

LA INFLUENCIA DE LA GEOMORFOLOGIA SOBRE LA
HIDROLOGIA Y LAS CONDICIONES DEL SUELO
EN LA CUENCA CHALCO-TLAHUAC

Tesis presentada para obtener el grado
de Doctor en Geografía de la
Universidad Nacional Autónoma de México

por

John P. Cannon

México, D. F.

Julio, 1957



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

CONTENIDO

	Página
INTRODUCCION	iii
Capítulo	
I. GEOLOGIA Y FISIOGRAFIA.	
A. Relieve	1
B. Estratigrafía	3
C. Petrología	10
D. Hidrología.	
1. Climatología	24
2. Ríos, Corrientes y Manantiales	30
3. Glaciares	42
E. Suelos y Vegetación	50
II. ANTECEDENTES.	
A. Descripción General	61
B. Economía	62
III. OBRAS DE INGENIERIA QUE HAN INFLUIDO EN LA HIDROLOGIA DE LA REGION	69
IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES PARA LA RESTAURACION DE LA CUENCA CHALCO- TLAHUAC	85
BIBLIOGRAFIA Y CARTAS	106

INTRODUCCION

Esta tesis es un ensayo que trata de mostrar las condiciones hidrológicas que existen en la región sureste del Valle de México y el desarrollo de las mismas a través de los siglos.

Aunque ésta no es la primera vez que se haya intentado estudiar la cuestión; sin embargo, creo que es el primer estudio completo de la situación en total.

El problema del agua se ha estudiado durante varios siglos por personas más capacitadas que yo, y sin duda será estudiado más intensamente en el futuro. A través de las décadas ha parecido ser en algunas ocasiones un problema de abundancia de agua o bien, en otras, de escasez de agua. Por ello he tratado de formar una crónica de los acontecimientos que han dado lugar a esta situación, así como también he deseado mostrar que la solución a este problema tendrá que resultar del esfuerzo concentrado y la cooperación de muchas instituciones y personas.

Actualmente se están desarrollando varios estudios en la Secretaría de Recursos Hidráulicos para aliviar esta situación y se espera que pronto producirán

una solución para terminar con esta crítica necesidad.

Junto con el problema del agua, he investigado la posibilidad de la utilización de tierras que va mano a mano con el problema hidrológico, una vez hallada una solución adecuada a éste.

Mis recomendaciones no deberán ser tomadas por ningún motivo como panacea para resolver esta situación crítica sino simplemente como ideas que han surgido de la investigación misma.

Es importante que el pueblo del Valle de México se dé cuenta del peligro en que se encuentra y que afronte este problema rápidamente y de una manera científica.

Agradezco a las dependencias del Gobierno, como la Secretaría de Recursos Hidráulicos, Secretaría de Economía, así como a la Sociedad de Geografía y Estadística y al Instituto Panamericano de Geografía e Historia su ayuda y el uso de sus bibliotecas e información.

Además esta tesis no hubiera sido posible sin la ayuda personal del Ing. Ramiro Robles Ramos, de la Secretaría de Recursos Hidráulicos, del Dr. Jorge A. Vivó Escoto, del Corl. Carlos R. Berzunza, del Ing. José C. Gómez, del Prof. Manuel Nájera y del Consejero del Departamento de Geografía de la Universidad Nacional

Autónoma de México, Prof. Ramón Alcorra Guerrero.

CAPITULO I

GEOLOGIA Y FISIOGRAFIA

A. Relieve

La cuenca Chalco-Tláhuac que se encuentra en la parte sureste del Valle de México está rodeada al oeste, sur y este por edificios volcánicos. Al este y al sureste está la cordillera de la Sierra Nevada. Dentro de esta cordillera y formando una gran parte de ella se encuentran los volcanes, Popocatépetl e Iztaccíhuatl, alturas quinta y sexta, más altas de Norteamérica. La cordillera de la Sierra Nevada tiene una orientación sensiblemente de norte y sur. El extremo sur de esta sierra tiene como límite el Popocatépetl, que se levanta a 5,442 metros sobre el nivel del mar. Este volcán de forma cónica y estratificado, separa el Valle de Puebla del Valle de Amecameca y del Ajusco. El Iztaccíhuatl se encuentra a treinta y dos kilómetros directamente al norte del Popocatépetl, cuyo perfil en el horizonte tiene la forma de una mujer dormida. El pecho, o sea el punto más elevado, tiene 5,336 metros de altura y la cabeza, a siete kilómetros al norte-noroeste,

acusa una elevación de 5,146 metros. Al norte de los volcanes y en la misma cordillera se encuentran los edificios volcánicos Tlaloc, Papayo, Tezacón y Tecamac, cuya parte de la cordillera de la Sierra Nevada es conocida con el nombre de Sierra de Río Frío. Estas montañas separan a la cuenca Chalco-Tláhuac del Valle de Puebla.

Al norte de la cuenca Chalco-Tláhuac hay una larga cadena de pequeños volcanes apagados, que forma la sierra Santa Catarina orientada de oriente a poniente dentro del Valle de México. El oriente de esta sierra se pierde en las montañas de Río Frío. El volcán Santa Catarina está situado en medio de este grupo; es el más alto así como la formación mejor conservada ya que ha resistido bastante la erosión a través de los años. La Caldera, famosa por su morfología, se encuentra al este de Santa Catarina y los volcanes más chicos, San Nicolás y Texolotl están en el lado poniente de esta cadena. Este grupo separa la cuenca del lago Texcoco y la parte norte del Valle de México.

La parte sur de la cuenca tiene como lindera la región oriental del Ajusco. Esta área volcánica con sus centenares de pequeños conos se extiende del reciente volcán Xitle al Valle de Amecameca y al Popocatepetl, que durante siglos ha impedido el drenaje fluvial del

Valle de México al Balsas y consecuentemente al océano Pacífico. Entre los numerosos volcanes apagados que se encuentran en este grupo están Cuatzin, Tlomaloc, Coatepec y Ayotzingo.

La Cuenca del lago Xochimilco se encuentra en la margen oeste de esta región. Dentro de la cuenca, hay volcanes aislados como el grupo Tlalmaralco al sureste del pueblo de Chalco y el volcán Cocotitlán. El volcán más prominente y probablemente más sobresaliente en la parte baja de la cuenca es el Xico, de doble conducto. El Xico yace directamente en el centro de la cuenca y se eleva 150 metros sobre el fondo del lago Chalco. La cuenca tiene una superficie plana que varía tan sólo unos pocos metros en altura en toda la extensión...

B. Estratigrafía

Las montañas que rodean la cuenca deben su origen a los fenómenos eruptivos desarrollados el Mioceno desde la época Terciaria al presente. Estos deben de haber sido de una fuerza tremenda y estar asociados con el volcanismo y tectonismo que formaron estas estructuras macizas.

Subyacentes a dichas estructuras hay probablemente depósitos de calizas y arcilla del período Cretá-

cico, pues durante esa época hubo una retirada general de los mares y el territorio de la República Mexicana tomó en gran parte su forma actual.

En el período Eoceno hubo movimientos verticales, con transgresiones y regresiones marinas en la costa del golfo de México, elevándose la región y comenzando en ella el primer ciclo de erosión.

Una gran parte de la altiplanicie fué elevada al final del período Mesozoico y a principios del Cenozoico. Aunque algunos lapsos en la historia de esta región a causa de las grandes corrientes de lava, no pueden determinarse.

El Ajusco es el edificio más antiguo que se conoce en esta región y su núcleo de andesita de hornblenda fué probablemente el resultado del volcanismo probablemente del Mioceno inferior. Esta estructura ha estado expuesta a una fuerte erosión después de la gran actividad volcánica del Plioceno y existe la posibilidad de que el Ajusco fué en un tiempo tan alto como la Iztaccíhuatl o el Popocatepetl. La Iztaccíhuatl fué el siguiente edificio en formarse, probablemente en el Plioceno inferior. Es evidente que las lavas volcánicas atravesaron las calizas cretácicas invadiéndola y cubriéndola totalmente en la superficie. Esta posibilidad se debió al gran sistema de fracturas y fallas que

probablemente existe por el paralelo 19, por lo que algunos científicos creen que la orientación de estos volcanes, sobre los estratos a lo largo de esta fractura, se debe a dicha causa.

La Iztaccíhuatl estuvo sujeta a una prolongada erosión después de su elevación. Su abatimiento y devastación se debieron a la erosión glacial y a la acción diluviana, con fuertes y constantes precipitaciones. Sus alturas estuvieron cubiertas con nieve y han ido desapareciendo desde entonces. Este volcán es una gran cima extendida, formada por una sucesión de gruesas capas de lava con capas estratificadas más fluidas arriba y abajo con las capas más gruesas. Algunos de los grandes cañones de esta montaña se formaron en las capas estratificadas. Desde lo alto, la montaña parece encorvarse en la parte central hacia el este.

El Popocatépetl surgió más tarde en el período Plioceno, impidiendo la erosión en la ladera sur del Iztaccíhuatl a causa de sus corrientes de lava. Con la aparición de este último volcán, el Valle de México quedó completamente incomunicado de la depresión Balsas y se formó la Cuenca de México.

El Popocatépetl se encuentra en parte sobre la zona dislocada del paralelo 19 y en otra, sobre la fractura norte-sur de la Sierra Nevada. La Iztaccíhuatl,

el Ajusco y el Popocatepetl establecen con sus divisorias una barrera climática, siendo el eje del Ajusco perpendicular a los otros. El Popocatepetl es un cono perfectamente formado y un ejemplar maravilloso de volcán estratificado y poligenético como el Vesubio, el Maycno y el Fujiyama. Ha habido poco cambio en la forma cónica del Popocatepetl, a excepción del crecimiento de una obstrucción de andesita que ha surgido en el cráter en los últimos cincuenta años. El cono parásito es elíptico teniendo un eje de orientación noroeste y sureste. Hay muchas barrancas y quebradas en las laderas del volcán siendo la más grande la del lado noroeste y nordeste a causa de una erosión muy activa. El cono de este volcán tiene una profundidad de cerca de 300 metros y un diámetro de 800 metros. Antes, durante y después de la época de erupción del Popocatepetl, hubo mucha actividad volcánica en el Valle de México. Muchos de los volcanes que se encuentran en la región llamada Malpais del Ajusco se formaron probablemente durante esta época. Estas explosiones estaban separadas por largos períodos de inactividad seguidos por erosión que gradualmente contribuyó al relleno de la cuenca del Valle de México.

Fueron tres las principales fases en la formación de la cuenca del Valle de México. Al principio

hubo una continua y prolongada emisión de roca volcánica; después, la formación de acumulaciones residuales de los materiales piroclásticos lapilla y calizas en las laderas de los volcanes que resultaron de las fuertes explosiones de los diversos productos cineríticos, y, finalmente, la acumulación de grandes cantidades de agua en el fondo de estos depósitos profundos. La formación actual de la cuenca tuvo lugar en el Plioceno una vez que el Valle estuvo cerrado de la vertiente al mar. Los depósitos en la cuenca fueron tan voluminosos que los cálculos estiman la profundidad a más de 800 metros en algunos lugares.

Más tarde, en el período pleistoceno, hubo muchas efusiones basálticas que brotaron de las bases de las montañas y se deslizaron hasta la orilla del Valle. Estos depósitos son muy visibles en el propio valle hoy en día y a lo largo de las alturas en las montañas que rodean la cuenca.

La cadena de volcanes de Santa Catarina tiene mucho de la misma base rocosa que se encuentra alrededor del Popocatepetl, lo cual parece indicar la posibilidad de que ambos fueron formados en el Plioceno superior.

Parece haber dos zonas de fracturas dentro del área de la cuenca. Una se extiende probablemente del

grupo Tlalmanalco al sureste del pueblo de Chalco hacia el Cerro de la Estrella cerca del pueblo Ixtapalapa al noroeste. La otra zona de fractura está situada a lo largo de la cadena de Santa Catarina extendiéndose a los cerros de Río Frio, al este. En la cuenca hay evidencias de formaciones causadas por el depósito eólico o directo de los piroclásticos de los volcanes, que formando pequeñas desviaciones se asientan en los montículos cerca de las bases de los volcanes. Pero la mayor parte de los depósitos en la cuenca se deben a la erosión y formación de depósitos aluviales lacustres de materiales solubles donde se encuentra la flora lacustre. Estos productos se acumularon junto con el aluvión que trajeron las corrientes por los arroyos y barrancas de las montañas.

Los depósitos glaciales están limitados a la cota de 3700 metros pero se encuentran cantos erráticos abajo de la zona glacial así como morrenas terminales y laterales que indican el área de glaciación.

Los estratos del Popocatepetl muestran cortes de pura lava, separados a veces por arena y escorias volcánicas. En muchos casos han desaparecido a causa de la erosión, dejando paredes desnudas. También pueden verse muestras de los resultados de las explosiones de grandes cuerpos de lava y cenizas en forma de brechas

de diversa textura consolidadas antes de la explosión. Además hay evidencias de corrientes de lava recientes en el lado noroeste del Popocatepetl; y las quebradas y barrancas parecen estar en su totalidad en el lado noroeste del volcán.

Xico, uno de los volcanes más interesantes en el Valle tiene un área aproximada de 3 kilómetros cuadrados, 2400 metros de largo y 1,400 metros de ancho. Debido a la acción del agua en el lago, Xico presenta huellas que sirven para determinar la altura de los niveles lacustres. La mitad sur del cráter contiene un volcán compuesto de fragmentos volcánicos y gran cantidad de toba acumulada por la erosión. Hay una gran diferencia entre los dos cráteres. El volcán norte es de tipo hawaiano ya que arrojó lava lentamente en acción moderada. El cráter sur es de tipo de peleano y fué sacudido por fuertes explosiones. Es evidente que estos cráteres fueron formados en tiempos distintos y de manera diferente. El cráter norte se formó primero, ya que se llenó de materiales de las emisiones lávicas y expulsiones procedentes del volcán sur durante la actividad de este último. Estos cráteres están delimitados por capas de toba basáltica diferente a cualquier otra del Valle de México. Probablemente una de las causas que dió motivo a la formación de estos cráteres, o

Xalapascos como eran llamados por los antiguos indígenas, es el hecho de que las explosiones surgieron a través de las aguas del lago y es muy posible que aguas artificiales se hayan infiltrado dentro de la lava muy caliente y de este modo hayan causado las explosiones. Xico está indudablemente situado en la antes mencionada zona que se extiende de Tlalmanalco y al Cerro de la Estrella; y es probablemente uno de los volcanes más jóvenes del grupo en el Valle.

C. Petrología

La petrología de esta región es interesante ya que hay en realidad sólo tres tipos importantes de rocas: andesitas, traquitas y basaltos con variaciones.

Las andesitas son las rocas que datan de más tiempo y que alcanzan la extensión más grande de los tres grupos mencionados arriba. Este tipo de roca es extenso a lo largo de la cadena volcánica a través de centro y sudamérica. El origen de su nombre viene de la famosa cordillera de los Andes de la América del Sur. Este grupo también tiene variaciones de alcalinidad y basicidad, pero la separación de estos tipos es prácticamente difícil. Ha habido una modificación muy lenta de estas rocas a través del tiempo. Los basaltos tienen el número más pequeño de variaciones y éstas

se hacen patentes por su cristalinidad, que puede observarse al microscopio. Esta cristalinidad depende en gran parte de la cantidad de gas y fluido contenido en el magma debido a la composición química además del grado y condiciones de enfriamiento por los cuales atraviesa el mismo.

Las traquitas son como las andesitas en que ellas también representan diferentes variedades de rocas. Muchas de estas diferencias no son aparentes a simple vista y sólo el cristalógrafo y el analista cuantitativo pueden determinarlas.

Durante el período Mioceno hubo muchas erupciones de andesitas de hornblenda. Estas rocas representan lo más antiguo que se ha encontrado en el Valle. En el período Plioceno hubo andesitas de hornblenda e hiperstena. Más tarde hubo erupciones basálticas en los períodos pleistoceno y reciente.

En general, a través de los volcanes del Valle, hubo tres tipos de emisiones de rocas: de lava, brecha y ceniza. Cada horizonte compacto de lava está separado por una gruesa capa de brecha compuesta de fragmentos de roca de diverso espesor y consistente en arena y lapilli de colores amarillentos cementados por arcilla o sales precipitadas.

La etapa de brecha siguió a las erupciones y

contenía fragmentos de bloques de andesitas y a su vez lipilli, tezontle, y a veces partículas de pómez.

La etapa de cenizas, que es la última, dió capas de pómez arenosa y tobas.

Los basaltos labradoríticos son las rocas más bajas que se encuentran en las laderas de los volcanes. A veces contienen olivino y la estructura es microlítica, con pequeños granos de óxido de hierro. Los granos son esencialmente de labradorita y augita.

El Popocatépetl fué formado por corrientes de lava y brecha sucesivas. El fondo del cráter contiene fumarolas que muestran capas de traquitas, basaltos, escorias volcánicas y depósitos de azufre y sulfato de hidrógeno.

