parte; en la planicie de Texcalan a la 14ª parte; en la de Terrenate a la 23ª parte y en la de Zoapila baja a la 25ª parte.

Las corrientes que bajan de La Malintzi sufren también un brusco cambio de índices erosivos y como consecuencia se depositan considerables cargas de sedimentos, principalmente arenas, en todas las planicies circundantes. En la de Huamantla se encuentran zonas arenosas de muy difícil tránsito y en la planicie de Panotla invaden áreas cada vez mayores, ampliando los cursos en forma exagerada para la importancia de los mismos, ocasionando perjuicios a las tierras laborables de muchos pueblos, como los de Huatzingo y Zacatelco.

No puedo caracterizar el régimen fluvial de los cursos por falta de aforos; pero diré que el Atoyac tiene aguas permanentes desde la altitud de 2,350 m. y el Zahuapan a la altitud de 2,400 m. Todos los cursos son torrenciales, ocurriendo las avenidas en la temporada de lluvias. En realidad los índices fluviales deben duplicarse, pues la descarga de sus aguas ocurre en seis meses.

---

(1) Véase mi estudio: Algunos Indices Numéricos para la Clasificación y Estudio de los Ríos.—Bol. Soc. Geol. Mex. t. XI, Nos. 1-6, pp., 93-106, 1941.

(2) Según mi estudio antes citado.

SUPERFICIE DE LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS

CUENCAS FLUVIALES ABIERTAS

	Superficie Km.²	Por ciento en total
Balsas:		
Zahuapan (parte superior de Tlaxco)	392.88	9.7
Zahuapan (parte superior de Texcalan)	558.32	13.9
Zahuapan (parte inferior)	725.08	18.0
Atoyac	539.17	13.4
Tecolutla:		
Chignahuapan	110.96	2.7
	2,326.41	57.7

CUENCAS CERRADAS

México:		
Tocha	473.98	11.8
Irolo	370.92	9.2
Oriental:		
Terrenate	557.95	13.9
Zoapila	297.74	7.4
		42.3

Lista de alturas sobre el nivel del mar, tomadas con barómetro aneroide, exceptuando las estaciones de ferrocarril de los lugares que en seguida se mencionan:

SIERRA DE TLAXCO

Cuenca de Tlaxco

	Metros
Peñón del Rosario	3,050
Herrera, Estación F. C.	2,654
Acopinalco del Peñón	2,645
Puerto del Chivo	2,890
Xalostoc, Rancho	2,575
Tepetzala, Hacienda	2,613

Cuenca del Texcalan

Zocac, Hacienda	2,617
Ahuatepec, Hacienda	2,540
San Bartolo, Pueblo	2,485

	Metros
Zotoluca, Hacienda	2,590
San Mateo Piedras Negras, Hacienda	2,437
Teometitla, Hacienda	2,536
Xalostoc, Pueblo	2,502

Cuenca del Terrenate

Terrenate, Pueblo	2,668
La Noria, Hacienda	2,574
Tepeyahualco, Hacienda	2,525
El Rosario, Estación	2,429
San Antonio Atenco	2,513
Baquedano, Hacienda	2,533
Cerón, Hacienda	2,449
Cerón, Estación	2,500
Santo Domingo, Estación F. C.	2,440
Xonecuila, Hacienda	2,413
Rascona, Hacienda	2,440

Cuenca del Zoapila

Alzayanca, Pueblo	2,573
Cuapiaxtla, Pueblo	2,444
Pérez, Estación F. C.	2,452
Cuetzcomatepec, Rancho	2,406
Tequixquitla, Pueblo	2,375

SIERRA NEVADA

Cuenca de Irolo

Puerto entre San Cristóbal y Maldonado	2,850
San Cristóbal, Hacienda	2,692
San Felipe Sultepec	2,594
Cuaula, Pueblo	2,650
San Marcos, Pueblo	2,587
Calpulalpan, Ciudad	2,593
Calpulalpan, Estación F. C.	2,583

	Metros
Mazapa, Estación F. C.	2,706
Tepuente, Estación F. C.	2,790
Alcantarilla, Paraje	2,755
Santa Teresa, Rancho	2,682
San Bartolo, Hacienda	2,640
San Felipe Hidalgo, Pueblo	2,800
La Ventilla, Hacienda	2,540

SIERRITA DE TLATZALAN

Cuenca de Irolo

Arroyo, Estación F. C.	2,741
Nanacamilpa, Estación F. C.	2,734
Nanacamilpa, Pueblo	2,725
La Unión, Hacienda	2,692
La Concepción, Hacienda	2,650
Santórum, Pueblo	2,744
Calera, ex Hacienda	2,583
Ixtafiayuca, Hacienda	2,653
Francisco I. Madero, Pueblo	2,642

Cuenca de Tocha

San Blas, Hacienda	2,633
San Antonio Techalote, Hacienda	2,556
Cuamatzinco, Pueblo	2,549

Cuenca de Tlaxco

Tecopilco, Pueblo	2,500
Altihuitzía	2,382

Cuenca del Texcalac

Apizaco, Estación	2,412
Apizaco, Pueblo	2,415
Santa Anita, Pueblo	2,370

Cuenca del Zahuapan

	Metros
Santa Lucía, Hacienda	2,600
Recoba, Hacienda	2,573
Hueyotlipan, Pueblo	2,570
Xipetzinco, Pueblo	2,638
La Blanca	2,636
Huiloapan	2,560
San Ambrosio	2,382
La Defensa	2,300
Tizatlán	2,270
Los Reyes	2,245

Cuenca directa del Atoyac

Contadero, Estación F. C.	2,600
Españita, Pueblo	2,644
Pipillola, Congregación	2,524
Bellavista, Congregación	2,640

VOLCÁN LA MALINTZI

Cuenca del Zahuapan

Tlaxcala (Ciudad)	2,237
Santa Ana Chiautempan (Pueblo)	2,282
Apetitlán, Pueblo	2,272
Atlapa, Pueblo	2,325
Acuitlapilco, Pueblo	2,283
Acocotla, Estación	2,534

Cuenca del Terrenate

Batán, Rancho	2,511
Colonia Morelos	2,525
Huamantla, Ciudad	2,500
Huamantla, Estación F. C.	2,488
Ixtenco, Pueblo	2,498
Citlaltepec, Pueblo	2,544

	Metros
Pinar	2,594
Cumbre de La Malintzi	4,440

Planicie Tocha-Irolo

Zotoluca, Hacienda	2,530
Zoquiapan, Hacienda	2,548
San Nicolás el Grande, Hacienda	2,535
Iturbe, Estación F. C.	2,531
La Luz, Hacienda	2,516
La Luz, Estación F. C.	2,516
Bernal, Estación F. C.	2,517
Sanz, Estación F. C.	2,527
Soltepec, Estación F. C.	2,508
Quintanilla, Hacienda	2,500
Tepeyahualco, Hacienda	2,560
Buenavista, Hacienda	2,535

Planicie de Tlaxco.

Tlaxco, Pueblo	2,563
Santa Clara Ozumba, Hacienda	2,484
San Luis, Estación F. C.	2,488
Atlangatepec, Hacienda	2,500
Trasquila, Hacienda	2,510
Trasquila, Estación F. C.	2,507
Guadalupe, Estación F. C.	2,479
Muñoz, Estación F. C.	2,488

Planicie de Texcalac

Laguna, Hacienda	2,440
Pavón, Estación F. C.	2,413
Velasco, Estación F. C.	2,486
San Luis Apizaco, Fábrica	2,406
Tetla, Pueblo	2,420
Texcalac, Pueblo	2,440
Tochac, ex Hacienda	2,458

Planicie de Huamantla

	Metros
Tecoac, Estación	2,440
Tecoac, Hacienda	2,442
Postigo, Estación F. C.	2,442
Compañía, Hacienda	2.445
Notario, Hacienda	2,450
Balcón, Estación F. C.	2,428

Planicie de Oriental

Mazarraza, Estación F. C.	2,453
La Vega, Estación F. C.	2,404
El Carmen, Estación F. C.	2,347

Planicie de Panotla

Tlaxcala	2,237
Panotla	2,227
Tepeitic	2,275
Xocoyucan	2,227
San Felipe Ixtacuixtla	2,247
San Juan Molino	2,205
Tepetitla	2,210
Xochitecatitla	2,200
Capulac	2,195
Nativitas	2,187
Tetlatlahuca	2,190
Zacualpan	2,195
Huatzingo	2,211
Zacatelco	2,223
Molino de Tepeyanco	2,256
Atlamajac	2,245

GEOLOGIA

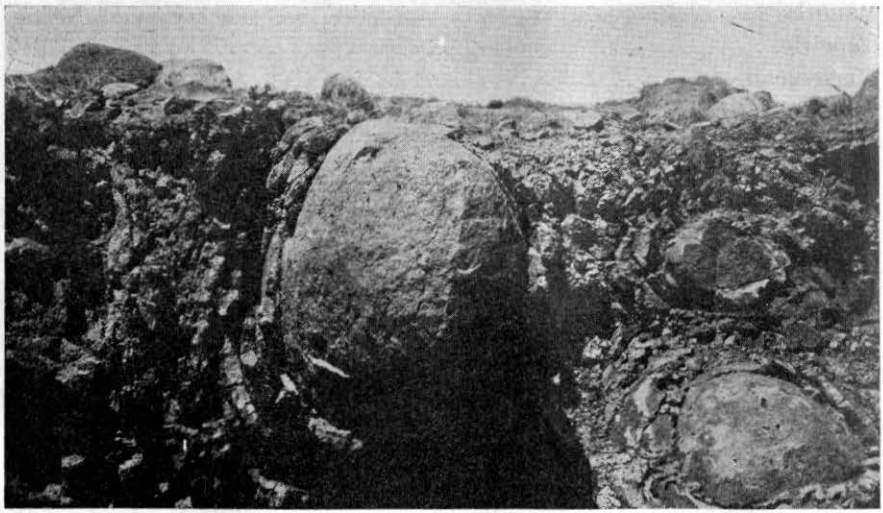
Existen tres formaciones principales: la inferior que consiste de andesitas y tobas andesíticas; la intermedia de basaltos, arenas y cenizas basálticas, y la superior constituída por los rellenos de los valles donde

intervienen sedimentos fluviales, lacustres, fluvioglaciales y eolianos, así como corrientes basálticas, arenas y cenizas volcánicas intercaladas en diversos horizontes.

Andesitas.—Las formaciones andesíticas dominan en las sierras de Tlaxco y Nevada, y son importantes en los cerros de Tlatzala y en el volcán de La Malintzi, ocupando en total una extensión de 602 Km^2. igual al 15% de la total. (Véase carta geológica). La roca es de colores claros del gris, azul y rosa, con textura porfirítica y felsítica, no siéndome posible señalar los distintos tipos de rocas y su distribución. Las andesitas afloran en la Sierra Nevada desde los 2,600 m. de altitud y sobrepasan los 4,000 m. de altitud, lo que acusa una potencia de 1,400 m.

La constitución de estos cuerpos andesíticos es la de una serie de corrientes superpuestas, con suave inclinación desde el eje longitudinal de las sierras hacia el pie de las mismas. Algunas de estas corrientes presentan bordes acantilados.

Existen afloramientos atacados fuertemente por el intemperismo y en algunos lugares se pueden observar fenómenos de exfoliación (Fot. 1).



Fot. 1.—Formas de exfoliación esférica en un afloramiento de andesita, sierra de Tlaxco.

El lomerío de Tlatzalan es muy interesante geológicamente, pues siendo una unidad disectada, muestra su estructura en los profundos

cortes hechos por las barrancas, en cuyos flancos aparecen las distintas rocas que contituyen dicha elevación. Es de notar la presencia de corrientes andesíticas y basálticas, así como diques gábricos.

Relacionando los distintos afloramientos de rocas andesíticas que se encuentran en el lomerío, se presentan dos hipótesis: que corresponden a una corriente andesítica inferior a las que afloran en la Sierra Nevada, emitida a favor de esas mismas fracturas y separadas por un cuerpo de rocas piroclásticas (tobas andesíticas); o que dicha corriente es independiente de la Sierra Nevada y por consecuencia emitida por focos distintos, pertenecientes al sistema de la sierrita Tlatzalan. Este parece el caso más probable, pues el grupo de afloramientos determina un alineamiento que parece indicar una fractura de emisión distinta de la relacionada directamente con la Sierra Nevada.

Tendríamos en Tlaxcala tres fracturas principales: la occidental o de la Sierra Nevada con rumbo N-S, la central de la sierrita Tlatzalan —La Malintzi, con rumbo N51°W y la septentrional o de la sierra de Tlaxco, con rumbo N60°W. Es interesante hacer notar que en la prolongación hacia el SE. de la línea Tlatzalan— Malintzi, se encuentra el parteaguas entre la cuenca del Balsas y la de Oriental, desde La Malintzi hasta cerca de Tepeaca, Pue. Como se ve, las fracturas septentrional y central son casi paralelas: la occidental las corta diagonalmente. Sus puntos de intersección quedan fuera del Estado.

Por primera vez en mis exploraciones me he encontrado con tobas andesíticas en cuerpos de mucha consideración. Las grandes sierras andesíticas del país no muestran depósitos de rocas piroclásticas dignas de ser tomadas en cuenta, como se hace patente en la sierra de Pachuca, donde se han identificado hasta 8 corrientes superpuestas, sin intercalaciones de tobas, desde los niveles más bajos (2,000 metros de altitud) hasta las cumbres más altas (3,200 metros) [1]. En mi concepto las emisiones a través de las grandes grietas no dieron lugar a erupciones paroxismales, sino muy localmente, habiéndose incorporado los escasos depósitos de rocas piroclásticas a las grandes masas de lavas que los arrollaron, de manera que aquéllas no formaron horizontes definidos; pero en las emisiones limitadas a pequeñas porciones de las grietas o a focos particulares, las erupciones paroxismales adquirieron importancia y hubo proyecciones de cenizas, arenas y lapilli, que cubrieron grandes áreas.

---

(1) Estudio Hidrogeológico y General sobre el Abastecimiento de Aguas de la Ciudad de Pachuca, por L. Blásquez L., 1939. Inst. Geol. de Méx. (Inédito).

El volcán de La Malintzi y algunos focos situados en el lomerío de Tlatzalan emitieron grandes volúmenes de arenas y cenizas volcánicas, que formaron depósitos de más de 50 metros de potencia, en el mismo lomerío y en el cono bajo de La Malintzi. Podemos creer que este volcán está constituído por un cono bajo donde dominan las tobas y brechas andesíticas, que en seguida aparecen superpuestas varias corrientes, relativamente delgadas y con poca inclinación, formando un apilamiento de unos 1,000 metros de espesor y que después aparecen nuevos depósitos de arenas y cenizas precursoras de efusiones de tipo más básico. En este volcán no se aprecia claramente un cráter, aunque el señor Ordóñez cree que existió uno de tipo caldera. [1]

Basaltos.—Puede apreciarse en la Carta Geológica adjunta la distribución de estas rocas, pudiéndose notar que las principales eminencias constituídas por ellas se encuentran en los flancos medios de la sierra de Tlaxco, desde el lugar de este nombre hasta cerca de Terrenate. Las elevaciones basálticas ocupan en conjunto una superficie de 57 K^2 equivalente al 1.4% de la total y parecen obedecer a dos leyes en su distribución: la de formar alineamientos transversales a los ejes de las sierras, como en el caso del contrafuerte San Bartolo, de la sierra de Tlaxco; y la de distribuirse radialmente, respecto de los focos individuales más importantes, como en el caso de los volcancillos Soltepec y Xalapaxco, en los flancos de La Malintzi.

Algunos de los focos basálticos emitieron corrientes de lava bastante extensas, siendo probable que las provenientes de focos distintos se hayan unido, cuando fluían por planicies o por cursos con puntos o lugares comunes de reunión, avanzando hasta más de 60 kilómetros de su origen. En cambio algunos volcancillos emitieron corrientes que no avanzaron sino unos cuantos centenares de metros y, en otros, después de su aparición originada por fenómenos paroximales, no ocurrieron emisiones de lavas, como es el caso con los volcancillos Xalapaxco y Soltepec.

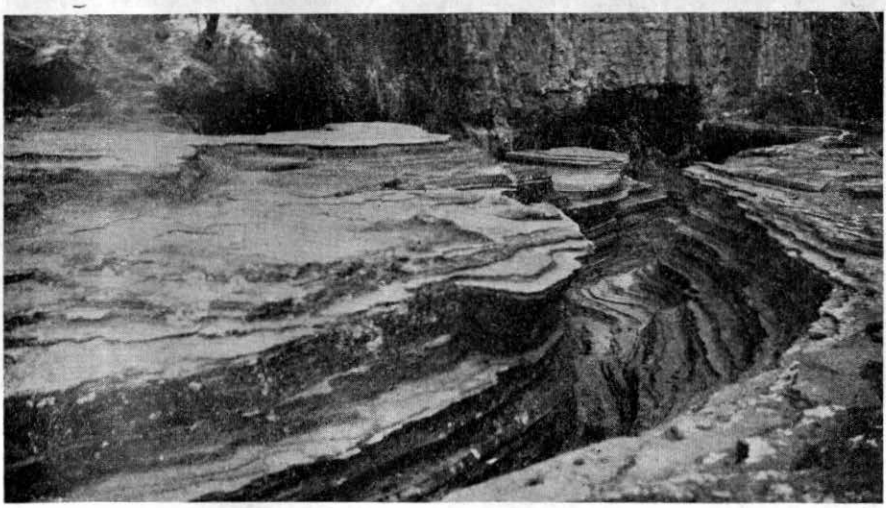
Algunas eminencias tienen pendientes bastante suaves y los focos se acusan por cerros redondeados, pero en otros casos los aparatos volcánicos constan de conos truncados de fuertes pendientes y gran altura, como en el cerro Tlacajolac.

La actividad volcánica de los numerosos focos basálticos originó una estructura consistente de sucesiones de corrientes, generalmente

(1) Le Matlacueyatl (Malintzi) por M. E. Ordóñez.—Mem. Soc. Cient. Antonio Alzate T. 29. Nos. 7-8, p. 50, 1909-1910.

delgadas y dispuestas con poca inclinación, que cubrieron grandes áreas, separadas por depósitos más o menos gruesos de arenas y cenizas basálticas, dispuestas también casi horizontalmente lejos de los aparatos emisores; pero constituyendo elevaciones de importancia en torno de los principales focos, como en el contrafuerte San Bartolo y la zona entre el cerro Tlacajolac y La Malintzi, donde los depósitos forman capas inclinadas radialmente que, por decirlo así, cobijan los cerros, como pasa en los dos Xaloxtoc, el del SE. de Tlaxco y el del SE. de Apizaco.

En una profunda barranca, que corta las faldas del cerro San Bartolo, a corta distancia al W. del pueblito de este nombre, afloran arenas basálticas que alternan con delgadas capitas y láminas de ceniza a la altitud de 2,470 metros; en seguida, subiendo, se encuentra una corriente de basalto de unos 4 metros de potencia que tiene su superficie superior o su cima a 2,495 metros y sobre esta corriente descansa otra serie piroclástica (Fot. 2) idéntica a la anterior, de 40 metros de potencia y en la que el corte del arroyo se va reduciendo hasta formar una garganta de poca amplitud, pero bastante profunda.

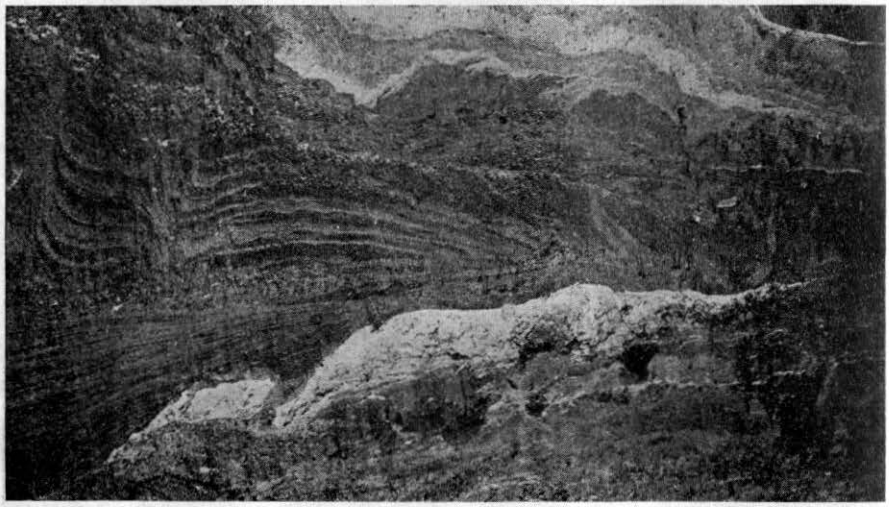


Fot. 2.—Arenas y cenizas basálticas por el arroyo de San Bartolo.

Rellenos de los valles.—Constituyen éstos la formación de mayor importancia en el Estado, pues su extensión superficial abarca 2,214 kilómetros cuadrados, igual al 55% del total. Forman la mayor parte de

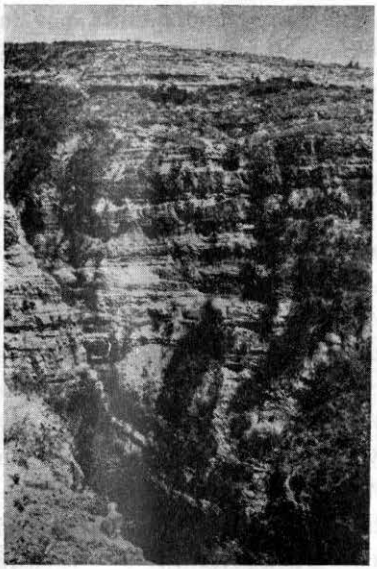
los lomeríos de Tlatzalan y de Tlaxcala, gran parte de las faldas bajas de la sierra de Tlaxco y de La Malintzi y la totalidad de las planicies.

Como consecuencia de la obturación de los valles por la interposición de rocas piroclásticas basálticas, los primeros depósitos de relleno fueron lacustres, en los fondos de las depresiones, y de conos deltoides en las márgenes (Fot. 3). Las condiciones lacustres dominaron durante un lapso que permitió la formación de una poderosa serie con una potencia de unos 100 metros que forma parte de los lomeríos de Tlatzalan y Tlaxcala. Las capas, principalmente de arcillas, verdosas y blanquizcas, aunque bastante homogéneas y de poca inclinación, no muestran una estratificación regular, según puede apreciarse en la (Fot. 4), pues corresponden a un depósito formado en lagos cuyas aguas sufrían fluctuaciones de nivel. La regularidad está también interrumpida por pequeñas fallas (Fot. 5) y dislocaciones que han producido en algunas zonas desalojamientos de consideración.

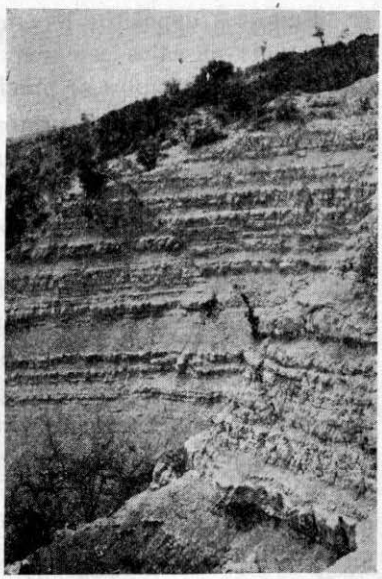


Fot. 3.—Depósitos deltoides en el lomerío de Tizatlán.

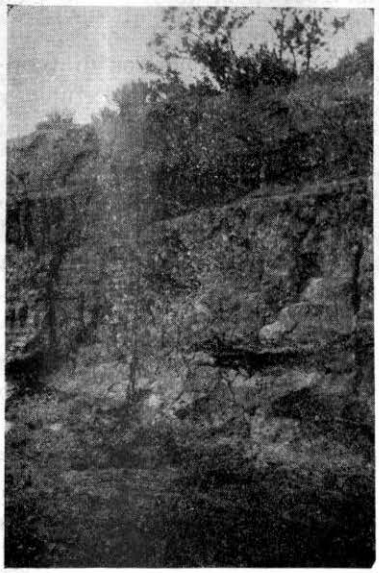
El estudio microscópico hecho por el petrógrafo, señor Eduardo Schmitter, reveló que la roca dominante tiene como constituyentes primarios o autígenos: vidrio, andesina, oligoclasa y cuarzo; como alotígenos: montmorillonita, clorita, calcita y limonita y como accesorios hornblenda y enstatita, y además se notaron conchas de ostrácodos.



Fot. 4.—Formación lacustre en el cerro de Tizatlán.



Fot. 5.—Falla en las capas de arcilla de Acatita.



Fot. 6.—Tobas basálticas con una capa de tierra vegetal intercalada.

En estos depósitos hay una variante de importancia dada por la abundancia de sales calcáreas disueltas en las aguas lacustres, que en condiciones favorables se precipitaron.

Depósitos idénticos a éstos los encontré cerca de la hacienda de La Laguna, en el corte de una barranquilla, a la altura de 2,440 metros, donde se puede notar la sobreposición de un material completamente distinto, que señala el contacto superior bastante irregular de la formación. La sobreposición de este material también puede verse en el cerro de Tizatlán, cerca de Tlaxcala, a la altitud de 2,430 metros.

En el lomerío de Tlatzalan, a la altitud de 2,583 metros en Calera, se encuentran unas capas de calizas cristalinas hidrogénicas, sacaroides teñidas en algunas porciones de un rojo vivo. En Calera aparecen unos bancos de unos 5 metros de potencia, cortados por un dique gábrico, que produjo metamorfismo de contacto y cuya intrusión afectó la posición de las capas. En el manantial de Tepapatlaco, situado a unos 2 kilómetros N30 E de Santórum, afloran también las calizas cristalinas, si bien en capas relativamente delgadas y casi horizontales a una altitud de 2,610 metros.

En los depósitos lacustres de la región, las calizas de precipitación química no son exclusivas de la cuenca Tocha-Irolo, que es donde se encuentra Calera, sino que aparecen en diversas cuencas, como en la del Terrenate, en horizontes de 2,440 a 2,500 metros; en la de Texcalac y en la propia del Zahuapan en los lomeríos de Tlatzalan y Tlaxcala.

Igualmente son de importancia en la región los depósitos diatomíferos que se han encontrado en el lomerío de Tlatzalan, por Ixtulco y Tizatlán, desde altitudes de 2,250 metros y en La Blanca a elevaciones de 2,640 metros.

Sobre la formación lacustre se encuentra una formación basáltica, constituída por cenizas y arenas en gruesos bancos (Fot. 6) que en el lomerío de Tlatzalan se distingue, entre otras cosas, por su cubierta vegetal, estando coronada en algunas zonas del mismo lomerío por corrientes basálticas, mientras que en otras se encuentran varias alternancias, como en Atlihuetzía, de corrientes, que al ser cortadas por los arroyuelos, dan lugar a saltos, algunos de los cuales se han aprovechado para generar fuerza hidroeléctrica.

Esta formación basáltica está muy extendida en el lomerío de Tlaxcala, en las Sierras Nevada y de Tlaxco; en las faldas de La Malintzi y en el subsuelo de las planicies, como lo demuestran los cortes profundos de los arroyos.

