

---

## ANOTACIONES SOBRE ALGUNOS ASPECTOS DE LA HIDROLOGIA MEXICANA\*

---

B.F. OSORIO TAFALL  
Laboratorio de Hidrobiología  
Escuela Nacional de Ciencias  
Biológicas, I.P.N. y  
Guanos y Fertilizantes de México, S.  
A.  
Departamento Técnico  
México, D. F.

El presente trabajo ha sido redactado a base de los comentarios hechos por su autor, en reciente sesión de la Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística, a un excelente estudio del Sr. Ing. Jorge L. Tamayo y al que se hace referencia en la Introducción.

### CONTENIDO

I. Introducción.– II. Inestabilidad de las actuales cuencas.– III. Fauna ictiológica continental mexicana.– IV. El río Lerma-Santiago.– V. La cuenca de México y sus antiguas conexiones.– VI. Lagos y lagunas de México.– VII. Datos sobre el Carso mexicano.– VIII. Anotaciones sobre Hidrología Sanitaria.– IX. Notas Bibliográficas.

### I. INTRODUCCION

La importancia del trabajo sobre *Hidrología Mexicana*, cuyas primicias nos ofreció, en sesión pasada, nuestro consocio y amigo el Sr. Ing. Jorge L. Tamayo, quedó perfectamente demostrada por el interés que despertó su exposición y las animadas discusiones suscitadas en su alrededor. Algo más que plácemes merece un estudio como el que nos ha brindado el Ing. Tamayo, máxime cuando es, en este caso, el esfuerzo personal el que lo lleva a su culminación y que puede presentarse de modelo ejemplar para los organismos oficiales.

Debo declarar que la brillante aportación que el Ing. Tamayo ha hecho al conocimiento de uno de los capítulos más trascendentales de la Geografía de la República me ha producido intensa impresión hasta el extremo de decidirme a molestar la atención, siempre benévola de ustedes, acerca de diversos asuntos más o menos relacionados con el tema del trabajo que nuestro Secretario habrá de presentar ante el Congreso de Geografía que se reunirá, en fecha próxima, en la ciudad de Caracas.

Y es que, no obstante la amplitud y suficiencia de la contribución que le debemos al Ing. Tamayo, como era de esperar dada su formación, enfocó su conferencia desde un punto de vista geográfico, poniendo especial énfasis en el aspecto que pudiéramos llamar hidráulico de su exposición.

Yo no voy a insistir sobre los diversos tópicos tratados, muy doctrinalmente por cierto, por nuestro estimado amigo. Han quedado, como consecuencia de la brillante exposición y del debate que la siguió, perfectamente puntualizados. Mi intención es tratar de completar el cuadro, presentándolo bajo un ángulo totalmente diferente, a base de aportar datos y observaciones, los que, lejos de introducir confusión y de restar unidad al trabajo comentado, espero que contribuirán a darle mayor alcance y homogeneidad.

Trataré de exponer, de modo acaso bastante deshilvanado por la premura con que he preparado esta intervención, algunos problemas de la hidrología mexicana que el contacto con la realidad circundante, en mis ya dilatadas correrías por el país, me han hecho ver y que la conferencia del Sr. Ing. Tamayo me indujo a traer a la consideración de ustedes para el obligado comentario.

Estoy seguro de que no constituirán ninguna novedad, pues que todos y cada uno de ustedes se los habrán planteado en más de una ocasión y acaso les habrán dado atinada respuesta. La novedad, si es que alguna tienen,

radica en el punto de vista desde el cual los considero, porque se añade una nueva y extensa perspectiva a la interpretación del conjunto.

Unos problemas son puramente geográficos o geomorfológicos, al paso que otros son fundamentalmente humanos. Los primeros creo que tienen bastante interés científico para suscitarlos aquí; los segundos son de palpante realidad y dramatismo.