En las primeras erupciones del Popocatépetl, muchos materiales piroclásticos y cineríticos con hiperstena y basaltos de olivino fueron encontrados. Hay muchos depósitos de azufre en el cono el cual fué explotado en épocas pasadas. La forma cónica se debe a la lava andesítica que se enfrió rápida y uniformemente ya que era sumamente viscosa. El tamaño de la capa de andesita y de las rocas basálticas varía grandemente. Las últimas efusiones fueron basálticas, más fluidas y prolongadas hasta formar superficies planas. Las arenas del Popocatépetl son feldespáticas, óxidos de hie-

rro, ferromagnesianos procedentes de los basaltos. Los óxidos de hierro son probablemente derivados de la magnetita. El tipo de rocas formadas en el Popocatepetl son tobas, basaltos, lapilli, cenizas aluvión cerca de Amecameca, con tobas andesíticos y arenas volcánicas en gran parte de los acarros por las barrancas. Cerca del cono hay brecha, cenizas y basaltos y en el cono andesita.

El Popocatepetl se formó y aumentó sus proporciones debido a una serie de erupciones volcánicas. Estas alternaban con explosiones de piroclásticas. Los estratos de este volcán muestran lava consolidada y brecha, así como una estructura del tipo de volcán estratificado, de forma cónica, en el que el volumen y la extensión de los materiales acumulados de los movimientos que tuvieron lugar hacia la cumbre.

Otra clase de roca encontrada en el Popocatepetl es la obsidiana andesítica, con augita que aparece sucesivamente en la primera y segunda generación pero bajo una forma de cuasicristal. También aparece como simple devitrificación de la matriz. Las erupciones andesíticas de los volcanes han producido estas rocas vítreas con bastante piróxeno. Las traquitas vítreas también se han formado aquí.

Todo el cono está cubierto de capas delgadas de

lava con intervalos de sedimentos volcánicos estratificados del volcán compuestos de bombas y cenizas volcánicas. Los restos de las antiguas rocas volcánicas están compuestos de una mezcla heterogénea de bloques angulosos y fragmentos de roca volcánica arrojada en tiempos pasados. Cuando se solidifica, este material se le llama aglomerado volcánico, y puede haber sido formado cerca de la vieja chimenea del volcán, además, semeja bastante las acumulaciones glaciales de tilitas.

La barranca de Nexpeyantla del lado norte, está cubierta de deposición en talud. El fondo de la corriente consiste de fragmentos, bloques, grava, cenizas y arenas. El fondo del valle está constituido por varios estratos volcánicos, incluyendo piroclásticos rojos y material basáltico gris de textura densa, brecha y toba; los dos últimos están consolidados. Hay también bloques erráticos enormes que pueden haber sido acarreados por la acción glacial. En el fondo de los valles se encuentran dispersas mezclas heterogéneas de bloques basálticos, rocas, arenas, y cenizas que semejan montones glaciales arenosos. Los bloques y guijarros son grandes pedazos de fragmentos angulares. Muchas de las rocas exhiben caras pulidas por la acción glacial y los cauces están cubiertos parcialmente por escorias y rocas. Algunas de las rocas basálticas

muestran estrias y superficies pulidas. Las corrientes de lava en la parte superior del valle mantienen un pulimento y lustre en la superficie y aparecen como roches moutonees. Hay una gran capa de lava en la ladera noroeste del volcán. La superficie de esta capa está cubierta con cenizas probablemente de la última erupción. Si hay algunos arroyos al este de la montaña deben estar cubiertos de cenizas pues esto acontece en la ladera sur.

Las lavas de la parte superior de la ladera son amorfas, vítreas y de estructura traquítica. Hay una notable diferencia en la mineralización de las lavas superiores e inferiores. En las lavas inferiores prevalece el basalto con gran cantidad de olivino, mientras que en las lavas superiores parece haber más andesitas de hiperstena. Entre las corrientes sucesivas, hubo grandes intervalos, y durante estos intervalos la superficie estuvo cubierta por masas de lava fría y quebrada, que se cimentó más tarde formando brecha. Posteriormente hubo muchas emisiones de lapilli, pómez, piroclásticos en abundancia y en el último período hubo materiales gruesos, arenas negras y cenizas. Estas últimas han sido acarreadas por el viento y la lluvia. Las primeras erupciones de hiperstena fueron cubiertas más tarde por sedimentos en los cuales se han encontra-

do restos de fósiles como Equus.

Las erupciones del basalto de olivino son contemporáneas a las erupciones del volcán de Santa Catarina y otros volcanes de este grupo.

Los tres tipos principales de roca en esta región son: basalto de labradorita, andesita de hiperstena con o sin augita, así como traquita.

La Iztaccíhuatl, que como su nombre lo indica semeja a distancia una mujer, está constituida principalmente por andesita de hornblenda, andesita de hiperstena, de roca basáltica, conglomerados, brecha y arena. Entre las capas horizontales que separan las corrientes de lava existe brecha y conglomerado piroclásticos. También hay toba roja y amarilla de textura granular. La roca permeable está compuesta de arena, toba, conglomerado y grava. Hay también capas horizontales separando diferentes corrientes andesíticas y entre las andesitas y los basaltos se observa una textura vesicular. Hay numerosas cavidades que han sido dejadas por las sustancias posteriormente y removidas por el agua. Las arenas volcánicas fueron levantadas por el viento y esparcidas dando origen a capas relativamente gruesas y extensas sobre las formaciones corrientes ya existentes. Estas son de color rojo, amarillo o gris y después de su consolidación, las otras formaciones y

corrientes las cubrieron. Los conglomerados son de una naturaleza diferente y aparecen delgados, compactos y con fragmentos de diversos tamaños. Están compuestos de andesita cimentada con pedacería de lava y generalmente son de color rojo y bastante permeables. Otros son conglomerados formados de fragmentos andesíticos cimentados por materiales de silicatos, resultado de la solidificación de las aguas. Después de la actividad del volcán, es posible que las aguas subterráneas depositaran sustancias metálicas. Estos conglomerados son muy impermeables, exceptuando en las líneas de fracturas, y se encuentran en la ladera norte del volcán. También en la base del volcán hay escombros en talud y conglomerados, así como en los arroyos que surgieron por la erosión de la antigua capa protectora que existió del período pleistoceno hasta el presente. Las tobas y brechas se distinguen de las arenas y conglomerados en que sus poros son más chicos y están sujetos a la acción capilar. Las vesículas en las andesitas y basaltos cuando se comunican en algunas porciones del volcán, siempre constituyen un canal de fácil circulación de las aguas. Esto es particularmente cierto en el área de San Rafael. Las arcillas son impermeables y no se encuentran en abundancia en la región ya que están en su mayoría en la planicie. Las andesitas están

poco alteradas y son prácticamente impermeables. Las sustancias solubles o coloidales y los materiales calcáreos sólo pueden encontrarse en las laderas inferiores en donde hay cuencas aluviales. Mucho más al norte, a lo largo de la cadena de la Sierra Nevada y cerca de los picos Payayo y Telapón, se encuentran muchos conglomerados y formaciones de formas irregulares debido a su resistencia deferencial y a la forma primitiva de enfriamiento, así como al viento y a la erosión de la lluvia. Hay también muchas pequeñas caídas de agua, manantiales, grutas y aguas subterráneas que han formado extraños edificios en esta región. Esta parte de la Sierra Nevada debe su origen a los desplazamientos y elevaciones que ocurrieron durante el período Mioceno. Los picos más prominentes de Tláloc y Telapón son probablemente intrusiones de basalto formadas en el Mioceno. En el área alrededor del pico del Papayo hay evidencias de basalto volcánico moderno que, debido a una acción que ocurrió en la Iztaccíhuatl.

El Ajusto con su muy enérgica erosión en el extremo sur del Valle de México muestra piedra de cal cretácea, mesozóica, y muchas otras rocas antiguas. Este es el más antiguo edificio volcánico del centro de México. Las rocas básicas son: la andesita y el basalto. Junto con estas rocas básicas hay grandes depósi-

tos de toba, brecha y rocas ígneas que se encuentran en formaciones con escurrimientos de lava en numerosas elevaciones. Algunas de las más recientes formaciones muestran augita e hiperstena. Los grupos más antiguos tienen hornblenda y mica. Las lavas más antiguas son de andesita, y las modernas de basalto, en la misma secuencia en que se han formado en el resto del Valle de México. Muchos de los antiguos conos volcánicos han sido objeto de la erosión eólica y de la lluvia; esta acción queda demostrada perfectamente alrededor del Ajusco. Algunas labradoritas se formaron por la pérdida del olivino en los basaltos que predominan en esta región. Las andesitas de hiperstena vítrea que forman la mayor parte de las primeras corrientes volcánicas, fueron seguidas por los basaltos y muestran abundancia de olivino en una matriz microlítica con labradorita y piróxeno.

El volcán más grande en la ladera oriente del Ajusco es el cono volcánico de Teuchtli, que alcanza una altura de 2,795 metros. Está compuesto en su mayor parte de basalto del pleistoceno y holoceno, color gris-negro, y que muestra algo de labradorita y muy poco olivino. Las andesitas en el Ajusco son muy antiguas y se encuentran alrededor de los picos más prominentes; se distinguen fácilmente de los abundantes ba-

saltos por su irregularidad y forma. Mucha de la andesita es de hornblenda con estructura traquítica. La masa más amorfa está formada por cierta clase de feldspato más o menos fino que parece ser muy abundante; el color de la roca es rojo-gris. Debido a la gran cantidad de oxidación que ha ocurrido aquí, el color parece ser más rojo que gris. Algunos basaltos varían en su estado vítreo, y en algunas partes son ricos en olivino y cristales de hiperstena y augita. Los andesitas aparecen en la región oeste y en el sur. Los basaltos continúan hacia las eminencias de la Sierra Nevada al este. Algunas de las corrientes de basalto cerca del Teuchtli tienen una profundidad de 50 metros y aparecen como bloques gigantes de roca. Al oriente de este gran volcán y cerca del valle de Amecameca hay capas basálticas de espesor delgado, y a causa de su uniformidad hay una ausencia de barrancas. Teuchtli es un volcán muy reciente ya que se han encontrado restos humanos en la lava que fluyó de su cuello. Las rocas son en su mayoría brechas, conglomeradas, tobas y cenizas. La brecha parece predominar en la región este y las cineríticas abundan cerca de la unión del Ajusco y de la Sierra Nevada, cerca del valle de Amecameca. Las tobas son de color amarillo y están separadas por capas de cenizas; se encuentran en todo el Ajusco y algunas de las capas

de basalto se calculan en 200 metros de profundidad.

En lo que concierne a los volcanes del Valle que rodea la cuenca, la cadena más importante es el grupo Santa Catarina. Las andesitas de Santa Catarina son petrográficamente muy semejantes a las del Popocatepetl, indicando que provienen de la misma cámara magmática. También se parecen a las del Cerro de la Estrella, cerca del pueblo de Ixtapalapa, que contienen una gran cantidad de tezontle.

La débil coherencia de materiales volcánicos contribuyó a la rápida destrucción de los cráteres. Hay seis aberturas en estas cadenas de volcanes. Los volcanes San Nicolás y Xaltepec están formados de brecha volcánica, lapilli y cenizas. Debido a esto hay mucha evidencia de fenómenos eólicos al sur de los volcanes. La Caldera al este de Santa Catarina, tiene dos cráteres y contiene mucha piedra pómez y toba. El volcán Santa Catarina tiene la forma más bien conservada, en la cadena y está compuesto indudablemente de los materiales más resistentes en este grupo, ya que ha sufrido la erosión menos que los otros. El cono está formado de tezontle, escorias, arenas volcánicas rojas y negras; pero hay evidencia de erosión en las paredes del cráter. Xaltepec tiene una gran cantidad de arenas volcánicas, de ahí su nombre: xalli o arena, tépatl, colina. El

volcán San Nicolás muestra una estructura de arenas y carbón a causa de la acción de las aguas. El Pico, cerca de la Caldera, está formado por andesita de hiperstena y cubierto por delgadas capas de toba. El volcán Texolotl tiene andesita de hornblenda, sobre todo en su estructura. Xico se compone de fragmentos de andesita y toba volcánica con evidencias de depósitos eólicos.

Los factores que determinan los diferentes tipos de lava y roca en el área, la transformación química del magma, la viscosidad y el contenido de gas son importantes para determinar la magnitud de los fenómenos explosivos. Son muchos los tipos de roca volcánica en esta región debido a causas diferentes. Las tobas constituyen gran parte de los depósitos que se encuentran alrededor de todos los volcanes del Valle y concretamente son materiales pequeños y fragmentos arenosos consolidados. Otra formación importante es la brecha que en un área más grande está constituida de bloques y bombas, a veces mezclados con toda clase de finos desechos volcánicos. Las piedras más comunes aparecen durante las explosiones más fuertes como las que ocurrieron en la Caldera, Xico y los volcanes más grandes. La pómez es un material volcánico de rápido enfriamiento, textura vesicular y porosa con gran cantidad de sílica, de color

gris pálido, ligero de peso y de aspecto espumoso. La escoria, lava fluida que formó basaltos y que tiene grandes cavidades por desprendimiento de gas, es una roca importante que se originó más tarde. También se encuentran grandes volúmenes de roca silicea fragmentaria, en su mayoría lavas de la misma substancia y muy viscosa.

El basalto forma una porción grande de las rocas más recientes que se encuentran en el Valle. Muchos creen que el basalto olivino es la roca básica de la cual proviene el basalto, mientras que otros estiman que la andesita constituye su origen.

El basalto se modifica probablemente por difusión volátil alcalina y esto resulta en un alto contenido alcalino que bien podría explicar la condición de algunos de los suelos de la cuenca.

El basalto viene generalmente acompañado de olivino y plagioclasa. En algunos casos las asociaciones andesíticas contienen un alto contenido alcalino, especialmente las andesitas basálticas. El basalto con su álcali y la plagioclasa a veces tiene un alto contenido alcalino mientras que la andesita es intermedia entre la roca ácida y casi nunca es particularmente alcalina. Las andesitas usualmente tienen un contenido más alto de sílica que los basaltos.

En cuanto a los otros tipos de rocas, muchos frag-

mentos de lava salen en estado líquido pero se solidifican al caer en fragmentos más o menos grandes. Alrededor de la boca de la Caldera, del Xico y del Popocatepetel hay cenizas y lapilli que caen cerca de la chimenea volcánica en acción y componen los materiales que forman el cono. Las andesitas provienen en su mayoría de actividades explosivas, mientras que el basalto escurre con más tranquilidad a causa de su contenido de gas. Los volcanes pueden emitir muchos tipos de rocas ya que pueden tener explosiones fuertes o emisiones tranquilas. El proceso normal que sigue la actividad volcánica es el siguiente: bombas, tobas, brechas, alternando con emisiones de lávicas.

D. Hidrología

Climatología

El clima de la cuenca Chalco-Tláhuac y las montañas que la rodean varía según el sistema de Kooppen de clasificación climática del tipo Cwbg, que se encuentra en la cuenca misma, al tipo Cwcg que se halla en la Sierra Nevada y en el Ajusco y finalmente al extremo tipo de clima EB que corresponde a los volcanes. Estos cambios de clima corresponden al cambio que van desde una altura de 2,250 metros sobre el nivel del mar hasta a 5,442 metros, que corresponde al pico más alto. Estas diferen-

cias de clima que tienen gran efecto en la vida del valle y en las laderas de la montañas a su rededor. Los cambios en las temperaturas van desde 15 grados en el valle a 25 grados bajo cero en las partes más altas de las montañas. La temperatura de la región montañosa varía entre 10 y 25 grados bajo cero y es insólito pero posible tener una temperatura de 40 grados durante todo el día.

El tipo de clima del valle de la cuenca es Cwbg ya que la temperatura media del mes más cálido es superior a 22 grados y la del mes más frío ≥ 0 , y en el mes más lluvioso del verano la precipitación ha sido en todos los casos 10 veces más que el mes más lluvioso del invierno. Respecto a las variedades específicas y generales del clima, hay que hacer notar que el mes más caluroso del año corresponde a un mes anterior al solsticio de verano, o sea el 22 de junio. Según esta información, puede identificarse a este clima definitivamente como Cwbg.

En las colinas al pie de las montañas, alrededor del Valle, puede clasificarse la mayor parte del clima como Cwcg. Esto es particularmente cierto en la región de Río Frío, de la Sierra Nevada, y también en la parte más elevada del Ajusco. Además, informes sobre esta región revelan que hay 5 grados o menos entre las temperaturas mensuales medias. Probablemente esta situación se presenta en las regiones donde la altura varía entre 2500

y 4,000 metros.

El valle goza de un clima templado y húmedo debido a la combinación de baja latitud y del 60% de insolación anual de que disfruta esta región. La insolación naturalmente aumenta con la altura de las montañas, pero el aumento en temperatura la hace habitable a una elevación de más de 4,000 metros, aunque entre 3,000 y 4,000 metros de altura las regiones tienen una población muy dispersa.

Hay tres principales tipos de masas de aire que influyen en el clima del valle: Tp, masas de aire marítimo tropical del océano Pacífico; Tg, masas de aire marítimo tropical del Golfo de México y del océano Atlántico, y Pc, masas de aire polares continentales del norte.