La formación glacial está representada por morrenas alpinas en las Sierras Nevada y de Tlaxco. Pude observar bancos muy gruesos de till a unos 2 kilómetros al N. de Terrenate. En las faldas de La Malintzi hay tilitas en bancos de muchos metros de espesor.

En los lomeríos de Tlatzalan y Tlaxcala existen tills de la etapa "Xochitepec" [1], o sea la última. Seguramente las rocas de la formación basáltica superior cubrieron las morrenas de etapas anteriores. Mis escasas observaciones de campo sobre el particular, me impiden tratar aun someramente de la estructura geológica de las formaciones glaciales en el Estado.

Los sedimentos fluviales son de corta significación en general, adquiriendo alguna importancia en las zonas de inundación de las planicies de Huamantla, Oriental y Panotla.

GEOLOGIA HISTORICA

Para formar un bosquejo de la geología histórica de Tlaxcala es preciso rebasar sus límites y relacionar los afloramientos de formaciones más antiguas que se encuentran en el vecino Estado de Puebla, pero aun así no puedo remontarme más allá del Cretácico, a menos de repetir lo dicho por el geólogo don Carlos Burkhardt en su obra monumental sobre el Mesozoico. [2] Por las observaciones que hice en el Valle de Tehuacán [3] conjeturé la existencia de un gran valle longitudinal en las calizas del Cretácico, que se extendía hasta unos 38 kilómetros al NW de Tlaxcala, es decir, hasta el lugar que actualmente ocupa la sierrita de Tlatzalan y por consecuencia abarcando casi todo el Estado. Es preciso suponer por analogía entre las dos regiones, que la erosión tuvo tiempo de desarrollar un ciclo bastante avanzado, antes de la iniciación de la actividad volcánica que dió origen a las andesitas, a fines del Mioceno, según nuestro notable geólogo desaparecido doctor don José G. Aguilera. No debió haber transcurrido mucho tiempo para que las Sierras Nevada y de Tlaxco hayan adquirido su elevación completa, mucho mayor que la actual, acentuando el relieve y vigorizando el trabajo de los ríos. Las emisiones andesíticas por la fractura central, en los focos del lomerío de Tlatzalan, La Malintzi y otros focos situados fuera del Estado, por

(1) Véase mi estudio: La Edad Glacial en México.—Bol. Soc. Geog. Mex. T. LVIII, 1943.

(2) Le Mesozoïque Mexicaine, Bâle, 1930.

(3) Hidrogeología del Valle de Tehuacán.—Inst. Geol. de Méx., 1942. (Inédito).

la región de Atlixco, Pue., fueron las que modificaron grandemente el relieve; pues por una parte La Malintzi interceptó el curso de los colectores principales y por la otra los depósitos de rocas piroclásticas obstruyeron los valles creando una topografía completamente distinta. Las emisiones basálticas que señalaron el término de la actividad volcánica del Neogénico, acabaron de cerrar los valles y dieron lugar a la formación de cuencas lacustres independientes, entre las que puedo señalar las de Tocha, Tlaxco, Texcalac, Huamantla, Zoapila y Panotla.

Los límites de todas estas cuencas son fáciles de trazar, con excepción de la de Panotla, cuya circunscripción ocurrió en territorio poblano tanto por Atlixco, Pue., como por Tlacotepec, Pue., debiendo adquirir las barreras alturas de más de 2,340 metros que son las que alcanzan los depósitos lacustres del lomerío de Tlatzalan del lado correspondiente a la cuenca de Panotla que llamaré de Puebla, por ser ésta la ciudad más importante que se encuentra en ella.

Durante la vida de estos lagos ocurrió el depósito de las calizas hidrogénicas, las diatomeas o tizates y las arcillas verdosas y blanquizcas.

La época glacial dió lugar al depósito de muy escasos sedimentos; pues los glaciares rellenaron las cuencas lacustres y se unieron formando una masa relativamente estática. Solamente los glaciares que descendían de la Sierra Nevada tenían vigor para surcar los sedimentos lacustres que ocupaban el lugar de la actual planicie de Panotla, transportando sus cargas hacia el SE., hasta que al terminar la etapa de glaciación correspondiente a la que he denominado "Zempoala," las morrenas formaron nuevas obstrucciones y restablecieron las condiciones lacustres de la cuenca de Puebla.

Al encontrar las aguas su salida por Molcajac, Pue., labraron el profundo cañón de ese nombre y al desaguarse el vaso, se estableció el actual curso del Atoyac. Las aguas de las cuencas restantes también encontraron salida: las de Tocha hacia la cuenca de México, las de Tlaxco y Texcalac, casi reunidas, hacia la cuenca de Puebla, y solamente las de Huamantla y Zoapila quedaron en condiciones semejantes a las actuales, sin drenaje exterior, formando parte de la cuenca cerrada de Oriental.

La actividad volcánica de los basaltos contemporáneos volvió a modificar la red hidrográfica, juntamente con los depósitos poco posteriores de la última etapa glaciar de "Xochitépec," cerrando la cuenca de Tocha, Tlaxco y Texcalac y dejando los depósitos correspondientes que se encuentran en los lomeríos de Tlatzalan y Tlaxcala.

Las morrenas que se encuentran en las Sierras Nevada y de Tlaxco, así como en La Malintzi, pueden ser de la etapa Xochitepec y anteriores; pero hemos visto que esas formaciones carecen de importancia en el Estado.

El trabajo de los ríos en la época actual reanudó el drenaje exterior de las cuencas Tlaxco y Texcalac y está formando depósitos arenosos muy considerables en las planicies de Huamantla, Oriental y Panotla.

HIDROLOGIA SUBTERRANEA

Clima.—Es este un factor de mucha importancia puesto que fundamentalmente los recursos acuíferos de una región dependen de la precipitación atmosférica y las condiciones en que ésta se realiza. En todos mis estudios hidrológicos he venido experimentando una necesidad cada vez más apremiante de contar con buenos estudios de climas, habiendo tenido que deplorar que nuestros meteorologistas no hayan publicado, hasta la fecha, algo que llegue a definir nuestros climas más allá de lo conocido en los lineamientos generales, establecidos por autores extranjeros.

Hoy me veo obligado a intentar una caracterización particular del clima en el Estado de Tlaxcala, apoyándome en los datos publicados por el Servicio Meteorológico Mexicano y en las ideas de Martone [1] y Thornthwaite. [2]

Datos meteorológicos.—Empezaré por consignar los disponibles, acompañados por los radios calculados según el método de Thornthwaite. Véase la tabla I.

El cálculo de los radios de eficiencia de precipitación lo hice por medio de la fórmula: $115\left(\frac{P}{25.4(1.8T+22)}\right)\frac{10}{9}=R$, en la que P está expresado en milímetros de precipitación y T en grados centígrados, deduciéndola de la fórmula original de Thornthwaite. Para el cálculo del radio de eficiencia térmica r, deduje la simple fórmula $r = 0.45$ T, de la original del autor antes mencionado. La suma de los radios de eficiencia de precipitación da el índice de eficiencia de precipitación y la suma de

(1) Traité de Géographie Physique, par Emm. de Martonne.

(2) The Climates of North America, according to a new clasification by C. Warren Thornthwaite.—Geographical Review: American Geographical Society of New York, October 1931, pág. 633.

los radios de eficiencia térmica, el índice de eficiencia térmica. La evaporación es igual a $\frac{P}{R}$

Según la clasificación propuesta por Thornthwaite, Tlaxcala, Chalchicomula y Puebla, pertenecen a la provincia C o subhúmeda (índices comprendidos entre 32 y 63). Apizaco se sale un poco de este margen y pertenece a la provincia B húmeda (64 a 127). Todas tienen bastante marcada una estación de lluvias que principia en mayo y termina en octubre, no pudiéndose, en consecuencia, decir que dicha estación corresponde al verano, pues abarca un mes de la primavera, el verano y dos meses del otoño. Aplicándole los calificativos de Thornthwaite, tendremos que considerarlos como de lluvias deficientes en el invierno, tipo "W," por más que la época seca abarque un mes del otoño, el invierno y dos meses de la primavera. En la estación de lluvias, de medio año, ocurre del 93 al 95% de la precipitación.

En cuanto a la temperatura, todas las localidades acusan una provincia B′ mesotermal (64 a 127) de 74.4 en Apizaco a 87.7 en Puebla. La concentración calórica del verano, varía del 26.3 al 27.6% y acusa una subprovincia "a" (25 a 34%).

En resumen, tenemos una provincia con las siguientes características:

C *w*. Subhúmeda, pastal, con lluvias deficientes en el invierno.

B′ *a*. Mesotermal, con baja termicidad en el verano.

Apizaco pertenece prácticamente a la misma provincia, pero en rigor pudiera marcarse:

B *w*. Húmeda, bosques, con lluvias deficientes en el invierno.

B′ *a*. Mesotermal con baja termicidad en el verano.

Según Martonne la provincia pertenece a la zona subtropical (la temperatura es inferior a 20° C) clima mexicano o subtropical de altura.

Martonne tiene menos precisión para caracterizar un clima que Thornthwaite; pero tiene la ventaja de proporcionar un medio más explícito para designarlo, como es el de identidad con un tipo muy sugestivo, casi diría yo indicativo.

Encuentro sin embargo que no se dan sino los grandes rasgos de los climas, y he notado la necesidad de caracterizarlos con más detalle, considerando divisiones menos amplias. Mi primer paso consistirá en definir el clima como el conjunto de fenómenos variables que se apartan o acercan al tipo teórico, llamando así al clima que correspondería a la localidad, en el supuesto de que las condiciones geográficas y topográfi-

TABLA I

APIZACO, ALTITUD 2405 m.—LATITUD 19° 23' N.

	Ene.	Feb.	Marzo.	Ab.	Mayo.	Jun.	Jul.	Ags.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Año.
Precipitación en mm	7.4	2.1	6.7	25.9	119.5	150.3	228.6	160.5	184.2	51.3	12.9	9.8	959.2
Radio de eficiencia de precipitación	0.24	0.11	0.36	1.57	8.00	10.81	17.81	11.88	12.06	3.45	0.91	0.61	67.81
Número de días con lluvia mayor de 0.1 mm	1	1	1	4	13	18	24	20	19	8	2	1	111
Temperatura media en grados C	10.7	12.0	14.2	14.8	16.5	15.6	14.6	14.9	14.9	14.1	11.8	11.7	13.8
Radio de eficiencia térmica	4.8	5.4	6.4	6.6	7.4	7.0	6.5	6.7	6.7	6.3	5.3	5.3	74.4
Número de días con helada	24	18	3	3	1	0	0	0	1	2	16	20	88
Evaporación (calculada) en mm	30.8	19.2	18.6	16.5	14.9	13.9	12.8	13.6	14.6	14.9	14.2	16.1	200.1

TLAXCALA, ALTITUD 2235 m.—LATITUD 19°19' N.

	Ene.	Feb.	Marzo.	Ab.	Mayo.	Jun.	Jul.	Ags.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Año.
Precipitación en mm	6.2	1.8	8.6	18.6	72.4	126.6	135.1	150.2	136.5	48.3	6.8	6.0	717.1
Radio de eficiencia de precipitación	0.35	0.08	0.43	0.99	4.35	8.32	9.26	10.48	9.30	3.02	0.36	0.32	47.26
Número de días con lluvia mayor de 0.1 mm	1	1	2	5	10	17	19	18	16	6	2	1	98
Temperatura media en grados C	12.9	14.2	16.4	17.1	17.9	17.1	16.3	12.2	16.2	15.7	14.5	13.7	15.7
Radio de eficiencia térmica	5.8	6.4	7.4	7.7	8.1	7.7	7.3	7.3	7.3	7.1	6.5	6.2	84.8
Número de días con helada	18	11	4	1	0	0	0	0	0	1	6	13	52
Evaporación en mm (calculada)	17.7	22.5	20.0	18.8	16.7	15.2	14.6	14.3	14.7	16.0	18.9	18.7	208.1

TABLA I

CHALCHICOMULA, PUE.—ALTITUD 2540 m.—LATITUD 18° 58' N.

	Ene.	Feb.	Marzo.	Ab.	Mayo.	Jun.	Jul.	Ags.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Año.
Precipitación en mm.	3.3	6.5	10.3	66.8	99.3	141.4	131.0	92.0	206.0	72.8	10.5	21.8	862.6
Radio de eficiencia de precipitación	0.19	0.38	0.55	4.30	6.57	9.94	9.30	6.40	15.70	5.16	0.67	1.15	60.31
Número de días con lluvia mayor de 0.1 mm	1	1	2	8	10	16	14	12	18	7	1	1	89
Temperatura media grados C.	10.4	12.1	15.1	15.8	16.2	15.7	15.3	14.7	14.7	13.8	11.3	11.7	13.9
Radio de eficiencia térmica	4.7	5.4	6.8	7.1	7.3	7.1	6.9	6.6	6.6	6.2	5.1	5.3	75.1
Número de días con helada	19	10	2	1	1	1	0	1	1	3	16	18	70
Evaporación en mm. (calculada)	17.4	17.1	18.7	15.4	15.1	14.2	14.1	14.4	13.1	14.1	14.9	19.0	187.5

PUEBLA, PUE.,—ALTITUD 2150 m.—LATITUD 19° 04' N.

	Ene.	Feb.	Marzo.	Ab.	Mayo.	Jun.	Jul.	Ags.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Año.
Precipitación en mm.	5.5	6.0	11.9	13.1	72.6	157.6	137.2	121.5	186.8	56.9	21.0	8.8	798.9
Radio de eficiencia de precipitación	0.30	0.31	0.61	0.64	4.08	10.34	9.08	7.86	13.00	3.58	1.15	0.50	51.45
Número de días con lluvia mayor de 0.1 mm	1	1	2	4	11	19	20	19	22	9	4	1	113
Temperatura media grados C.	12.8	14.5	16.8	18.3	18.9	17.9	17.2	17.4	16.8	16.0	14.7	13.6	16.2
Radio eficiencia térmica	5.8	6.5	7.5	8.2	8.5	8.0	7.7	7.8	7.5	7.0	6.6	6.1	87.2
Número de días con helada	9	3	1	1	1	0	0	0	1	2	4	6	25
Evaporación en mm. (calculada)	18.3	19.3	19.5	20.5	17.8	15.2	15.3	15.4	14.4	15.9	18.3	17.6	207.5

cas no ejercieran influencia perturbadora, produciendo anomalías. Calculada la temperatura media según la latitud, asignando a la zona tórrida una temperatura de 26° en el ecuador y 20° en el paralelo 30, se tendrá un descenso a partir del ecuador de 0°2 de temperatura media anual por cada grado de latitud y después del paralelo 30° hasta el paralelo de temperatura media igual a 0°, que tomamos provisionalmente como el paralelo 62°, el descenso de temperatura es 0.62 por grado de latitud.

Siendo la temperatura media de Tlaxcala de 15°7 y la de Apizaco 13°8, corresponden a la teórica de los paralelos 41° y 44° o lo que es lo mismo, las diferencias de temperatura entre la teórica y la real son de 9° 3, y 11°2 por ser 25° la temperatura teórica de los paralelos 19°19 y 19°23, latitudes respectivas de Tlaxcala y Apizaco.

Estas diferencias acusan desde luego la influencia de la altitud sobre el nivel del mar y justifican la distinción de Martonne de clima subtropical de altura.

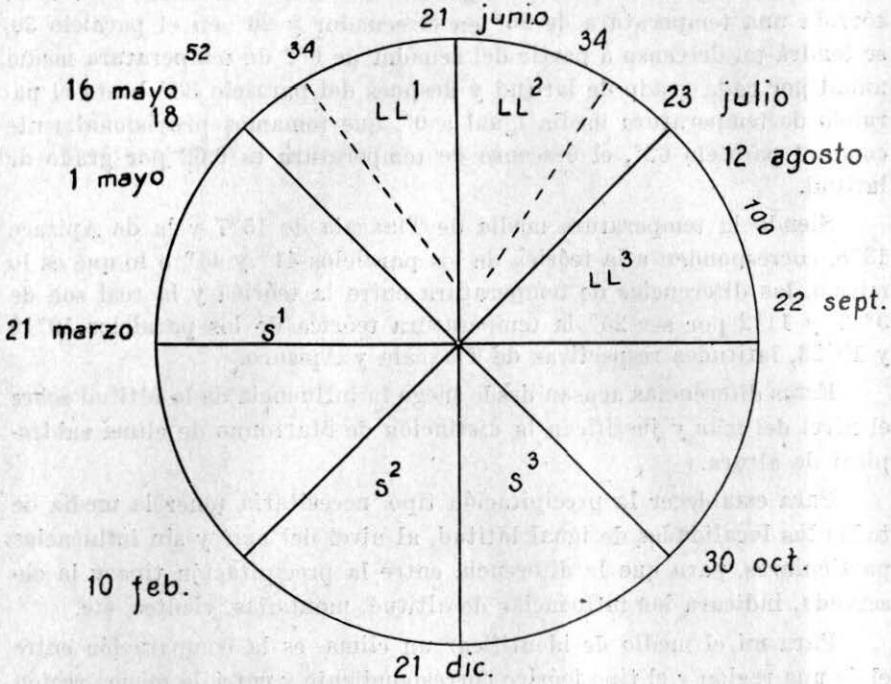
Para establecer la precipitación tipo necesitaría tener la media de todas las localidades de igual latitud, al nivel del mar y sin influencias particulares, para que la diferencia entre la precipitación tipo y la observada, indicara las influencias de altitud, montañas, vientos, etc.

Para mí el medio de identificar un clima es la comparación entre el de una región y el tipo teórico correspondiente y entre la misma región y otra de clima tipo. Necesitando tener un medio adecuado de comparación, formo un esquema en que considero al año dividido en dos, cuatro, seis o más partes, de tal manera que teóricamente cada par debiera ser igual en tiempo y magnitud. Un ejemplo aclarará mis ideas.

La circunferencia representa los 365 días del año, divididos en las cuatro estaciones. La línea vertical es la de los solsticios, la horizontal la de los equinoccios. Las líneas interrumpidas marcan los pasos zenitales. Tenemos los siguientes valores:

		mm.		Grados C.
LL^1 =	Lluvia presolsticial	160.9	Temp. media.	17.5
LL^2 =	Lluvia postsolsticial	231.4	" "	16.8
S^1 =	Sequedad de primavera	28.8	" "	15.9
LL^3 =	Lluvia de verano	276.9	" "	15.9
S^2 =	Sequedad de invierno	8.3	" "	13.6
S^3 =	Sequedad de otoño	10.9	" "	14.1
	Suma	717.2		

Tenemos en Tlaxcala:



d 52 (LL^1)	160.9 / t 17.5	231.4 / t 16.8	(LL^2)	52 d
d 79 (S^1)	28.8 / t 15.9	276.8 / t 15.9	(LL^3)	79 d
d 51 (S^2)	8.3 / t 13.6	10.9 / t 14.1	(S^3)	51 d
s d = 182				s d = 182

d = Número de días correspondientes al sector.

t = Temperatura media del mismo período.

Como los sectores de lluvia están unidos tenemos en fin:

$$d = 183;\ \frac{LL^1 + LL^2 + LL^3}{t} = \frac{669.1}{14.7} = 40.0$$

$$d = 182;\ \frac{S^1 + S^2 + S^3}{t} = \frac{48.0}{t\ 14.5} = 3.3$$

$$40.0 + 3.3 = 43.3$$

Pasaremos ahora a examinar el tipo de clima de Apizaco:

$LL^1 = 227.7, \quad t = 16°0 \qquad S^1 = 34.5, \quad t = 13°3$

$LL^2 = 328.6, \quad t = 15°1 \qquad S^2 = 10.8, \quad t = 11°4$

$LL^3 = 338.6, \quad t = 14°6 \qquad S^3 = 19.5, \quad t = 11°7$

$$d = 52 \quad \frac{(LL^1)}{t} = \frac{227.7}{16°\,0} \qquad \frac{328.6}{15°\,1} = \frac{(LL^2)}{t} \quad 52 = d$$

$$d = 79 \quad \frac{(S^1)}{t} = \frac{34.5}{13°\,3} \qquad \frac{338.6}{14°\,6} = \frac{(LL^3)}{t} \quad 79 = d$$

$$d = 51 \quad \frac{(S^2)}{t} = \frac{10.8}{11°\,4} \qquad \frac{19.5}{11°\,7} = \frac{(S^3)}{t} \quad 51 = d$$

$$d\ 183 \text{ lluvias.} \quad \frac{894}{t\ 15.2} = 58.8$$

$$58.8 + 5.4 = 64.2$$

$$d\ 181 \text{ sequedad.} \quad \frac{64.8}{12.1} = 5.4$$

Puebla nos da los siguientes valores:

$$d = 52 \quad \frac{(LL^1)}{t} = \frac{182.8}{18.4} \qquad \frac{231.7}{17.5} = \frac{(LL^2)}{t} \quad d = 52$$

$$d = 79 \quad \frac{(S^1)}{t} = \frac{29.0}{16.5} \qquad \frac{318.1}{t\ 16.7} = \frac{(LL^3)}{t} \quad d = 79$$

$$d = 51 \quad \frac{(S^2)}{t} = \frac{10.3}{13.6} \qquad \frac{27}{14.1} = \frac{(S^3)}{t} \quad d = 51$$

$$LL^1 + LL^2 + LL^3 = \frac{732.6}{15.5} = 47.2$$

$$47.2 + 4.8 = 52.0$$

$$\frac{S^1 + S^2 + S^3}{t\ 13.7} = \frac{66.3}{13.7} = 4.8$$

Chalchicomula presenta una diferencia interesante con las otras estaciones, como puede verse por los siguientes datos:

$$d = 52 \quad \frac{(LL^1)}{t} = \frac{198.3}{15.9} \qquad \frac{209.6}{15.2} = \frac{(LL^2)}{t} \quad 52 = d$$

$$\frac{d\ 30\ (LL^3)}{t} = \frac{66.8}{15.8} \qquad \frac{130.7}{14.7} = \frac{(LL^4)\ 30\ d}{t}$$

$$\frac{d\ 18\ (S^1)}{t} = \frac{6.7}{15.1} \qquad \frac{123.5}{14.7} = \frac{(LL^5)\ 18\ d}{t}$$

$$\frac{d\ 30\ (S^2)}{t} = \frac{7.8}{13.6} \qquad \frac{79.8}{13.8} = \frac{(LL^6)\ 30\ d}{t}$$

$$\frac{d\ 52\ (S^3)}{t} = \frac{12.7}{12.7} \qquad \frac{25.2}{11.5} = \frac{(S^4)\ 52\ d}{t}$$

212 d. lluvias $\frac{808.7}{15.2} = 53.2$

$53.2 + 4.1 = 57.3$

152 d. sequedad $\frac{53.9}{13.2} = 4.1$

Los datos expuestos enseñan que la localidad más lluviosa es Apizaco 64.2, y que le siguen Chalchicomula 57.3, Puebla 52 y al último Tlaxcala 43.3. Puede verse cómo son muy semejantes estos valores con los índices de precipitación de Thornthwaite, que son respectivamente 67.8, 60.3, 51.4 y 47.2.

Fundándome en estos índices que corresponden a los de Lang, adopto las siguientes denominaciones:

0 — 5	Lluvia nula.	Provincia árida (1).
5 — 10	Lluvia casi nula.	„ „
10 — 15	Lluvia insignificante.	„ „
15 — 20	Lluvia muy escasa.	Provincia semiárida (1).
20 — 25	Lluvia bastante escasa.	„ „
25 — 30	Lluvia escasa.	„ „
30 — 35	Lluvia mediana de 7ª	Provincia subhúmeda (1).
35 — 40	Lluvia mediana de 6ª	„ „
40 — 45	Lluvia mediana de 5ª	„ „

(1) Divisiones propuestas por otros autores y Thornthwaite.

45 — 50	Lluvia mediana de 4ª	Provincia Subhúmeda (1).
50 — 55	Lluvia mediana de 3ª	„ „
55 — 60	Lluvia mediana de 2ª	„ „
60 — 65	Lluvia mediana de 1ª	„ „
65 — 70	Lluvia abundante de 13ª	Provincia húmeda (1).
70 — 75	Lluvia abundante de 12ª	„ „
75 — 80	Lluvia abundante de 11ª	„ „
80 — 85	Lluvia abundante de 10ª	„ „
85 — 90	Lluvia abundante de 9ª	„ „
90 — 95	Lluvia abundante de 8ª	„ „
95 — 100	Lluvia abundante de 7ª	„ „
100 — 105	Lluvia abundante de 6ª	„ „
105 — 110	Lluvia abundante de 5ª	„ „
110 — 115	Lluvia abundante de 4ª	„ „
115 — 120	Lluvia abundante de 3ª	„ „
120 — 125	Lluvia abundante de 2ª	„ „
125 — 130	Lluvia abundante de 1ª	„ „
130 en adelante.	Lluvias excesivas.	Provincia mojada (1).

En cuanto a la temperatura media anual adopto las siguientes denominaciones:

Menos de 0	Helado.	Helado (1).
0 — 2	Frío helado.	Tundra (1).
2 — 4	Extremadamente frío.	„
4 — 6	Muy frío.	Taiga (1).
6 — 8	Bastante frío.	„
8 — 10	Frío.	Microtermal (2).
10 — 12	Fresco frío.	„
12 — 14	Fresco.	„
14 — 16	Semitibio. a	Mesotermal (2).
16 — 18	Tibio. b	„
18 — 20	Tibio caliente. c	„
20 — 22	Caliente moderado. a	„

(1) Según otros autores y Thornthwaite.
(2) Según otros autores.

22 — 24	Caliente medio. b	Mesotermal (1).
24 — 26	Caliente franco. c	„
26 — 28	Caliente continental. d	„
28 — 30	Caliente sofocante.	Tropical (1).
más de 30°	Caliente extremo.	„

Un clima estará expresado por su precipitación, su temperatura y la magnitud y relación de los sectores que pueden considerarse respecto a esos dos factores. Cuando a un sector del lado de la línea solsticial se opone otro con idénticos valores de precipitación y temperatura, los llamo simétricos y cuando hay diferencias fuertes los llamo opuestos. El clima de Tlaxcala por ejemplo es de 2 sectores simétricos de lluvia y dos opuestos. El clima de Chalchicomula es de 4 sectores simétricos de lluvia y uno opuesto.

Al identificarse un tipo de clima, habrá algunos semejantes que ofrecerán variedades, que indico por su posición respecto a los límites que corresponden a los tipos, llamándolos de variedad ascendente o decreciente.

A los climas de sectores simétricos los llamo regulares o simétricos, a los de un par de sectores opuestos, irregulares, monopares; a los de dos pares de sectores opuestos, irregulares bipares, etc. Todos los climas considerados, con excepción del correspondiente a Chalchicomula, son irregulares monopares; el de esta localidad es irregular bipar.

De acuerdo con las denominaciones indicadas, los climas estudiados son:

1. Lluvias medianas de 4ª categoría, temperatura tibia fresca: Tlaxcala.
2. Lluvias medianas de 3ª categoría, temperatura tibia: Puebla.
3. Lluvias medianas de 2ª cotegoría, temperatura fresca: Chalchicomula.
4. Lluvias medianas de 1ª categoría, temperatura fresca: Apizaco.