TG: del este y del sureste, moviéndose hacia el oeste y noroeste en el verano, es el tipo de masa de aire monzónico que cruza sobre el Golfo y viene cargada de humedad. Como la insolación es grande y como la masa de aire pasa por el mar, esta masa variable necesita poca elevación para producir lluvia por convección debido a su alta humedad. El aire se eleva, se mueve además sobre las masas terrestres calientes, y como es inevitable, origina precipitación por la acción de un movimiento orográfico y convectivo que lo eleva sobre la Sierra Madre Oriental a la planicie del nordeste del valle y a la Sie-

erra Nevada y volcanes Iztaccíhuatl y Popocatepetl. Estas masas de aire inestables al pasar sobre los cerros que están en la parte sureste del Valle de México, originan gran cantidad de humedad en sus laderas. La cantidad más copiosa cae en la ladera sureste, del lado de los volcanes que da al valle de Puebla, ya que esas barreras son muy altas; sin embargo, parte del aire húmedo llega naturalmente al lado oeste de los volcanes.

La precipitación es mucho más alta del lado barlovento o sea en la falda al oriente. El calor latente de condensación se realiza durante el ascenso sobre esta alta barrera. Los contrastes en la temperatura entre las dos faldas están acentuados aún más debido a las condiciones más favorables en el lado sotavento, donde la nubosidad es menos que en el lado expuesto al viento; esto crea un efecto de sombra lluviosa pero da ligera precipitación. Sin embargo, la mayor parte de la lluvia que cae en las laderas al oeste viene del nordeste a través del valle de México. Estas lluvias llegan a esta región como pequeñas tormentas orográficas durante la última parte de abril y la primera de mayo. Conforme aumenta y llega a su ápice la insolación a fines de julio y principios de agosto, aumenta el ritmo, cuando nubes cumulo-nimbus cargadas de humedad, se originan en el valle, y debido al aire inestable y alta temperatura diurna, el resultado de este mo-

vimiento produce una convección local tormentosa. La circulación interior dentro del valle relacionada con los ciclones tropicales afecta la distribución de la lluvia estival y el extremo sureste del valle a lo largo de las laderas de los volcanes recibe la mayor parte de la lluvia.

Tp: Esta masa de aire es un desarrollo ciclónico del Pacífico influido por el calor del ecuador. Recoge gran parte de su humedad de las aguas mexicanas del sudoeste y se mueve hacia el continente de manera semejante a la masa de aire Tg. No parece tener la intensidad y fuerza de la masa tipo Tg, y lleva mucho menos humedad. Se mueve a través de la cuenca del Balsas dentro del valle de Cuautla, y a veces penetra en el declive sur del valle de México. El valle de México recibe la mayor parte de su lluvia del área de baja presión que existe durante los meses de verano en el valle y de la circulación convectiva en los tipos Tp y Tg de masa de aire.

Pc: Los inviernos son secos y fríos, debido a que el frente ecuatorial va hacia el sur, y una gran área de baja temperatura y alta presión se desarrolla sobre la parte oeste y noroeste de México. Durante esta época, las calmas tropicales cubren la mayor parte de México con la excepción de las costas del este y del sureste. Las masas de aire del Pacífico y del Atlántico no tienen la fuerza para penetrar las elevadas montañas al-

rededor del Valle y gran cantidad de su humedad cae a lo largo de la región costera. Entonces el ecuador térmico que influye en estas masas de aire se ha movido hacia el sur una vez más, en lugar de estar concentrado en la costa sureste de México. Aire más frío del norte y en la forma de masas de aire Pc entra, después de pasar sobre las frías llanuras de Estados Unidos de América, llega a la altiplanicie.

La temperatura y la presión son sumamente estables durante todo el año en esta parte del Valle, pero hay un descenso natural de la temperatura en la región montañosa más elevada.

La humedad absoluta y relativa es más alta de junio a septiembre y las montañas elevadas tienen una temperatura más baja durante el día, con una variación más grande en temperatura. Una de las principales razones a la que se deben las noches frías de invierno es el hecho de que hay vientos cuesta arriba y cuesta abajo, debido a los cambios de temperatura durante el día y la noche, y así el viento frío baja al valle en la noche. Esto a veces origina que haya escarcha en el área de las colinas.

Los vientos que se aproximan a las montañas en la dirección del valle vienen del Nordeste y son más fuertes durante los meses de abril a junio. Esta es la misma dirección de la masa de aire ya que hay cambios de presión

ambulante hacia el límite del valle debido al área de baja presión que se forma en esta región.

Las masas de aire más húmedas llegan del este y del sursureste, dejando caer su humedad en las faldas orientales, mientras que los otros movimientos de aire del Pacífico y del sudoeste traen humedad de esa dirección. Los vientos son más variables durante septiembre, pero más estables de mayo a agosto, ya que ésta es la temporada de presión baja en el Valle.

La humedad relativa al este de la Iztaccíhuatl es de 70% o más mientras que en el lado poniente va de 50 a 60%. La parte oeste de los volcanes recibe un promedio de 60 a 90 días de lluvia al año. Sin embargo, no es extraño que esta área reciba como 120 días de lluvia al año. Los vientos alcanzan a veces una velocidad de 60 a 70 kilómetros por hora en los volcanes. El clima de éstos durante todo el año es húmedo alrededor de la zona glacial de los volcanes.

Ríos, Corrientes y Manantiales

Hidrográficamente esta región cuenta con aguas provenientes de la precipitación de nieve, del deshielo y de la de lluvia, y cuenta con algunas de corrientes, ya que está rodeada de terrenos sumamente altos en contacto con las nubes cargadas de humedad. Hay sólo tres corrien-

tes principales que aportan agua a la cuenca Chalco-Tláhuac; son las únicas de importancia que corren tan sólo en la época de lluvia. Estos ríos son el Tlalmanalco, el Ameca y el Milpa Alta. El Ameca es el que aporta más agua y es sin duda el más importante.

El Popocatepetl y la Iztaccíhuatl constituyen la división continental de las aguas, con el Golfo de México al estenordeste, el Balsas al sur y el valle de México al noroeste. La Iztaccíhuatl difiere del Popocatepetl en que no está aislada y forma parte de una unidad que se extiende muchos kilómetros a lo largo de la orilla este del valle de México. La ladera oriente tiene a los ríos Atoyac y Atlixco que desaguan en el río Balsas y que desembocan en el Océano Pacífico. La parte poniente vierte sus aguas en la cuenca Chalco-Tláhuac.

En la Iztaccíhuatl, el Arroyo del Salto originado en la región de la cima de hielo de Ayolac, tiene su desagüe en el Valle de Amecameca. Los ríos Tomacoco, Grande, Mexicano y Hueytla se originan en las laderas oeste de los volcanes y corren al sudceste.

Los tres principales arroyos son el Chalma que es bastante seco, del lado oeste del volcán; el Salto, que contiene un poco más de humedad y el Tomacoco que tiene el mayor desagüe. Estos tres arroyos se unen al Ayapango, al oeste de Amecameca, y forman el río Ameca que tiene su

cauce al oeste y desemboca en la cuenca.

El arroyo de Tlalmanalco comienza directamente arriba de San Rafael procedente del glaciar de Ayoltepito, entre la cabeza y el pecho de la Iztaccíhuatl, que forma un puerto con una altura de 4,500 metros. Pasa entonces por Trancas, Cabeza de Negro, San Rafael, donde las aguas se aprovechan para la fabricación de papel, a través de Tlalmanalco, Miraflores y en El Moral se convierte en canal de irrigación. En un tiempo, cuando tenía mayor volumen seguía más adelante y era una de las fuentes de agua para el antiguo exlago Chalco. En cierto tiempo el cuerpo lacustre también recibía un gran volumen de agua del arroyo de San José, que llevaba gran volumen de aguas de lluvia de la región Telapón de la Sierra Nevada, al norte de la Iztaccíhuatl. El arroyo más importante en esta parte de la Sierra Nevada que nutre a la región de la cuenca sigue siendo el río Tlalmanalco.

Una de las barrancas más importantes en la ladera oeste del Popocatepetl y que todavía proporciona mucha del agua en la región de Amecameca y para el río Ameca es la Barranca del Fraile. Esta barranca se destaca mucho en el lado oeste del Popocatepetl a una altura de 5,000 metros. La mayor parte de los escurrimientos del Popocatepetl van hacia el valle de Puebla y de Cuautlá. Este volcán con su rara posición en el grupo volcánico ayuda a establecer la

división hidrográfica del Valle de México, Tlaxcala, Puebla, Atlixco y Cuautla; de modo que la menor parte del agua fluvial va al valle de México, vía el río Ameca.

En el Ajusco hay materiales porosos y raras corrientes volcánicas que no son favorables para la formación de un curso de agua o de una barranca. El agua se infiltra a través de las formaciones permeables y aparece abajo formando manantiales al pie del volcán. El Ajusco divide las aguas superficiales y subterráneas entre el valle de Cuernavaca y el valle de México. Cerca del pueblo de San Gregorio, al pie del Teuchtli, se encuentra la mayor concentración de manantiales. Mixquic también cuenta con manantiales importantes que se hallan entre Tetelco y Tezompa. Estos manantiales contribuyen con un volumen mayor de agua a Kochimilco y en tiempos pasados, junto con los manantiales de Tlapaco, Xico, Tulyehualco e Iztaccihuatl surtían abundantes aguas para la cuenca Chalco-Tláhuac.

Hay actualmente cinco zonas hidrográficas en la parte alta que circunda el Valle y cada una se distingue por sus características particulares.

La zona más elevada es la de glaciación a 5,200 metros de altura. En la parte alta se distingue por sus circos, detritus y rocas estriadas por la erosión glacial. La mayor parte de los cursos de agua en esta región pasan

a través de las fracturas en las rocas y del material permeable que se encuentra allí.

La siguiente zona de importancia está comprendida entre los límites de la vegetación a 3,500 metros y los 4,000 metros, donde se observan bloques erráticos, rocas estriadas y superficies pulidas, morrenas laterales y depresiones y barrancas. Era una zona erosionada en los últimos tiempos glaciales, siendo actualmente una zona inhabitable que contiene algunos manantiales procedentes del agua de infiltración acumulada en las zonas permeables. Existen evidencias de fuerte erosión glacial a una altura que se extiende de 4,000 a 4,500 metros. Hay también muchos arroyos con sedimentos glaciales y fluviales, así como evidencias de desintegración de rocas. Esta es una zona donde principian a formarse suelos de vegetación de altura. Aquí los arroyos se han erosionado en gran parte y hay numerosos manantiales.

La zona de erosión más fuerte está situada entre 2,500 y 3,500 metros de altura. Los cañones y escarpaduras en ésta área son profundos y hay gran cantidad de cursos superficiales con la aportación de numerosos manantiales. Hay un declive poco profundo que se inclina hacia el Valle mostrando muchos abanicos aluviales, con su respectiva acumulación de sedimentos. Los dos grandes volcanes reciben enormes cantidades de precipitación, pero la mayor

parte de ella se pierde por la infiltración, evaporación y evapotranspiración, por lo que las corrientes superficiales son mucho menores en su volumen que el total de la precipitación caída durante los meses lluviosos. Hay gran cantidad de evaporación por el estado higrométrico del aire debido a la altitud y a las condiciones superficiales.

Es difícil fijar la cantidad de evaporación anual por falta de observaciones meteorológicas aunque en Hueyatenco, de altitud de 3,557 metros sobre el nivel del mar, se han medido 1180.4 milímetros de lluvia en el año de 1949.

Por otra parte se ha estimado que más del 60% de las lluvias se infiltra en los materiales permeables y porosos de esta región. La permeabilidad del Ajusco se debe principalmente a su origen volcánico, pues se compone de rocas fragmentarias de un material ligero y con fracturas, de lo que resulta que la infiltración de las aguas a través del material volcánico, al igual que en la Iztaccíhuatl y el Popocatepetl. Este tipo de roca, como la ceniza y polvo volcánicos que se encuentran en los lados de los volcanes más grandes de 3,500 metros hasta el límite del hielo permite una rápida infiltración. Los materiales basálticos absorben agua rápidamente y como el área está totalmente cubierta por corrientes basálticas, se ex-

plica la ausencia total de barrancas; por lo cual esto impide la formación del agua bien definida. En consecuencia, no parece haber un sistema hidrográfico bien definido en el área volcánica que rodea al Valle; lo cual es particularmente cierto en el Ajusco.

En las áreas sin bosques, el escurrimiento es mayor disminuyendo la infiltración. Además las características del material rocoso y la inclinación de los estratos tienen un efecto definido en la dirección y en el desarrollo de los arroyos. También la actitud estructural de los estratos graduales y en declive tienen un efecto importante en la disposición de los arroyos, y modifican grandemente las cantidades relativas de evaporación, absorción y corriente de superficie como se puede observar en el caso de los volcanes que rodean al valle de México. Es un trabajo arduo el estudiar la hidrología de esta región ya que por razones obvias es difícil observar la estratigrafía del terreno. Para conocer la hidrología de esta región debe hacerse un estudio completo del carácter histórico, geológico y estructural de los fenómenos que caracterizan la secuencia de los sucesos geológicos.

Algunos de los más importantes factores que causan los cambios del relieve son: la erosión, la dureza de las rocas y la vegetación. Estos factores unidos a la erosión, hielo, erupciones volcánicas, precipitación, corrosión y

viento pueden causar distintas condiciones hidrológicas.

Los escurrimientos bajan a grandes profundidades sobre las gruesas capas de lava de la Sierra Nevada y del Ajusco. La gente que habita en las declives tiene que descender al fondo de las laderas para obtener agua ya que estas condiciones no permiten la obtención de agua aún perforando pozos. La explotación de los bosques de este terreno no ha servido mas que para agravar esta situación. El agua no sólo baja a grandes profundidades sino que la cantidad de evaporación es sumamente grande. Este hecho depende sobre todo de la cantidad de humedad en la tierra, la textura del terreno, la temperatura, el movimiento del viento y la relativa humedad en la atmósfera. La infiltración por las andesitas es poca, pero muchas de ellas se encuentran a profundidad. No hay suficientes datos para juzgar exactamente la estratigrafía de las regiones ya que muchas de ellas están cubiertas por capas basálticas más recientes así como de cenizas volcánicas también recientes que son sumamente permeables. El conocer el movimiento de las aguas subterráneas debe ser sumamente difícil. Se ha calculado que más del 60% de las lluvias se infiltran en las laderas de las montañas. Los manantiales producen un volumen de agua de cerca de 63,000,000 de metros cúbicos, y esta cantidad es pequeña si se considera la que cae por precipitación durante la temporada de lluvias.

La Iztaccíhuatl está compuesta de rocas permeables como arena, grava, toba y conglomerado. Mucho del agua corre adentro de las vesículas, entre las andesitas y las escorias basálticas en las fracturas de las capas de lava y en los poros y huecos que han dejado las soluciones de sustancias o en receptores a su vez dejados por la erosión en gruesas formaciones y arcillas penetrables fácilmente por el agua. Estos son recipientes de gran cantidad de agua en las regiones volcánicas. Aunque las andesitas son casi impermeables y no ayudan a la circulación del agua, no están muy expuestas en las laderas del oeste de las montañas, pero sí tienen numerosas fracturas en estas formaciones y las aguas circulan en cierto grado. Las tobas y brechas difieren de las arenas y conglomerados en que sus poros son pequeños y están sujetos a acción capilar. El agua no circula bien en poros de esta clase.

El Ajusco muestra pocos conductos de agua ya que hay muchos cursos subterráneos que corren a través y entre las capas basálticas. Sólo hay dos pequeños arroyos que entran a la cuenca del Ajusco: el Buenaventura y el San Juan de Dios; su gasto es pequeño y posible sólo durante los meses lluviosos. Las laderas de las montañas están cubiertas con estos depósitos gruesos de toba volcánica, aluvio y otros materiales rocosos transportados por lluvias torrenciales. La naturaleza litológica de las forma-

ciones determina si el agua puede circular a través de sus intersticios o no. Las propiedades más importantes de las rocas desde el punto de vista del geohidrólogo son la retención, la porosidad y la permeabilidad, así como la pendiente. Un factor importante es el intersticio o espacios y huecos que existen en el cuerpo de la roca. Estas propiedades se originan cuando la roca se forma, y en las volcanitas--traquitas, dacitas, andesitas, basaltos--las cavidades se forman durante la erupción por la salida súbita de los gases, que son burbujas en el cuerpo de la lava. Después de que son despedidos, muchos de estos poros se unen por contracción. También puede haber fracturas causadas por la expansión, contracción, enfriamiento y tectonismo muy local en esta acción. El agua puede moverse rápidamente a través de formaciones o bien no podrá escurrir en absoluto en los costados de la roca o podrá pegarse a los muros de ésta. Las fuerzas que originan la circulación del agua por la materia rocosa son la gravedad y la fuerza molecular. La rapidez del movimiento del agua a través de las formaciones depende del tamaño de los espacios vacíos y fracturas de las formaciones y rocas. La temperatura del agua depende de la profundidad en que se encuentra y también de su cercanía al centro volcánico. Las rocas más permeables son los basaltos, las lavas ascoriaceas o cavernosas, las traquitas, la grava, las arenas

y los lapilli.

Las características de almacenamiento de agua de las rocas son numerosas, pero mucho más importante es la composición química que repercute en su consolidación sobre el tipo de deposición y formas del terreno o relieve iniciales sobre los cuales son depositadas. Como se ha mencionado anteriormente, las rocas basálticas son las más fluidas, y como se encuentran en grandes extensiones en el valle, la mayoría de las corrientes penetran a través de ellas. Estas rocas están formadas en estructuras amplias con un gran número de grietas pequeñas, orificios y otros conductos. Tienen un alto contenido de materiales ferromagnesianos y bajos en sílice. En cambio la andesita tiene un 50% de ambos. El nivel del agua tiende a ser paralelo a la superficie a causa de que hay alta permeabilidad; grandes volúmenes de agua pueden almacenarse en el basalto, especialmente si existen gruesas y numerosas capas de lava como las que hay por las orillas del Valle de México. Podría haber enormes capacidades de agua en estas gruesas capas de lava. Además de eso, la calidad de las aguas freáticas de la lava es muy buena ya que son escasos los materiales solubles y el agua es potable. Un largo período de almacenamiento en grandes depósitos prácticamente asegura una baja contaminación bacterial.

Excelente ejemplo de esto es el tipo de agua que

se encuentra cerca de San Gregorio ya que hay mucha acción capilar y rápida corriente en esta región, y los manantiales se formaron donde las formaciones permiten la salida a la superficie.

La circulación de agua en esta área tiene lugar en la capa superior de basalto. También algunas de las tobas más permeables que se pueden hallar en el valle se encuentran en las zonas de los volcanes Cuatzin y Taushtli. Cuando hay mucho movimiento de agua, se forman a veces ciénagas en la región, como el caso de las carcanias de Mixquic-Tezempa. El suelo aquí es como esponja, almacenando grandes cantidades de agua y regulando la entrada de humedad a los receptáculos subterráneos que dan origen a los manantiales. Las colinas, de material ígneo, del valle están rodeadas de materiales sedimentarios y son muy permeables, pero forman barreras y obstáculos a la circulación de agua en el valle. Las aguas no pueden penetrar fácilmente las formaciones existentes y a veces se reúnen al pie de estas colinas formando manantiales como los de Xicc y Tlapacoya.

Otro gran factor que impidió el escurrimiento es la vegetación forestal que forma una carpeta y evita la erosión además de absorber grandes cantidades de agua. Esta ayuda a regular los conductos e impide los escurrimientos torrenciales además de regular la temperatura y purificar el aire.

La erosión es más fuerte cuando el suelo es impermeable; esto es evidente en las laderas oeste de las sierras donde los bosques han sido talados y entonces se han formado arcillas que hacen impermeables las depresiones, promoviendo así la erosión ya que es casi imposible que el agua penetre en este tipo de suelo.

Una de las peores regiones de erosión en el valle es la que se ha desarrollado al sur de la carretera México-Puebla, a lo largo de las colinas. Existe un fuerte contraste entre este tipo de terreno y el que se encuentra más al sur en las laderas del Ajusco donde la tierra es muy permeable y muestra pocas corrientes superficiales. Esta es una excelente y reprobable prueba de lo que pueda cambiar el hombre la hidrometría y el régimen fluvial de una región.

Glaciares

Hace algún tiempo, el lado norte del Popocatepetl estuvo cubierto por una gran capa de nieve, pero por diversas causas y factores empezó a desaparecer. Ahora sólo la cima del Popocatepetl está perpetuamente cubierta de nieve y con un declive uniforme. Como las faldas de este volcán son muy escarpadas, es difícil que la gruesa capa de hielo tenga gran espesor por la falta de adherencia.

Cuando llegaron los españoles, todos los lados del

volcán estaban cubiertos por una gran capa de hielo con gran espesor de hielo, pero ahora existe solamente en la parte noroeste del volcán, yaciendo entre el Pico del Fraile y el Pico Mayor. Esta capa permanece actualmente pero más reducida; no así en el lado sur, por el contacto de los vientos del sur, tropicales y húmedos del Valle de Cuernavaca.

Las acumulaciones nevadas constituyen un manto de cono a veces interrumpido en el verano, tal como se hallan en las partes muy elevadas del mundo. El manto de hielo del Popocatepetl se extiende abajo a la harranca de San Mateo hacia el Pico del Fraile. El Pico del Fraile se destaca como una protuberancia dentada en el lado oeste del volcán a una altura de 5,000 metros lo que desfigura la perfecta simetría del cono cerca del margen nevado. Es dudoso que esta capa de hielo exista en el futuro ya que está retrocediendo con gran rapidez.

En la Iztaccíhuatl los ventisqueros son del tipo clásico y están mejor preservados. El gran ventisquero norte se formó en el pecho y se desarrolló en un gran cráter abierto, el más nuevo y reciente de los cráteres de la Iztaccíhuatl. El ventisquero oriental es más pequeño ya que se ha dividido varias veces por lo que el ventisquero al poniente es el más importante; es ancho, grande y profundo. La razón que explica la falta de desarrollo del

ventisquero oriental es probablemente la existencia de condiciones climáticas desfavorables a su alimentación como las que se encuentran en el lado sur del Popocatepetl, lo cual no permite la formación de un ventisquero. El lado oriental de la Iztaccíhuatl tiene tres hacinamientos de rocas; uno con poco hielo, otro con la mitad cubierta de hielo y el tercero totalmente cubierto de hielo. Entre los tres picos que se denominan la cabeza, el pecho y los pies, hay dos grandes depresiones y dos thalwegs. Estos lugares han recibido abundante nieve y hielo que también se ha formado por el tipo colgante, pero de mayor extensión que la que se encuentra en el Popocatepetl.

Ni uno de los cráteres de la Iztaccíhuatl son visibles posiblemente por la erosión y porque la superficie está cubierta por las fuertes nevadas. El gran ventisquero al poniente es Ayoloco, el cual se extiende de las rodillas al pecho de la montaña, está dividido en tres partes. La gran barranca de este lado se llama Maculexcatl, y hay depósitos de rocas grandes que el hielo en tiempos pasados arrastró y depositó en ese lugar.

El ventisquero de Ayoloco tiene un área de cerca de 400 metros. En las barrancas hay detritus dejados por el antiguo ventisquero de Tlalmanalco. Parece haber una disminución constante en los ventisqueros como el grande de Ayoloco y el pequeño de Ameca, que muestran huellas de

retroceso por la presencia de morrenas, bloques erráticos y rocas pulidas. El viejo ventisquero de Tlalmanalco muestra señas de erosión glacial; el Tlalmanalco y el Ameca han dejado de existir. La masa entera del Ayoloco se compone principalmente de pequeñas rocas con una gran cantidad de fragmentos de piedra en el cuerpo principal del ventisquero, mientras que la cresta contiene piedras más grandes. Hay evidencias que el hielo y la nieve se han acumulado por la congelación de la precipitación de la nieve y del granizo en las zonas bajas, y que se han formado circos glaciales y que han causado la erosión formando valles colgantes. Es difícil que la nieve se acumule y forme ventisqueros en algunas partes de los volcanes que tienen paredes muy verticales como las que se encuentran en el Popocatepetl y en la Iztaccihuatl.

En una capa de hielo o ventisquero, la nieve recristalizada comienza a acumularse en el suelo. Con una abundancia de nieve y lluvia congelada, como la que se encuentra en las elevadas alturas de los volcanes, y con temperatura bastante fría para conservar una estimable cantidad de la nieve que se acumula, se formarían capas de hielo. La nieve se convierte en hielo de ventisquero por sublimación, por la migración de moléculas individuales y por liquefacción y congelación. La nueva nieve que se contrae y se torna más pequeña hace salir el aire y el

agua dentro de sus capas. Capas de hielo como las que se encuentran en los volcanes grandes son inmóviles y muestran muy poco escurrimiento de deshielo; éstos son muy pequeños y numerosos en las altas regiones montañosas. Consisten de neve o firn o de nieve acumulada que forma la capa de hielo. Neve es el nombre que se da a la mayoría de los campos de nieve en las montañas, ya que no se les considera como verdaderos ventisqueros: se componen de nieve granular, y adquieren algún movimiento como consecuencia de la influencia de la gravedad. No parecen desarrollar las largas lenguas o cursos que se encuentran en la mayoría de los grandes ventisqueros. El perfil cortado de una neve o capa de nieve es casi siempre cóncavo, y si existe alguna lengua, esta es convexa. Si es cóncavo se nutre de nieve a los lados del alud, y esta parte se conoce como la zona de alimentación. Un ventisquero siempre depende de la relación entre el volumen de agua congelada y la velocidad de escurrimiento, así como de la evaporación. Hay varias clases de deshielo: superficial, subglacial, alguna debido a las fracturas, a la radiación solar y de las rocas cercanas. También puede depender de los veranos calientes, de los vientos, de la humedad y de la temperatura. El tiempo frío realmente no tiene mucho efecto en la formación de la capa de hielo, pero los cambios en estaciones o la cantidad de calor que se recibe

en el verano influye en la región fría. La glaciación es del tipo de alta montaña y resultado de la acumulación de nieve y hielo en grandes cantidades arriba de la línea de las nieves persistentes.

La idea de que los ventisqueros eran más extensos que lo son ahora data solamente de las últimas décadas de este siglo. Se ha calculado que las temperaturas han ido aumentando de 0.5 grados C. a 2.2 grados C. por siglo. Las razones que explican este cambio son los cambios en el clima general y en la temperatura en particular. Cambios en el área y altura de las masas continentales, variación de polvo volcánico, de dióxido de carbono y de polvo en la atmósfera, salinidad en el océano, grado de precipitación y la fuerza y curso de las corrientes marítimas, variaciones en las posiciones de los continentes, cambios en los movimientos terrestres, que a su vez es afectada por el CO_2 y el vapor de agua en el aire.

Otra hipótesis para explicar el retroceso de los ventisqueros es la teoría solar-topográfica, probablemente la más exacta que se ha formulado hasta la fecha:

- 1) La fluctuación de la radiación solar como la causa de los cambios mundiales en la temperatura.

- 2) La presencia de tierras montañosas como el factor principal para determinar la acumulación de nieve y la distribución de los ventisqueros.

Los levantamientos de elevadas montañas en los períodos Plioceno y Pleistoceno originaron una temperatura cuyo promedio fué por lo menos 3 grados más frío sobre el nivel del mar y aún más frío en las montañas de la altiplanicie. La razón de esto es que dificulta la circulación de aire atmosférico. La temperatura en los picos de las montañas más recientes es más alta. Puede bajar la temperatura por el hecho de que la reflexión del calor es cuatro veces más en la superficie de nieve que en la superficie sin nieve.

El descenso en las zonas de nevadas naturales aceleró la expansión de los ventisqueros, pero en el caso de los volcanes del valle de México, donde el margen de la nieve ha retrocedido, los ventisqueros han pasado por un gran retroceso también.

Donde el 20% de radiación solar se refleja por la superficie terrestre, el 80% se refleja de las superficies nevadas. La porción perdida se derretirá como en 9 metros de hielo al año en las zonas templadas. Y donde la ablación apenas hace balance con la acumulación anual, el crecimiento de la capa de hielo es prácticamente nulo. En los volcanes del Valle la acumulación anual es menor que la ablación. Otra razón es la escasa o mucha precipitación salida y los períodos de cielo claro con fuerte insolación. La línea de nieve de los volcanes estaba induda-

blemente más baja durante la época de formación de los ventisqueros. La temperatura media era de 4 a 8 grados C. menos que en los volcanes actualmente. Siendo los cambios de temperatura más grandes, hubo una circulación atmosférica mayor y más turbulenta, lo cual dió lugar a tormentas ciclónicas más fuertes que aportaron mucha más precipitación. Sin duda la Sierra Volcánica Transversal recibió su parte de esta precipitación acompañada por fuerte erosión.

Una muestra de la extensión de los ventisqueros en los volcanes del Valle, especialmente en la Iztacchuatl, es la presencia de gigantescas peñas y bloques erráticos con formas subangulares. Muchas de estas rocas están parcialmente niveladas y hay grandes circos al principio de las barrancas que provienen del volcán. Muchos de los bloques basálticos son estriados y están raspados lo cual indica la acción de los ventisqueros. No tienen una orientación especial que muestre que hayan sido o que son parte de una formación. Las capas de lava de las barrancas superiores tienen un alto pulimento y lustre y aparecen como roches moutonées. También muestran las estrías usuales de la acción glacial. Muchos de los fragmentos de roca no demuestran evidencia de glaciación ya que no están sujetos al desgaste mecánico, pero los detritus separados parecen mostrar que son rocas redondas y pulidas.

Es difícil decir cual es la distancia que se extendieron los ventisqueros por las laderas de las montañas, pero hay restos de circos en el Pico del Fraile del Popocatepetl a cerca de los 4,500 metros de altura. Estas capas de hielo parecen ser semejantes a aquéllas que se encuentran en Europa, aunque no tienen las lenguas y escurrecimiento de hielo como en los Alpes.

E. Suelos y Vegetación

La parte montañosa de la región que rodea a la cuenca donde se han desarrollado suelos en la capa andesítica y que está cubierta por vegetación. Los suelos en la parte montañosa son delgados y líticos con muy poco perfil. La capa superficial de los suelos es somera y tiende a desarrollarse sobre la toba y los materiales piroclásticos. Todos éstos a su vez son derivados de las erupciones como lo son los de la cuenca misma, pero en ésta influyó la composición de la flora lacustre que se desarrolló a lo largo del borde de los depósitos de agua y suelos por erosión acarreada de los edificios de alrededor. Estos fueron formados a expensas de las arenas y cenizas volcánicas y de la denudación de la cadena de volcanes que la rodea. En los cerros y sobre la andesita, el suelo, que está parcialmente desarrollado tiene poco o nada de color que muestre alguna concentración de

materias orgánicas, pues todos estos suelos son sumamente variables y someros. Esta área de colinas es importante, y debido a su calidad escarpada y rápida erosión, causada por la alteración debida al hombre en la cubierta vegetal, los suelos son líticos, pero en los declives inferiores son sin duda podzólicos desarrollados bajo la influencia de la vegetación.

Ha sido después de que la vegetación fué cortada y quemada por el hombre que la capa superficial del suelo sufrió fuerte erosión. Los suelos líticos se han desarrollado y probablemente durarán por varios siglos, aunque como todos los suelos están constantemente en desarrollo y sin permanecer siempre iguales.

En la cuenca misma se encuentran los mejores suelos de la región; éstos yacen exactamente al pie de las montañas y en la vieja cuenca Chalco-Tláhuac. Estos suelos finos compuestos de aluvión lacustre y cenizas volcánicas fueron formados por la acción recíproca entre las substancias orgánicas y minerales. Ocupan las regiones llenas alrededor de la carretera a Puebla, al norte de Chalco, y se extienden hasta el Ajusco hacia el sur, al noroeste a Tlapacoya y al este a la Sierra Nevada. Estos suelos son todos de primera clase. La calcificación está probablemente convirtiendo estos suelos en chernozems más finos que son altamente productivos. Su origen proviene

de las montañas del este, cuyas rocas tienen un alto contenido de productos químicos de silicatos magnésico cálcicos. De acuerdo con la cantidad de calcio, las rocas deben ser más básicas que las demás de la región y de esta manera constituyen material rocoso para la formación de buenos suelos.

Los suelos más pobres y por consiguiente los que han causado mayores dificultades en la cuenca, son los que se extienden de los volcanes de Xico al pueblo de Tláhuac, al norte hacia el volcán de Santa Catarina y al sur a los pueblos de Mixquic e Ixtayopan. Estos volcanes cuentan principalmente de suelos líticos y tienen casi la misma composición química a lo largo de la margen de la cuenca. Muchos corresponden a zonas montañosas secas en las que las xerofitas se desarrollan bien. En el área de la cuenca de Santa Catarina hasta Mixquic y de Xico hasta Tláhuac, los suelos son estrictamente de tercera o quinta categoría. Los cortes geológicos de la cuenca revelan que hay muchas arcillas y capas de cenizas volcánicas cerca de la superficie. Inmediatamente debajo de estas capas se encuentran arenas y margas. En las zonas más profundas, las cenizas y las capas de arena alternan con los estratos de toba y grava; estos estratos de toba y grava contienen mucha agua bajo presión.

Los suelos superficiales son intrazonales y pro-

ductos de un proceso de gleización y salinización. Los grupos de suelos se encuentran probablemente entre el solonchak y el solonetz, pero más cerca del solonetz.