A estos climas los denominaré tipo mexicano, subtipo Tlaxcala, Puebla, etc.

Con el objeto de tener el tipo fundamental del clima mexicano, estudiaré el de la Ciudad de México. Los datos del Servicio Meteorológico Mexicano son los que figuran en la tabla II.

TABLA II

	Ene.	Feb	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ags.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
Precipitación en mm.....	5.3	6.0	8.8	13.0	51.5	104.3	125.3	103.6	117.1	34.6	13.8	6.3	589.6
Temperatura media.....	12.3	13.9	16.0	17.7	18.3	17.6	16.7	16.7	16.2	15.0	13.7	12.4	15.5

Datos que agruparé en la forma explicada:

d 52 (LL¹) $\frac{131.1}{17.9}$ $\frac{190.2}{17}$ (LL²) 52 d

d 79 (S¹) $\frac{25.7}{12.5}$ $\frac{215.1}{15.9}$ (LL³) 79 d

d 51 (S²) $\frac{9.4}{12.8}$ $\frac{18.1}{12.5}$ (S³) 51 d

d 183 lluvias $\frac{536.4}{16.7} = 32.1$

d 181 sequedad $\frac{53.2}{15.1} = 3.5$ $32.1 + 3.5 = 35.6$

Ciudad de México (Escuela de Ingenieros), altitud 2,250 m. Latitud 19°26′. N.

Resultando ser un clima tibio fresco de lluvias medianas de 7ª semejante al de Tlaxcala, pero más seco.

Para utilizar convenientemente los datos de precipitación, he tomado en cuenta muy numerosos cocientes de $\frac{P}{E}$ (1) y el porciento de los días de lluvia en cada mes. Tomando como abscisas los porcentajes de los días de lluvia y como ordenadas los factores necesarios para obtener el porcentaje de la precipitación efectiva p. respecto de la observada P. La unión de los puntos trazados me da una cuerva por medio de la cual obtengo las correcciones. La diferencia de P — p, es igual a la evaporación.

Trataré de aplicar estas fórmulas en los casos de las estaciones pluviométricas de Tlaxco, Guadalupe, Soltepec, Teolocholco y Panzacola, del Estado de Tlaxcala, en donde no se practicaron observaciones termométricas. Los datos publicados por el Servicio Meteorológico Mexicano son los siguientes, que acompaño con datos obtenidos por el cálculo: Véase la tabla III.

Para tener una idea lo más aproximada posible de la temperatura media de estas localidades he calculado el aumento correspondiente al descenso y la disminución que corresponde al incremento de altitud por metro y me resulta de 0.0055 en la Altiplanicie Mexicana, con variaciones locales de 0.003 como mínimo a 0.011 como máximo. En el Estado de Tlaxcala hay influencias particulares que modifican la temperatura de algunas localidades. Estas influencias son apreciables en Apizaco y los alrededores de La Malintzi.

Como es casi seguro que en la planicie de Tocha y Tlaxco no se experimenten esas influencias, he calculado la temperatura de Soltepec, Guadalupe y Tlaxco con el descenso normal, tomando como base la temperatura de Puebla, que aparece en mis cálculos como sin influencia particular, y me resultan de 14°1, 14°2 y 13°8. En el Estado de Tlaxcala el descenso normal es de 0.0059 (2). La temperatura de Teolocholco y la de Panzacola me resultan de 15°9 y 16° respectivamente.

El clima de Tlaxco resulta, según mis anotaciones, fresco, de lluvias medianas de 5ª categoría. Los de Guadalupe, Teolocholco, Panzacola y Soltepec, de clima tibio fresco, de lluvias medianas de 7ª, 4ª y 4ª, teniendo Soltepec lluvias insignificantes. Soltepec y Guadalupe representan

(1) De la fórmula de Thornthwaite.

(2) El promedio mundial es de 0.006 según S. Petterssen. Introduction to Meteorology. McGraw Hill Book Company, New York, 1941.

TABLA III

TLAXCO.—ALTITUD 2563 m. —LATITUD 19°37'

	Ene.	Feb.	Marzo.	Ab.	Mayo.	Jun.	Jul.	Ags.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Año.
Precipitación en mm	1.6	7.3	13.3	20.5	70.6	102.3	110.5	119.0	117.6	48.0	9.7	8.6	633.0
Radio de eficiencia de precipitación	1.3	1.7	1.7	2.2	5.0	6.7	5.6	4.9	6.7	3.0	1.4	1.2	41.4
Número de días con lluvia	2	3	4	6	11	14	18	16	15	8	3	1	101
Evaporación (calculada)	4.2	4.3	7.2	8.2	12.6	14.3	13.5	14.4	14.7	14.5	5.7	7.3	120.9
Precipitación efectiva	1.4	3.0	6.1	12.3	58.0	88.0	97.0	104.6	102.9	33.5	4.0	1.3	512.1

GUADALUPE.—ALTITUD 2479 m.—LATITUD 19°32' N.

	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	Mayo	Jun.	Jul.	Ags.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Año.
Precipitación en mm	5.8	5.1	18.9	18.9	62.6	113.1	143.2	142.9	127.7	34.3	9.4	3.5	685.4
Radio de eficiencia de precipitación	1.2	1.0	1.3	1.3	2.5	3.3	5.8	5.7	4.0	2.0	1.2	1.0	30.3
Número de días con lluvia mayor de 0.1 mm	1	1	2	2	6	8	12	1.2	9	5	1	1	58
Evaporación en mm. (calculada)	5.0	5.1	13.9	13.9	75.0	34.5	24.6	24.9	32.2	16.6	8.0	3.5	207.2
Precipitación efectiva (calculada)	0.8	—	5.0	5.0	37.6	78.6	118.6	118.0	95.5	17.7	1.4	—	478.2

SOLTEPEC, ALTITUD 2508 m.—LATITUD 19°37' N.

	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ags.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Año
Precipitación en mm	inap.	inap.	inap.	4.0	32.8	89.3	94.4	85.1	66.3	96.1	11.8	inap.	479.8
Radio de eficiencia de la precipitación	—	—	—	1.0	1.4	1.7	2.9	2.1	2.1	1.4	1.1	—	13.7
Número de días con lluvia mayor de 0.1 mm	0	0	0	1	2	4	7	5	5	2	1	0	26
Evaporación en mm. (calculada)	—	—	—	4.0	24.1	51.9	32.9	41.2	32.1	70.5	10.2	—	266.9
Precipitación efectiva (calculada)	—	—	—	—	8.7	37.4	61.5	43.9	34.2	25.6	1.6	—	212.9

TABLA III

TEOLOCHOLCO.—ALTITUD 2210.—LATITUD 19°14' N.

	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ags.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Año
Precipitación en mm	8.2	2.2	5.2	18.9	92.7	128.7	128.7	167.9	154.1	61.0	16.4	7.4	845.4
Radio de eficiencia de la precipitación	1.2	1.0	1.0	1.6	4.4	5.9	8.4	9.9	8.1	4.4	1.6	1.2	48.7
Número de días con lluvia mayor de 0.1	1	1	1	3	10	15	22	20	17	10	3	1	102
Evaporación (calculada)	7.0	2.2	5.2	11.8	21.2	16.0	21.7	16.9	19.1	14.0	10.3	6.3	151.7
Precipitación efectiva (calculada)	1.2	—	—	7.1	71.5	112.7	161.0	151.0	135.0	47.0	6.1	1.1	693.7

PANZACOLA.—ALTITUD 2192 m.—LATITUD 19°09' N.

	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ags.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Año
Precipitación en mm	10.8	3.2	4.3	5.0	133.5	157.4	183.3	138.4	198.8	85.6	19.3	12.8	952.4
Radio de eficiencia de la precipitación	1.2	1.0	1.2	1.6	4.0	7.3	8.6	7.4	8.3	2.9	1.4	1.2	46.1
Número de días con lluvia mayor de 0.1 mm	1	1	1	3	9	14	18	14	17	7	2	1	85
Evaporación (calculada)	9.2	3.2	3.7	3.1	33.5	21.7	21.3	18.7	24.0	30.0	14.2	10.9	193.5
Precipitación efectiva (calculada)	1.6	—	0.6	1.9	100.0	135.7	162.0	119.7	174.8	55.6	5.1	1.9	758.9

la variedad descendente del tipo tibio fresco, mientras que Teolocholco y Panzacola representan la ascendente.

Con el fin de formar una carta de climas del Estado de Tlaxcala, utilizaré los datos meteorológicos de algunas localidades fuera del Estado, cuyo clima corresponde a zonas colindantes del mismo. Los datos aparecen en la tabla IV.

Quisiera yo formar un cuadro de gradiente de precipitación respecto a la altitud, tomando en cuenta la precipitación normal de localidades con distintas altitudes; pero las influencias locales intervienen de una manera tan decisiva que obtendría yo cifras muy lejanas a las reales. Tendré que tomar en cuenta las zonas anticiclonales que se perfilan en las planicies de Tocha, Tlaxco y Huamantla, y las zonas de abundante precipitación de las Sierras Nevada y Tlaxco y el volcán de La Malintzi.

Para calcular el incremento de precipitación con la altitud, escogí dos zonas en las que hay transición gradual de precipitación o sean una zona en la Sierra Nevada entre la cumbre y Nanacamilpa, y otra zona en La Malintzi, entre la cima y Apizaco, obteniendo un incremento en el primer caso de 24 mm. por cada 100 m. de altura y en el segundo de 28 milímetros. A partir de la altitud de 2,400 m. he tomado un incremento de 25 mm. por cada 100 m. de altitud.

Como resultado de los cálculos verificados, he logrado determinar la precipitación en zonas donde no hay datos de observación directa, teniendo en cuenta las influencias reveladas en las localidades que cuentan con estaciones meteorológicas, y así he formado la carta climatológica de Tlaxcala, compuesta de las siguientes zonas, a las que denomino utilizando el nombre de la localidad que he considerado idónea:

1.—Fresco de lluvias abundantes de 1ª tipo mexicano, subtipo Sierra Nevada.

2.—Fresco de lluvias abundantes de 11º, subtipo Nanacamilpa.

3.—Fresco de lluvias abundantes de 12º, subtipo Huamantla.

4.—Fresco de lluvias abundantes de 13º, subtipo Apizaco.

5.—Fresco de lluvias medianas de 4º, subtipo Santórum.

6.—Fresco de lluvias medianas de 5º, subtipo Tlaxco.

7.—Tibio fresco de lluvias medianas de 4º, subtipo Tlaxcala.

8.—Tibio fresco de lluvias medianas de 7º, subtipo Atlangatepec.

9.—Tibio fresco de lluvias insignificantes, subtipo Soltepec.

10.—Tibio de lluvias medianas de 4º, subtipo Puebla.

TABLA IV

APAN, HGO.—ALTITUD 2496 m.—LATITUD 19°43' N.—TEMP. MEDIA ANUAL 14°2'

	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ags.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Año
Precipitación en mm	5.5	17.8	20.9	24.9	99.2	139.8	112.2	133.8	105.1	46.9	22.3	18.4	746.8
Radio de eficiencia de precipitación	1.1	1.4	1.6	1.7	4.4	5.9	7.9	5.8	5.2	1.7	1.4	1.2	39.3
Número de días con lluvia mayor de 0.1 mm	1	2	3	4	10	12	15	12	11	4	2	1	77
Evaporación en mm. (calculada)	4.7	13.1	13.1	14.4	22.7	23.8	14.2	23.0	20.1	27.1	16.3	15.7	208.4
Precipitación efectiva (calculada)	0.8	4.7	7.8	10.5	76.5	16.0	98.0	110.8	85.0	19.6	6.0	2.7	538.4

TEXMELUCAN, PUE.—ALTITUD 2278 m.—LATITUD 19°17' N.—TEMP. MEDIA ANUAL 15°5

	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ags.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Año
Precipitación en mm	4.2	12.0	7.2	14.5	88.0	119.2	156.1	132.9	124.3	51.5	19.6	6.2	735.7
Radio de eficiencia de precipitación	1.2	1.2	1.2	1.7	5.2	8.4	8.2	8.9	8.3	3.3	1.6	1.2	50.4
Número de días con lluvia mayor de 0.1 mm	1	1	1	4	11	16	17	19	17	8	3	1	98
Evaporación en mm. (calculada)	3.6	10.2	6.1	8.4	17.0	14.2	19.1	14.9	15.0	15.5	12.3	5.3	141.6
Precipitación efectiva (calculada)	0.6	1.8	1.1	6.1	71.0	105.0	137.0	118.0	109.3	36.0	7.3	0.9	594.1

HUEJOTZINGO, PUE.—ALTITUD 2201 m.—LATITUD 19°09 N.—TEMP. MEDIA ANUAL 15°9.

	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ags.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Año
Precipitación en mm	2.7	4.4	4.1	18.3	71.6	159.9	196.7	143.0	152.1	66.4	15.0	3.3	837.5
Radio de eficiencia de precipitación	1.2	1.0	1.4	1.7	4.5	8.2	8.3	8.9	8.5	4.4	1.7	1.1	50.9
Número de días con lluvia mayor de 0.1 mm	1	1	2	4	10	17	22	19	18	10	4	2	110
Evaporación en mm. (calculada)	2.3	3.8	3.0	10.6	16.0	19.4	23.6	16.0	18.0	15.1	8.7	2.9	139.4
Precipitación efectiva (calculada)	0.4	0.6	1.1	7.7	55.6	140.5	173.1	127.0	134.1	51.3	6.3	0.4	698.1

Del estudio de la carta climatológica de Tlaxcala se desprende que la precipitación anual es la siguiente:

ZONAS	Precipitación en mm.	Superficie en K²	Gasto hidráulico m³. por seg.	Gasto hidráulico lts. p. seg. y K².
1. Subtipo Sierra Nevada	1,400.0	310.5	13.800	44.4
2. Subtipo Nanacamilpa	1,100.0	614.9	21.450	34.9
3. Subtipo Huamantla	1,000.0	169.5	5.380	31.8
4. Subtipo Apizaco	959.2	256.8	7.770	30.2
5. Subtipo Puebla	818.4	139.3	3.620	26.0
6. Subtipo Tlaxcala	812.6	490.3	12.700	25.8
7. Subtipo Atlangatepec	685.4	229.5	4.980	21.8
8. Subtipo Tlaxco	633.0	981.4	19.700	20.1
9. Subtipo Santórum	600.0	404.6	7.700	19.1
10. Subtipo Soltepec	479.8	430.2	6.560	15.3
SUMAS		4,027.0	103.660	25.4

Suelos.—Carecemos de un buen estudio agrogeológico del Estado; pero de una manera general puedo decir que, respecto a los suelos, tenemos como laborables los correspondientes a las planicies que representan el 21.3% de la superficie total, donde existen las mejores tierras del Estado; que la superficie de las lomas igual al 62.3% puede considerarse como de suelos pobres, delgados, de tipo residual y coluvial, y en una proporción no menor del 40% de la misma, de suelos desnudos arcillosos; y que en las montañas los suelos también coluviales y residuales son gruesos y sostienen una rica vegetación, principalmente de coníferas, ocupando el 16.4% de la superficie total, si bien dentro de esta zona existe un pequeño porcentaje de rocas desnudas.

Si atendemos a las ideas de los agrólogos de que generalmente a los tipos de clima corresponden determinados tipos de suelos y según las correlaciones generalmente aceptadas, tendríamos los siguientes tipos de suelos.

Podsoles y suelos cafés forestales, en las zonas de clima de subtipos que he denominado: Sierra Nevada, Nanacamilpa, Huamantla y Apizaco.

Suelos de pradera en las zonas de clima, Santórum, Tlaxcala y Puebla.

Suelos negros (Chernozem) en las zonas de clima, Tlaxco y Atlangatepec.

Suelos gris y rojizo en la zona de clima subtipo Soltepec y, por último, suelos salitrosos (Solonchak) y tequesquitosos (Solonetz) en algunas zonas de las planicies de Oriental y Panotla.

Desgraciadamente no puedo comprobar la correspondencia entre el clima y los suelos en el Estado, por carecer de los estudios necesarios.

Agua subterránea.—Tomando en consideración la naturaleza de la superficie del terreno, su pendiente y la constitución geológica del subsuelo, he formado el cuadro que sigue para valorizar la infiltración:

Zonas	Precipitación en mm.	Superficie en K²	Coeficiente de infiltración %	Agua subterránea lts. p. seg.	Gasto hidráulico lts. p. seg. y K².	Porcentaje en la producción total
1. Clima Sierra Nevada....	1,400.0	310.5	30	4.139	13.3	16.8
3. Clima Nanacamilpa.....	1,100.0	614.9	30	6.425	10.5	26.2
2. Clima Huamantla.....	1,000.0	169.5	25	1.344	7.9	5.8
4. Clima Apizaco.....	959.2	256.8	15			
5. Clima Puebla.....	818.4	139.3	30	1.084	7.8	4.3
6. Clima Tlaxcala.....	812.6	490.3	25	3.158	6.4	12.5
7. Clima Atlangatepec.....	685.4	229.5	15	731	3.3	2.8
8. Clima Tlaxco.....	633.0	981.4	15	3.940	4.0	15.5
9. Clima Santórum.....	600.0	404.6	10	1.924	4.8	7.6
10. Clima Soltepec.....	479.8	430.2	10	654	1.5	2.6
				25.351		100.0

Además de este cuadro he formado la tabla V.

Para adquirir idea de la distribución general del agua en el Estado formé la tabla VI, tomando como unidad el litro por segundo.

Hemos tenido la fortuna de disponer de datos de escurrimiento, pues la Comisión Nacional de Irrigación hizo aforos del Zahuapan, cerca de Panotla y en Xicotzingo, cerca de la confluencia del Atoyac.

En la cuenca del Zahuapan, que ocupa el 41.6% de la superficie del Estado, atendiendo a las zonas bien definidas de montañas cubiertas de bosques, lomas desnudas de flancos escarpados y planicies con terrenos de labor y escasos pastales, el escurrimiento resultó distribuído de la siguiente manera: montañas del 9 al 10.7%; lomas del 70 al 90%; y planicies del 1.5 al 2.5%. Estos datos se hicieron extensivos a las cuencas inmediatas, donde las condiciones topográficas son prácticamente las mismas.

TABLA V

ZONAS	Precipitación en mm.	Superficie en K².	Coeficiente de infiltración %	Agua subterránea lts. p. seg.	Agua subterránea lts. p. seg. y K².	Agua subterránea lts. p. seg. y subcuenca
CUENCA IROLO						
1 montañas	1,400.0	112.05	30	1,494	13.32	
2 lomas	800.0	243.26	10	617	2.55	
3 planicie	480.0	15.61	15	36	2.28	2,147
CUENCA DE TOCHA						
4 montañas	1,400.0	100.58	30	1,335	13.32	
5 lomas	750.0	139.32	10	332	2.38	
6 planicie	480.0	234.08	15	535	2.28	2,246
CUENCA DE TLAXCO						
7 montañas	1,400.0	62.69	30	896		
8 lomas	750.0	221.84	5	264	1.19	
9 planicie	650.0	108.35	18	402	3.71	1,503
CUENCA DE TEXCALAC						
10 montañas	1,400.0	82.21	30	1,096	13.32	
11 lomas	800.0	368.61	5	468	1.27	
12 planicie	650.0	107.50	18	400	3.71	2,013
CUENCA DEL TERRENATE						
13 montañas	1,400.0	52.11	30	693	13.32	
14 lomas	850.0	398.52	5	54		
15 planicies	480.0	107.32	10	163	1.52	1,394
CUENCA DEL ZOAPILA						
16 montañas	1,100.0	59.24	30	620	10.46	
17 lomas	650.0	181.04	5	187	1.03	
18 planicie	480.0	57.46	10	88	1.52	910
CUENCA PROPIA DEL ATOYAC						
19 lomas	700.0	293.52	10	652	2.22	
20 planicies	820.0	84.11	25	546	6.50	1,198
CUENCA DEL ZAHUAPAN N.						
21 lomas	700.0	290.69	5	323	1.11	
22 planicie	700.0	59.03	25	328	5.55	651
CUENCA DEL ZAHUAPAN, S..						
23 montañas	1,400.0	17.89	30	238	13.32	
24 lomas	1,000.0	280.15	10	895	3.18	
25 planicie	700.0	77.32	25	425	5.55	1,558
		50		13.090		13.620

Manantiales.—Los datos obtenidos sobre los manantiales del Estado aparecen en la tabla VII.

Los rumbos y las distancias se refieren a la cabecera municipal que se indica. La producción total de los manantiales visitados es de 521 litros por segundo: pero estimo, tomando en cuenta el agua permanente

TABLA VI

ZONAS	Precipitación lts. p. seg.	Coeficiente de infiltración %	Agua subterránea lts. p. seg.	Coeficiente de evaporación. %	Agua evaporada lts. p. seg.	Coeficiente de escurrimiento %	Escurrimiento lts. seg.	Coeficiente de pérdidas %	Pérdidas agua consumida por las plantas lts. p. seg.
1	4 980	30	1 494	40	1 982	10	498	20	1 006
2	6 170	10	617	45	2 778	30	1 850	15	925
3	240	15	36	50	120	2	5	33	79
4	4 460	30	1 335	40	1 786	10	446	21	893
5	3 320	10	332	45	1 494	30	996	15	498
6	3 570	15	535	50	1 785	2	71	33	1 179
7	2 990	30	896	40	1 197	9	270	21	627
8	5 280	5	264	54	2 850	31	1 635	10	528
9	2 230	18	402	50	1 115	2	54	30	659
10	3 655	30	1 096	40	1 464	10	350	20	745
11	2 350	5	468	51	4 764	29	2 718	15	1 400
12	2 220	18	400	50	1 110	2	54	30	656
13	2 310	30	693	40	924	10	231	20	462
14	1 079	5	54	50	538	30	325	15	162
15	1 630	10	163	58	945	2	33	30	489
16	2 065	30	620	40	827	10	206	20	412
17	3 740	5	187	50	1 870	30	1 122	15	561
18	875	10	88	58	508	2	17	30	262
19	6 520	10	652	45	2 940	30	1 952	15	976
20	2 185	25	546	43	940	2	44	30	655
21	6 460	5	323	50	3 230	30	1 939	15	968
22	1 313	25	328	43	564	2	26	30	395
23	794	30	238	40	319	10	79	20	158
24	8 950	10	895	45	4 032	30	2 682	15	1 341
25	1 698	25	425	43	730	2	34	30	509
	88 084		13 090						

de los arroyuelos de las Sierras Nevada y Tlaxco, así como del volcán de La Malintzi, que la producción de los manantiales del Estado es de unos 1,000 l/ps., sin tomar en cuenta el agua que emerge en muy numerosos y pequeños manantiales que se encuentran a lo largo de los cursos principales, donde tienen aguas permanentes, que serán después tomadas en consideración.

Los manantiales de la Sierra Nevada son "de base", con excepción de los números 1 a 3 que son "de superficie".

Los manantiales del lomerío Tlatzalan son, en su mayoría, "de base", como los números 9 a 12; son "epiartesianos" hipotermales (menos de 30° C. de temperatura) los números 7, 8 y 13 a 16.

En la sierra de Tlaxco se encuentran manantiales de aguas epifreáticas, solamente el manantial de Almonamique número 19, es de aguas hipotermales y tipo "epiartesiano".

TABLA VII - MANANTIALES

SIERRA NEVADA

NOMBRE	Altura en m.	Temp. agua grados C.	Temp. media anual Localidad	Litros por segundo	Distancia K	Rumbo	Cabecera Municipal
1 Venta de Ordaz	2760	13°		1.0	6.0	S 66°W	Cuaula.
2 Tecama	2988	11°2		1.0	12.2	S 84°W	Nanacamilpa.
3 Pértico	2832	12°5		0.05	10.8	S 75°W	Nanacamilpa.
4 Agua Escondida	2890	12°		5.0	9.8	S 69°W	Nanacamilpa.
5 Atzompilla	2810	12°2		1.5	8.3	S 60°W	Nanacamilpa.
6 Atzompa	2815	12°2		160.0	8.4	S 51°W	Nanacamilpa.
LOMERIO DE TLATZALAN							
7 Agua Santa	2620	17°	13°4	10.0	9.8	S 44°E	Calpulalpan.
8 Tepepatlaco	2620	17°	13°5	2.0	1.8	N30°E	Santórum.
9 Españita	2595	16°	13°8	1.0	0.8	N64°E	Españita.
10 La Poza	2581	14°	13°7	0.05	4.6	S 46°W	Españita.
11 Agua Escondida	2578	14°	13°7	3.0	5.7	S 14°E	Españita.
12 Tres Palos	2603	17°	13°5	0.03	2.3	S 25°E	Xipetzingo.
13 Agua Santa	2346	24°8	15°1	18.0	13.2	N53°W	Ixtacuixtla.
14 Cal y Canto	2334	24°8	15°1	12.0	12.6	N55°W	Ixtacuixtla.
15 El Ameyal	2332	24°8	15°1	8.0	12.0	N58°W	Ixtacuixtla.
16 Atotonilco	2303	22°8	15°3	10.0	11.0	N59°W	Ixtacuixtla.
SIERRA DE TLAXCO							
17 Acopinalco	2606	15°5	13°5	3.0	5.0	N53°W	Tlaxco.
18 Tiopa	2870	14°0	12°	5.0	33.0	S 18°W	Chignahuapan, Pue.
19 Almonamique	2603	18°5	13°5	2.0	4.5	S 51°E	Tlaxco.
20 Caja de Agua	2760	15°0	12°6	1.0	2.8	N30°E	Terrenate.
21 Alzayanca	2573	14°0	13°8	1.0	0.3	E	Alzayanca.
PLANICIE DE TLAXCO							
22 Ozumba	2484	15°	14°2	1.0	5.0	N33°E	Atlangatepec.
23 Aticpan	2424	18°5	14°1	25.0	3.3	N14°W	Apizaco.
PLANICIE DE TEXCALAC							
24 Atotonilco	2424	18°5	14°1	140.0 410.63	0.2	S 25°W	Tetla.
PLANICIE DE ORIENTAL							
25 Totolcingo Núm. 1	2344	26°	15°1	4.5	2.0	S 82°W	Tequixquitla.
26 Totolcingo Núm. 2	2344	24°	15°1	6.5	2.0	S 82°W	Tequixquitla.
27 Totolcingo Núm. 3	2344	23°	15°1	45.0	2.1	S 82°W	Tequixquitla.
PLANICIE DE PANOTLA							
28 Sta. Cruz del Porvenir	2227	33°5	15°5	10.0	2.0	S 68°E	Ixtacuixtla.
29 La Presa	2200	19°0	16°	40.0	2.8	N42°W	Zacatelco.
VOLCAN DE LA MALINTZI							
30 San Miguel	3185	9°		0.05	9.5	S 51°W	Huamantla.
31 La Cueva	3200	9°		0.1	9.6	S 51°W	,,
32 San José	3195	9°		0.05	9.3	S 45°W	,,
33 Mexac	330	8°5		0.5	10.7	S 44°W	,,
34 Quimiplates	3190	10°5		0.6	9.3	S 44°W	,,
LOMERIO DE TLAXCALA							
35 Tlaxcala	2275	17°0	15°7	0.1	0.4	S 40°E	Tlaxcala.
36 Acuitlapilco	2270	17°0	15°7	3.0	4.3	S 23°E	Tlaxcala.