La gleización se debe a la acumulación de material lacustre en la anterior área y en la orilla del lago que tuvo lugar cuando sus aguas disminuyeron de nivel. Conforme murieron las plantas, otras tomaron su lugar y crecieron sobre los restos de las primeras. Al repetirse este proceso, la presión por el peso añadido sobre los sedimentos, junto con el amontonamiento de materiales en descomposición, originó suelos turbosos. La mayor parte de la vegetación fué probablemente de musgo, aunque se encuentran tres tipos distintos de turba en esta región. Parte de este material ha sufrido un proceso de combustión bajo tierra durante años. Desde 1923 se encontró ceniza blanca mientras se cavaban pozos y esto indica la existencia de algún tipo de combustión subterránea, que es resultado de reacción química que empezó con la combustión espontánea entre los pantanos turbosos. Los suelos turbosos son extensos en esta área y contienen grandes volúmenes de agua no utilizable ya que está contaminada con gas de pantano.

La salinización en esta área se debe principalmente a los materiales básicos rocosos, cuya composición química ha dado lugar a la acumulación de las sales.

La ceniza volcánica, que también abunda, tuvo una parte importante en el desarrollo de una alta salinidad, esto es particularmente cierto donde existe el tipo de sales de carbonato. Los gases magnéticos y las aguas minerales termales son así mismo una ayuda para el desarrollo de la salinidad. Los minerales puros son escasos en la región de la cuenca y los que hay se encuentran al pie de las montañas hacia el este.

Anteriormente la región era un lago y los suelos situados a su rededor se convirtieron en suelos productivos. Cuando el lago se secó, las sales que estaban en capas profundas del suelo subieron a la superficie por acción capilar. Siempre que el nivel del agua es mantenido a cierta profundidad, las sales también permanecerán a determinado nivel y la tierra podrá emplearse para la producción agrícola. La cantidad de alcalinidad cambia durante el año y depende del volumen de humedad que se presente en la tierra pues las sales se mueven a través de los suelos, junto con los mantos de agua.

El álcali blanco contiene principalmente sulfatos de calcio, magnesio y potasio así como cloratos de sodio. El pH es bastante alto en algunos de los suelos más alcalinos y en algunos lugares es tan alto como 9.7. En la región entre Xico y Tlánuac es así de alto; en promedio, pues oscila entre 7.5 y 9.0. Estas cifras se determina-

naron probando las muestras de suelo tomadas al cavar pozos al oeste de Xico. Las sales de sodio son las más importantes de todas pero hay muestras de una gran cantidad de álcali negro. Este aparece en ciertos lugares de la zona de suelos pobres de la cuenca. Los suelos con sodio son difíciles de cultivar e impiden el crecimiento de la vegetación. Son sumamente tóxicos y arruinan todo vegetal con el que entran en contacto. La concentración de sales de sodio varía en profundidad en los suelos de acuerdo con el clima.

El álcali negro o carbonato de sodio es desastroso para toda clase de plantas. Otra mala característica de este tipo de álcali es que se vuelve compacto al mojar-se y no permite que el agua se filtre a través del suelo en ese estado. De esta manera, el suelo es rara vez lavado o nunca tiene la oportunidad de ser lavado, y el agua misma se vuelve mala por estar estancada. Este tipo de álcali es especialmente nocivo en los suelos de tipo Solonetz, ya que impide el desarrollo de plantas útiles.

El que florezcan cosechas bajo condiciones alcalinas depende de la constitución de la planta y de sus hábitos de arraigue, pues las plantas de raíces largas tienen una ventaja sobre las demás.

Debe darse alguna consideración al problema del álcali donde existen temporadas de clima seco. Es difi-

cil proporcionar cifras acerca de ello, ya que la cantidad máxima de sales en los suelos o en el agua pueda permitir una producción razonable de cosechas. Pero con un buen abastecimiento de agua y un suelo con buen drenaje, todos los tipos de álcali negro pueden extraerse a través del proceso de lixiaviación. La formación de suelos solonetz toma lugar usualmente durante el descenso del manto de agua, como ha ocurrido en el valle de México con el desagüe de los lagos. Las capas superiores se transforman en solonetz y los horizontes superficiales se vuelven permeables, aunque las capas de sodio inferiores son aún más saladas. Estos suelos van del solonchak con sodio a solonetz solonizado. Con la lixivación o aumento del drenaje del suelo, el solonchak podría cambiarse a un tipo solotz. Muchas de las sales se mueven a través del suelo por acción capilar entre las aguas que se filtran, formando superficies costrosas con hendiduras encima de la capa del suelo. Este tipo de suelo se puede ver por toda la parte oeste de la cuenca.

En los suelos de quinta clase de la cuenca más del 35% de la región tiene álcali, que los hace nada utilizables para cultivos.

La vegetación es de gran importancia para determinar la hidrología de una región. Esto es muy cierto de la cuenca y áreas que la rodean ya que están muy ex-

puestas a numerosos tipos de vegetación diferentes. La mejor vegetación empieza a cerca de 4,000 metros de altura y se extiende en parte abajo de un nivel de 2,500 metros. La vegetación es a veces poco densa y varía de buena a mala calidad. Lo esparcido de la vegetación ha tenido mucho que ver en los últimos cien años en la determinación de la extensión de los recursos hidrológicos y volumen torrencial del agua.

En la región más alta, se encuentra la vegetación forestal de pinos es decir de árboles de hojas de verdor permanente; esta región tiene árboles que alcanzan alturas de más de 25 metros. Estos con frecuencia están interrumpidos y frecuentemente se mantienen aparte. Para formar una mejor barrera contra la erosión y los torrentes, deberían contar con ramas que se tocaran entre sí y formarían un dosel que detendría la lluvia y quebraría gran parte del agua de escurrimiento. Mucha de esta agua se perdería más tarde por evaporación y no llegaría a la tierra. Entre el nivel de 3,000 metros y los 2,500 metros de altura se encuentra la vegetación mixta de árboles de verdor permanente y de hojas caducas de altura mediana, que se elevan de 10 a 25 metros de altura.

En muchos lugares a esta misma latitud y alrededor de la cuenca, la tierra ha sido quemada para dar paso a la agricultura. Debido a ello, la tierra ha sufrido

do erosión antes de que los suelos buenos hayan tenido oportunidad de formarse y ahora esa tierra no tiene utilidad alguna. El acentuado declive dejó que los suelos fueran arrastrados por el agua, ya que no hubo vegetación para detenerlos y como los suelos eran de naturaleza arcillosa, el agua barrió con la mayor parte de ellos.

La vegetación predominante, las cacaecias, se encuentra en las soleadas laderas del Valle, mientras que del lado de la sombra a la misma elevación y en la misma localidad existen pinos. Sin duda en tiempos pasados crecieron árboles, como el encino, a lo largo del borde del lago y a través del Valle de México.

Son numerosas las variedades de arbustos y árboles. Varían de densos bosques en elevadas alturas hasta árboles esparcidos al pie de los cerros, y esta irregularidad en la vegetación causa en gran parte la erosión.

Los árboles son en su mayoría coníferos, como abetos y cipreses esparcidos junto con robles, madroños, sauces y tepozanes. Los arbustos forman el principal baluarte forestal ante la erosión y los torrentes, pero desafortunadamente la densa área forestal alrededor de las llanuras de la cuenca tiene una densa maleza. Algunas de las variedades bajo los árboles son: los ribis, berberis, fuchsia, astrum, y bacchris.

La vegetación herbácea también contribuye a for-

mar la maleza junto con las compuestas y las gramíneas. El terreno alrededor de los prados que lindan con la tierra forestal tiene hierbas, líquenes y musgos. Estos pequeños arbustos y plantas forman una cubierta que deberá absorber parte de la lluvia y establecer una condición que favorezca la infiltración de gran parte de la lluvia, pero la región carece de una combinación de ambas formas de vegetación.

Al pie de los cerros que rodean la cuenca hay árboles deciduos de hojas caducas y anchas, menores de 10 metros en altura. Como esta región, especialmente en la ladera oeste de la Sierra Nevada, ha sido quemada repetidas veces para el desarrollo de la agricultura, los árboles son de poca o ninguna utilidad para contribuir a resolver los problemas hidrológicos ~~de esta área.~~

El área de la cuenca misma debido a las diversas clases de suelos tiene muchas variedades diferentes de vegetación. En la parte oeste que tiene los negros suelos, la única vegetación que existe es aquella que crece bajo extremas condiciones salinas. Toda es terreno plano con pastos y escasos tipos de plantas herbáceas chaparras y que jamás crecen arriba de medio metro de altura. Pero aquí también se encuentran las formas de vegetación en galería que crece alrededor de cuerpos de agua.

Los volcanes del Valle que rodean la cuenca tienen su propia y característica vegetación. Algunos tie-

nen plantas forestales de hojas caducas y anchas, con pocos arbustos que nunca exceden un metro de altura.

Las condiciones físicas de esta área en hondonda favorecen la actividad pastoril, ya que los pastos en la cuenca están verdes durante la mayor parte del año. En la parte oriental de esta región, los suelos son de primera calidad y como toda la vegetación natural ha sido extirpada para abrir paso a la agricultura, mucha de la tierra tiene campos de alfalfa, cebada y pastos nativos.

Esta región tiene excelentes terrenos para el cultivo de cereales y de forraje. El maíz se cultiva con moderación en las regiones de suelos buenos o malos, y se ha adaptado a la alcalinidad de la región. Hay algunas cosechas de forraje que también toleran las altas cantidades de álcali.

Las clases de vegetación que se hallan en los suelos de cuarta y quinta clase se denominan en inglés saltbrush, greasewood, saltwort, saltweed y brushy sapphire, ninguna de las cuales es de utilidad para el hombre, los animales o el suelo. Este tipo de vegetación crece solamente bajo condiciones alcalinas.

La vegetación de la cuenca y áreas que la rodean ha contribuido relativamente poco al desarrollo de la hidrología de la región.

CAPITULO II.

ANTECEDENTES

A. Descripción

El vaso de esta antigua cuenca en el extremo sur de la Mesa Central está compuesto de depósitos lacustres. De los tres lechos de lagos que componen Chalco, Xochimilco y Texcoco éste es el único que está completamente seco. La Cuenca de Chalco se encuentra del oeste al este entre los pueblos de Tláhuac y Chalco, y de la cadena de volcanes Santa Catarina del norte al sur. Cerca de la mitad de la Cuenca se encuentra en el estado de México; la otra mitad en el Distrito Federal.

Los lagos eran depósitos interiores formados después de que la Cuenca fué cerrada por las erupciones de los volcanes durante los períodos Mioceno y Elioceno, erupciones que también detuvieron el desagüe de la cuenca en el río Balsas y mediante éste en el océano Pacífico. Estas erupciones tuvieron lugar probablemente durante la facie Champlain.

Anteriormente el fondo del lago era de forma cóncava, pero la erosión y la transformación de la vegetación

y de las zonas pantanosas que depositaron distintos tipos de turba en sus diferentes estados de descomposición han llenado el vaso hasta extremas profundidades.

En oposición al lago Texcoco, este lago era de agua dulce ya que vertía sus aguas en el de Texcoco y por lo tanto daba lugar para que se formaran aguas salinas. El lago de Xochimilco, como el exlago Chalco es también de agua dulce.

El llano actual es casi uniforme con su propia vegetación, de praderas y partes salinas. La cuenca tiene una inclinación natural hacia el sur y a causa de este fenómeno las aguas se han acumulado en esa sección del Valle. Con una red extensa de desagüe abierto que se encuentra en la región, aún se pueden ver los restos del camino construido por Cuitláhuac que debía haber unido los pueblos de Tláhuac y Tlaltenco. Otra calzada que aún se puede ver es la construida durante el período porfiriano para el ferrocarril a Ozumba. Estos caminos aún son empleados por automóviles y camiones aunque están en pésimas condiciones. El ferrocarril ha dejado de existir, pero el camino todavía se emplea.

B. Economía: Pasado y Presente

Si se trata brevemente de la antigua economía del área de la cuenca, encontramos que al entrar Cortés al

valle de México a través del ahora denominado lago de Cortés, Amecameca, Tlalmanalco y Chalco, encontró la mayor parte de esta región del Valle cubierta por agua; el pueblo principal y centro de los indios Chalcos era el puerto de Chalco, sobre las orillas del lago. Chalco era así mismo el centro de comunicaciones de esta parte de la cuenca y estaba situado en la orilla oriente del lago de Chalco, y aún es la población más importante en esta región.

El lago se atravesaba por medio de numerosos canales de Chalco a Xico, Tláhuac, Xochimilco e Ixtapalapa. Viajes a través de la cuenca se hacían por medio de estos canales así como por el Valle de Ameca siendo Chalco el puerto de entrada. Las canoas llenas de productos comestibles venían de los alrededores a los mercados de Chalco.

La tierra al pie de las montañas era fértil así como alrededor del lago; los habitantes eran por consiguiente agricultores. Alrededor del lago y en las ensenadas había abundante vegetación en las que se desarrolló una ingeniosa forma de agricultura, utilizando las cañas y tules del lago. El resultado fué el sistema agrícola de las chinampas. Era tanta la abundancia de vegetación en el lago que a veces la navegación por barco era imposible, teniendo que recurrir entonces al uso de los canales.

Los indios cultivaban ejote, haba, chile, papa, alcachofa, coliflor y muchas clases de frutas y flores.

Hasta la llegada de los españoles los indios tenían su propio gobierno aunque pagaban tributo a los aztecas pero con la conquista una forma nueva de gobierno fué establecida. Los centros más importantes de este nuevo gobierno eran Chalco, Amecameca y Tlalmanalco. Estas cabeceras tenían jurisdicción sobre los pueblos más chicos que circundaban a la ciudad. Cada pueblo tenía un alcalde, iglesia y varios cientos de familias. El pueblo de Tlalmanalco tenía un alcalde y un convento, y controlaba los barrios situados junto al mismo. En la ciudad vivían cerca de 1,300 familias. Tlalmanalco tenía también un hospital. Pero el pueblo más importante de esta parte de la cuenca era Chalco. Tenía en aquel entonces un alcalde, conventos e iglesias de padres agustinos, dominicos y franciscanos. Este pueblo tenía así mismo un enorme mercado.

También con la llegada del español vino el comienzo y desarrollo del sistema agrario de la hacienda, que durará hasta la revolución agraria, casi cuatro siglos más tarde. Hay restos de muchas de estas enormes haciendas por todo ese territorio. Esta tierra fértil producía grandes cantidades de maíz, trigo, madera, miel, frutas y legumbres. Los lagos contenían muchas variedades de

pescado. Algunos de los más comunes eran: el nictlopic, el xalmachi, el xacapizalunoc, el cuilapetlatl, el michcahuacan y el tengonmichi.

La economía de la cuenca ha cambiado mucho desde la ruina del sistema de las haciendas. Las áreas de la cuenca y de las tierras el pie de las montañas dependen exclusivamente de la agricultura y de la cría de ganado. Las mejores tierras están pasando por una transición de la agricultura de una sola cosecha, el maíz, al pastoreo de ganado. Ahora es de importancia el desarrollo de las granjas lecheras así como el cultivo de cosechas de forraje. Aunque su desarrollo fué lento, esta nueva economía ha tenido un acelerado crecimiento en las últimas décadas y está esforzándose para mantenerse al mismo nivel del crecimiento en población que se efectúa en la parte sudoeste del Valle de México. Esta aceleración se puede comprobar por el descenso de hectáreas del cultivo de maíz durante los últimos treinta años. Ha habido un descenso de 36% en la producción de maíz, y se han puesto estos terrenos a la disposición de cosechas más productivas y sobre todo más lucrativas, como son el alfalfa y otras cosechas de forraje. Esto representa una tendencia totalmente nueva en la agricultura de la región. Sin embargo, el maíz es aún importante ya que se emplea para la alimentación y en la rotación de las cosechas que aquí se

cultivan.

La industria lechera se está desarrollando mucho más rápidamente con la introducción de métodos más científicos que a su vez exigen un control más fuerte de pastos. Esto ha exigido más hectáreas de alfalfa y cebada. En las zonas menos productivas de esta región se ha plantado el maguey. El Valle de Ameca tiene terrenos muy fértiles de pastura. El área de la cuenca de ese modo, es una de las regiones más importantes en la producción de alfalfa en el estado de México; además esta región cuenta afortunadamente con muchos pozos y proyectos de irrigación. Esto es sumamente importante ya que este tipo de agricultura requiere enormes cantidades de agua para asegurar una buena productividad.

La producción de frijol, como la de maíz, ha bajado enormemente, ya que los terrenos se están empleando cada día más para cosechas de forraje. Sin embargo, esta cosecha se emplea para la rotación junto con el maíz, el alfalfa y la cebada.

Las lecherías de esta cuenca son, claro está, sumamente importantes para la ciudad de México y han contribuido con grandes cantidades de productos de leche para su creciente población durante los últimos treinta años. Esta industria es inestimable debido a su proximidad a tan gran mercado.

Con el desecamiento del lago, ha habido un aumento en el número de terrenos disponibles para la agricultura, pero muchos de ellos no han sido transformados en tierras cultivables. Muchos de los intentos para volver al estado de cultivo estas tierras previamente inundadas no han tenido éxito, ya que los métodos que se emplearon para ello no hicieron uso de los conocimientos científicos que ahora se conocen.

Esta parte del valle es una buena indicación de lo que se puede lograr empleando métodos científicos contemporáneos para desarrollar una economía que resulte adecuada para cada región, pero todavía queda mucho por hacer en lo que concierne a la transformación de tierras incultas así como a la explotación de bosques. También hay necesidad de modernizar los métodos que se emplean en la industria lechera.

La economía no depende, sin embargo, totalmente de la agricultura y de la ganadería, ya que hay muchas evidencias del engrandecimiento de la industria pasada. Hay numerosas fábricas de textiles que han comenzado a operar en la región norte de la cuenca a lo largo de la carretera principal a Puebla. Esto se explica porque existen bastantes terrenos impropios para la agricultura que son ideales para el establecimiento de industrias de cualquier otro tipo. Estos también están bien situados debido a la urba-

nización de la ciudad de México hacia esta región. Además hay varias fábricas de ladrillos y mosaicos establecidas en la región durante muchos años. En general, como que esta región tiene fácil acceso a la ciudad de México, es altamente deseable que se desarrollen diferentes tipos de industrias en la misma. Así aliviarán la congestión que se ha venido sintiendo en el área metropolitana de la ciudad de México.

La región de los volcanes es también un lugar favorito para el desarrollo del turismo. Este hecho deberá tenerse en cuenta para la futura planeación de esta región. Ya que el turismo es un factor de gran importancia en la economía de la nación, este territorio está destinado a recibir una parte de los viajes turísticos a México.

Economicamente, esta región se encuentra en una situación mucho más favorable que la mayoría de otros territorios en México. Esto es evidente por el progreso que ha tenido lugar en Chalco durante los últimos treinta años.

CAPITULO III

OBRAS DE INGENIERIA QUE HAN INFLUIDO EN LA HIDROLOGIA DE LA REGION

Desde tiempos inmemoriales, el extremo sur del valle ha sido afectado por inundaciones. El lago Chalco, que tiene la elevación más alta, recibió en sus depósitos el agua de la Sierra Nevada, en la orilla al poniente, de los volcanes y del Ajusco al sur, así como de muchas aguas torrenciales durante la temporada de lluvias.

Estas regiones fueron regadas por los ríos Tenango, Tlalmanalco y Acusutla y el arroyo de San José. Estos arroyos recibían grandes cantidades de agua durante el verano, que eran aumentadas por los numerosos manantiales de la región. Las aguas se desbordaban hacia los lagos Xochimilco y Texcoco, ya que la laguna de Chalco era mucho más elevada en altura que las otras dos.

Desde que el hombre se estableció en el Valle, ha sufrido estas inundaciones año tras año.

La idea de desviar las aguas de los lagos Chalco y Xochimilco no es nada nueva, ya que mucho antes de que

llegaran los españoles los aztecas habían construido diques y drenajes para desviar las aguas que inundaban la ciudad de Tenochtitlán, las cuales, en su mayor parte, venían de la cuenca de Chalco.

Probablemente el primer ingeniero de importancia que erigió construcciones de valor fué un jefe de los texcocanos llamado Netzahualcóyotl. Bajo su supervisión personal, un gran dique se edificó entre Atzacolaco, al norte de la ciudad de México, cerca de la sierra de Guadalupe y la ciudad de Ixtapalapa, cerca del Cerro de la Estrella, directamente al sur. Este largo dique tenía una longitud de diez y seis kilómetros y estaba hábilmente construido de roca y barro. La parte superior del dique estaba cubierta con fuertes muros de mampostería. Esta estructura dividía el lago Texcoco en dos partes. Para complementar este dique, Netzahualcóyotl construyó otros diques, del Cerro de la Estrella, hacia el sur, a Xochimilco y la ciudad de Tláhuac. Una gran parte de las aguas de inundación en Tenochtitlán procedían de Texcoco recibiendo el exceso del lago Chalco. De esta manera dividió los tres grandes lagos, uno del otro. Además, construyó otros diques al oeste de Mexicalcingo.

Durante algún tiempo este sistema ayudó a regular las aguas. Los españoles emplearon los mismos diques a su llegada, dividiéndolos en ocasiones para controlar las

aguas, pero esto no alivió la situación y siguieron nuevas inundaciones. Como los diques no retenían las aguas, se construyeron nuevos diques más al oeste, hacia Coyoacán. Estas inundaciones no tenían lugar solamente en los meses de verano sino también durante el invierno ya que los manantiales al sur de Chalco producían grandes cantidades de agua, existiendo siempre el peligro de inundaciones.

Cuando los indios construyeron los antiguos diques, todas las poblaciones de los distintos pueblos ayudaron a su construcción y donaron los materiales empleados en la edificación. Un nuevo dique, llamado el dique de San Lázaro, se construyó en 1555. Desafortunadamente este dique no logró resolver el problema de las inundaciones. En el año de 1604 hubo nuevas y fuertes inundaciones y los españoles decidieron entonces reparar el antiguo dique de Guadalupe que los indios habían construido años atrás y además edificaron todo un grupo nuevo de diques más chicos y fuertes en la región de Coyoacán.

El virrey de la Nueva España en ese tiempo, que era don Martín Enríquez, propuso desecar el valle en 1605, después de las fuertes inundaciones de 1604 que habían causado grandes perjuicios. Más tarde abandonó esta idea y fué necesario que adquiriera los servicios de un ingeniero que se supone alemán, llamado Enrico Martínez, pa-

ra que estudiara el problema de las inundaciones en el valle de México. Después de un estudio detallado, Enrico Martínez decidió que lo mejor que se podía hacer sería desecar las aguas del lago Texcoco ya que eran las que se vaciaban directamente sobre la ciudad.

Como el lago Texcoco era el más bajo, las aguas de inundación del lago Chalco se vaciaban al de Texcoco a través de las tierras bajas situadas entre la Caldera y el cerro del Pino al este.

En 1607 se comenzó a trabajar en el proyecto de reducir el nivel de Texcoco. Deseaba un desagüe por medio del tajo de Nochistongo. Entre los años de 1607 y 1608 se desecó en parte el valle con su canal que iba al norte a través de un puerto hasta las fuentes del río Tula, tributario a su vez del río Pánuco. Durante los ciento cincuenta años siguientes se hicieron otros intentos para detener las inundaciones en el Valle y para controlar las aguas de los lagos. Pero ya por razones políticas o económicas, estos intentos fallaron en su totalidad. Muchos de ellos fueron intentos plausibles para resolver el problema.

En el año de 1774 surgió una vez más la idea de construir un Gran Canal que comenzaría en el lago Chalco, pasando por Xochimilco y desembocaría por el extremo norte del Valle de México. La idea principal de este

proyecto era controlar las aguas del lago Chalco cerca de su origen. De esta manera no habría razón para preocuparse del lago Texcoco ya que no habría ningún desbordamiento en él y las inundaciones se detendrían antes de que tuvieran ocasión para comenzar.

Esta era en realidad la misma solución que había ideado Enrico Martínez años antes, pero que no había realizado. Su idea había tenido mérito pero desafortunadamente el gobierno de entonces no incluía en su plan de gobierno un proyecto de tales dimensiones.

En 1763, la Calzada de Mexicalcingo fué construída para ayudar a retener las aguas de inundación de Chalco, pero esta construcción tuvo poco efecto en las inundaciones. A esta calzada siguieron muchas otras obras que fueron abandonadas o destruidas; y las inundaciones continuaron.

La idea que prevalecía era la desecación del Valle. Esta parecía ser la única solución al problema. Sin embargo, el proyecto no se terminaría nunca; sería un gigantesco proyecto y el gasto de proporciones casi inconcebibles.

En 1773, Joaquín Velásquez de León fué comisionado para hacer un reconocimiento del Valle y someter un plan de control de aguas. Empezó una serie de observaciones científicas y trazó por primera vez un mapa exac-

to del Valle de México mediante una triangulación. Pero nada resultó de sus estudios excepto que fué uno de los primeros en trazar un mapa del Valle con gran exactitud.

El siguiente intento fué el de Ignacio de Costera en 1802. Costera fué llamado a trabajar por una comisión para el proyecto de drenaje que había de hacer el estudio completo de los problemas de las inundaciones y debía de llegar a alguna solución para resolverlos. Esta comisión había estado funcionando desde 1768, pero hasta 1802 no habían llevado a cabo ningún proyecto de importancia. Costera recomendó la misma solución de años anteriores; desecar el Valle de México para reducir el peligro de las inundaciones.

En 1847, un grupo de ingenieros norteamericanos bajo la dirección de M. C. Smith concluyó un reconocimiento completo del Valle. Como resultado de este estudio, trazaron el mapa más exacto del Valle que se había formulado hasta la fecha. Proponían que se cavara un canal del lago de Chalco al río Tula. Después de un cuidadoso estudio de esta proposición, el gobierno mexicano decidió aprovechar el esfuerzo y formó una oficina cartográfica como dependencia gubernamental para estudiar el Valle, utilizando los últimos métodos científicos.

Las inundaciones empeoraban cada año y entonces se acordó hacer algo inmediato para solucionar este pro-

blema. En 1856, De Garay propuso al gobierno que el único remedio que había era un Gran Canal y sugirió la construcción del mismo. La Diputación Provincial, comisión que tenía control sobre estos asuntos desde 1821, quería deshacerse de todos los antiguos sistemas indígenas de diques construyendo canales de drenaje enteramente nuevos, pues la mayoría de las anteriores obras coloniales no habían sido mas que trabajos de reparación de las viejas edificaciones indígenas.

En el mismo año que De Garay propuso que deberían construir el Gran Canal, la Secretaría de Fomento estableció lanchas de vapor entre la ciudad de México y el lago Chalco. La compañía cometió la tontería de ensanchar el canal, parcialmente construido, rompiendo los diques en Tláhuac y destruyendo las compuertas de las esclusas que ayudaban a retener las aguas, y como otra inundación tuvo lugar, la situación empeoró.

En el año de 1890, el Gran Canal fué al fin empezado, terminándose el proyecto en 1900. Las aguas deberían correr por gravedad al tunel de Teguirquiac. La obra se comenzó en el extremo norte del Valle, esperando así desecar primero esta región y después proseguir al sur hasta que el canal llegara a Mixquic.

Pero como se deseaba desecar el lago Chalco antes que los demás, construyeron otro canal en 1895 de ese la-

go al de Texcoco a través de San Isidro, entre la Caldera y el Cerro del Pino. Como el lago Texcoco era más bajo en elevación, tampoco tardó mucho para que se desaguara el lago Chalco. Cuando el trabajo en el Canal estuvo terminado, Chalco estaba prácticamente seco.

Esta obra al fin resolvió el problema de las inundaciones ya que las aguas se vaciaban en Texcoco tan pronto como entraban en el canal que partía del lago de Chalco. Este canal nuevo desembocaba en el lago Texcoco, cerca del pueblo de Los Reyes.

Poco después de 1900, dejó de haber agua en Chalco y la Comisión creyó que este había sido un golpe maestro después de todo; todos esos terrenos estarían ahora a la disposición de la agricultura. Había mucha más tierra pero desafortunadamente no toda era disponible. En 1851, había 10,448 hectáreas de agua en el lago Chalco de 2 metros 40 centímetros de promedio en profundidad. El Gran Canal era entonces empleado no solamente como desagüe sino como medio de comunicación de la región Chalco-Tláhuac a Kochimilco y la ciudad de México. Aunque la mayor parte del agua desapareció de Chalco, los numerosos manantiales en la región alimentaban el Canal y se empleaba para desaguar las aguas en exceso cuando no se presentaban inundaciones.

Otros canales se construyeron para complementar

los dos grandes canales y otros más chicos se construyeron de Chalco al sur hacia Tulyehualco y Xochimilco, y al oeste, hacia Mexicalzingo. Estos también servirían para el comercio, comunicación y riego.

Todos estos canales recogían las corrientes de las montañas y facilitaban la irrigación de esta parte del valle; además, redujeron la amenaza de inundaciones de la región de Chalco. Se pensó que esto también mejoraría las condiciones higiénicas, con el desagüe de las aguas negras que se habían acumulado desde tiempos pasados ya que no había existido ningún sistema para desaguar estas aguas. Algunos años más tarde, se construyó una serie de canales que cruzaban el área, así como por lo menos 21 canales secundarios y 10 canales paralelos que tenían su desagüe en el Gran Canal.

La Compañía de Xico aceleró la desecación de la cuenca ya que creía que ésta se emplearía para la agricultura de una forma más aceptable construyendo sus obras a lo largo de la ribera sur para recoger todas las aguas que venían de los numerosos canales que cruzaban la región. También creía que podría recoger la mayor parte de las aguas que venían de los numerosos manantiales de la región. Serían canalizadas inmediatamente y transportadas a Xochimilco y el Gran Canal. De esta manera, los suelos nuevos una vez tornados en suelos cultivables estarían

fuera del peligro de ser inundados.

Después del desague del lago Chalco, las aguas que corrían al Gran Canal disminuyeron constantemente, hasta hoy día en que no hay desagüe de agua en esta región. Actualmente, hay apenas suficiente agua disponible para la agricultura. Muchos de los pequeños arroyos se secaron y el nivel freático del agua ha disminuido.

En 1932 se construyó el canal del río Amaca cuya corriente mayor va al Tlalmanalco, que ha disminuido de volumen.

La ciudad de México y sus alrededores están pagando con creces los errores cometidos con el desagüe total de la Cuenca. Lo que parecía la única solución en aquel entonces muy bien podía significar un desastre para esta región en años venideros. La historia de los intentos para detener las inundaciones en la ciudad de México con el desagüe del valle está marcada por los esfuerzos de muchas personas a través de un período de varios siglos. Desesperados, la única solución les pareció ser el desagüe del valle. Desafortunadamente la ciencia técnica no había avanzado al grado de haber encontrado una solución más benéfica para este grave problema. Si este problema hubiese surgido en el siglo XX, indudablemente que se hubiera escogido un camino totalmente diferente para aliviar la situación.

Una de las características más distintivas de la Cuenca Chalco-Tláhuac y de la región de Xochimilco es el desarrollo del sistema de canales y agricultura llamado Chinampa.

Las Chinampas han tenido mucho que ver con el mantenimiento de la economía de la región y constituyen sin duda una obra hidrológica de gran categoría. Como indudablemente convendría convertir las tierras incultas en suelos cultivables en la Cuenca Chalco-Tláhuac, deben de tomarse en consideración las chinampas. Actualmente se encuentran tan sólo en los márgenes exteriores de la cuenca donde hay pocos canales alimentados por manantiales.

El sistema agrícola de las chinampas que utilizan los indígenas alrededor de Xochimilco, San Gregorio, Mexquic y otras regiones es casi idéntico al que empleaban sus antepasados al entrar los españoles al Valle de México. Famosos geógrafos e ingenieros como Humboldt, Orcoy y Berra, Santa María y Sapper han visto y comentado esta forma única de agricultura en sus observaciones sobre el valle de México.

"Jardines flotantes" es el nombre que sin razón se le ha venido aplicando a este tipo de agricultura por los explotadores del comercio turístico. A primera vista parecerá a algunos que flotan debido a su curiosa construcción y apariencia exterior. En realidad son islas arti-

ficialmente construidas colocadas en los lagos de poca profundidad y que usan la acumulación de gruesas capas de plantas acuáticas y lino del fondo de los lagos. En verdad constituyen un panorama impresionante para el recién llegado, pero la mayoría de las personas desconocen la razón de su existencia.

La palabra Chinampa parece provenir de la voz náhuatl que significa borde de cañas o hecho de leños entrelazados. Este sistema de agricultura no es exclusivo de México ya que ha sido desarrollado por otros pueblos del mundo. Restos de este sistema se han encontrado en Asia Menor y en India. El indígena mexicano como algunos pueblos asiáticos desarrolló la chinampa por su propia necesidad.

Las islas son generalmente de forma rectangular, aunque algunas tienen distinta forma. Los bordes de las islas son canales que se emplean para riego ya que las aguas se infiltran fácilmente en la tierra porosa, manteniendo así la humedad necesaria para el crecimiento de las cosechas.

Para construir la chinampa, se necesita de un lago de agua dulce de poca profundidad. Los lagos del Valle de México estaban cubiertos por una gruesa capa de vegetación acuática tan espesa que hacía prácticamente difícil la navegación. Muchas de estas plantas eran levan-

tadas por los vientos que las transportaban a la entrada de los lagos; allí se amontonaban en capas de tal espesor que podían soportar un gran peso. Probablemente al ver el indio este fenómeno ideó el sistema de emplear estas gruesas capas para sostener la tierra. La vegetación acuática está compuesta de tules y lirios de agua, los cuales forman una especie de colchón flotante que a veces alcanza una profundidad de un metro. Soportaban el peso del hombre y en numerosos lugares se empleaban para cruzar de un canal a otro a pie. El manto superior compuesto por esta vegetación era conocido por los mexicanos como la cinta.