TABLA VIII - POZOS

LOMERIO DE TLATZALAN

LOCALIDAD O NOMBRE	Altura en m.	Temp. agua grados C.	Profundidad al nivel del agua	Profundidad total m.	Distancia K.	Rumbo	Acuífero	Cabecera Municipal
1 Techalote.....	2520	—	64.0	87.0	7.6	N 3°W	Freático.	Hueyotlipan.
2 Estación.....	2734	—	55.0	65.0	2.0	S 16°W	Ascend.	Nanacamilpa.
3 Ejido de Omiltepec	2574	17°	0.5	4.0	4.5	N60°W	Epifreat.	Hueyotlipan.
4 El Ameyal.....	2586	17°	1.0	2.0	0.9	E	Epifreat.	Hueyotlipan.
5 Ignacio Carrillo...	2565	18°	59.7	59.75	0.1	S 20°W	Epifreat.	Hueyotlipan.

PLANICIE DE TLAXCO

6 Guadalupe.....	2479	—	20.0	25.0	12.0	N26°W	Freát.	Xaltocan.
7 Guadalupe.....	2479	—	30.0	190.0	12.0	N26°W	Subart.	Xaltocan.
8 Est. San Luis.....	2488	16°5	21.8	26.6	4.0	N60°E	Freát.	Atlangatepec.

SIERRA DE TLAXCO

9 Zotoluca.....	2572	—	190.0	196.0	11.3	S 21°E	Ascend.	Tlaxco.
10 Laguna.....	2440	17°0	3.0	5.0	9.8	N78°W	Freát.	Terrenate.
11 Est. Pavón.....	2413	20°0	54.0	205.0	7.7	N52°E	Ascend.	Tetla.
12 La Noria.....	2574	17°0	14.0	28.0	2.0	N88°W	Epifreát.	Terrenate.
13 Baquedano.....	2498	22°5	63.0	64.0	8.0	S 35°W	Freát.	Terrenate.
14 Hda. Cerón.....	2449	23°0	82.0	85.0	11.3	N66°E	Freát.	Huamantla.
15 Cuapiaxtla.....	2444	25°0	96.0	97.5	0.0	—	Freát.	Cuapiaxtla.
16 Cuapiaxtla.....	2448	25°0	102.0	106.0	0.0	—	Freát.	Cuapiaxtla.

PLANICIE DE TEXCALAC

17 Tlacha.....	2438	16°0	3.0	3.5	2.6	N67°W	Freát.	Xalostoc.
18 Tochac.....	2458	16°5	7.8	8.0	1.8	S 84°W	Freát.	Xalostoc.
19 Acocotla.....	2512	16°0	47.0	49.0	2.7	S 10°W	Freát.	Xalostoc.
20 Teomemitla.....	2498	17°5	58.0	61.0	9.0	S 69°W	Freát.	Terrenate.

PLANICIE DE HUAMANTLA

21 Batán.....	2511	20°5	83.2	84.0	5.0	N62°W	Freát.	Huamantla.
22 Notario.....	2450	18°0	42.0?	—	5.4	N36°W	Freát.	Huamantla.
23 Tecoac.....	2442	—	30.0?		7.0	N 8°W	Epifreát.	Huamantla.
24 Est. Tecoac.....	2440		30.0?		5.7	N 3°W	Epifreát.	Huamantla.
25 Est. Huamantla...	2488	20°0	85.0	90.0	1.1	N 7°W	Freát.	Huamantla.
26 San Cristóbal.....	2410	17°	35.0	38.0	4.0	S 85°W	Freát.	Huamantla.
27 San Antonio.....	2413	17°	35.0	38.0	8.2	N74°E	Freát.	Huamantla.

PLANICIE DE ORIENTAL

28 Cuexcotzin.....	2406	—	55.0?	65.0?	8.4	N61°E	Freát.	Cuapiaxtla.
29 El Carmen.....	2347	15°	2.0	2.5	2.0	S 73°E	Freát.	Tequisquitla.

PLANICIE DE PANOTLA

30 Tepetitla.....	2210	—	3.0	5.0	0.0	—	Epifreát.	Tepetitla.
31 Nopalucan.....	2220	19°	13.5	14.0	6.2	S 58°E	Freát.	Ixtacuixtla.
32 Hotel Tlaxcala....	2240	19°	7.9	15.5	0.0	—	Subart.	Tlaxcala.
33 Tlaxcala.....	2237	16°	2.0	5.0	0.0	—	Epifreát.	Tlaxcala.
34 Atlapa.....	2289	17°	14.6	15.1	4.0	S 27°E	Epifreát.	Tlaxcala.

En la planicie de Tlaxco, el manantial Actipan es también epiartesiano de aguas hipotermales, mientras que el Ozumba es "de superficie". En la planicie de Texcalac el manantial Atotonilco es idéntico al de Aticpan.

Los manantiales de Totolcingo son "artesianos" de aguas hipotermales. El de Santa Cruz del Porvenir es también "artesiano", pero de aguas mesotermales (entre 30° y 50°).

En La Malintzi sólo existen manantiales alimentados por aguas epifreáticas, algunos son de "descarga". Por último, en el lomerío Tlatzalan, el manantial 35 es "de base" mientras que el 36 es "de superficie".

Pozos.—La tabla VIII contiene los datos recogidos.

Todos los pozos anotados son comunes o excavados, con excepción de los números 1, 2, 6, 7, 9, 11, 25 y 32 que son entubados y cuentan con instalaciones importantes de bombeo, por la profundidad de los pozos, pero de poca capacidad, de 4 a 10 litros por segundo, que no obstante dan un promedio de extracción entre 1.3 y 2.2 l/ps.

CONDICIONES DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

Circulación.—Las aguas que se infiltran en las sierras constituídas por andesitas, penetran en los suelos residuales forestales, alimentando acuíferos epifreáticos de escasa significación generalmente, y con un descenso migratorio, siguen su camino por la formación sedimentaria en contacto con los límites de los macizos andesíticos. Esta parte alta de las sierras recibe un contingente de unos 6,400 l/ps. (1) equivalente al 46.7% del total de aguas subterráneas, de los que se distribuyen en horizontes altos, más o menos un 10% del mismo.

Las aguas que se infiltran en las lomas del pie de las sierras, representan el 31.5% del caudal de aguas subterráneas, o sean unos 4,300 l/ps. siendo la superficie ocupada por las lomas igual al 62.3% de la total. La infiltración es normal migratoria, distribuyéndose en los horizontes superiores un 10.0% del caudal acuífero antes indicado.

La infiltración en la superficie de las planicies es principalmente normal, pudiéndose admitir que las aguas distribuídas en los horizontes superiores alcanzan el 10% del caudal acuífero correspondiente, o

(1) Adopto esta abreviación de litros por segundo, por ser una expresión que uso mucho y que resulta conveniente simplificar.

sean unos 300 l/ps. Respecto al total de las aguas subterráneas, la infiltración directa en las planicies representa el 21.8%.

En el subsuelo de las planicies a diversas profundidades y en diferentes condiciones se realiza la circulación del agua subterránea. En la subcuenca Tocha, el agua desciende hacia el NW. dirigiéndose a la cuenca de México. En las subcuencas de Tlaxco y Texcalac se establecen acumulaciones de importancia, que originan aguas poco profundas, en algunos casos sometidas a presión. En las subcuencas Terrenate y Zoapila también se producen acumulacionse de importancia, cuyo nivel, bastante bajo para la mayor parte de las cotas del terreno, imprime a las aguas subterráneas el carácter de profundas. En la planicie de Panotla se generan acumulaciones a niveles relativamente cercanos a la superficie, encontrándose aguas poco profundas y sometidas a presión en diversos horizontes.

Examinando con mayor detalle la circulación del agua subterránea en el Estado, se observa que en las sierras andesíticas la infiltración que se realiza en los suelos forestales penetra después en la misma andesita y forma un sistema venoso en sus leptoclasas que en algunas porciones aflora en la superficie, cuando lo permiten los cortes del terreno, dando lugar a manantiales mucho más caudalosos que los ordinarios en esa clase de formaciones, como el manantial Atzompa, que es el único en su tipo en la región. Generalmente las aguas de las leptoclasas concurren a diaclasas o paraclasas secundarias y descienden a niveles inferiores de saturación.

Es muy probable que dichas aguas penetren a los depósitos sedimentarios del pie de las sierras, de tipo aluvial, cono de deyección y circulando por capas de arenas y gravas desciendan hasta quedar confinadas cuando los estratos permeables están embutidos entre capas impermeables o hasta sumarse a las aguas de saturaciones profundas. He valorizado en unos 5,700 l/ps. el caudal migratorio de estas aguas.

En la superficie de las lomas, constituídas por depósitos piroclásticos y lacustres, dominan las arcillas y los suelos forestales son muy escasos, lo que origina una gran pobreza de recursos acuíferos en los horizontes altos, debiéndose la infiltración a las aguas que fluyen por los cauces donde las arenas, gravas y guijarros la favorecen, realizándose en parte siguiendo los planos estratigráficos, y en parte aprovechando la red superficial de leptoclasas para penetrar a estratos inferiores por los que se suman a las aguas migratorias de las sierras, con un gasto hidráulico que en conjunto excede a 10,000 l/ps. puesto que en la zona de

lomas, además de las aguas directamente infiltradas, que valoricé en 3,857 l/ps. y las migratorias de las sierras, 5,700 l/ps., hay que contar con el agua de escurrimiento de la zona de sierras, que se infiltra en los cauces al atravesar la zona de lomas.

En las planicies es aún de mayor importancia la infiltración correspondiente a las aguas de escurrimiento, puesto que los ríos o arroyos llevan una parte de las aguas fluviales de las zonas de montañas y lomas. Sin embargo, esa aportación no es sensible sino precisamente en zonas limitadas a esos cursos, en las planicies de Huamantla y Oriental, gracias a la cual se establecen saturaciones locales poco profundas.

Las aguas que circulan en el subsuelo de las planicies de Texcalan y Tlaxco, encuentran un obstáculo en la estructura interna de La Malintzi y los contrafuertes de San Bartolo y Quimicho, lo que motiva que el nivel de la saturación ascienda hasta la zona poco profunda (0 a 30 m.) y que porciones de los estratos por donde circula el agua se encuentren sometidos a presión.

En el subsuelo de la planicie de Panotla los estratos permeables quedan embutidos en los impermeables y además la saturación de la zona poco profunda, que es muy importante en esta planicie por la contribución del Zahuapan y el Atoyac, determina la generación de presión en las aguas, dando por resultado una circulación ascensional y migratoria y ascencional latente.

En el lomerío de Tlaxcala, en cuya superficie se encuentran depresiones sin drenaje superficial exterior, ocurren dos casos: el de un subsuelo permeable, que permite la circulación del agua subterránea hacia el exterior de esa depresión, como es el caso en la zona inmediata a Tlaxcala al SE.; y el de un subsuelo impermeable que retiene las aguas superficiales y da contingentes muy escasos o nulos de aguas subterráneas, como es el caso en Acuitlapilco donde se forma la laguna de ese nombre.

En la planicie de Oriental las aguas que circulan en el subsuelo sufren también presión por confinamiento y por la influencia que desempeña el nivel inferior de la superficie de la saturación, que alcanza a toda la planicie, aun en terrenos de Chalchicomula, Pue., donde gobierna la profundidad de los acuíferos.

Acuíferos.—Tenemos tres tipos principales de acuíferos en el Estado: epifreáticos, freáticos y cautivos. Los primeros se localizan principalmente en las sierras, distribuyéndose en los suelos forestales, en los thalwegs correspondientes a las cañadas o a los valles tipo "Kern". Cuando el acuífero alcanza la superficie, se producen manantiales como

los de Venta de Ordaz (1), Tecama (2), Pértico (3) y Tiopa (18) y cuando aflora la capa impermeable, se producen manantiales "de base", como en el manantial Atzompa. Los acuíferos epifreáticos de las lomas se localizan también en los thalwegs correspondientes a las barrancas, dando manantiales "de base" como el de Agua Escondida (11) y el de Alzayanca (21) que es "de superficie" y alimentando pozos, como es el caso con los pozos del ejido de Omiltepec (3) y El Ameyal (4). Los acuíferos epifreáticos de las planicies de Huamantla y Oriental se localizan en una zona más o menos amplia a lo largo de los cursos principales.

Los acuíferos freáticos se localizan en capas de arenas, gravas y aluviones del subsuelo de las planicies. Las observaciones que hicimos permiten trazar con aproximación las curvas de nivel que aparecen en la Carta Hidrobatimétrica.

En las planicies de Tlaxco y Texcalac hay zonas de aguas poco profundas, así como en toda la planicie de Panotla. También existe una pequeña zona de aguas poco profundas en el lomerío de Tlatzala entre Atotonilco y Capulines, y otra pequeña zona en La Malintzi cerca de San Pablo del Monte.

El volumen de las aguas freáticas puede valorizarse en un 70% del total, lo que da un coeficiente medio de acumulación de unos 4 l/ps. por K^2.

Los acuíferos cautivos se encuentran a niveles superiores al de las aguas freáticas y los hay también a niveles inferiores. Los primeros alumbran sus aguas en algunas barrancas del lomerío de Tlatzalan, como en los manantiales de Agua Santa (7), Tepepatlaco (8) y el grupo de Atotonilco (1 3a 16), así como obras de captación como las de Axocopan. Sus aguas son epiartesianas en todas las emergencias referidas, pero quedan en la categoría de ascendentes en la mayor parte del lomerío.

Los acuíferos cautivos situados a niveles inferiores respecto del correspondiente a las aguas freáticas, son relativamente profundos, pero tienen aguas artesianas respecto del nivel del suelo en la planicie de Panotla y de la parte inferior de la planicie de Oriental. Sus aguas son ascendentes en el subsuelo de las planicies de Tlaxco y Texcalac. El manantial de Santa Cruz del Porvenir (28) en la planicie de Panotla y los de Totolcingo (25 a 27) en la planicie de Oriental son los indicadores de los niveles piezométricos de los acuíferos correspondientes.

Calidad del agua.—Los siguientes son los análisis químicos de aguas que se han practicado en los Laboratorios del Instituto:

ANALISIS QUIMICOS DE AGUAS EXPRESADOS EN MILIGRAMOS POR LITRO

	Nº 1	Nº 2	Nº 3	Nº 4	Nº 5	Nº 6	Nº 7
	Mn. Tequesquital Ixtacuixtla	Mn. Sta. Cruz del Porvenir Ixtacuixtla	Mn. Totolcingo Nº 2	Mn. Totolcingo Nº 3	Mn. Totolcingo Nº 1	Santiago Tetla	Pozo en Talpulalpan
Cl	186.9	186.2	26.6	16.8	79.8	2.8	13
SO_4	29.3	39.4	13.8	12.2	38.6	6.7	42
HCO_3	2 679.1	2 961.3	458.6	468.1	855.7	213.9	4 02
Na	571.3	594.3	152.1	130.8	303.8	32.2	20
K	323.7	252.6	9.5	3.9	31.6	4.2	14
Ca	102.0	136.0	13.6	39.3	15.2	22.1	1 02
Mg	140.9	135.0	12.2	7.8	27.6	14.1	24
Fe	5.3	5.3	0.2	0.2	0.2	0.2	
Al_2O_3							18
SiO_2	112.0	109.5	60.0	53.4	75.8	73.6	12
Residuo	2 793.0	2 786.0	527.8	495.2	1 041.8	267.6	4 56
VALORES DE REACCION							
Acidos fuertes, Af	5.87	6.07	1.04	0.72	3.05	0.22	1.27
Acidos débiles, Ad	43.85	44.05	7.52	7.66	14.03	3.50	6.78
Alcalis, Al	33.09	32.29	6.86	5.78	14.03	1.52	1.20
Tierras alcalinas, T	16.66	17.90	1.68	2.60	3.05	2.26	6.85
PROPIEDADES EN VALORES DE REACCION							
Salinidad 1ª S_1	11.74	12.14	2.04	1.44	6.10	0.44	2.40
Salinidad 2ª S_2							0.14
Alcalinidad 1ª A_1	54.44	52.44	11.64	10.12	21.96	2.60	
Alcalinidad 2ª A_2	33.26	35.66	3.40	5.20	6.10	4.40	13.56
Concentración	19.90	20.50	3.42	3.25	6.83	1.49	3.22
Clase de Palmer	I	I	I	I	I	I	III
Radioactividad	—	93.0	0.80	0.84	0.59	35.8	—
P_h	—	—	7.2	7.2	7.2	7.3	—

Los análisis consignados pueden agruparse en tres fórmulas relativas a la relación de sus radicales. Las aguas de los manantiales de Totolcingo y las de Ixtacuixtla pertenecen al grupo: $\left(\begin{array}{c|c} Ad & Al \\ Af & T \end{array}\right)\left(\begin{array}{c} A_1 \\ A_2\ S_1 \end{array}\right)$ número 1 de Totolcingo $\left(\begin{array}{c} Ad = Al \\ Af = T \end{array}\right)\begin{array}{c} A_1 \\ A_2 = S_1 \end{array}$

Las notaciones utilizadas en estas fórmulas están explicadas en un estudio anterior (1) pero ante la imposibilidad de ser consultado, nos vemos obligados a transcribir la parte relativa: "Todo valor a la derecha

(1) Apuntes para la Interpretación Geoquímica de los Análisis de Aguas, por L. Blásquez L.—Soc. Geol. Méx. 1941. (Inédito).

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 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 los manantiales de Totolcingo, Tequesquital y Santa Cruz del Porvenir pertenecen a un grupo muy interesante por sus propiedades bien conocidas, quedando dentro del mismo los manantiales de aguas medicinales de Nuestra Señora de Lourdes, S. L. P., y San José Purúa, Mich. La concentración de los manantiales del Tequesquital y Santa Cruz del Porvenir es comparable a la correspondiente a las aguas de Lourdes y San José Purúa.

Las aguas de Santiago Tetla están representadas por la fórmula $\left(\begin{matrix}Ad\\Af\end{matrix}\middle|\begin{matrix}T\\Al\end{matrix}\right)\left(\begin{matrix}A_2\\A_1\ S_1\end{matrix}\right)$ y son comparables a las de Ojo Caliente, Aguascalientes, Ags., Chiapa, Pue., Los Socavones, Qro. y Ojo Caliente, Santa María del Río, S. L. P., siendo la concentración en las aguas de todos estos manantiales superior a la del manantial de Tetla, que es tan baja como la propia de las aguas potables.

Las aguas del pozo de Calpulalpan corresponden a la fórmula: $\begin{matrix}T\\Al\end{matrix}\middle|\begin{matrix}Ad\\Af\end{matrix}\left(\begin{matrix}A_2\ S_1\\S_2\end{matrix}\right)$ en la que caen muy numerosos tipos de aguas, siendo la más común que hemos conocido. Dicha fórmula sugiere una mezcla de aguas de distinta circulación y procedencia.

Fuera de los análisis consignados es evidente que zonas más o menos amplias del subsuelo de las planicies de Oriental y de Panotla tienen aguas cargadas de sales, siendo sus concentraciones semejantes a la que muestran las aguas de San Felipe Ixtacuixtla, lo que contribuye a la formación de depósitos salinos en las zonas salitrosas y tequesquitosas de Ixtacuixtla y Tequesquitla.

Explotación.—Las principales explotaciones de aguas subterráneas corresponden a las captaciones de los manantiales de Atzompa, para dar aguas potables a Calpulalpan; Aticpan, que abastece a la ciudad de Apixaco y a la Estación del F. C. en el mismo lugar; La Presa en Huatzingo que irriga una buena superficie y Atotonilco (24) en San Luis Apizaquito, cuyas aguas se emplean en una importante fábrica de hilados y tejidos. Las aguas fluviales están bien aprovechadas para la ge-

neración de fuerza hidroeléctrica en la cuenca del Zahuapan, entre Apizaco y Tlaxcala, y para la irrigación en la planicie de Panotla, donde se utilizan las aguas del Atoyac y de otras aguas que se almacenan en barrancas del lomerío Tlatzalan.

En las planicies de Texcalac y Huamantla, en las zonas de aguas freáticas profundas, se extrae el agua por medio de malacates bastante bien instalados, existentes en los pozos de Baquedano, Hda. Cerón, Cuapiaxtla, Acocotla, Notario y otros muchos lugares. Dicho sistema es bastante deficiente, pues la extracción de gastos hidráulicos es de 0.2 a 1.50 l/ps. y se trabaja durante 8 horas, si bien en algunos lugares hay dos turnos de seis horas.

Instalaciones de bombas bien acondicionadas se encuentran en los pozos 1, 2, 6, 7 a 9, 11, 25, 32 y 34, si bien algunas bombas son de tipo anticuado.

CONCLUSIONES

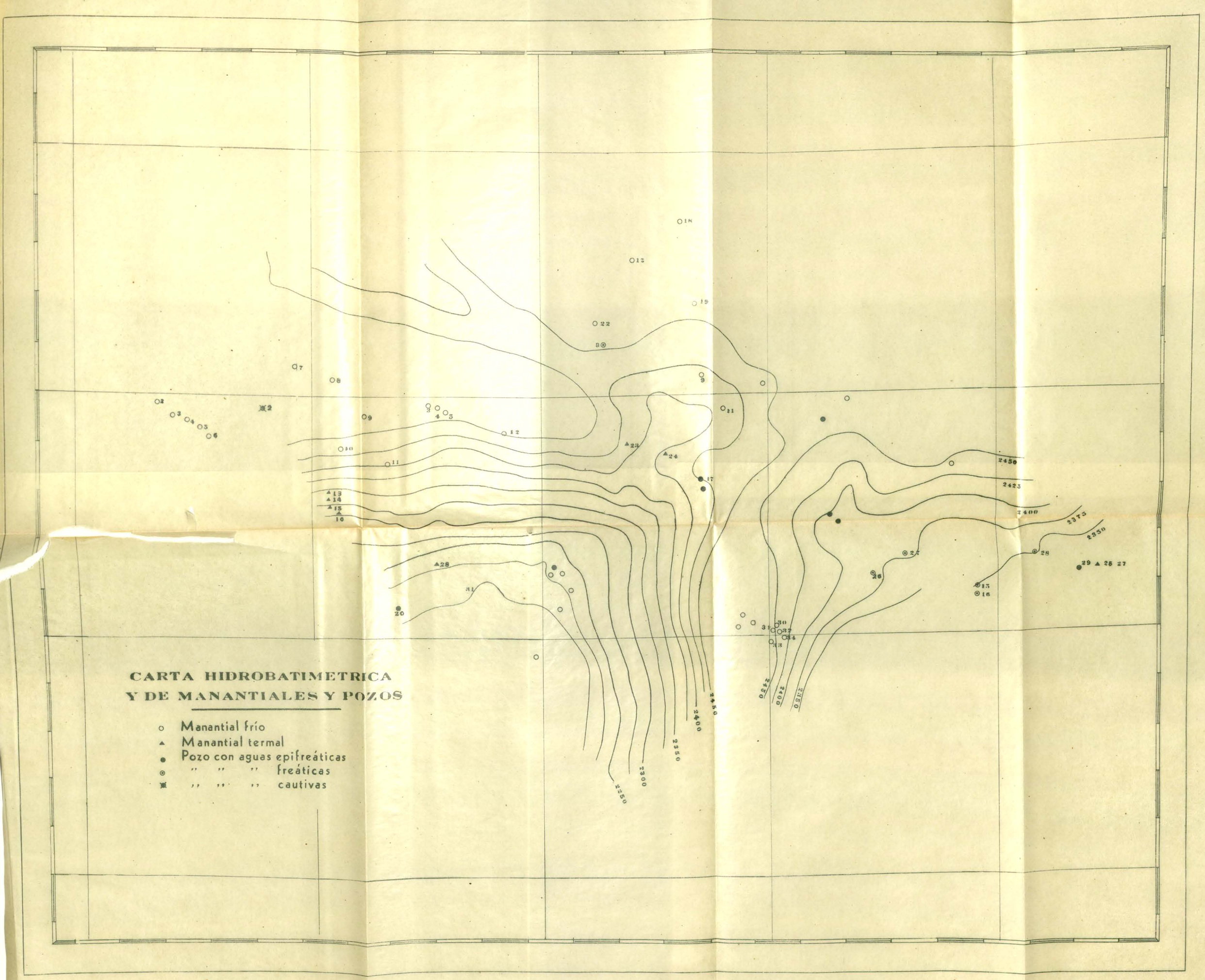
La explotación de las aguas epifreáticas del Estado puede hacerse solamente en las elevaciones. En algunas, por medio de pequeños tajos como en el caso del manantial Tiopa, así como en los manantiales 1 a 5 de la Sierra Nevada.

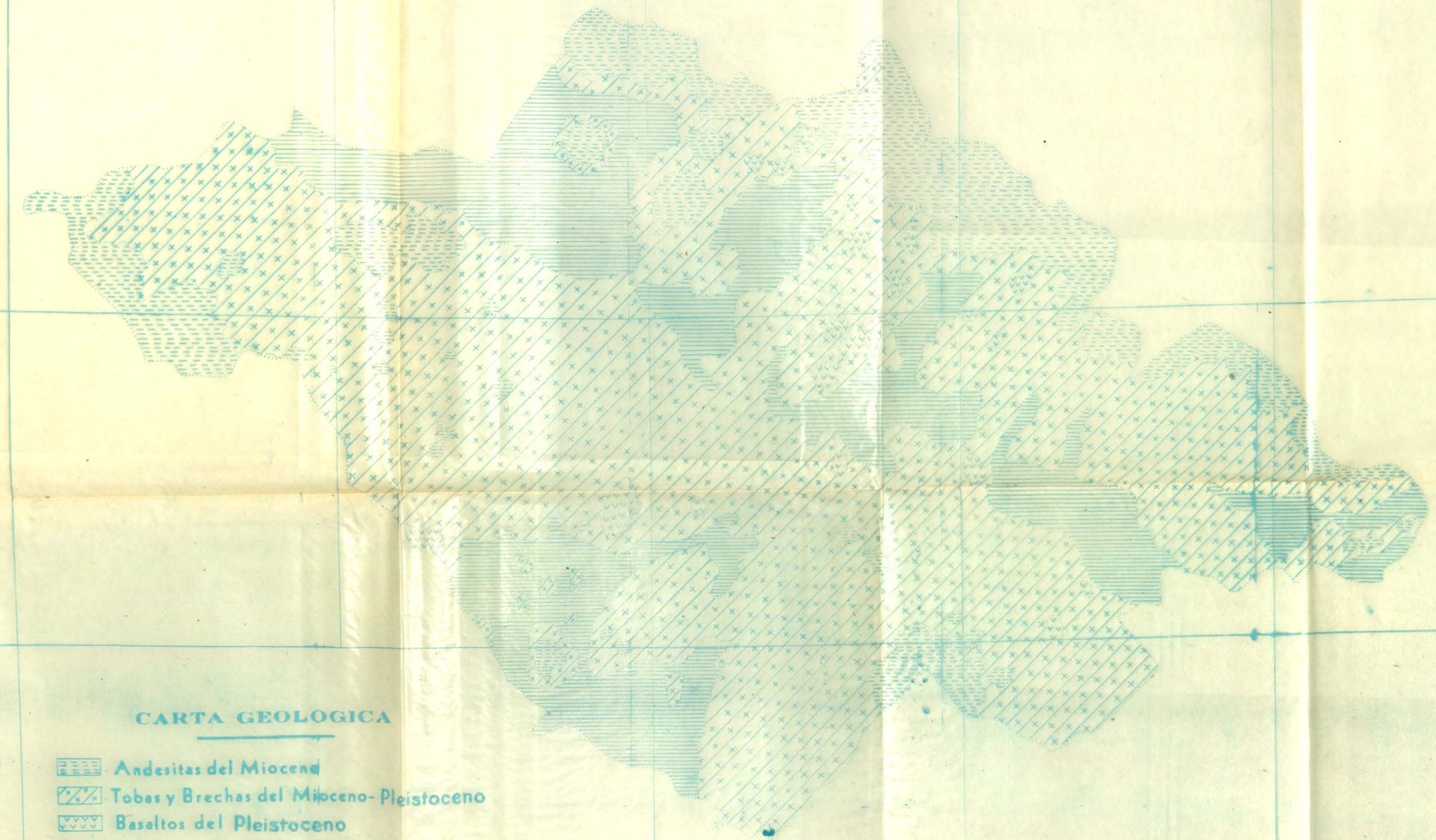
En el volcán de La Malintzi la explotación de las aguas epifreáticas es particularmente interesante, porque constituyen un recurso muy valioso para los pueblos inmediatos, como Huamantla, Ixtenco, Citlaltepec y otros de la vertiente occidental. Me parece muy conveniente construir varios represos en las barrancas más profundas, con altitudes de 3,150 m. canalizando las aguas de escurrimiento de otras barrancas, a alturas mayores de manera que la conducción de dichas aguas sea lo más económica posible, por no demandar mucho movimiento de tierras. En seguida abajo de los represos se escarbarán pozos que descubran las zonas de infiltración y, por último, se seguirán dichas zonas de infiltración por medio de galerías, que se prolongarán mientras corresponda el incremento del gasto hidráulico con el costo del cuele.