Los cuatro siglos desde la conquista de México por los españoles han mostrado poco cambio en la construcción de las chinampas. En la formación de la chinampa, una coa con una franja de metal en un extremo que tiene una forma rectangular se utilizaban para cortar la vegetación de la forma que se deseaba y del tamaño que se necesitaba. El procedimiento usual era cortar una faja de vegetación de diez a veinte metros de ancho y 100 metros de largo. De dos a cuatro de estas fajas se movían al sitio de la chinampa y una faja sobre la otra eran colocadas para darle más espesor y por lo tanto más resistencia para soportar peso. El limo se recogía del fondo del lago o se traía tierra para colocar sobre la vegetación amontonada. En algunas ocasiones se empleaba la vieja tierra de la super-

ficie para este propósito. Se anclaba la chinampa en el sitio deseado, empleando algunas estacas. Después de algunos años, la chinampa tocaría el fondo ya que nueva tierra se le añadía de año a año. Con este aumento en el peso, la chinampa se colocaba lentamente en las bajas aguas hasta que tocaba el fondo. La base era de materia descompuesta, porosa y permeable, lo cual permitía que el agua se infiltrase fácilmente permaneciendo constantemente regada la isla.

El riego se facilitaba por la construcción de la chinampa en forma larga y angosta. Año tras año la tierra se amontonaba y después de la cosecha era más difícil que el agua penetrase en la chinampa para regar las legumbres. A veces las viejas chinampas eran cortadas en su parte superior y estas fajas de tierra empleadas para la construcción de nuevas chinampas.

Muchas de las plantas que se cultivan en las chinampas son plantadas primeramente en semilleros. De esta manera están protegidas de los pájaros y de las lluvias. En la estación seca tenían que cuidarse para que recibieran suficiente agua y fertilizante. Al llegar la hora de la trasplatación, las plantas se cortaban en bloques y eran replantadas en las chinampas. Algunas de las plantas que atraviesan por este proceso son: el frijol, las flores y el chícharo. El maíz se planta directamente en

la chinampa.

Antes de que la plantación tenga lugar en la chinampa, ésta atraviesa por un estado especial de preparación; la tierra es fertilizada y removida para que haya buena tierra de superficie. Este tipo de agricultura utiliza una gran cantidad de agua y se emplea el fertilizante extensamente.

El cultivo en la chinampa pasa a través de un ciclo continuo, habiendo producción durante todo el año. De esta manera se asegura un gran volumen de productividad. Las ciudades del valle tenían verduras frescas todos los días ya que estaban cerca de los mercados.

Con la llegada de los españoles, los alimentos del antiguo continente fueron lentamente adaptados y cultivados en las chinampas. Desde ese tiempo ha habido un aumento en el uso de abonos, debido a la proximidad de los ranchos lecheros en el cercano pueblo de Chalco. Con la excepción de algunas nuevas cosechas, parece haber poco cambio en el sistema empleado a través de muchos siglos.

En un tiempo había indudablemente muchas chinampas a lo largo de las orillas del viejo lecho de Chalco. Hay también evidencias de la existencia de chinampas en muchas otras partes del Valle de México. Estas evidencias están visibles en cierto grado en las regiones de

Azcapotzalco y Popotla. Sin embargo, la zona más extensa en uso de chinampas fué alrededor de las cuillas sur de Chalco y de Xochimilco.

Actualmente sólo existen nueve pueblos que emplean el sistema de chinampas. Desde el desagüe artificial del lago Chalco cerca de los comienzos del siglo veinte, las chinampas dejaron de existir en muchos lugares ya que necesitan mucha agua para funcionar efectivamente.

Ahora los canales se están secando rápidamente ya que no hay esa abundancia de agua que había en el pasado, que venía de los manantiales y pronto este sistema desaparecerá quizás del Valle por completo, a menos que se consiga más agua. Las chinampas al sur y al este de Tláhuac están secas; sin embargo algunas chinampas nuevas han sido establecidas al este de Tezoma durante los últimos veinte años.

El problema es el agua y si se obtuvieran suficientes cantidades de ella, sería prudente revivir el sistema de chinampas en algunas de las regiones del Valle de México.

CAPITULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Antes de que se lleve a cabo cambio alguno en la Cuenca Chalco-Tláhuac para aumentar la productividad agrícola y disminuir la salinidad de sus terrenos, habrá que resolver el problema del agua. El problema que plantea la escasez de agua no existe solamente en esta región. Una de las razones principales de esta escasez es el enorme volumen de agua que consume el acelerado crecimiento de la población en la ciudad de México.

La Secretaría de Recursos Hidráulicos ha enumerado las necesidades de agua de diversas dependencias por orden de preferencia.

Incluye como necesidad principal de esta parte del Valle el agua para usos domésticos; esta necesidad es en realidad de primerísima importancia, ya que existen más de 3,500,000 de habitantes en la ciudad de México, que son consumidores diarios de agua. En segundo lugar se encuentra el agua para usos agrícolas y en tercero para la industria. El agua restante deberá emplearse para fines de recreo.

Esta jerarquía en el uso del agua debe estudiarse para armonizar intereses y desarrollar económicamente la región; ya que la agricultura y la ganadería se encuentran entre las principales actividades económicas de la región de la cuenca, habría que adjudicarles preferencia después de los usos domésticos y urbanos. En los distritos rurales hay poca necesidad de aumentar el volumen de agua potable ya que no están densamente poblados y por lo tanto el agua para usos domésticos no asume la importancia que tiene en la gran ciudad.

Fue desafortunado el desecamiento total de la cuenca porque repercutió fallas en un déficit en abastecimiento de agua. Esto hoy en día puede atribuirse en gran parte a la carencia de conocimientos geohidrológicos y de una investigación para el desarrollo del funesto proyecto.

Es una lástima que no se tuviera un estudio profundo a la disposición de los expertos cuando se adoptó la decisión de desecar totalmente el Valle con el fin de aliviar a la ciudad de México de las inundaciones anuales.

No cabe duda que se exageraron las proporciones de las obras ya que la idea principal era la de un desagüe que daría a los lagos un nivel fácilmente controlable que no sería afectado por el torrente estival de las montañas. Si el drenaje de los lagos no hubiera sido to-

tal se habrían podido regular las aguas durante las estaciones lluviosas.

El desagüe del lago Chalco prácticamente cambió el ciclo climático en esta parte del Valle; también ha afectado la hidrología y el drenaje en todo el valle.

Otro problema es el de radiación urbana de calor. La superficie de los edificios radia gran cantidad de calor a la atmósfera. Con toda probabilidad, la mayor parte de este calor se absorbería por el suelo. La temperatura de la región ha subido y la disminución de la humedad ha sido la causa del comienzo de la aridez. Este aumento en la temperatura y disminución en la humedad es una de las razones principales por la que ha ocurrido la regresión de la capa de hielo en la Iztaccíhuatl; también por esta razón casi se ha extinguido prácticamente la capa de hielo del Popocatepetl. Se ha considerado que bajo las condiciones existentes, ni una ni otra capa existirán en 1990.

Los ejemplos mejores de la deunación del volumen del hielo en la Iztaccíhuatl son los de tres fotografías y la explicación de las mismas por Ramiro Robles Ramos en su obra, "La Desertización de la República Mexicana." La primera fotografía de la serie fué tomada por el Dr. Emile Boese y Ezequiel Ordóñez, en el año 1898. Esta fotografía demuestra la gran amplitud del hielo del ventisquero

de Ayoloco y de la base del Pico Ordóñez que está cubierta completamente. La segunda fotografía se tomó por Paul Waitz en el año 1917, ésta revela que un gran volumen de hielo ha desaparecido y las rocas y las morrenas son visibles. La forma actual del Pico Ordóñez es más evidente. La tercera fotografía tomada por el autor de la mencionada obra, Ramiro Robles Ramos, en el año 1944, nos revela una gran disminución en el volumen del hielo en esta región. Hay poco hielo en la zona del Pico Ordóñez y en lugar del ventisquero de Ayoloco se observan acumulaciones de gran cantidad de rocas afectadas por la erosión, glaciales y de morrenas. Estas evidencias se afirman con otras investigaciones de la deglaciación en los volcanes.

Esta diferencia en la temperatura del Valle de México causa problemas para la salud de la población. Hay un cambio de temperatura muy sensible durante el día. De ese modo la población está expuesta a las enfermedades respiratorias, debido a estos extremos en la temperatura.

La evaporación del hielo es doble que la evaporación de la nieve y los bosques ayudan a preservar esto regulando la velocidad de los vientos y resguardando el suelo helado contra la insolación y los efectos de la erosión. La intercepción de los bosques y de la densa maleza representa el 25% de la precipitación anual, cuya agua penetra

dentro de la tierra y no se evapora. De esta manera algunas aguas llegan a los manantiales que existen al pie de las montañas. Pero con la tala de los bosques y el desecamiento de los suelos, los manantiales también han empezado a desaparecer. El ciclo climático ha estado cambiando debido a una básica necesidad de agua.

No hay la menor duda sobre la importancia que tiene un abrigo forestal en la conservación de la nieve y el hielo en las montañas altas. La evaporación parece ser cuatro veces más rápida en las montañas áridas que en las pobladas por bosques, de ahí que los bosques en las orillas de los cañones ayudan a conservar la nieve y también acentúan el resguardo de las laderas.

Los árboles de tipo conífero exponen la nieve al sol, pero la protegen en los suelos, mientras que los de tipo deciduo ofrecen poca intercepción de la nieve y proporcionan tan sólo poco resguardo contra el sol.

La situación forestal ideal para la conservación de las nieves y aguas de lluvia es aquella en que existen grandes extensiones con árboles hasta una altura conveniente para que así el sol no pueda llegar a la nieve que yace sobre los suelos. Probablemente el tipo de abeto es el que presentaría en forma más adecuada estos requisitos.

El calor del sol penetra en el hielo, lo cual es

especialmente cierto en esta atmósfera rarificada. Pueden hacerlo en la nieve húmeda hasta 15 centímetros; en la nieve seca hasta 60 centímetros. Esto significa una gran aportación de aguas de deshielo, y si no existe otro medio por el cual se pueda reemplazar la nieve y el hielo, como ocurre en este actual período de regresión y deshielo, el resultado será un vasto deshielo y una creciente aridez en muchas áreas donde la escasez del agua es mayor.

Las grandes cantidades de madera que han sido cortadas de los bosques en las regiones de montaña para fines comerciales y domésticos no alcanzan el valor inestimable que ha costado la denudación de las laderas de los valles. Esta denudación también ha abierto el camino a la destrucción del hielo y la nieve en las montañas que rodean al Valle de México.

Esta parte del Valle de México recibe más lluvia que región alguna y sin embargo solamente un 16% de la región de la cuenca cuenta con riego debido a la escasez de agua. Esto señala la importancia de transformar en zonas cultivables las regiones áridas.

La nueva economía que viene desarrollándose en esta región requiere mayores cantidades de agua ya que la agricultura y el cultivo de diferentes cosechas tienen gran necesidad del agua para existir.

Si llegara el caso en que hubiera más agua disponible para esta región, sería un error el convertirla to-

talmente en área industrial, abandonando la agricultura así es que los dos factores económicos deberían desarrollarse juntamente.

Se han hecho varios estudios de esta región particularmente sobre la posibilidad de introducir más agua en ella. Pablo Bistrain, de la Secretaría de Recursos Hidráulicos ha hecho un estudio amplio y detallado sobre la posibilidad de captar grandes cantidades de agua más cerca de sus manantiales, o por lo menos antes de que haya tenido tiempo de penetrar las arenas volcánicas de las montañas y desaparecer donde ya no pueda ser utilizada. Ha dirigido su mayor atención a la Iztaccinuatl ya que su radiación solar es de 362 calorías gramos por centímetro cuadrado diario. Se ha calculado que con la cantidad de nieve y hielo de las montañas se cuenta por lo menos con un torrente de escurrimiento por radiación después de tomar en cuenta la infiltración y dispersión por evaporación en la atmósfera.

Según los cálculos de Bistrain, la ciudad de México consume más de 4 metros cúbicos de agua por segundo de promedio a través del año. Estima que de la capa de hielo de los volcanes sería posible obtener más de 2 metros cúbicos de agua por segundo. Las lluvias durante la estación de éstas producirían 2.1 metros cúbicos de agua por segundo. Las aguas subterráneas que penetran

en las arenas y conglomerados debido a las lluvias producen alrededor de 1.0 metros cúbicos de agua por segundo, volumen que aparece al pie de las montañas en forma de manantiales.

Estas tres fuentes producirían posiblemente 5.1 metros cúbicos de agua por segundo. Esta cifra representa un volumen estimable de agua ya que solamente los pozos y otras fuentes están tratando de proporcionar a la ciudad de México 4.0 metros cúbicos de agua por segundo actualmente.

El problema más grande es el de obtener el agua y esto sería una empresa enorme. La idea principal sería construir un canal grande alrededor de la Iztaccíhuatl, abajo de los ventisqueros para captar la mayor parte posible del agua antes de que ésta penetre en las arenas. Este canal tendría que extenderse a través de todos los valles pequeños y grandes para así tomar todas las aguas sobre este nivel. Otro sistema de canales y tuberías sería construido a diferentes niveles para captar el agua de las lluvias y escurrideras perdidas. Podría también edificarse un sistema de túneles que cortan los acuíferos subterráneos de la montaña, que así recibirían todas las pérdidas de aguas por infiltración en las arenas y conglomerados. Todos estos caños se unirían finalmente al canal principal que llevaría el agua a una esta-

ción hidroeléctrica para el funcionamiento de turbinas destinadas a la generación de electricidad. Como las montañas son muy inclinadas deberá de haber una rápida corriente por gravedad que fácilmente movería una planta de generación hidroeléctrica de estimable tamaño. De esta planta el agua podría ir a un lugar de almacenamiento o presa de donde se distribuiría por canales al valle como agua potable y para fines de riego e industrial.

Se efectuarían perforaciones de pozos para las aguas subterráneas cerca de la base de las montañas. Desde hace miles de años, billones de litros de agua se han perdido a causa de su infiltración en los materiales permeables que forman gran parte de los volcanes. Muy poca de esta agua se recobra jamás ya que los manantiales al pie de las montañas indican la poca infiltración que viene a través de las formaciones volcánicas. Existe una gran posibilidad de que haya enormes volúmenes de agua almacenada entre las formaciones de andesitas y otras formaciones impermeables que componen la parte inferior de los volcanes. Las aguas corren fácilmente a través de las capas superiores de arenas, conglomerado, toba y basalto ya que son sumamente permeables, pero las formaciones inferiores son andesitas. Empleando métodos geofísicos hay la posibilidad de que estos grandes depósitos sean localizados.

Tal proyecto de traer agua de los hielos representa una gigantesca cantidad de gastos. Sin embargo, la creciente escasez de agua podrá eventualmente hacer necesaria una empresa de tales proporciones. La importancia de este plan no puede despreciarse en estos tiempos, ya que podría ser ésta una de las últimas fuentes de agua del Valle de México.

Un estudio completo deberá hacerse de este proyecto pues no es una clase de obra que puede limitarse al dictamen de un solo especialista a pesar de que posea excelentes cualidades. Un grupo de expertos, empleando los más recientes métodos disponibles para la investigación científica debería hacer un estudio completo de esta situación. Los resultados a que ellos lleguen es probable que podrían justificar el gasto de tal operación.

Junto con estas exploraciones geofísicas, para determinar cuanta agua puede ponerse a la disposición del Valle, deberá hacerse un extenso proyecto de reforestación para conservar el suelo de regiones altas que es aún útil, y para evitar la erosión y ayudar a conservar los restos de nieve y hielo en los picos volcánicos. Se han establecido programas de reforestación en esta región, pero son enteramente inadecuados para las necesidades existentes. A veces es difícil creer que toda la región del Valle alrededor de los lagos era en un tiempo un bos-

que natural.

Si se pudiera obtener suficiente agua de las fuentes mencionadas, una parte de ella podría utilizarse para tornar en área fructífera la región de la cuenca. El suelo es potencialmente rico para fines agrícolas y por ello la agricultura deberá ocupar un lugar de preferencia en el mismo.

Si la cuenca pudiera inundarse parcialmente se tendría una vez más el equilibrio climático y podría establecerse de nuevo sin poner en peligro de inundación el área situada alrededor de la cuenca. Y si el vaso de agua fuese elevado, no cabe duda que las sales dejarían la superficie una vez más para descender a niveles más profundos. Con la disminución de este alto contenido salino, podrían cultivarse de nuevo más cosechas de mayor productividad en esta región o bien lavar las tierras como en parte del exlago Texcoco.

Después de años de investigaciones, la Secretaría de Recursos Hidráulicos en su revista de enero-junio 1953 Vol. VII-Num. 1, dice:

...se recomienda el tratamiento y purificación de las aguas negras conforme a procedimientos económicos de tratamiento conocidos, incluyendo el riego, para aprovechar las aguas tratadas en usos benéficos dentro del Valle de México. El aprovechamiento de las aguas negras dentro del Valle de México debe ser el mayor posible, compatible con los decretos ya conocidos para el uso de las aguas negras para fines industriales y de riego, fuera del Valle de México.

Hay tres factores desfavorables para el agua presente en los suelos; las raíces de plantas, las superficies absorbentes de las partículas de los suelos y las sales que estaban originalmente presentes. Además de esto parece haber competencia adicional entre las partículas de los suelos y las sales. Todo esto se suma a la dificultad que tienen las plantas para vivir en suelos salinos. Por lo tanto, el abastecimiento de agua para las plantas será incrementado una vez que las sales hayan sido desalojadas fuera de los suelos.

Es bastante fácil determinar el contenido salino aproximado del suelo, el cual para la mayoría de los fines que se persigan es suficiente para proporcionar una solución al problema. Sin embargo, es difícil de obtener informes exactos ya que existen numerosas variaciones locales en los perfiles salinos relativos a su distribución vertical, su cantidad y composición. Esto es cierto en la región de la cuenca ya que el factor p cambia radicalmente en muchas partes. Los suelos de la cuenca son del tipo solonetz y solonchak y en la mayor parte de la región parecen ser más bien solonetz que algún otro. Esto se debe primeramente a que el solonetz es mucho más lixiviado que el solonchak lo cual parece ser evidente en esta región. También los suelos solonetz son ácidos y de moderada a positivamente alcalinos.

En general, esta región es altamente alcalina.

Los suelos alcalinos pueden volver al estado de cultivo mediante un costo razonable si se pueda establecer un sistema de drenaje y si hay agua disponible para el riego. Un proyecto de este tipo requiere un sistema completo de canales de desagüe profundos, de tipo cubierto o abierto, con suficiente agua disponible para mantener el vaso del agua con una profundidad suficiente que permita una porosidad hacia abajo del suelo y así las sales serán recogidas y arrastradas por el sistema de desagüe. La remoción de estas sales de los suelos es facilitada usualmente por el empleo de agua buena y por el establecimiento de una cubierta vegetal para mejorar la estructura de los suelos y efectuar la precipitación de las sales a la superficie.

Para el drenaje de estas tierras de riego, los desagües tendrían que colocarse a una buena profundidad. La eficiencia de estos desagües depende de la cantidad de agua en el suelo y de la cantidad de agua empleada para el riego. La profundidad deseable del vaso de agua en suelos excesivamente alcalinos debería ser de 1 a 2 metros aunque esto también depende de la textura del suelo. Es natural que los suelos arenosos y sueltos tengan necesidad de un vaso de agua menos profundo, mientras que los de materiales arcillosos deben tener un vaso de agua más

profundo.

Los suelos en la región de la cuenca también tienen una gran cantidad de sales de sodio en el suelo. Para este tipo de suelo tiene que haber un intercambio químico y éste puede llevarse a cabo añadiendo calcio que puede combinarse. Se puede a la vez sustituir el calcio por sodio, añadiendo sulfato de cal al suelo.

El álcali negro es altamente alcalino y el material orgánico descompuesto que se encuentra en esta región es soluble en álcali fuerte y forma un líquido café obscuro. Este líquido se evapora en la superficie y forma una corteza dura.

El álcali más fuerte o sea sulfato de sodio está casi siempre dentro del primer metro de la superficie. No existen demasiadas regiones que estén tan altamente concentradas que la tierra no pueda ser lavada y tratada químicamente para reducir el contenido alcalino. Es muy posible que estos suelos solonetz podrían ser tratados con dos o tres aplicaciones de sulfato de cal y mostrarían buenos resultados.

Primeramente, los suelos deberán ser arados y removidos hasta una profundidad a lo menos de un metro, aplicándosele un tratamiento de sulfato de cal. Este suelo en la región de la cuenca necesitaría probablemente ocho toneladas por hectárea. Después de esta primera

aplicación, el suelo sería removido hacia abajo.

Además de esta aplicación, podrían añadirse unas 30 toneladas de abono por hectárea, 150 kilogramos de fosfato y 100 kilogramos de sulfato de amonía.

El efecto de estas composiciones químicas sobre el Na_2SO_4 es ayudado por el perfecto lavado de suelo que proporciona la irrigación. El buen drenaje de la tierra es sumamente importante. Para crear un buen desagüe de los suelos y empezar el movimiento de agua a través del suelo, un "cono de depresión" puede ser establecido bombeando el agua desde una región que esté cerca de la que esté siendo regada. De esta manera, el vaso de agua se rebajará y el agua del nivel más alto será vertida al "cono de depresión." Si esta región se llena rápidamente, el desagüe será efectivo y habrá un desalojamiento rápido de las sales, pero si es lenta no habrá un movimiento rápido del agua a través de los suelos y el proceso para eliminar las sales tomará mucho más tiempo.

El agua que se emplee para el riego deberá ser distribuida igualmente sobre el terreno que se trabaje a fin de obtener buenos resultados. El costo no es muy grande y los resultados obtenidos justificarían definitivamente tal proyecto.

Algunos experimentos han demostrado que un 50% del álcali negro ha desaparecido después de una o dos

aplicaciones de las mencionadas composiciones químicas y que buenas cosechas de alfalfa y cereales han sido cultivadas después sobre estos terrenos. Otras composiciones químicas que se pueden emplear para volver tierras áridas en zonas de cultivo son el sulfato de hierro y el alumbre, dependiendo del contenido químico del terreno que va a ser trabajado.

La idea principal de este tratamiento de suelos es de tornar la masa de suelo soluble bajo 0.2% ya que pocas cosechas pueden cultivarse en suelos donde la concentración de sales solubles pasa esta cifra. En muchos lugares de la cuenca, esta cifra es tan alta como 0.4%. Pero esta cifra se aplica sólo a los 20 centímetros superiores del suelo. El porcentaje disminuye a más profundidad alcanzando 0.2% a un metro y disminuyendo más a mayores profundidades. Las regiones difieren entre sí en lo que se refiere a la cantidad de sales de sodio presentes.

La razón por la cual se recomienda añadir sulfato de calcio es que el calcio reemplaza el sodio y forma una arcilla calcárea nada pegajosa ni de fuerte estructura y que fácilmente se desmorona para permitir que el agua circule.

El azufre se añade ya que las bacterias de la tierra empiezan una reacción química que cambia el azu-

fre en ácido sulfúrico, que a su vez reacciona con el carbonato de calcio, formando sulfato de calcio.

El buen drenaje es la única respuesta para la reaccumulación de las sales.

Como el lago Texcoco nunca tuvo realmente un desagüe, los suelos de esa región son inútiles y ningún provecho se sacaría de su tratamiento. Pero, los lagos Chalco y Xochimilco han tenido desagüe anteriormente y la cuenca salina es baja o inexistente.

Otro problema de la cuenca estriba en los depósitos de turba, que varían en densidad a través de la región. Este tipo de suelo es también improductivo en su estado actual. Estos depósitos lacustres se han acumulado a través de miles de años por la densa vegetación de tules, lirios de agua y otras plantas acuáticas del lago y de sus márgenes. En algunas partes estos depósitos son bastante profundos. La tierra en estas condiciones tiene un alto contenido ácido pero no a tal grado que una buena parte de ella no pueda ser transformada en área de cultivo.

Una vez que se transformen los suelos, esta clase de terreno es excelente para forraje y agricultura en general. Los abonos no se deben emplear para ayudar los suelos ya que de por sí tienen un alto contenido de materias orgánica y nitrógena. Esta clase de suelo responde

ría favorablemente a un tratamiento de fertilizantes de potasa. El objeto principal debe ser deshacernos de la mayor parte de los ácidos. A veces esto pueda obtenerse con un buen drenaje aunque en ocasiones el buen drenaje es un problema tratándose de suelos pantanosos. Si el drenaje es posible, debe recordarse que con este tratamiento hay un volumen estimable de pérdida de sales en tal caso. La turba absorbe el agua como esponja y algunas turbas disminuyen de un 30 a un 50% después de haberse efectuado el drenaje.

Podría emplearse teja acanalada para el drenaje de las turbas bajas de esta región, pero para las turbas más profundas, tendrían que emplearse tanjas, debido al carácter disparejo que tendría la zona durante el desagüe. En desagüe, bajos las tejas, sin vidriar podrían colocarse de .90 a 1.5 metros bajo la superficie, cuyo empleo así resultaría eficaz.

Estos métodos para transformar tierras áridas en terrenos de cultivo requieren una gran cantidad de tiempo y la debida planeación. Pero con agua disponible, existe una gran probabilidad de que la mayor parte de los terrenos de la cuenca puedan volver a ser fértiles zonas de cultivo, de una manera u otra.

Otra manera de efectuar esta restauración de las tierras una vez que se disponga de agua, sería la

reintroducción del sistema agrícola de chinampas. Este sistema opera bien en lagos planos y poco profundos, pero el lago tendría que ser parcialmente inundado otra vez. Así mismo, es probable que tampoco se reintroduciría el peligro de inundaciones en esta región ya que se han puesto en marcha nuevos y mejores sistemas de control de inundaciones. El sistema de chinampas es sumamente productivo y puede operar en un área pequeña. Es muy posible que sería un paso firme hacia la restauración de las tierras de la cuenca. Este sistema muy especializado de agricultura ha sido empleado durante siglos con gran éxito en la región Tláhuac-Xochimilco.

Actualmente, los métodos agrícolas que se emplean en la cuenca son en su mayoría totalmente inadecuados y nada apropiados para resolver los problemas que agobian al campesino. Si no se hace nada para el desarrollo de nuevas zonas de cultivo en la cuenca, lo menos que puede realizarse es un estudio completo que revelaría al campesino qué clases de cosecha deben ser cultivadas bajo estas diversas condiciones de suelo. Podría hacerse un intento para mantener los suelos en condiciones regulares empleando la rotación de cultivo a través de la planeación de vastas extensiones de terreno. En todo caso deberá haber un balance entre las materias orgánicas y nitrogenadas. De esta manera las condiciones tó-

xicas serían neutralizadas y las plantas con raíces profundas y cortas podrían cultivarse para mantener la fertilidad de los suelos a diferentes niveles.

Debido al incremento constante de la población, la expansión agrícola y el progreso industrial, el agua está más escasa cada día. Además el hecho de que la ciudad de México esté hundiéndose hace imposible cavar nuevos pozos para buscar agua. Posiblemente sería recomendable detener la extracción en muchos pozos en operación para aliviar un poco el hundimiento. El rápido crecimiento de la ciudad está intensificando el tremendo problema existente del abastecimiento de agua, sumándose a ello la industrialización y el riego para la agricultura.

Como se ha mostrado previamente, no hay fuentes adecuadas en el Valle para irrigar completamente las regiones agrícolas de la cuenca. El torrente de las montañas, los pozos situados en el Valle y los manantiales al pie de los volcanes no pueden abastecer suficientemente de agua para las necesidades de la ciudad.

En el futuro habrá que adoptar medidas más decisivas y cada posibilidad relativa a la adquisición de agua tendrá que ser estudiada detenidamente.

Una vez que haya agua disponible en el valle, las necesidades de la ciudad de México tendrán que ser

satisfechas antes que nada; después, el exceso de agua podrá destinarse al desarrollo de regiones agrícolas en el Valle. Previo a esto, habrá que convertir los suelos en terrenos de cultivo y tendrá que desarrollarse una cubierta forestal sobre los almacenamientos de agua que se exploten.

Hoy en día, el agua es el problema más tremendo con que se enfrenta a los pueblos del Valle de México. La pregunta es ésta: ¿Se solucionará el problema del agua y continuará la expansión agrícola e industrial, o se convertirá la región sur del Valle de México en zona árida y desierta como Teotihuacán?

BIBLIOGRAFIA

Libros

- Atl, Dr. Volcanes de México. México: Editorial Polis, 1939.
- Atwood, Wallace T. The Physiographic Provinces of North America. New York: Ginn and Co., 1940.
- Bennison, E. W. Ground Water. St. Paul, Minn.: Edward E. Johnson and Sons, 1949.
- Dunbar, Carl O. Historical Geology. New York: John Wiley and Sons, 1947.
- Flint, Richard Foster. Glacial Geology. New York: John Wiley and Sons, 1947.
- Garfias, Valentín L. y Chapin, Theodore C. Geología de México. México: Editorial Jus, 1949.
- Hatch, F. H. and Rastall, R. H. The Petrology of the Sedimentary Rocks. London: Thomas Murphy and Co., 1952.
- Hurlburt, Cornelius S. Danas Manual of Mineralogy. New York: John Wiley and Sons, 1950.
- James, P. E. Latin America. New York: Lathram, Lee and Shepherd Co., 1942.
- Kellogg, Charles F. The Soils That Support Us. New York: The MacMillan Co., 1951.
- Kemp, James F. A Handbook of Rocks. New York: D. Van Nostrand Co., 1952.
- Koepfen, W. Climatología. México: Fondo de Cultura Económica, 1949.
- Lindgren, Waldemar. Mineral Deposits. New York: McGraw-Hill Book Co., 1933.

- Linsley, Ray K., Kohler, Max A. and Paulhaus, J. L. H. Applied Hydrology. New York: McGraw-Hill Book Co., 1949.
- Longwell, Chester R., Knopf, Adolph and Flint, R. F. Physical Geology. New York: John Wiley and Sons, 1950.
- Mead, Daniel. Hydrology. New York: McGraw-Hill Book Co., 1950.
- Meinzer, Oscar E. Hydrology Physics of the Earth. Vol. IX. New York: McGraw-Hill Book Co., 1942.
- Sánchez, Pedro. Geografía Física. México: Talleres de Fotozincografía del Departamento de Geografía, 1938.
- Schuchert, Charles. Historical Geology of the Antilles-Caribbean Region. New York: John Wiley and Sons, 1938.
- Smith, J. Russell and Phillips, Ogden M. North America. New York: Harcourt Brace and Co., 1942.
- Tamayo, J. L. Geografía General de México. México: 1949.
- Trewartha, Glenn T. An Introduction to Weather and Climate. New York: McGraw-Hill Book Co., 1943.
- Turner, Francis J. and Verhoogen Jean. Igneous and Metamorphic Petrology. New York: McGraw-Hill Book Co., 1951.
- Twenhofel, W. H. Principles of Sedimentation. New York: McGraw-Hill Book Co., 1950.
- Vivó, Jorge A. Geografía de México. México: Fondo de Cultura Económica, 1949.
- Vivó, Jorge A. y Gómez, José C. Climatología de México. Instituto Panamericano de Geografía e Historia, 1949.
- Yarza, Luz Esperanza. Los Volcanes de México. México: Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística, 1944.

Artículos

Bistrain, Pablo. "Proyecto para el aprovechamiento inte-

ral de los Recursos Hidráulicos de la Iztaccíhuatl
en Generación de Energías y Abastecimiento de Agua Po-
table para la Ciudad de México." Secretaría de Recur-
sos Hidráulicos. México: 1955.

Ordóñez, Ezequiel. "Las Provincias Fisiográficas de Mé-
xico." Revista Geografía. México: 1941.

Las Rocas Eruptivas del S.O. de la Cuenca
del Valle de México.

Ramos, Ramiro Robles. "Algunas Ideas Sobre la Glacio-
logía y Morfología del Iztaccíhuatl." Revista Geo-
gráfica. Tomo IV. México: 1944.

"La Desertización de la República Mexicana."
Sobretiro de la Revista. Ingeniería Hidráulica de la
S. R. E. México, 1948.

Sánchez G. Ochoa. Informe Científico, Industrial y Co-
mercial del Volcán Popocatepetl. México: Tip. "La
España," 1902.

Sánchez, Pedro C. "La Importancia Geográfica del Eje
Volcánico." Panamericana Instituto de Geografía
e Historia. Publicación #11, México: 1955.

Waitz, Paul. "Algunas Ligeras Ideas Acerca del Proble-
ma de las Tolvaneras del Valle de México." Ingenie-
ría Hidráulica. Vol. II. México: Secretaría de Re-
cursos Hidráulicos.

White, Sidney E. "Notas Preliminares Acerca de la Geo-
logía del Volcán Popo y sus Problemas Relativos."
México.

Documentos Públicos

Anales del Instituto Geológico de México. Tomo II.
"Circulación de las Aguas en la Falda Occidental del
Iztaccíhuatl." México: Talleres Gráficos de la Na-
ción, 1955.

Anales-Apunte Acerca de la Actividad del Popo en Rela-
ción con la Sismología. Heriberto Camacho. México.

Boletín de la Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística. Tomo IX. México: Imprenta de Vicente García Torres, 1862.

Eje Volcánico. Publicación #11. Tacubaya: 1935.

Estudio Agrológico Detallado de la Zona Baja de Tláhuac. (Antiguo Vaso del Lago Chalco.) México: Dirección General de Aprovechamiento Hidráulico, 1948.

Parque Nacional Ixtaccihuatl y Popocatepetl. México: Secretaría de Agricultura y Ganadería, 1951.

Recopilación de los Datos del Valle de México. Comisión Hidrológica de la Cuenca del Valle de México. México: Secretaría de Recursos Hidráulicos, 1953.

Soils and Men. Yearbook of Agriculture. Department of Agriculture. Washington, D. C.: U.S. Government Printing Office, 1938.

Soil Science. Vol. #57. Baltimore: The Williams and Wilkins Co. 1944.

Soil Survey Manual. U.S. Department of Agriculture. Washington, D.C.: U.S. Government Printing Office, 1951.



MAPA HIDROLOGICO
DEL SURESTE
DEL
VALLE DE MEXICO

ESCALA 1:100,000