Es posible por medio de este procedimiento substituir el actual sistema de captación múltiple de pequeñísimas emergencias, verdaderos "escurrimientos", por el de una sola captación para cada pueblo, mucho más efectiva y menos costosa.

En las Sierras Nevada y Tlaxco, así como en el lomerío de Tlatzalan es muy conveniente reforzar los acuíferos epifreáticos en lugares


CARTA CLIMATOLOGICA
Clima Mexicano Subtipo Sierra Nevada
,, ,, ,, Nanacamilpa
,, ,, ,, Huamantla
,, ,, ,, Apizaco
,, ,, ,, Santorum
,, ,, ,, Tlaxco
,, ,, ,, Tlaxcala
,, ,, ,, Atlangatepec
,, ,, ,, Soltepec
,, ,, ,, Puebla


CARTA HIDROBATIMETRICA
Y DE MANANTIALES Y POZOS
Manantial frío
Manantial termal
Pozo con aguas epifreáticas
" " " freáticas
" " " cautivas
2450
2423
2400
2375
2350
2300
2250



CARTA GEOLOGICA

- Andesitas del Mioceno
- Tobas y Brechas del Mioceno- Pleistoceno
- Basaltos del Pleistoceno
- Relleno de los Valles. Holoceno

ESTADOS UNIDOS MEXICANOS.
SECRETARIA DE AGRICULTURA Y FOMENTO.
DIRECCIÓN DE GEOGRAFÍA, METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA.

TLAXCALA

DEPARTAMENTO GEOGRÁFICO.
OFICINA DE CARTOGRAFIA Y CALCULO.

PROYECCIÓN POLICÓNICA.

Edición Corregida en 1946.

ESCALA 1: 300 000

Talleres de Fotozincografía
Ave. Observatorio. 192. México, D.F.

II PARTE

MINERALES NO METALICOS DEL ESTADO DE TLAXCALA

II PARTE

MINERALES NO-METALICOS DEL ESTADO DE TLAXCALA

Por *Raúl LOZANO GARCIA*

INTRODUCCION

Al estudiar los yacimientos minerales del Estado de Tlaxcala se dió especial preferencia a los depósitos de substancias no-metálicas, pues la escasez de minerales metálicos en dicha Entidad concede gran importancia al aprovechamiento de otros recursos naturales que también presentan ligas muy estrechas con la geología.

Aun cuando dichas substancias no son de índole metálica, tienen sin embargo mucha importancia económica, debido a que los minerales no-metálicos son actualmente objeto de una demanda extraordinaria, porque las artes y la industria les encuentran cada día nuevas y más importantes aplicaciones prácticas.

Los yacimientos no-metálicos de Tlaxcala son poco variados, pero en cambio alcanzan extensiones considerables y además, muchos de ellos contienen substancias bastante puras. Consisten esencialmente en arcillas, calizas, mármol, tiza, cenizas volcánicas, tequesquite y algunos materiales silíceos utilizables en la industria vidriera.

Todas estas substancias, excepto el mármol, las cenizas volcánicas y los materiales silíceos, se relacionan genéricamente con los depósitos lacustres existentes en la porción central del Estado, en una zona que abarca desde las laderas orientales de la extremidad septentrional de la Sierra Nevada, hasta los límites de Tlaxcala con el Estado de Puebla.

Es indudable que la producción de la mayor parte de las substancias de que se componen los citados yacimientos no-metálicos viene

acompañada invariablemente del desarrollo de muy interesantes fenómenos físicoquímicos, bajo cuya influencia se determinan las múltiples transiciones que experimentan los minerales que entran en la composición de las rocas que forman parte de la constitución geológica de las regiones circunvecinas, pasando a través de diferentes grados de alteración, hasta que finalmente se forma un compuesto químico, cuya estructura molecular alcanza un equilibrio más estable.

No obstante, a pesar de que la investigación de esta clase de fenómenos presenta un innegable interés científico, sólo se tratará de ellos en forma muy general y breve, debido al deseo que se tiene de dar preferencia al estudio de cuanto se relaciona con el aspecto económico de los recursos naturales a que dió origen dicha alteración, especialmente en lo que se refiere a la posible explotación del respectivo yacimiento y subsecuente aprovechamiento industrial de las substancias que se hallan en él.

ARCILLAS

El empleo de la arcilla como materia prima en la elaboración de artículos moldeados, para usos domésticos, industriales, artísticos etc., data de tiempos muy remotos, perdiéndose en la oscuridad de las edades prehistóricas los indicios de sus primeras aplicaciones.

A pesar de la reconocida antigüedad de la industria cerámica y del variado empleo que continuamente han encontrado en las artes las materias arcillosas de todas clases, aún se siguen en el país, y especialmente en Tlaxcala, métodos industriales muy primitivos que, como es natural, sólo permiten un aprovechamiento relativamente restringido y económicamente poco eficaz.

Los diversos tipos de arcillas que existen en la región lacustre a que se viene haciendo referencia son, en general, substancias terrosas, de textura fina o gruesa y coloración variada, que se hallan distribuídas muy abundantemente en toda la región aludida, ocurriendo en forma de capas extensas que alcanzan a veces espesores bastante gruesos.

Haciendo abstracción de las partículas minerales que aun se encuentran en estado de alteración incompleta, puede decirse que dichas arcillas se componen, en lo general, de granos muy finos constituídos esencialmente por silicatos hidratados de alúmina, mezclados en diversas proporciones con diversos compuestos minerales, entre los que se hallan frecuentemente otros silicatos, óxidos, carbonatos, etc., así como también algunas materias coloidales de naturaleza orgánica o mineral.

Técnicamente, la arcilla es un silicato hidratado de alúmina que por adición de agua adquiere un grado de plasticidad suficiente para ser moldeada, propiedad que pierde transitoriamente al desecarse, o de manera permanente cuando se calienta a temperaturas elevadas. No obstante, hay que tener presente que en fechas relativamente recientes han sido descubiertas algunas substancias que por su composición química pertenecen al grupo de las arcillas y que, sin embargo, son silicatos anhidros y además carecen de la plasticidad que se consideraba, hasta hace poco tiempo, como la característica típica de estos materiales.

No existiendo ningún término mineralógico que defina a la arcilla como un compuesto fijo y claramente determinado, se acostumbra clasificar los diversos tipos de arcillas de acuerdo con su génesis, o también por sus propiedades químicas o físicas, o por el empleo que se hace de ellas. Así se tienen, según su génesis, arcillas residuales y arcillas transportadas; por sus características químicas, se distinguen las arcillas ferruginosas, calcáreas, bituminosas, etc.; por sus propiedades físicas se tienen arcillas plásticas o sin plasticidad; por último, según la aplicación industrial a que se destinan, se conocen las arcillas para tabiques y tejas, para crisoles, para porcelanas etc., etc.

Estando constituída la arcilla común por una mezcla de sílice, feldespato y otros minerales, con cierto material que se designa con el nombre de "substancia arcillosa", se comprende que cualquiera consideración que se haga respecto a la composición química de las arcillas, deberá basarse, necesariamente, en la proporción de substancia arcillosa que contenga el material aludido.

Pero es desde el punto de vista físico donde la arcilla presenta su mayor interés, sobre todo si se considera que el valor económico de muchas arcillas está en razón directa con su punto de fusión o el grado de plasticidad que pueda desarrollar. En consecuencia, los usos y el valor comercial o industrial de esas arcillas, son completamente independientes de su composición química, fundándose en este caso su aprovechamiento o aplicación industrial, exclusivamente en las características físicas que presenta la arcilla en cuestión.

Origen de las arcillas de Tlaxcala.—Las arcillas de Tlaxcala, como todas las de este grupo, no son de origen primario, sino que representan el producto químicamente más estable que ha resultado de la alteración avanzada que experimentaron las rocas de la región, en el curso del tiempo. Dada la forma en que se desarrolla el proceso genético de las arcillas, es fácil percibir en los yacimientos de este material ciertas

características que denotan, de manera más o menos evidente, las diversas fases de su historia geológica. Tal es, por ejemplo, la proximidad de la roca madre; la desintegración gradual de dicha roca, pasando por transiciones que muestran desde la roca fresca hasta su completa transformación en arcilla, arena y demás productos de su desintegración; el arrastre fluvial de los elementos minerales más finamente divididos que se hallan en el yacimiento original y su depósito subsecuente a niveles inferiores, y otras muchas peculiaridades genéticas que son frecuentes en esta clase de yacimientos.

En el caso particular de las arcillas de Tlaxcala, se conocen dos tipos principales que son: arcillas de coloración blanca o verdosa que se consideran de carácter lacustre por estar relacionadas con los sedimentos de esta naturaleza, y arcillas de color pardo, en cuyo depósito han intervenido fenómenos conjuntos de carácter hidroclástico y eólico,

Entre las arcillas a que se hace referencia se distinguen dos categorías: una que corresponde a las arcillas residuales y otra a las arcillas transportadas.

Arcillas residuales.—El intemperismo es un fenómeno que se encuentra muy desarrollado en todas las rocas que entran en la constitución geológica del Estado de Tlaxcala. Consiste en la descomposición química y desintegración mecánica de los elementos minerales que componen esas rocas y es debida a la actividad química y mecánica de ciertos agentes externos, tales como la lluvia, el calor solar, los cambios bruscos de temperatura, etc. Por tal razón no es raro encontrar, en toda la región lacustre de Tlaxcala, numerosos yacimientos arcillosos que muestran claramente su estrecha relación genética con las rocas ígneas circunvecinas.

La completa alteración de una roca que estuviese constituída exclusivamente por feldespatos, produciría como resultado final de su alteración una masa de arcilla blanca mezclada con alguna cantidad de sílice; pero es excepcional encontrar rocas compuestas solamente por cristales de feldespato, hallándose comúnmente este mineral en las rocas, asociado a otros minerales que tienen carácter esencial o accesorio, tales como el cuarzo, mica, hornblenda, hiperstena, augita, olivino y algunos otros. Tal es el caso de las rocas que se encuentran en el Estado de Tlaxcala y que consisten principalmente de andesitas y basaltos.

Ahora bien, la desintegración y la alteración química que se realiza por intemperismo en los feldespatos que entran en la composición de dichas rocas, produce una cantidad proporcional de arcilla; pero como

esas rocas, además de feldespato contienen otros minerales (cuarzo, hornblenda, etc.), se comprende que con la arcilla residual resultante de la alteración de los citados feldespatos, se hallará además cierta cantidad de arena constituída por el resto de los minerales componentes de la roca original y que, por ser de constitución física y composición química más estables, no experimentan el mismo grado de alteración.

Las arcillas verdes de Tlaxcala parecen pertenecer a este tipo, pues su estudio petrográfico conduce a clasificarlas no como arcillas, sino como tobas andesíticas, y descubre entre sus minerales primarios: vidrio volcánico, andesita, oligoclasa y cuarzo; entre los secundarios: montmorillonita, clorita, calcita y limonita y, por último, entre los minerales accesorios se distingue a la hornblenda y la enstatita. Además, el citado estudio petrográfico logró hacer una interesante observación que a la letra dice: "Esta roca se formó por el depósito de material piroclástico en regiones probablemente lacustres. El contorno subangular de los fragmentos minerales antígenos indica que dicho material no fué transportado a gran distancia del lugar en que se depositó por primera vez" (1).

Por lo anterior puede creerse que una vez consumado el depósito de la toba andesítica se produjo con posterioridad la alteración más o menos completa de sus elementos minerales y se provocó su transformación en materia arcillosa, con poco o ningún transporte ulterior del producto resultante.

A este respecto conviene decir que es creencia muy generalizada que las arcillas sólo pueden ser originadas por la alteración de los feldespatos que entran en la composición de las rocas y, por lo tanto, en donde no se halle este mineral, no podrá generarse arcilla de ninguna clase. Pero es el caso que en la toba aludida no se encuentra suficiente feldespato para producir por sí solo tan extraordinaria cantidad de arcilla como se halla en estos yacimientos, por lo que habría que buscar su origen en otros fenómenos independientes de la alteración química de los feldespatos.

En realidad, aun no se ha unificado el criterio de los especialistas en esta clase de investigaciones, con respecto a los minerales que mediante su alteración pueden producir arcilla, señalándose como propicios para este fin muchos silicatos, entre los que se hallan la andalusita,

(1) El estudio a que se hace referencia fué practicado en el Laboratorio de Petrología del Instituto de Geología por el petrógrafo Sr. Eduardo Schmitter.

anortoclasa, escapolita, cianita, epidota, microclina, nefelita, ortoclasa, plagioclasa, sillimanita, sodalita, topacio, granate, analcita y otros más, así como también la pómez y algunas rocas y vidrios volcánicos.

Como quiera que sea, es indudable que siempre que un agente geológico actúa sobre algunos silicatos existentes en las rocas y se producen las diversas fases que conducen a su completa alteración y su progresiva transformación en arcilla, se realiza el conocido fenómeno de "caolinización". Si dicho fenómeno se efectúa en la superficie o cerca de ella, dentro de la zona de influencia de los agentes geológicos externos, su realización puede ser debida a simples procesos de hidrolización o a reacciones producidas con la intervención de aguas carbonatadas, en tanto que si la caolinización tiene lugar a profundidades realmente considerables, fuera de la acción del intemperismo, entonces la transformación se debe a fenómenos hidrotermales o pneumatolíticos.

Desde las postrimerías del siglo pasado, así como en los albores del presente, fué comprobado por algunos investigadores que muchos silicatos y vidrios volcánicos son solubles en agua pura (1), reconociéndose que la rapidez de su solubilidad varía de acuerdo con los factores físicos y químicos que caracterizan a cada una de las combinaciones silicatadas. En realidad la disolución de los referidos silicatos es efectuada por el agua de manera bastante lenta, pero es bien sabido que el factor "tiempo" dispone, en el curso de las edades geológicas, de los lapsos que requieran los más dilatados fenómenos genéticos. Fundándose en esto, se supone que el agua actúa sobre los silicatos hidrolizándolos lentamente, hasta transformarlos en ciertas substancias que presentan características químicas y físicas notablemente diferentes de las que ostentaba el compuesto original.

Se comprende, pues, que la toba andesítica depositada en la zona lacustre de Tlaxcala, haya experimentado diferentes procesos de alteración en el transcurso del tiempo, habiéndose iniciado probablemente con la hidrolización de sus elementos minerales y concluyendo con su transformación más o menos completa en materia arcillosa. Esto es tanto más factible cuanto que quizá dicha toba, o al menos las capas más bajas, se hayan depositado desde un principio en el seno de las aguas lacustres que inundaban la región en donde se localizan sus yacimientos, pues ya se indicó antes que las partículas de que se compone, no

(1) Cameron & Bell.—Bur. of Soils.—Bull. 30 pág. 16, 1905.—Merril, George P.—Treatise on Rocks, Rock-Weathering and Soils, 1897. Clarke, Frank W.—U. S. Geol. Surv. Bull. Núm. 176, pág. 156, Washington, 1900.

muestran señales de haber sido transportadas a gran distancia después de consumado su primitivo depósito.

Características físicas y químicas de las arcillas verdes.—Aunque las arcillas verdes de que se viene tratando se hallan abundantemente distribuídas en la mayor parte de la región lacustre de la porción central de Tlaxcala, no presentan en todos sus yacimientos iguales características físicas y químicas, sino que en muchos lugares se halla más avanzado el proceso de alteración y en consecuencia es más abundante la cantidad de arcilla aprovechable.

Tal es el caso de los yacimientos que se localizan en las barrancas de Chiahucingo, Tizatlán y El Caño.

La primera de las localidades citadas antes se encuentra al NE. y a corta distancia de la ciudad de Tlaxcala, pudiéndose llegar a ella por el antiguo camino que ligaba a esa ciudad con la de Apizaco, hasta un punto situado como a 2 kilómetros al N. de Tizatlán, donde se encuentra el arroyo de Chiahucingo que corre en el fondo de la barranca de ese nombre.

Recorriendo dicho arroyo con rumbo hacia el NW. y como a un kilómetro de distancia a partir del camino de Apizaco, se encuentra en la margen meridional de la barranca un grueso depósito arcilloso de color verde claro, que tiene como 15 metros de espesor y se prolonga en condiciones semejantes de coloración, en una longitud de cerca de 500 metros. (Fot. Núm. 1.)

El examen mecánico de estas arcillas produjo el siguiente resultado: (1)

Arena total.	17.78 %
Limo.	36.00
Arcilla.	29.00
Grava gruesa.	No hay
Guijarros.	No hay
Arcilla fina.	17.22

El examen mecánico cuyos resultados se muestran antes, acusa un total de 46.22% de materia arcillosa, pero el análisis químico pone de manifiesto que esta arcilla es de tipo montmorillonítico y que dicha substancia se halla en proporción algo mayor, como puede comprobarse por los datos analíticos que se transcriben en seguida:

(1) Todos los análisis mecánicos que se transcriben en este estudio fueron practicados en los Laboratorios de la Comisión Nacional de Irrigación.

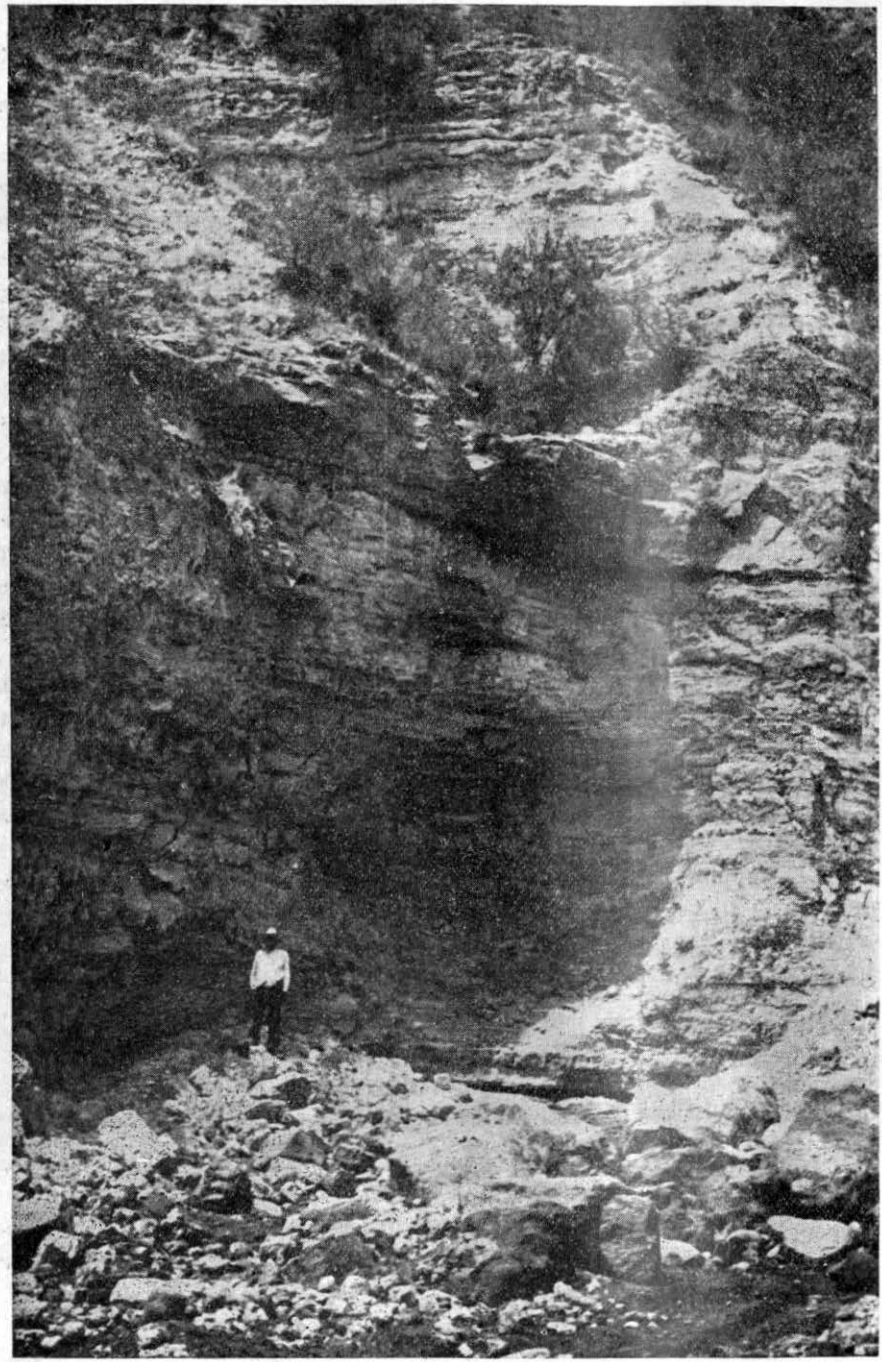


Foto Nº 1. Depósito de barro verde en la barranca de Chiahucingo.

Agua (H_2O) a 110° C.....	4.94 %
Agua (H_2O) al rojo.....	4.95
Sílice (SiO_2).....	59.22
Carbónico (CO_2).....	1.62
Oxido ferroso (FeO).....	1.01
Oxido férrico (Fe_2O_3).....	4.38
Oxido de Aluminio (Al_2O_3).....	19.47
Oxido de Calcio (CaO).....	3.34
Oxido de Magnesio (MgO).....	0.77
	99.70 % (1)

Ahora bien, si partiendo de los datos anteriores, se hace una hipotética agrupación molecular de los elementos encontrados por el análisis químico, y además se toman en cuenta las observaciones microscópicas de la arcilla en cuestión, puede estimarse que el material de referencia consiste en realidad de las siguientes substancias:

Montmorillonita (2).....	61.44 %
Carbonato cálcico.....	3.66
Ceniza volcánica.....	11.78
Limonita.....	5.12
Humedad.....	4.94
Indeterminado (principalmente minerales ferromagnésicos)...	12.76
	99.70 %

Así pues, la arcilla de que se viene tratando contiene una buena porción de montmorillonita y es seguro que podría purificarse aún más lavando convenientemente el material bruto extraído del yacimiento.

En el lado opuesto de la barranca de Chiahucingo y casi enfrente del yacimiento descrito antes, se encuentra otro potente banco arcilloso, que probablemente formaba con aquél un solo cuerpo, antes de que el terreno fuera excavado por la acción erosiva ejercida por las aguas del arroyo, pues tanto las características generales de depósito, como la coloración de las arcillas y su textura y composición, son idénticas en uno y otro yacimiento.

---

(1) Análisis químico realizado en el Laboratorio del Instituto de Geología, por el Ing. Químico Carlos B. Beristáin.

(2) La montmorillonita es un silicato hidratado de alúmina, de composición no bien definida pero que parece ser (Mg. Ca) $0.Al_2O_3$ 5 SiO_2 nH_2O, variando n entre 5 y 7. La arcilla conocida con el nombre de 'bentonita", se compone en gran parte de montmorillonita.

También en la barranca de Tizatlán, que se halla entre los cerros Blanco y Ostotl, se descubren arcillas verdes muy semejantes a las de Chiahucingo, aun cuando el espesor de los depósitos arcillosos no alcanza en este lugar una magnitud tan considerable como en la barranca citada antes. (Fot. Núm. 2.)

Las arcillas afloran a uno y otro lado y en todo lo largo de la barranca, pero en un lugar llamado "La Pedrera" es donde presentan mayores facilidades para su explotación. En este sitio, que se localiza en las laderas meridionales del cerro Ostotl, se encuentra el yacimiento en cuestión, con un espesor de cerca de 6 metros, habiéndose abierto entre los estratos arcillosos un pequeño socavón de cerca de 10 metros de longitud, con el que se reconoció la continuidad del yacimiento arcilloso hacia el interior del cerro Ostotl.

La textura de la arcilla de este depósito es muy semejante a la de Chiahucingo, pero la proporción de coloides es mucho mayor que la contenida en aquel material, por lo que puede creerse que esta arcilla es de mejor calidad.

El examen mecánico de la arcilla de "La Pedrera" es el siguiente:

Arena total.	11.42 %
Limo.	30.36
Arcilla.	14.00
Arcilla fina.	44.22
Grava gruesa.	No hay
Guijarros.	No hay

Por los resultados obtenidos en el examen mecánico que se transcribe antes, puede observarse que la arcilla total contenida en la muestra examinada monta al 58%, estando constituído el resto por arena y limo.

Con respecto a la arcilla de la barranca del Caño, que se localiza al SW. de Jesús Acatitla, puede decirse que es el material que presenta mayor pureza relativa, como puede observarse por los resultados obtenidos en su respectivo examen mecánico, que se transcribe en seguida:

Arena total.	9.42 %
Limo.	28.36
Arcilla.	20.00
Arcilla fina.	42.22
Grava gruesa.	No hay
Guijarros.	No hay

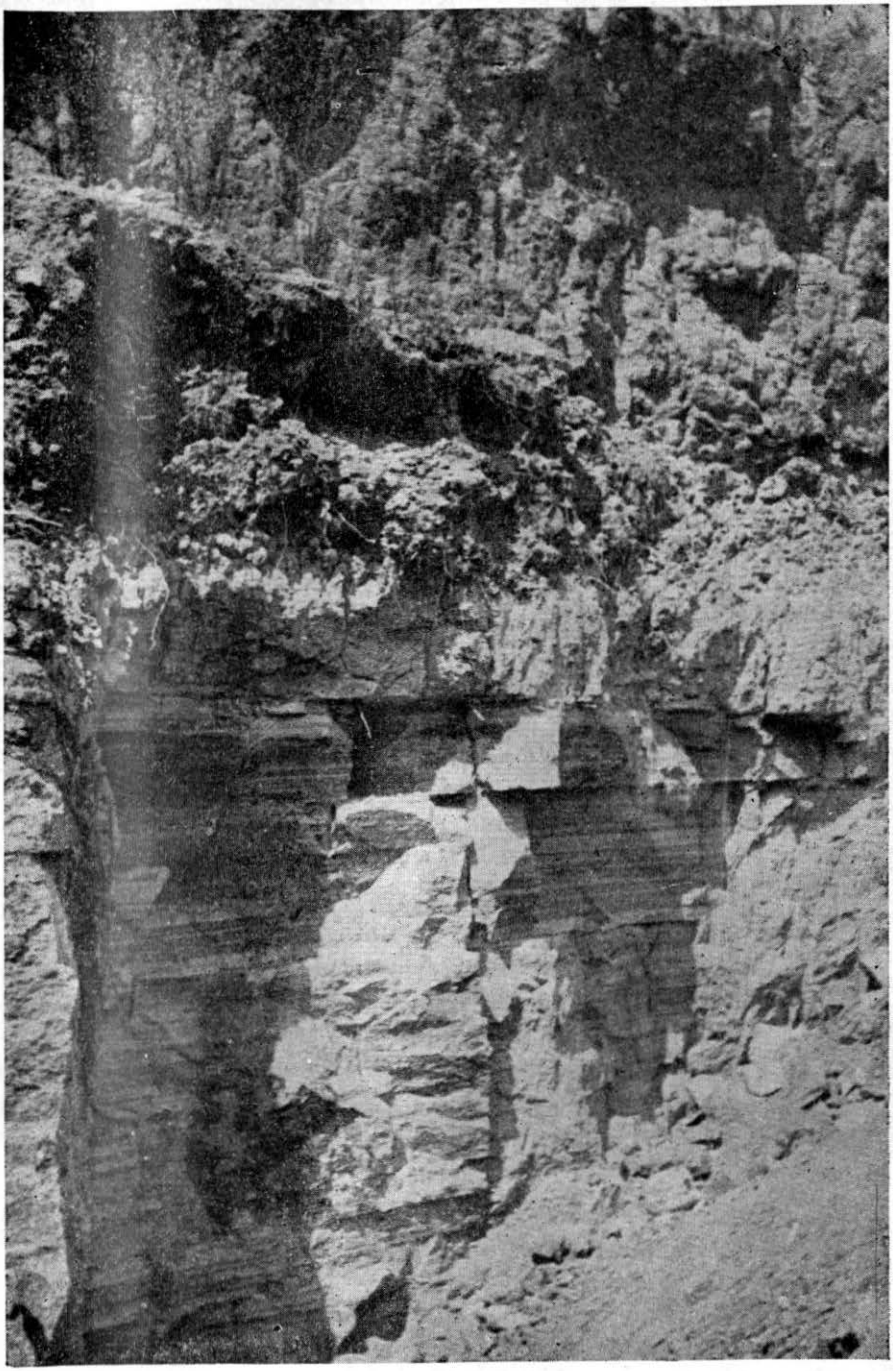


Foto Nº 2.—Yacimiento arcilloso en la barranca de La Huerta, afluente de la de San Esteban Tizatlán.

Se advierte pues que en este material la arcilla total se halla en cantidad que monta al 62% y sólo contiene un 38% de impurezas. Por desgracia, el aludido depósito no es muy extenso, ya que apenas alcanza unos 14 metros de largo por 5 de espesor.

Ya se dijo antes que las arcillas verdes se hallan distribuídas en una extensión que abarca gran parte de la zona lacustre de Tlaxcala, pero sus depósitos, aunque son muy abundantes, no presentan la importancia de los que se han citado antes, tanto en lo que respecta a sus dimensiones como en lo que se refiere a la pureza del material arcilloso contenido en ellos.

Por su aspecto, coloración y características de depósito, es indudable que todas estas arcillas verdes son de tipo semejante a las de la barranca de Chiahucingo, es decir, que deben ser de carácter montmorillonítico y, por esta razón, se tratará de sus aplicaciones industriales considerándolas en su conjunto como materiales más o menos semejantes.

Aplicaciones industriales.—Las aplicaciones industriales de las arcillas verdes de Tlaxcala dependen principalmente de sus características físicas y, aunque en este caso particular no se trata de una verdadera bentonita, toda vez que ésta debe contener como mínimo un 75% de montmorillonita, sí pueden encontrar en la industria muchas aplicaciones semejantes a las que tiene ese material.

Así pues, tomando en cuenta numerosas pruebas prácticas realizadas en la Oficina de Minerales No-metálicos, del Instituto de Geología, con las arcillas verdes de Tlaxcala, se estima que pueden tener las siguientes aplicaciones industriales:

1).—Como material de relleno, cementante o plastificante.
2).—Como adsorbente, absorbente y emulsificante.
3).—Como material inerte en medicamentos y cosméticos.

1).—*Montmorillonita empleada como material de relleno, cementante y plastificante.*—El empleo de la montmorillonita, con las finalidades referidas, es sumamente extenso, pudiéndose mencionar como principales las siguientes industrias:

Papel.—La industria del papel consume gran cantidad de arcilla como material de relleno, empleando principalmente arcilla muy fina, preferentemente de color blanco y libre de granos arenosos. Dados los requisitos exigidos por esta industria, es indudable que sólo sujetando las arcillas de Tlaxcala a un conveniente lavado, podrían ser de utili-

dad en la fabricación del papel y esto empleándola en combinación con caolín, pues la experiencia ha demostrado que la montmorillonita es muy eficiente para promover la retención del caolín en las pastas para papel. En efecto, empleando exclusivamente caolín, su retención puede llegar hasta el 45% ; con un 10% de montmorillonita es de 58% ; con 20%, la retención es de 64% y con 100% de montmorillonita, la pasta de papel puede retener hasta un 84% de relleno. Además, la montmorillonita comunica mayor tersura al papel y evita el engomado de los tamices usados en esa industria, porque forma una emulsión con las materias resinosas.

Telas ahuladas, linóleum, etc.—No hay especificaciones definidas respecto a las arcillas empleadas en la elaboración de telas ahuladas, linóleum y otras pastas artificiales, pero se exige siempre que el material arcilloso no contenga granos arenosos; que sea fácilmente disgregable, untuoso al tacto y que posea bajo punto de absorción de aceite de linaza. No se sabe que la montmorillonita haya sido empleada en estas industrias para reemplazar al caolín, pero las propiedades físicas de las arcillas verdes de Tlaxcala parecen satisfacer los requisitos necesarios para estas aplicaciones, pues algunas pruebas de laboratorio efectuadas con ellas demostraron que en relación con el caolín, requieren menor proporción de aceite de linaza para obtener una pasta de cierta consistencia.

Industria cerámica.—La montmorillonita encuentra pocas aplicaciones en la industria cerámica, por formar pastas que al secarse y cocerse experimentan una notable contracción. Sin embargo, se ha comprobado que añadiendo el 1% de montmorillonita a los esmaltes usados en trabajos de cerámica, se consigue una mejor suspensión de las partículas que componen la "frita", lográndose una mezcla semejante a la que se conseguiría con 2.5% de caolín. Además, se ha observado que añadiendo ciertas proporciones de montmorillonita a las pastas arcillosas con que se elabora la porcelana, se obtiene un material semejante al conseguido con las mejores arcillas, aun cuando para esto debe tomarse en cuenta que las arcillas verdes de Tlaxcala toman al cocerse un color rojizo claro.

Cemento y otros materiales para construcción.—Algunos experimentos realizados en la elaboración del cemento Portland indican que la adición de 1% de montmorillonita a la mezcla de materiales empleados en la fabricación de ese producto, aumenta la resistencia del cemento obtenido y reduce el tiempo de su fraguado.

Además, se ha empleado la montmorillonita tratada con aceite mi-

neral y mezclada con concreto, para obtener material impermeabilizante. En este caso debe evitarse el uso de cantidades inmoderadas de montmorillonita, debido al agrietamiento que pudiera producirse a consecuencia de la exagerada contracción experimentada por este material al secarse.

Mástique.—Las arcillas verdes de Tlaxcala pueden ser muy útiles en la elaboración del mástique, en sustitución del blanco de España, pues la absorción de aceite de linaza es muy superior en este último material en relación con la que registran las referidas arcillas verdes. El mástique resultante parece ser tan bueno como el obtenido con blanco de España, excepto en lo que se refiere a su color, que en este caso resulta con tonalidades verdosas. En cuanto al efecto que pueda ejercer el intemperismo sobre este producto, es cosa que sólo puede determinarse con el tiempo, pues las pruebas realizadas a este respecto son recientes y el lapso transcurrido desde su elaboración no es suficiente para conocer con certeza hasta dónde pueda llegar su resistencia.

Discos fonográficos.—Las principales características del material requerido para relleno en la elaboración de discos fonográficos exige que presente un grano que pase por un tamiz de 200 mallas; que no contenga granos arenosos y que presente una baja absorción de la substancia empleada como cementante. Todas estas especificaciones las poseen las arcillas verdes de Tlaxcala y, por lo tanto, pueden considerarse como utilizables en esta industria, tanto más cuanto que en este caso el color de la arcilla empleada no tiene ninguna importancia.

Aisladores eléctricos.—Las arcillas verdes de que se viene tratando pueden usarse también como material de relleno en la elaboración de artículos eléctricos moldeados, existiendo algunos de estos productos que consisten esencialmente de mezclas de montmorillonita, mica, agua, ácido bórico y glicerina, con las que se obtienen pastas empleadas en la elaboración de parrillas y otros aparatos de calefacción eléctrica.

Lápices, crayones y colores al pastel.—Las arcillas empleadas en la elaboración de puntillas para lápices requieren un material muy fino y absolutamente libre de partículas arenosas, lo que requiere una molienda muy concienzuda, siendo preciso en muchos casos realizar una cuidadosa refinación de las materias primas, mediante procesos endosmóticos.

Si se purifican convenientemente las arcillas verdes de que se viene tratando, es muy probable que encuentren aplicación en esta clase de

actividades industriales. Por otra parte, los fabricantes de lápices de color (crayones) y colores al pastel, muy especialmente en aquellos casos en que se emplean grasas o ceras para hacer la mezcla empleada en su elaboración, encontrarán en estas arcillas verdes una inmejorable materia prima, siempre que se les sujete previamente a un lavado tanto más cuidadoso cuanto más fino sea el grano del producto que se desee obtener.

2).—*Empleo de la montmorillonita como adsorbente, absorbente y emulsificante.*—El uso de este material arcilloso para los fines que se especifican antes, depende esencialmente de sus propiedades coloidales, encontrando sus principales aplicaciones en las siguientes industrias:

Jabones y detergentes.—Son ya conocidas las propiedades limpiadoras de la montmorillonita, siendo muy útil este material para limpiar superficies vidriadas, especialmente cuando las manchas son de carácter aceitoso o grasoso. Numerosos estudios realizados a este respecto y en relación con el aprovechamiento de esta substancia en las fábricas de jabón, han conducido a la conclusión de que la montmorillonita puede reemplazar del 25 al 50% de la materia jabonosa, sin que se pierda la acción limpiadora del producto elaborado y, en algunos casos, se ha comprobado que la propiedad limpiadora del jabón mejora notablemente.

Algunos investigadores manifiestan que cuando la substancia jabonosa contiene arcilla coloidal, produce mayor cantidad de espuma, en relación con el jabón puro; que la espuma del jabón arcilloso es más persistente; que mayor cantidad de agua es convertida en espuma; que las propiedades limpiadoras del jabón mejoran notablemente por la presencia de la citada arcilla y que la tensión superficial de las soluciones correspondientes, es grandemente reducida cuando se añade al jabón una conveniente cantidad de montmorillonita (1).

La acción limpiadora de la montmorillonita parece fundarse en la facilidad que tiene esta substancia de emulsificarse; adsorbe el jabón y a su vez es adsorbida, coagulada o suspendida en la espuma, previniéndose de este modo que el polvo separado por el lavado retorne nuevamente a la superficie de donde se retiró. Por otra parte, es indudable que la acción de la montmorillonita que efectúa la saponificación de las grasas, debe estar relacionada con la alcalinidad producida por la hidrolización de este material al ponerse en contacto con el agua.

---

(1) F. E. Weston, Colloidal Clay in Soap Manufacture. Chem. Age. vol. 2, pág. 58. 1920.

Aunque se han realizado inumerables pruebas con jabones puros y arcillosos, no es posible determinar *a priori* cuándo una montmorillonita es útil o no para adicionarse a la materia jabonosa, siendo necesario efectuar pruebas prácticas y comparar los resultados obtenidos con el uso de jabones de diversos tipos con montmorillonita o sin ella. En todo caso, dichas pruebas deben realizarse con la misma agua, igual temperatura, tiempo de cocimiento, agitación, etc.

Decoloración de aceites y grasas.—Una de las aplicaciones industriales más comunes de la montmorillonita es su empleo como decolorante de aceites y grasas. Para efectuar esto, se usa montmorillonita natural o tratada previamente con solución ácida, siendo esta última la más estimada porque ejerce una acción decolorante más enérgica.

El tratamiento de la montmorillonita con ácido para preparar un activo agente decolorante, es muy sencillo: se seca el material bruto al sol, se muele hasta que pasa por un tamiz de 100 mallas, se lleva a un tanque recubierto con lámina de plomo, se vierte sobre el material una solución de ácido sulfúrico al 25% y se hierve con vapor sobrecalentado. Hecho esto se lava el residuo, se filtra y seca y, finalmente, se muele hasta que pase por un tamiz de 200 mallas.

Otro método consiste en secar el material bruto a 110° C., molerlo hasta obtener polvo impalpable, digerirlo por varias horas en ácido sulfúrico al 96%, usando alrededor de 9 partes de ácido por cada 20 partes de montmorillonita en peso, y finalmente es secado y lavado con agua pura.

Tanto los aceites como las grasas se decoloran mediante su contacto con montmorillonita. La cantidad de arcilla requerida para realizar una correcta decoloración es muy variable, necesitándose de 1 a 30 kg. por cada 100 litros de material oleaginoso. En algunos casos la montmorillonita usada en la decoloración de ciertos aceites o grasas poco coloreados, puede emplearse repetidamente sin que sea necesario rejuvenecerla, pero cuando se decoloran productos teñidos fuertemente, es preciso usar tierras nuevas en cada operación.

Con respecto a las arcillas verdes de Tlaxcala, se hicieron varias pruebas con el fin de determinar su poder decolorante aun cuando fuera de modo rudimentario. Con tal fin se preparó previamente una muestra de dichas arcillas, separando primero la substancia coloidal de la tierra en bruto, usando para esto métodos de decantación y después se trató con ácido sulfúrico el residuo obtenido por evaporación de la parte decantada, siguiendo en este caso el sistema indicado antes en segundo

lugar. El producto resultante se puso en contacto durante 24 horas con diversos aceites de origen vegetal, animal y mineral, habiéndose llegado a los resultados que se indican en seguida:

Aceite de linaza.....	Notable decoloración.
Aceite de ajonjolí.....	Notable decoloración.
Aceite de manitas.....	Poca decoloración.
Mezcla de dos partes de aceite de petróleo (Mexolub de densidad 40) con dos partes de gasolina.....	Muy poca decoloración.

A pesar de que las pruebas anteriores no pueden conducir a resultados concluyentes, por no haberse cuanteado numéricamente la decoloración alcanzada, ni haberse hecho una comparación con otras tierras de conocida potencia decolorante, sí indican, sin embargo, su utilidad en esta clase de actividades.

Las razones en que se funda la acción decolorante de la montmorillonita sobre ciertos líquidos, especialmente la que ha sido tratada con ácido sulfúrico, no se ha esclarecido completamente, existiendo varias teorías tendientes a explicar este fenómeno sin que hasta la fecha se haya llegado a aclarar este asunto de modo concluyente. Sin embargo, los investigadores especializados en esta clase de estudios están acordes en que dicho efecto decolorante implica procesos relacionados con las características adsorbentes de esa arcilla y quizá también con ciertas reacciones químicas desarrolladas bajo su influjo y asimismo con fenómenos catalíticos no bien conocidos.

Pinturas, esmaltes y tintas.—Como la montmorillonita tiene la propiedad de adsorber ciertos colores y puede alcanzar un estado de división tan fina como para formar suspensiones estables, es susceptible de emplearse en la manufactura de colores de los llamados "al temple", así como también para mezclarse a pinturas al aceite o a las tintas para imprenta. En esta clase de actividades industriales se toma en cuenta la cualidad que tiene la montmorillonita de adsorber y peptizar algunos pigmentos, especialmente el negro de humo y se aprovecha asimismo su propensión a formar emulsiones con el agua y los aceites.

3).—*La montmorillonita empleada en medicamentos y cosméticos.*—Cuando la montmorillonita se mezcla con algunos líquidos produce pastas homogéneas y plásticas que poseen ciertas cualidades benéficas al cuerpo humano. Dicha acción parece explicarse principalmente por las

propiedades coloidales de esta arcilla, que actúa como detergente o como absorbente de la humedad y de las sales toxinas alojadas en la superficie del cuerpo. El efecto benéfico que en este sentido ejercen dichas preparaciones es asistido por el contacto de la pasta húmeda con la piel, lo que provoca la expansión de los poros, facilitándose de este modo la acción absorbente de la arcilla. Ultimamente se emplea la montmorillonita mezclada con glicerina en la elaboración de preparados antiflogísticos y se usa también como base para pastillas y granulados medicamentosos.

Muchas de las cremas faciales usadas actualmente, consisten en montmorillonita mezclada con glicerina, mencionándose estas preparaciones como muy eficaces para la eliminación de espinillas y el exceso de grasa en la cara. Es indudable que muchas de las cualidades que se le atribuyen a las cremas faciales elaboradas a base de montmorillonita, deben producir resultados satisfactorios en los casos anotados antes, pues, como ya se ha indicado, esta arcilla posee cualidades absorbentes y limpiadoras.

También se usan preparaciones de montmorillonita para elaborar pastas destinadas a absorber los productos de la transpiración y otras secreciones del cuerpo humano y sirven además como base para depilatorios, cremas para los labios, etc. (1)

Posibilidades de explotación de los yacimientos de arcillas verdes.—Conocido el tipo a que corresponden las arcillas verdes de Tlaxcala, así como su calidad y aplicaciones industriales de que son susceptibles, conviene examinar la importancia de los yacimientos respectivos y sus posibilidades de explotación.

Capacidad.—De todos los yacimientos descritos antes, es indudable que el localizado en la barranca de Chiahucingo presenta las mejores expectativas, tanto por lo que respecta a sus dimensiones que son bastante considerables, cuanto porque el material contenido en él es de buena calidad.

Según se indicó ya, dicho depósito arcilloso se prolonga en una extensión de cerca de 500 metros, con un espesor medio de 15 metros. También se dijo que este yacimiento se continúa al lado opuesto de la barranca en condiciones semejantes de depósito, por lo que se puede conjeturar su continuidad en un área bastante extensa. No obstante

(1) Si se desean mayores detalles acerca de las aplicaciones industriales de la bentonite véase "Bentonite, its properties, mining preparation and utilization", por C. W. Davis and H. C. Vacker.—Téc. paper 438.—Dep. of Comm. of the U. S. A., 1928.

esto, haciendo las apreciaciones respecto a su capacidad, dentro de límites muy conservadores, y estimando que cada uno de los afloramientos del yacimiento se prolonga superficialmente hasta una distancia de 20 metros, permaneciendo esencialmente constante su longitud y espesor, se tendrá una capacidad de 300,000 metros cúbicos, esto es, ... 150,000 m^3 de cada lado de la barranca.

El peso específico del material en cuestión varía mucho en los diversos estratos de que consta el depósito, pero la densidad determinada a los ejemplares colectados en la margen derecha de la barranca fué de 1,801, y tomando este dato para calcular el tonelaje total, se llega a la conclusión de que en dicho yacimiento existen a lo menos 540,300 toneladas de arcilla montmorillonítica.

Por todas estas razones, se deduce que tanto por las dimensiones del yacimiento, como por la calidad de la arcilla contenida en él, es de considerarse que se halla plenamente justificada la inversión de los capitales necesarios para realizar su conveniente explotación.

Dadas las condiciones morfológicas del depósito, que consiste de varias capas arcillosas sobrepuestas unas a otras, en posición sensiblemente horizontal, es de aconsejarse que se desarrollen los trabajos de extracción a cielo abierto, evitándose de este modo el que se tengan que llevar a cabo laboriosas obras de ademe, a efecto de prevenir los desplomes tan comunes en los yacimientos de esta naturaleza.

Hecha la extracción del material en bruto, debe sujetársele a un lavado más o menos cuidadoso, pues no hay que olvidar que el valor industrial del material extraído depende esencialmente de la cantidad de montmorillonita que pueda obtenerse de él. El lavado en cuestión puede realizarse construyendo un sencillo escurridero en forma escalonada, lo que no exigiría mucha labor, ni sería muy dispendioso, dada la fuerte pendiente que presenta el cauce de la barranca en ese lugar. Como, por otra parte, el arroyo que circula en su fondo está alimentado por pequeños manantiales que se hallan en la parte inicial de la barranca y no se agota el agua durante todo el año, se comprende que no puede ser más favorable la localización del yacimiento arcilloso a que se viene haciendo referencia, el que además presenta condiciones de depósito muy propias para lograr una provechosa explotación industrial.

Vías de comunicación.—Para el transporte del producto arcilloso obtenido después de los lavados, pueden aprovecharse dos vías de comunicación: una es la carretera que liga Tizatlán con Tlaxcala y otra es el Ferrocarril Mexicano.

La ciudad de Tlaxcala está comunicada a su vez con las ciudades de Puebla y México por dos buenas carreteras, como son la que conduce a Puebla, pasando por Acuitlapilco, Tepeyanco y Xicotzingo y la que va a la ciudad de México, tocando como punto intermedio la población de San Martín Texmelucan.

Asimismo, el ramal del Ferrocarril Mexicano que se desprende de Apizaco para dirigirse a Puebla, pasa por la población de Santa Ana Chiautempan, que se localiza al SW. del yacimiento arcilloso, como a 8 kilómetros de distancia en línea recta.

Hasta ahora sólo se han hecho débiles intentos de explotación del depósito arcilloso, pues los habitantes del lugar se han concretado a extraer el material y, sin sujetarlo a ninguna preparación previa, lo entregan a los consumidores, bien a la orilla de la carretera que va a Tlaxcala, o en la estación del ferrocarril de Santa Ana.

En el primer caso, los trabajadores que se ocupan de extraer y transportar la arcilla, cobran a razón de cincuenta centavos por cada carga de dos costales, que son aproximadamente 100 kg. y cuando lo llevan a la estación Santa Ana, cobran una cuota variable entre $8.00 y $12.00 por tonelada.

OTRAS ARCILLAS

Las arcillas verdes que se describieron antes y que prácticamente pueden considerarse como de carácter residual, muestran notables diferencias de composición, comparadas con otras arcillas también muy abundantes en Tlaxcala y cuyo origen es francamente de transporte.

Como es lógico, la distribución de este tipo de arcillas es mucho más extensa que el anterior, pero su pureza deja mucho que desear, por lo que sólo pueden utilizarse en aquellos casos en que no se requiere un material de primera calidad, como el que se usa en la elaboración de loza corriente y fabricación de tejas, tabiques y otros materiales para construcción.

Cerca de Tepeyanco y al W. de la carretera que conduce de Tlaxcala a Puebla hay un cerro llamado Tzonpiltecatl, donde se encuentra un gran depósito arcilloso de color blanco, pero por desgracia el material de que se compone este yacimiento no es aprovechable, al menos por el momento, porque contiene muy abundante cantidad de carbonato cálcico y otras impurezas que lo hacen prácticamente inútil para su aplicación industrial. (Fot. Núm. 3.)

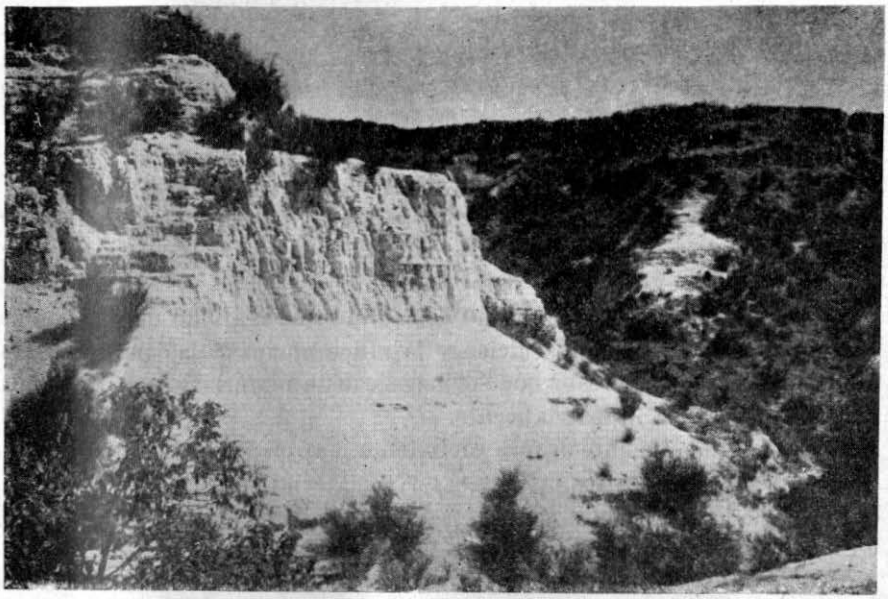


Foto Nº 3.—Depósito de caolín en Tepeyanco, Tlax.

Se transcribe en seguida el análisis químico correspondiente a este material: (1)

Humedad	6.00
Pérdida al rojo	22.14
Sílice (SiO_2)	29.46
Alúmina (Al_2O_3)	3.91
Oxido ferroso (FeO)	0.43
Oxido férrico (Fe_2O_3)	2.15
Oxido cálcico (CaO)	17.11
Bióxido de titanio (TiO_2)	0.67
Bióxido de carbono (CO_2)	16.63
	98.50

Haciendo una hipotética agrupación molecular de los elementos consignados en el análisis anterior, resultaría lo siguiente:

(1) Análisis practicado en los Laboratorios del Instituto por el Ing. Químico Carlos B. Beristáin.

Opalo y calcedonia probable	45.00 %
Carbonato cálcico	30.54
Caolín	10.15
Limonita	2.51
Indeterminado (principalmente tequesquite, siderita, ilmenita, etcétera.)	5.80
Humedad	6.00
	100.00 %

Como puede verse, la cantidad de caolín es en realidad muy pequeña, en tanto que el carbonato cálcico y la sílice alcanzan las proporciones más altas, siendo por esto que se juzga a este material como impropio para aprovecharse industrialmente.

Independientemente de este yacimiento, hay en otros lugares de Tlaxcala numerosos depósitos arcillosos cuyo material se utiliza para la elaboración de loza corriente, siendo los más interesantes los que se localizan en las inmediaciones de San Sebastián Atlampa, en Tlaxco y en La Trinidad Teneyac. En todos estos lugares se elaboran artículos de loza corriente, que son moldeados a mano y cocidos en pequeños hornos de forma cilíndrica o de otras formas, como los que se ilustran en las fotos números 4 y 5.

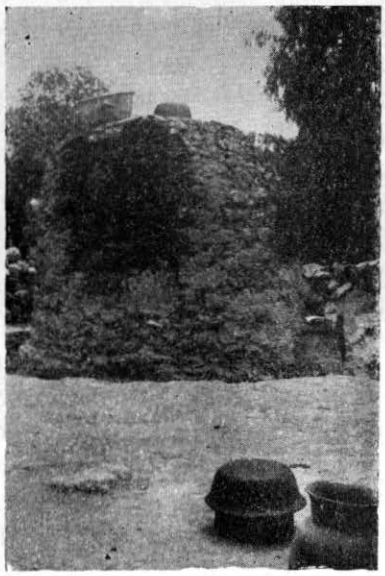


Foto Nº 4.—Horno para cocer loza corriente en La Trinidad Teneyac, Tlax.

Los fabricantes de estos productos de loza corriente utilizan barro de color pardo, muy plástico, y se concretan por lo general a barnizar con greta los artículos moldeados, pero sin que se haya intentado hacerles alguna labor decorativa.

Esta industria se desarrolla raquíticamente, siguiendo procedimientos de elaboración sumamente rudimentarios. No obstante, dada la habilidad con que realizan su trabajo los que laboran en ella, es de suponerse que recibiría un gran impulso si se les dotara de tornos y otras herramientas de trabajo, encaminándolos también a construir hornos que realizaran una cocción más satisfactoria que la obtenida con los hornitos utilizados actualmente por ellos.

La industria ladrillera muestra en Tlaxcala mayor desarrollo que la

Foto Nº 5.—Horno empleado en Tlaxco para fabricar loza coriente.

de loza corriente, habiendo algunos lugares como en San Gabriel, cerca de Tlaxcala y en las inmediaciones de Apizaco, donde se hace la explotación de algunas arcillas de color obscuro, elaborando tabiques y ladrillos que cuecen en hornos de tipo intermitente.

A pesar de que esta industria no ha encontrado hasta ahora un ambiente propicio a su desarrollo, toda vez que en las construcciones de Tlaxcala se ha dado preferencia al adobe, es quizá una de las industrias más prometedoras, pues dado el sensible adelanto material que está experimentando actualmente el Estado, es de creerse que las construcciones que se realicen en el futuro hagan abundante uso de tabiques y ladrillos. Por tal razón, se sugiere la conveniencia de que dichas fábricas adquieran la maquinaria necesaria para amasar las pastas y para manufactu-

rar ladrillos prensados, con lo que además de mejorar el producto elaborado, se violentaría su producción y se obtendrían asimismo piezas de figura y dimensiones uniformes.

Sería también conveniente adoptar hornos de tipo continuo o semicontinuo, para el cocimiento de las piezas elaboradas, haciéndose posible de este modo el que se cocieran fuertes cantidades de buen material para construcción que, por haberse producido en menor tiempo que el ordinariamente empleado en estos casos, resultaría a bajo costo y, por lo mismo, se pondría de este modo al alcance de las modestas fortunas de una gran mayoría de los pobladores de Tlaxcala.

CALIZAS

No obstante que en la constitución geológica del Estado de Tlaxcala entran las rocas ígneas de modo predominante, existen sin embargo abundantes depósitos de rocas calcáreas derivadas de la alteración y desintegración de otras rocas preexistentes.

Dichos depósitos se localizan de preferencia en la porción central del Estado, en una zona de forma alargada, que se prolonga desde las eminencias inmediatas a La Virgen, situada al N.NW. de San Martín Texmelucan, hasta Tecoac, que se halla al N. de Huamantla.

En toda esta zona se encuentran numerosas capas de material calcáreo intercaladas entre estratos arcillosos, arenas y caliches, pero aunque todas esas capas son susceptibles de aprovechamiento industrial, es indudable que en los sitios donde los bancos calcáreos alcanzan mayor desarrollo es donde presentan mejores perspectivas respecto a su explotación. Este es el caso de Tecoac, en San Juan Quetzalcoapan y en el rancho de La Trinidad Tlaxcantitla.

Al N. de Tecoac y a muy corta distancia del poblado, se eleva una pequeña eminencia conocida con el nombre de cerro Benito. Este cerro, de figura un tanto arredondada, cuenta entre sus rocas constitutivas con numerosos lechos de materiales calcáreos de color blanco grisáceo de 30 a 80 centímetros de espesor, que se hallan dispuestos a manera de capas superpuestas unas sobre otras y separadas por estratos más o menos delgados de arcillas y caliches.

Considerados en su conjunto los referidos lechos calcáreos, alcanzan un espesor total de más de 10 metros y sus afloramientos se distinguen en una extensión longitudinal no menor de 300 metros, en tanto que superficialmente ocupan una zona de cerca de 30 metros de ancho.

Materiales muy semejantes se encuentran también en las inmedia-

ciones de San Juan Quetzalcoapan, que se localiza como a 10 kilómetros al SW. de Apizaco. En este lugar el material calcáreo fué descubierto por la acción erosiva realizada por un pequeño arroyo de carácter torrencial, pudiéndose ver el afloramiento calizo en una extensión como de 10 metros, con un espesor poco mayor de 1.50 metros. Dadas las condiciones topográficas de la localidad, que son bastante uniformes y dan lugar a la formación de una llanura poco accidentada, no fué posible reconocer más detenidamente el depósito calcáreo, ni obtener mayores detalles respecto a sus posibles dimensiones. No obstante, tomando en cuenta el origen sedimentario de dicho material, es de suponerse que su depósito no se concrete a ocupar una superficie de reducidas dimensiones, debiéndose prolongar en una extensión bastante considerable.

Esto es tanto más probable, cuanto que en el rancho de La Trinidad Tlaxcantitla, localizado como a 15 kilómetros al NW. de Apizaco, aparecen estos mismos materiales con idéntica composición, color y textura y que se hallan además en iguales condiciones de depósito, pues se encuentran también en una zona poco accidentada y sólo afloran en una reducida extensión superficial, que fué descubierta por fenómenos de carácter erosivo.

En realidad todos los materiales calcáreos de la porción central de Tlaxcala presentan características físicas similares, lo que induce a creer que deben haberse formado en un medio ambiente común, pues todos ellos son de color blanquecino, un tanto porosos y se hallan intercalados entre estratos arcillosos y calichosos. Es indudable que su origen es de carácter lacustre y, por lo tanto, en la mayoría de las localidades donde afloran, muestran muy ligeras discrepancias en cuanto a su composición química.

Aplicaciones industriales.—El aprovechamiento industrial de los materiales calcáreos de Tlaxcala se relaciona muy estrechamente con su composición química, siendo susceptibles de utilizarse en la fabricación de cal para mortero y en la elaboración de cal hidráulica y cemento.

Cal.—Bastante conocida es la secuela seguida en la elaboración del óxido cálcico empleado en los morteros para construcción, por lo que no se cree indispensable detenerse a descripciones por demás innecesarias. El material calcáreo se calcina en hornos adecuados y a temperatura superior a 900° C. obteniéndose el óxido cálcico sin más tratamiento.

Sin embargo, la composición química de la materia prima empleada

en esta fabricación, debe contener una gran proporción de carbonato cálcico, si se desea obtener un óxido de buena calidad.

Por desgracia, los materiales calcáreos de Tlaxcala son relativamente escasos en carbonato cálcico, pues por lo general no llega esta substancia al 90% de su composición total, razón ésta por la que no es posible esperar que se elabore en Tlaxcala muy buena cal, si sólo se ha de contar con esta materia prima.

A pesar de esto, se cree posible la implantación de fábricas de óxido cálcico en el Estado, las que si bien no estarán en condiciones de elaborar una cal de primera clase, sí pueden, sin embargo, producir un óxido bastante aceptable y dada su cercanía a los centros locales de consumo, es de esperarse que se obtenga a bajo costo, poniéndose así en situación ventajosa para poder competir con el producto de mejor calidad, pero más costoso que se produce en los Estados vecinos.

Es por esto que la fábrica de cal establecida en Apizaco ha podido trabajar con éxito, empleando como materia prima los depósitos calcáreos que se hallan cerca de la localidad, aun cuando en realidad fabrican su cal mezclando a dichos materiales pequeñas proporciones de caliza procedente de yacimientos situados en el Estado de Puebla.

Cales hidráulicas.—Mejor que fabricar óxido cálcico, convendría aprovechar los materiales calcáreos de Tlaxcala para elaborar cal hidráulica.

En efecto, entre las impurezas contenidas en los materiales calcáreos de que se viene tratando, se hallan cantidades apreciables de sílice y de alúmina. No toda la sílice se encuentra al estado libre, sino que parte de ella está combinada con la alúmina, formando arcilla, pero no obstante, sobra todavía una buena proporción de SiO_2.

Esta circunstancia, que es perjudicial en el caso de la fabricación de óxido cálcico, viene a resultar favorable para la cal hidráulica.

Este producto se fabrica calcinando caliza silícea cuyo contenido en carbonato cálcico se halle en tal proporción con respecto a la sílice y la alúmina, que el material calcinado contenga considerable cantidad de óxido cálcico libre, además de los silicatos y aluminatos que se forman simultáneamente.

El producto final debe presentar características de tal naturaleza que se desmenuce lentamente cuando se le mezcla con agua (debido a la presencia de óxido cálcico libre), pero al mismo tiempo debe contener suficiente cantidad de silicatos, aluminatos y ferritos cálcicos, para producir su fraguado.

Todos estos requisitos los llenan los materiales calcáreos de Tlaxcala, pues, como se verá por los análisis que se transcriben en seguida, tanto la sílice como la alúmina se hallan en regular proporción y asimismo se encuentran buenas cantidades de óxidos de fierro.

Caliza procedente de las inmediaciones de Los Reyes (1).

Humedad (H_2O)	0.50 %
Sílice (SiO_2)	8.32
Carbónico (CO_2)	38.39
Oxido ferroso (FeO)	0.00
Oxido férrico (Fe_2O_3)	2.35
Oxido de aluminio (Al^2O_3)	1.47
Oxido de calcio (CaO)	47.85
Oxido de magnesio (MgO)	1.06
	99.94 %

Caliza del yacimiento de Quetzalcoapan.

Agua (H_2O)	0.81 %
Sílice (SiO_2)	7.28
Sulfúrico (SO_3)	No hay.
Fosfórico (P_2O_5)	Huellas.
Carbónico (CO_2)	39.67 %
Alúmina (Al_2O_3)	0.86
Oxido férrico (Fe_2O_3)	0.62
Bióxido de titanio (TiO_2)	No hay.
Oxido de manganeso (MnO)	Huellas.
Oxido cálcico (CaO)	49.22 %
Oxido magnésico (MgO)	1.08
Oxido potásico (K_2O)	0.01
Oxido sódico (Na_2O)	0.49
	100.04 %

Las pruebas hechas en el Laboratorio de la Oficina de Minerales No-Metálicos del Instituto de Geología, con los materiales calcáreos de Quetzacoapan y Tlaxcantitla, resultaron bastante halagadoras, pues en

(1) Análisis realizado por el Ing. Químico Carlos B. Beristáin.

ambos casos se obtuvo una cal hidráulica que al mezclarse con agua reaccionó con elevación de temperatura, por formarse hidróxido cálcico y se produjo finalmente una pasta que fraguó en poco más de 4 horas y endureció en un lapso variable entre 12 y 15 horas.

El material calcáreo de Tecoac no dió resultados tan buenos como los anteriores, pero es muy probable que en esa misma localidad se encuentre un material más adecuado para el caso, pues, como ya se hizo notar, si bien todos esos materiales muestran una composición semejante en cuanto al carbonato cálcico, no es lo mismo en lo que se refiere a la sílice y la alúmina, cuyas proporciones fluctúan frecuentemente, aun en lugares bastante cercanos de un mismo depósito calcáreo.

En realidad, lo conveniente sería elegir entre todos los yacimientos calcáreos, aquel que estuviese constituído por un material cuya composición presentara mayor proporción de sílice y alúmina, a efecto de producir una cal hidráulica que fraguara más rápidamente que las descritas antes.

Dado el origen lacustre de dichas calizas, no es nada difícil que se encuentren algunos sitios en que se haya realizado la precipitación del carbonato cálcico conjuntamente con depósitos de naturaleza arcillosa, fenómeno que es fácil que se produzca en lugares más o menos cercanos a las riberas del antiguo lago.

Cuanto mayor sea la proporción de sílice y alúmina mezclada a la caliza, tanto mejor resultará la cal hidráulica que se elabore con ella y cuando esa proporción monta a cantidades que fluctúan del 15 al 40% de óxidos sílico, alumínico y férrico, se tendrá entonces un verdadero cemento natural.

Cementos.—Según esto, el cemento natural se fabrica con calizas impuras que contengan del 15 al 40% de arcilla y óxidos de fierro. Se calcina este material a temperatura un poco superior a la necesaria para la fabricación de cal y se obtiene así un cemento que consiste en una mezcla de silicatos cálcicos, aluminatos y ferritos. El cemento natural no contiene óxido cálcico libre y es preciso molerlo antes de usarlo, fraguando con bastante prontitud cuando se mezcla con agua.

Los cementos naturales son muy semejantes en composición al cemento Portland, del que sólo se diferencian porque en la fabricación del cemento natural se emplean temperaturas más bajas que las usadas para la elaboración del cemento Portland.

Es indudable que entre las calizas de Tlaxcala deben encontrarse algunas que presenten las características químicas requeridas para la elaboración de cemento natural, pero la localidad donde se halle el mate-

rial necesario para esta industria, sólo puede descubrirse haciendo un muestreo sistemático de todos los yacimientos calizos del Estado, seguido de un cuidadoso análisis de cada una de las muestras colectadas, a efecto de reconocer en todas ellas las proporciones en que se encuentran los diversos elementos de que se componen.

Cemento Portland.—Este cemento es el producto obtenido calentando hasta alcanzar una incipiente fusión, una mezcla artificial y finamente pulverizada, de algunos materiales que contienen compuestos de carbono, sílice, alúmina y óxidos de fierro, en proporciones que no deben exceder ciertos límites. La masa semifundida resultante, llamada "clinker", se pulveriza muy finamente y queda terminada con esto la elaboración del cemento.

El cemento Portland es el más empleado en la actualidad, debido a su resistencia y durabilidad.

Las materias primas empleadas en su elaboración consisten esencialmente en calizas y arcillas. Para seleccionar correctamente estos materiales hay que tener presente que el contenido en carbonato cálcico total debe montar a una cantidad más o menos cercana al 75%. Los materiales aludidos no solamente deben tener una adecuada composición química, sino que además es necesario que presenten características físicas convenientes. Cuando las calizas contienen cantidades apreciables de magnesio no deben emplearse en la fabricación de cemento, a menos que el contenido en óxido magnésico no exceda de 5 a 6%; también la sílice en forma de pedernal o de arena, en granos más o menos gruesos, son impurezas que deben evitarse, en tanto que los álcalis y sulfatos no deben exceder al 3%.

La arcilla elegida como materia prima para esta industria, si no es de naturaleza calcárea, no debe contener menos de 55% de sílice, ni exceder a un 70% de esta substancia; en cuanto a la alúmina y al fierro .. ($Al_2O_3 + Fe_2O_3$), deberán hallarse en proporción de 1:3, con relación a la sílice. Las arcillas que contienen una alta proporción de alúmina no son convenientes para la elaboración del cemento Portland, porque al mismo tiempo que elevan la temperatura de vitrificación del "clinker", hacen más rápido el fraguado del cemento obtenido.

Las calizas de Tlaxcala, a pesar de ser un tanto impuras, podrían ser aprovechables para elaborar cemento Portland, pero para resolver en concreto lo relativo al establecimiento de una planta industrial que persiguiera esta finalidad, sería indispensable efectuar antes estudios bastante detallados que permitieran conocer exactamente las verdaderas proporciones que alcanzan los depósitos de la región central del Estado, pues

por lo que se ha podido apreciar superficialmente, puede decirse que los afloramientos correspondientes a dichas rocas aparecen siempre en forma de mantos delgados y, por lo mismo, no se cree probable que esa clase de depósitos se hallen en condiciones de satisfacer las crecidas necesidades de materia prima que exige el sostenimiento de una industria de esta naturaleza.

Posibilidades de explotación de las calizas.—La explotación de las calizas de Tlaxcala presenta ciertas dificultades, por encontrarse sus depósitos en forma de capas más o menos delgadas, intercaladas entre estratos detríticos no bien consolidados. Esto obliga a realizar la extracción de los materiales calcáreos siguiendo el manto calizo y reforzando cuidadosamente con obras de ademe o dejando pilares en todas las partes excavadas.

Como se comprenderá, en estas condiciones se aumenta el costo de la explotación y como el valor relativamente bajo de los materiales extraídos no pagaría gastos muy crecidos, es de estimarse que los lugares en que el material calcáreo pueda extraerse a cielo descubierto, es donde presenta mayores facilidades para su explotación.

Este es el caso de Tecoac, en Quetzalcoapan y en Tlaxcantitla.

En Tecoac la parte visible del yacimiento presenta una capacidad cercana a 100,000 metros cúbicos, pues como se recordará, en este lugar los mantos calizos afloran a lo largo de una zona de 300 metros de longitud, con 10 metros de altura total y unos 30 metros de superficie.

De todos los yacimientos conocidos en Tlaxcala, este es el más importante y por lo mismo, es en este lugar donde convendría establecer una fábrica de óxido cálcico o, mejor, de cal hidráulica.

Los yacimientos de Quetzalcoapan y Tlaxcantitla presentan dimensiones muy reducidas, pero los materiales contenidos en ellos son de mejor calidad en lo que respecta a su aplicación como materia prima para la elaboración de cal hidráulica y como en realidad sólo se conocen los afloramientos superficiales de estos depósitos, es lógico que antes de hacer cualquier intento de explotación se impone la necesidad de efectuar algunos sondeos, a efecto de reconocer la continuidad del referido depósito hacia la profundidad.

Como quiera que sea, conviene saber que el óxido cálcico o la cal hidráulica que se fabrique en estos sitios, tiene pocas probabilidades de encontrar mercado más allá de ciertos límites, siendo lo más probable que su consumo se circunscriba, casi exclusivamente, a los poblados situados cerca del centro productor.

Vías de comunicación.—Muy cerca de Tecoac pasa la vía del Ferrocarril Mexicano y un poco más al S. se alcanza la carretera que conduce de Huamantla a Apizaco. Estas dos vías de comunicación pueden ser de gran utilidad para el transporte del producto elaborado, siendo de interés advertir que tanto Huamantla como Apizaco son dos de las más importantes poblaciones del Estado de Tlaxcala y es probable que en esos lugares se haga un gran consumo de óxido cálcico y de cal hidráulica, toda vez que una y otra población se encuentran actualmente en un activo período constructivo.

A todo esto hay que añadir que Huamantla se halla tan sólo a 9 kilómetros de Tecoac, en tanto que Apizaco dista 25.5 kilómetros por la vía férrea y alrededor de 32 kilómetros siguiendo la carretera.

Los yacimientos de Quetzalcoapan y Tlaxcantitla se encuentran en mejor situación con respecto a Apizaco, pues el primero se localiza a unos 10 kilómetros al SW. de esa población, con la que está ligado por medio de un camino que se halla en buenas condiciones para el tránsito de vehículos.

Tlaxcantitla no cuenta con buenos caminos, pero su construcción sería sencilla toda vez que el lugar donde se localiza el depósito calcáreo se encuentra en una zona poco escabrosa, según ya se tiene dicho. Se requeriría pues construir un camino como de 3 kilómetros de longitud, que condujera del yacimiento a Muñoz, lugar este que a su vez se comunica con Apizaco, tanto por carretera como por ferrocarril, estando distante 10 kilómetros de esta última población.

MÁRMOL

En relación con los depósitos de materiales calcáreos, debe mencionarse el mármol que existe en el paraje llamado La Calera, que se localiza como a 12 kilómetros al SW. de Calpulalpan.

En este lugar se encuentra un gran yacimiento de caliza marmorizada, cuyo origen presenta estrecha asociación con los fenómenos eruptivos y postvolcánicos que se desarrollaron en otra época en esta comarca.

Los bancos marmorizados tienen rumbos diversos, fluctuando entre EW. y 85° NW.—SE., en tanto que el echado predominante es hacia el S. y varía entre 48° y 75°.

El mármol de referencia es de color blanco, con bandas coloreadas por óxidos de fierro y su grano es relativamente grueso, encontrándose también grandes cristales de aragonita.

Aplicaciones industriales.—Los bancos marmorizados de La Calera son susceptibles de aprovecharse en la elaboración de cal para construcciones o para hacer polvo y grano de mármol, pues debido al grosor de sus cristales no se presta para obtener superficies finamente pulimentadas, por lo que se considera impropio para emplearse en trabajos ornamentales o escultóricos.

Cal.—Indudablemente que con este material puede obtenerse un óxido cálcico de magnífica calidad, bastando para esto con calcinarlo en la forma que se sigue ordinariamente en esta industria.

Siendo la cal para construcciones tan escasa en Tlaxcala, es inexplicable que no se haya emprendido hasta ahora la explotación de este depósito, lo que tal vez se deba a la conocida preferencia que por su bajo costo encuentra el adobe entre las modestas construcciones de muchas partes del Estado.

Así pues, convendría construir en este lugar uno o varios hornos en los que se calcinara el expresado material marmóreo, siendo seguro que los industriales dedicados a esta explotación obtendrían un producto que por su calidad podría competir ventajosamente con las mejores cales producidas en los Estados vecinos.

Polvo y grano de mármol.—Este mismo mármol sirve además para hacer polvo y grano, materiales que tienen una gran demanda no sólo para las construcciones de la ciudad de Tlaxcala, sino también en las de México y Puebla.

Para esta explotación sólo se requiere moler el mármol y tamizarlo posteriormente para separar el polvo del grano. En este caso conviene elegir los lugares en que el material es más puro, debiéndose desechar las zonas manchadas de amarillo por los óxidos de fierro.

Posibilidades de explotación.—Si el material de este yacimiento se utiliza para elaborar óxido de calcio, se dispone entonces de una gran cantidad de materia prima, pues independientemente de los bancos de mármol macizo a que se ha hecho referencia, puede emplearse también una enorme cantidad de pedacería que, a manera de brechas sin consolidar, aparecen en la eminencia a cuyo pie se yerguen los bancos marmóreos, pudiéndose estimar que existen muchos miles de toneladas de pedacería de caliza marmorizada, utilizable para la elaboración de cal.

Para hacer polvo y grano se requiere efectuar una selección del material aprovechable, debiendo elegirse el más blanco, tal como se encuentra, por ejemplo, en los bancos de mármol macizo.

Más conveniente sería hacer la explotación de este material para ambas finalidades industriales, pues al preparar la roca para elaborar

cal, sería muy sencillo seleccionar, al mismo tiempo, el material apropiado para la molienda.

Vías de comunicación.—Al pie del yacimiento de La Calera pasa un buen camino carretero que conduce a Calpulalpan, distante, según ya se indicó, unos 12 kilómetros. Esta población es por sí misma un buen centro de consumo y además está comunicada a su vez con las ciudades de México y Puebla, por medio del Ferrocarril Interoceánico, circunstancia que en este caso adquiere bastante importancia, toda vez que el material elaborado, especialmente el polvo y grano de mármol, puede encontrar un buen mercado en esas poblaciones.

La ciudad de Tlaxcala, en cambio, se halla un tanto apartada, pues no existiendo un buen camino entre esa población y Calpulalpan, habría que hacer el transporte de los productos remitiéndolos primero por ferrocarril hasta San Martín Texmelucan y de este lugar, por carretera, hasta Tlaxcala.

TIZAR

Una de las substancias más abundantes en Tlaxcala es el tizar, con la circunstancia de que a su abundancia concurre también la magnífica calidad del material contenido en los yacimientos diatomíferos del Estado.

Aunque el tizar aparece distribuído en yacimientos aparentemente independientes, que se localizan en diversos lugares del Estado, no se halla en realidad sino en una región que se extiende desde La Blanca y San Sebastián Tezopilco, hasta las inmediaciones de la ciudad de Tlaxcala.

Toda esta comarca se encuentra al E. de los montes de Río Frío, en cuyo lugar ocurrieron a fines del Cenozoico y quizá también más tarde, fuertes erupciones de carácter explosivo, acompañadas de emisiones más o menos frecuentes de productos piroclásticos que, al acumularse en los lugares cercanos al foco de emisión, dieron lugar a la formación de una hondonada o pequeña cuenca abierta hacia el S. y cuyos probables límites occidentales deben haberse encontrado muy cerca de las últimas estribaciones orientales de las citadas montañas de Río Frío.

La configuración topográfica originada del modo descrito antes, sufrió posteriormente modificaciones de importancia, debido probablemente a los productos disgregados procedentes de una ulterior actividad volcánica y que vinieron a formar una serie de barreras que obstruye-

ron los desagües naturales preexistentes, transformando a la región en una cuenca cerrada.

Al cerrarse la cuenca referida, fueron cegados los cursos de los ríos o arroyos que circulaban a través de ella y en consecuencia, el agua que transportaban estas vías fluviales, no encontrando salida, se acumuló en cantidad relativamente considerable, dando lugar a la formación de un lago que ocupaba la porción central del Estado.

Es indudable que dicho lago contenía un volumen de agua más o menos permanente, sin que su nivel se viera afectado de manera muy notable, por las temporadas alternantes de lluvias y sequías, ya que la magnitud y naturaleza de los depósitos que se descubren en lo que corresponde al fondo del antiguo lago, sugieren un amplísimo desarrollo de vida animal y vegetal, que sólo pudo realizarse en el seno de aguas tranquilas y persistentes.

La existencia de esta cuenca lacustre debe haberse prolongado durante un período de tiempo muy considerable, a juzgar por las grandes acumulaciones de restos de microorganismos que se descubren en la zona descrita, mismos que constituyen el tizar de estos depósitos.

Dicho tizar es un material de aspecto pulverulento o terroso, fácilmente disgregable, siendo su color bastante blanco, aunque en algunos lugares de reducida extensión superficial se encuentra ligeramente teñido de amarillo.

No ha sido posible hasta ahora hacer un estudio completo y detallado de la flora existente en estos depósitos, pero el examen microscópico y clasificación específica de algunos de los microorganismos más abundantes, descubrió las siguientes especies: (1). *Melosira varians, Cocconeis lanceolatum, Cocconeis mexicanum, Amphora ovalis?, Cocconeis lineata, Epithemia Argus, Navicula Pinularis viridis* y *Spongolithis acicularis,* perteneciendo todas ellas a especies de algas que vivieron en aguas dulces, de carácter continental y régimen permanente, en las que prevalecían condiciones tranquilas que favorecían su amplio desarrollo y constante multiplicación.

En apoyo de esta idea puede citarse la uniformidad que presentan las capas de los depósitos principales, así como también la pureza del material de que se componen, todo lo cual hace pensar que en estos sitios deben haberse encontrado las partes más profundas del antiguo vaso, en tanto que la magnitud de los yacimientos atestiguan la persistencia de las aguas por lapsos extremadamente prolongados.

(1) Determinaciones hechas por el Sr. Enrique Díaz Lozano.

Aplicaciones industriales.—Ordinariamente, la determinación de las propiedades físicas del tizar presenta mucho mayor interés, desde el punto de vista práctico, que el conocimiento de sus características químicas, pues las aplicaciones industriales del tizar (excepto en la fabricación de algunos productos químicos), dependen principalmente de las propiedades físicas de ese material.

Una de sus principales propiedades físicas se funda en la existencia de caparazones o celdillas huecas que encierran diminutos espacios de aire, siendo esta la razón de su aparente ligereza o baja densidad, debiéndose a esta misma causa su utilidad como medio aislante, tanto del calor como del sonido. Por otra parte, el gran número y la excesiva pequeñez de las referidas celdillas, determina su aplicación como material filtrante, en tanto que su excesiva dureza lo capacita para ser empleado como abrasivo.

Resumiendo las principales aplicaciones industriales del tizar, pueden citarse las siguientes:

1.—Aislante térmico y acústico.
   a). En forma natural.—Ladrillos aserrados.
   b). Ladrillos moldeados, compuestos de tizar pulverizado y mezclado con arcilla u otro aglutinante.
   c). Tizar pulverizado y empleado en revestimientos de toda índole.
2.—Absorbente.
   a). El tizar pulverizado se usa como absorbente de muchos líquidos, llegando a absorber el agua hasta 150 y 200% de su peso.
3.—Filtrante.
   a). Se emplea pulverizado para filtrar azúcar, jarabes, jugos de frutas, aceites, etc.
4.—Como portador de agentes catalizadores en varios procesos químicos.
5.—Como material de relleno en la industria del hule, discos fonográficos y artículos de yeso, "papier maché", lacre y otras pastas artificiales.
6.—En la industria química se emplea en la manufactura de silicato sódico; en la elaboración del ultramarino; en trabajos de pirotecnia y como base para fijar colores de anilina y alizarina.
7.—Como abrasivo fino, se utiliza para pulir superficies suaves como celuloide, resinas artificiales y otras pastas moldeadas.

Todavía tiene el tizar otros usos industriales, además de los citados antes, pero los mencionados bastan para dar una idea de la impor-

tancia de este material, cuya demanda crece más cada día, debido a las nuevas aplicaciones que se le encuentran en el campo de la industria.

No existen en el mercado especificaciones comerciales para el tizar, dependiendo las exigencias del comprador, del uso a que destina la materia de referencia. Así por ejemplo, cuando el tizar se desea utilizar como aislador térmico, se requiere que el material presente suficiente compacidad y coherencia, con el fin de poderse labrar en bloques o placas; cuando el empleo a que se le destina tiene relación con la industria cerámica, es indispensable que contenga pocas impurezas, debiendo estar desprovisto de compuestos de fierro; si se desea usar el tizar como material filtrante, conviene determinar el índice de absorción, así como la medida y la forma de las partículas de que se compone, etc., etc.

Por último, hay que advertir que en la mayor parte de los casos en que se requiere al tizar como materia prima para la elaboración de cualquier producto industrial, es indispensable que el material diatomífero contenga muy poca o ninguna alúmina, pues esta substancia perjudica en alto grado la pureza de los productos elaborados.

Posibilidades de explotación.—De los numerosos yacimientos de tizar que se hallan en esta comarca, el que presenta mayor importancia económica es el situado entre las haciendas de San Sebastián y de La Blanca, localizadas a 12 kilómetros al SW. de la estación Guadalupe, del Ferrocarril Mexicano. El tizar de este depósito es de color blanco muy puro; consiste de innumerables caparazones de especies diatomíferas de agua dulce, con muy pequeñas proporciones de materias extrañas, entre las que predominan principalmente granos de naturaleza pumítica. El tizar de referencia se encuentra acumulado en capas de bastante extensión y hasta de 40 metros de espesor, según pudo comprobarse por una perforación que se practicó en dicho depósito con fines de exploración

El tizar de este depósito ya se ha explotado aunque en escala no muy grande, existiendo todavía enormes cantidades de material por extraer.

Dada la composición del tizar, es común hallarlo en capas poco consolidadas, por lo que puede extraerse con suma facilidad, empleando tan sólo pico y pala. Sin embargo, sería más conveniente usar medios mecánicos de excavación, cuando lo exijan las circunstancias, pudiéndose extraer entonces mayor cantidad de tizar en mucho menor tiempo.

Hasta ahora se ha acostumbrado secar al sol el tizar extraído, suspendiéndose las labores durante la temporada de lluvias, lo que trae consigo una gran irregularidad en la producción. Como este yacimiento puede soportar una explotación en grande escala y para esto se requiere

una producción continua, que no se halla sujeta a interrupciones temporales más o menos largas, se sugiere el uso de secadoras de vapor, que permitan secar el tizar en todo tiempo, independientemente de las condiciones atmosféricas que prevalezcan en la localidad.

Al depósito de San Sebastián y de La Blanca, le sigue en importancia el que se localiza en Tepixcahuatl, cerca del pueblo de Tizatlán y que se continúa hacia el E. buceando en el subsuelo del mismo pueblo.

Este yacimiento tiene forma lenticular y tanto por las condiciones en que se encuentra el tizar, como por la configuración del depósito, es de creerse que se formó en una de las subcuencas que deben haberse originado en el curso de la desecación del vaso primitivo.

El tizar de este lugar no tiene la pureza del que se halla en San Sebastián y La Blanca, ni tampoco presenta la magnitud de aquel yacimiento, pues sólo alcanza un espesor máximo de 3 metros.

Parece que el río Zahuapan destruyó por erosión los mantos primitivos que deben haber sido mucho más gruesos y dejó tan sólo algunos restos que aparecen como manchones aislados que se observan con apariencias de depósitos independientes, tanto en Tepixcahuatl y otros lugares de Tizatlán, como en Ixtulco, al lado del K. 118 de la carretera que conduce de Tlaxcala a Apizaco.

También estos yacimientos han sido objeto de explotación, aunque en escala muy reducida, habiéndose abierto al efecto algunos angostos socavones, cuya longitud varía entre 4 y 12 metros y aun se llegó a construir en Ixtulco un pequeño tanque en el que se lavaba el tizar que se extraía de un depósito cercano (Fot. Núm. 6).

Por lo demás, el tizar no requiere un complicado proceso de beneficio, pues en general basta sujetar a una ligera molienda al material bruto extraído del criadero y sólo cuando el tizar es muy impuro, se hace necesario sujetarlo a un lavado, para separarle las partículas detríticas que contenga. Sin embargo, algunos productores del extranjero, venden el tizar en forma de planchas o bloques de dimensiones variables.

Vías de comunicación.—Para el transporte del material extraído del yacimiento de San Sebastián y La Blanca, pueden utilizarse dos caminos: uno que se dirige hacia el NE. y conduce a la estación Guadalupe, del Ferrocarril Mexicano, con cerca de 15 kilómetros de desarrollo y otro que toma hacia el SW. dirigiéndose a San Martín Texmelucan.

En el primero de estos caminos se aprovecha la vía del Ferrocarril Mexicano, para el transporte de grandes cantidades de tizar hacia la ciudad de México, en tanto que en el segundo se hace el transporte por la

carretera de México a Puebla, pudiendo llevarse el tizar en camiones, hasta los mismos centros de consumo.

Con respecto al grupo de pequeños yacimientos de Tepixcahuatl, Tizatlán e Ixtulco, se acostumbra enviar el tizar a Santa Ana Chiautempan, aprovechando la carretera que une Tlaxcala con Apizaco, para embarcarlo en ese lugar a bordo de furgones del Ferrocarril Mexicano.

CENIZAS VOLCÁNICAS

Las erupciones volcánicas desarrolladas en Tlaxcala durante el Cenozoico y Psicozoico, no siempre fueron de carácter tranquilo, sino que en las postrimerías de la actividad volcánica se produjeron erupciones de tipo explosivo, durante las que se proyectaron a la atmósfera

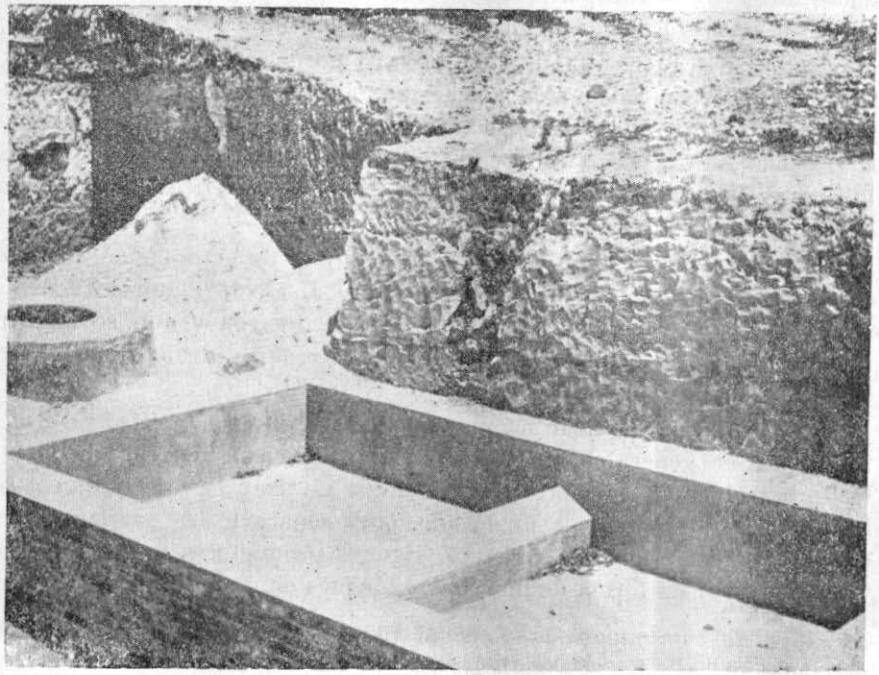


Foto Nº 6. Tanque para lavar el tizar en Ixtulco.

grandes cantidades de productos disgregados que, al descender a manera de lluvia, después de encontrarse suspendidos por algún tiempo en el aire, se acumulaban en las laderas de los centros eruptivos o en lugares relativamente cercanos, formando depósitos de productos piroclásticos,

compuestos de partículas de tamaño variable, desde granos semejantes a arena volcánica, hasta los productos muy divididos conocidos comúnmente con el nombre de ceniza volcánica o pumicita.

Considerados en lo general, puede decirse que los depósitos de ceniza volcánica no alcanzan en Tlaxcala un gran espesor, pues el más grueso de todos ellos presenta a lo más unos 2 metros de potencia.

Los yacimientos en cuestión se localizan al W. de Calpulalpan, en el cerro Ostotl y en varios lugares más, donde la ceniza volcánica sólo se encuentra en capas delgadas, desprovistas de interés económico.

Siguiendo el camino que conduce de Calpulalpan, Tlax., a Texcoco, Méx., y en una barranca que limita a los Municipios de Cuaula y San Marcos, hay un extenso depósito de ceniza volcánica. El material de este depósito está sin consolidar; es de color blanco, amorfo y contiene muy pocos elementos minerales cristalizados, pudiéndose distinguir la ceniza volcánica a uno y otro lado de la barranca, en una extensión de más de 600 metros, con espesor variable entre 1.80 y 2.00 metros.

La barranca de referencia es conocida en la localidad con el nombre de Barranca del Tizar, por confusión de este material con la tierra diatomífera, formando el lecho de un arroyo de régimen intermitente, cuyas aguas han deslavado gran parte de las cenizas del depósito que, por su extraordinaria ligereza y alto grado de división, ofrece poca resistencia a la acción erosiva.

En el cerro Ostotl, cercano a Tlaxcala, la pumicita se halla en depósitos hasta de 1.50 metros de espesor, pero un poco más al NW., aumenta el grosor de la capa, llegando a alcanzar hasta 2.50 metros de potencia, aunque aquí se encuentra la pumicita mezclada con cantidades apreciables de arcillas arenosas.

Hay además en muchos lugares del Estado otras localidades donde se distinguen depósitos de este material, pero como ya se tiene reducido espesor, aun cuando en algunos casos la pumicita alcanza tal estado de pureza, que quizá pudiera justificarse una modesta explotación.

Aplicaciones industriales.—La pumicita encuentra numerosas aplicaciones industriales, empleándose principalmente como abrasivo y como material de relleno.

Se usa como abrasivo de ligas no ferrosas o metales de poca dureza; en la elaboración de gomas para borrar y para hacer compuestos propios para limpiar muebles sanitarios, pisos de mosaico, artículos de loza y porcelana y para elaborar jabones de tipo especial.

Como material de relleno se emplea la pumicita en la elaboración de artículos de celuloide, resinas artificiales y otras pastas moldeables. Asimismo, se asegura que la pumicita puede emplearse para substituir hasta el 50% de cemento Portland, en trabajos de concreto, sin que se altere sensiblemente la resistencia del material fraguado, diciéndose a este respecto que la pumicita actúa como carga, llenando los espacios formados entre los granos de arena.

En algunos lugares de Tlaxcala se hacía uso antiguamente de cenizas volcánicas para emplearlas en la fabricación de vidrio, habiéndose abandonado actualmente esta aplicación, debido a la baja calidad del producto que se llegaba a obtener de ese modo, pues si bien es posible que existan pumicitas con alto contenido de sílice, lo común es que este elemento se halla mezclado a otras substancias como la alúmina, que estorba o imposibilita la utilización del citado material con esta finalidad. Basta examinar el siguiente análisis químico que se refiere a la ceniza volcánica del cerro Ostotl, para comprobar su alto contenido en Al_2O_3.

H_2O a menos de 110° C.	2.16 %
H_2O a más de 110° C.	4.85
SiO_2	63.77
FeO	0.72
Fe_2O_3	0.14
Al_2O_3	18.95
MnO	0.20
CaO	2.89
MgO	huellas
TiO_2	0.50
P_2O_5	1.50
CO_2	huellas
SO_3	1.39
Alcalis	2.84
	99.91 %

Posibilidades de explotación.—Al citar el yacimiento de la barranca de Cuaula, situada entre los Municipios de Cuaula y San Marcos, se dijo que éste se prolonga en una extensión de más de 600 metros, con un espesor variable entre 1.80 y 2.00 metros y por lo tanto, tiene en promedio 1.90 metros de potencia. Siguiendo el más profundo de los soca-

vones que se han excavado en este lugar para extraer la pumicita, se pudo comprobar que aun no se alcanza el límite del yacimiento, a pesar de que dicho socavón tiene una longitud de 22 metros, siendo de presumir que el depósito se prolongue todavía más a la profundidad, en una extensión bastante considerable. Es cierto que sólo un cuidadoso sondeo podría determinar sus límites con exactitud, pero puede sin embargo aceptarse, de modo conservador, que la continuidad de la pumicita bien puede alcanzar otro tanto de la extensión que se reconoció con el socavón que se cita antes.

Tomando pues estos datos para efectuar la cubicación de este yacimiento, se llega a la conclusión de que existen $600 \times 1.90 \times 44 = 50.160$ metros cúbicos de material explotable, aun cuando habrá que reducir un tanto esta cantidad, debido a que ya se ha extraído alguna pumicita. Como quiera que sea, todavía queda en el yacimiento bastante ceniza volcánica para soportar una explotación suficientemente grande, capaz de sostener por varios años cualquier industria de las que hacen uso de este material.

El depósito de pumicita del cerro Ostotl no contiene un material tan puro como el anterior, hallándose mezclado con proporciones variables de arcilla arenosa y otras impurezas de carácter orgánico, que son especialmente abundantes de las capas más gruesas.

Esta circunstancia restringe mucho las aplicaciones del material en cuestión hasta quizá impida su aprovechamiento industrial, toda vez que la arcilla ofrece muy serios inconvenientes cuando se encuentra en las mezclas abrasivas o pastas artificiales hechas a base de ceniza volcánica. Por otra parte, el bajo precio a que se ofrece la pumicita en el mercado, no justifica ningún intento de beneficio, el que necesariamente traería aparejado un sensible aumento en el costo de la explotación.

En Cuaula se ha acostumbrado extraer la ceniza volcánica haciendo excavaciones en el cuerpo del depósito, quedando cielos muy amplios, sostenidos por pilares de la misma pumicita, que se dejan de trecho en trecho. Este sistema ofrece algunos peligros de desplome, pero llevando las labores con método y cuidado de ademar los lugares más deleznables es posible realizar la extracción con cierto margen de seguridad.

Vías de comunicación.—La pumicita de la barranca de Cuaula puede transportarse a México siguiendo el camino que conduce de Calpulalpan a Texcoco o trasladándola a Calpulalpan para embarcarla a bordo de furgones del Ferrocarril Interoceánico, el que puede aprovecharse para transportar el material, no sólo a México, sino también a la

ciudad de Puebla o a cualesquiera de las estaciones que toca dicho ferrocarril en su trayecto al puerto de Veracruz.

OTROS MATERIALES VOLCÁNICOS

Conectados directamente con los fenómenos volcánicos que dieron origen a las pumicitas, se encuentran depósitos de materiales disgregados que, por las dimensiones de su grano, corresponden más bien o se acercan a la categoría de arenas volcánicas, algunas de las cuales han sido transportadas por las aguas superficiales y redepositadas a niveles más bajos, en donde forman rocas de aspecto muy semejante a las areniscas.

Estas arenas volcánicas son abundantes, especialmente en las elevaciones inmediatas al pueblo de Santiago Tepeticpac, en donde se hallan dispuestas en bancos más o menos extensos y de diversos espesores.

Son materiales de grano variable y están constituídos por fragmentos angulosos de feldespato y poco cuarzo, que se hallan diseminados en una masa vítrea, en franco proceso de desvitrificación.

En los lugares en que dichas arenas son de grano fino, los nativos seleccionan los bloques de piedra más uniformes y los labran en forma de discos de diversos diámetros, que sirven como mollejones.

Por lo que respecta a la roca de grano grueso, se separa en bloques y se labran en forma más o menos cónica, para hacer las llamadas "destiladeras", que sirven para purificar el agua potable, filtrándola a través de dichas piedras.

Posibilidades de explotación.—Estas pequeñas industrias que funcionan a base de la citada arena volcánica, se desarrollan en forma completamente rudimentaria, por lo que sería de desearse que se impulsara su explotación dotando a los canteros del lugar con los tornos y demás herramienta necesaria para la elaboración de los referidos productos. La inversión que tendría que hacerse con este objeto es relativamente pequeña y en cambio resultaría sumamente ventajosa, pues al mismo tiempo que se facilitaría el trabajo, obteniéndose productos más bien terminados, se alcanzaría una mayor y más uniforme producción y se lograría, asimismo, la mejoría económica de una gran parte de los habitantes del pueblo antes citado.

TEQUESQUITE

El tequesquite es una substancia compuesta esencialmente de sesquicarbonato sódico, que se forma abundantemente en los lagos o la-

gunas de poco fondo y cuyas aguas son de naturaleza más o menos salobre.

Habiendo existido en épocas pasadas un gran lago que ocupaba una extensa región de Tlaxcala, no es raro encontrar el tequesquite distribuído entre algunos terrenos superficiales, pero sólo en la extremidad oriental del Estado, es donde se halla esta substancia en proporciones suficientemente grandes para ser objeto de explotación industrial.

Esta zona tequesquitosa se extiende desde Tequesquitla hasta Vicencio, prolongándose hacia el S. para el Estado de Puebla, en donde ocupa una espaciosa área de más de 20 kilómetros de longitud y abarca desde las inmediaciones de la estación Oriental hasta La Higuera.

El tequesquite de esta zona se halla formando costras o eflorescencias dejadas por la evaporación natural de las aguas y consiste de sesquicarbonato sódico, como elemento predominante, con proporciones variables de cloruro y sulfato sódico, así como también pequeñas cantidades de cloruro potásico.

Aplicaciones industriales.—Siendo el tequesquite una mezcla de carbonatos, cloruro y sulfato sódico, puede emplearse para preparar el carbonato, bicarbonato, cianuro, sulfato, sulfito, hiposulfito y silicato sódico, sosa cáustica, etc., pudiendo utilizarse también para la extracción de la sal común y en general para la preparación de una gran cantidad de sales sódicas que tan variadas aplicaciones tienen en la industria, en la metalurgia, en la fabricación de jabón, elaboración de vidrio, blanqueo de telas, mercerizado del algodón, usos domésticos y en la preparación de innumerables productos químicos y medicinales.

Posibilidades de explotación.—El tequesquite que se halla en la extremidad oriental del Estado de Tlaxcala ya ha sido objeto de aprovechamiento industrial, pues no hace mucho tiempo que se estableció en este lugar una planta que lo explotaba en escala relativamente grande, teniendo como finalidad principal la elaboración de sosa cáustica. Ultimamente se han suspendido las labores de explotación, sin que se sepa cuáles hayan sido las razones que obligaron a dicha empresa a tomar esa determinación.

Sin embargo, cualesquiera que hayan sido esas razones, es indudable que el momento actual brinda una buena oportunidad para reanudar la explotación de referencia, toda vez que la sosa cáustica encuentra mayor demanda cada día.

Por otra parte, muchos de los métodos de extracción de sales sódicas que se practican con tanto éxito en el lago de Texcoco, Méx., pueden

servir de norma para orientar la explotación del yacimiento tequesquitoso de Tlaxcala, pudiéndose alcanzar de este modo un aprovechamiento industrial de esa substancia que, por lo práctico, puede resultar más ventajoso que el que se seguía antes.

Esto es tanto más factible, cuanto que en el citado lugar de Tlaxcala existen aún grandes cantidades de tequesquite aprovechable, pudiendo asegurarse a este respecto que sólo ha sido tocada una mínima porción de las sales sódicas existentes en el yacimiento de que se trata.

Vías de comunicación.—La localización de la zona tequesquitosa de la extremidad oriental de Tlaxcala, presenta algunas ventajas relacionadas con su explotación, dada su cercanía a varias vías férreas que establecen comunicación con las ciudades de México y Puebla, así como también con el puerto de Veracruz.

Dichas vías son el Ferrocarril Oriental, el Interoceánico y algunos ramales de menor importancia, pudiendo servir la estación El Carmen como punto de embarque de los productos elaborados.

CALCEDONIA

En relación con los fenómenos postvolcánicos desarrollados en diversos lugares de Tlaxcala, se encuentran algunos depósitos de calcedonia, siendo de llamar la atención, por sus grandes dimensiones, el que se localiza al W. de Terrenate, a una distancia como de 4 kilómetros de esa población.

Consiste dicho yacimiento de una masa calcedónica relativamente impura, por contener una buena proporción de óxido de fierro y otras impurezas que le dan una coloración rojiza.

El origen de esta calcedonia parece deberse exclusivamente a la precipitación de soluciones que circularon a través de grietas abiertas en las andesitas de la región, pues no observaron en ellas señales de que se hayan verificado procesos de sustitución, en tanto que son bien visibles algunos procesos de silicificación que afectan localmente a dichas rocas.

En otros lugares del Estado se encuentra también alguna calcedonia, pero sólo en proporciones relativamente pequeñas o en forma de nódulos contenidos entre las arcillas, por lo que no se cree necesario tratar de estos depósitos, ya que carecen de verdadera importancia desde el punto de vista industrial.

Aplicaciones industriales.—La calcedonia de Terrenate puede encontrar aplicación en la elaboración de vidrio de mediana calidad y como material abrasivo, usado en la fabricación de lijas.

El vidrio elaborado a base de esta calcedonia tendrá que resultar más o menos coloreado, debido a la alta proporción de óxidos de fierro contenidos en el material de referencia.

Posibilidades de explotación.—El depósito calcedónico de que se trata es bastante grande, pues sólo la parte visible alcanza 32 metros de largo por 6 de espesor, prolongándose el afloramiento en una zona de 14 metros de ancho, lo que da un total de 2,688 metros cúbicos, y como la gravedad específica de este material es en promedio de 2.6, se deduce que existen a la vista 6,988 toneladas de calcedonia.

Dada la extremada dureza de este material, sólo puede explotarse barrenando la roca y tronando cargas de dinamita, con objeto de separarlo en bloques de regular tamaño, los que posteriormente pueden reducirse a fragmentos más pequeños, mediante mazos adecuados o mejor, haciendo uso de quebradoras mecánicas.

Vías de comunicación.—Para el transporte de la calcedonia de Terrenate, hay que hacer uso de un camino que se halla en malas condiciones para el tránsito de vehículos y que conduce de la citada población a la estación Baquedano, del Ferrocarril Interoceánico, o bien puede seguirse hasta Apizaco por un camino que pasa por Velasco, Zacatzontetla y Del Cuervo.

CONCLUSIONES DE UTILIDAD PRACTICA

Resumiendo las ideas expuestas en las líneas anteriores, puede llegarse a las siguientes conclusiones de utilidad práctica:

1.—En el Estado de Tlaxcala existen yacimientos de arcillas verdes y pardas, calizas, mármol, tizar, cenizas y arenas volcánicas, tequesquite y calcedonia.

2.—Las arcillas verdes son de tipo montmorillonítico y pueden ser susceptibles de emplearse en diversas industrias, estando su aplicación relacionada directamente con su contenido total de montmorillonita. El depósito de la barranca de Chiahucingo es el más importante, alcanzando su capacidad a 540,300 toneladas.

Las arcillas pardas son bastante impuras, pudiendo emplearse en la elaboración de loza corriente, ladrillos, tejas y otros materiales para construcción.

3.—Los materiales calcáreos que se hallan en Tlaxcala son relativamente impuros, por contener proporciones apreciables de sílice, alúmina y óxidos de fierro.

Los yacimientos más importantes son los del cerro Benito y los de Quetzalcoapan y Tlaxcantitla.

Pueden utilizarse para la elaboración de óxido cálcico, pero sería más provechoso emplearlas en la manufactura de cal hidráulica. No se cree conveniente el establecimiento de una fábrica de cemento Portland en Tlaxcala, que usara como materia prima exclusivamente esos materiales calcáreos.

4.—La caliza marmorizada que se halla en La Calera puede emplearse en la elaboración de óxido cálcico de buena calidad y para hacer polvo y grano de mármol.

5.—Los yacimientos de tizar de San Sebastián y de La Blanca contienen un material diatomífero bastante puro y son muy extensos, siendo menos importantes los depósitos de Tepixcahuatl, Tizatlán e Ixtuco.

La explotación del tizar de San Sebastián y La Blanca puede impulsarse, haciendo uso de medios mecánicos de extracción y secado.

6.—Los depósitos más importantes de cenizas volcánicas se localizan en la barranca de Cuaula y en el cerro Ostotl, aconsejándose la explotación del depósito primeramente citado, por contener un material más puro.

7.—La pequeña industria que aprovecha las arenas volcánicas de Santiago Tepeticpac para fabricar mollejones y filtros, puede ser susceptible de desarrollarse dotando a los canteros del lugar con tornos y otras herramientas de trabajo.

8.—El yacimiento tequesquitoso de la región de Tequesquitla contiene todavía una buena proporción de esa substancia, siendo posible emprender su explotación debido a la escasez de sosa cáustica que resiente el país, así como también productos obtenidos a base de las sales sódicas contenidas en el tequesquite.

9.—Cerca de Terrenate hay un depósito de calcedonia utilizable en la elaboración de vidrio y como base abrasiva para la fabricación de lijas.