## II. INESTABILIDAD DE LAS ACTUALES CUENCAS HIDROGRAFICAS

En época reciente, geológicamente hablando, las condiciones climatológicas e hidrográficas de México en su porción norteamericana experimentaron notables variaciones y, en general, fueron menos estables que en el valle del Mississippi. La parte central de la República ha estado sometida, durante dilatadas etapas del Terciario, a una intensa actividad volcánica que se ha continuado hasta la época actual. En pleno Cuaternario se han producido, asimismo, manifestaciones tectónicas cuya extensión e importancia están por determinar.

Aparece manifiestamente claro que el norte de México ha dispuesto de mayor caudal de agua del que posee en la actualidad. Los ríos Casas Grandes, Santa María, Nazas, Aguanaval y otros de esta región, cuyas aguas no vierten actualmente al mar (cuencas cerradas o endorreicas), fueron en otra época tributarios del Río Bravo. Nos fundamos para afirmarlo así en el examen de su fauna ictiológica, la que muestra indudables afinidades reveladoras de un origen común.

Es muy posible que la reducción del curso de los citados ríos se deba al hecho de que, actualmente, el drenaje de la porción montañosa de esta parte de México tiene lugar hacia occidente. De ello se infiere que los tramos superiores de los ríos de la vertiente pacífica, situados a oriente de la Sierra Madre Occidental, eran antiguamente los tributarios superiores de ríos que hoy corren hacia el Este. De acuerdo con esta idea que nos parece evidente, los ríos que desaguan en el Golfo de California, a causa de la elevación de su nivel de base, motivado por el levantamiento paulatino y en masa de la Sierra Madre, capturaron, en virtud de procesos de erosión remontante, las cabeceras de los ríos que con anterioridad corrían hacia Oriente, rejuveneciéndose, por decirlo así, la red fluvial. A esto se debe que, en estos ríos de montaña al Este de la Sierra Madre, la fauna ictiológica corresponda a la del Río Bravo y a la de las cuencas endorreicas mencionadas más arriba.

El proceso de avance hacia una condición de mayor aridez, que se observa perfectamente en Chihuahua, Coahuila y San Luis Potosí, y no deja de ser apreciable en la cuenca de México, proceso intensificado durante el Holoceno, se ha continuado durante la época histórica y ha sido patente en el curso de los últimos siglos. No hay más que releer los relatos de los conquistadores, los exploradores y los antiguos viajeros para deducir que el paisaje ha cambiado fundamentalmente. Incluso ahora personas de avanzada edad coinciden en afirmar que en el Norte de México hay menos agua que la que existía hace 50 años. Muchos lagos han desaparecido, si bien es cierto que en la desecación de algunos ha intervenido voluntariamente la acción humana. Por ejemplo, el lago Guzmán en Chihuahua, en donde antes vertía el río de Casas Grandes ya no existe, porque las aguas del río afluente son utilizadas íntegramente para el riego. El ejemplo más conocido es el de la región de la Laguna, en Coahuila.

Los cambios referidos ejercen una decidida influencia sobre la vida animal y vegetal, no sólo acuática, sino también terrestre. Las especies de plantas o animales que carecen de capacidad para ajustarse a las nuevas condiciones de existencia terminan por desaparecer, siendo reemplazadas por otras mejor adaptadas a los nuevos nichos ecológicos.

*Sistema del Río Bravo.*— Dentro de este sistema deben quedar incluidos los diversos ríos que carecen de desagüe al mar así como las lagunas situadas al oriente de la Sierra Madre Occidental, en los Estados de Chihuahua y Durango, porque sin duda alguna fueron, en otra época, tributarios del Río Bravo.

Esta porción septentrional del altiplano de México es, en general, una llanura árida desprovista de arbolado y con vegetación escasa en la que dominan los tipos xerofítico y suculento (mezquite, yuca, cactus, artemisa, etc.) en unión de gramíneas (zacates) que forman manchones esparcidos. En la estación lluviosa y poco tiempo después de la misma, la vegetación adquiere otro aspecto mucho más exuberante, pero al cabo de uno o dos meses secos y de exposición al inclemente sol, cambia radicalmente el aspecto de la comarca. Las corrientes de agua que son caudalosas durante la temporada de las lluvias, casi se agotan a finales del estiaje. La mayoría de los lagos y lagunas se desecan.

El río Casas Grandes se vaciaba antes en el lago de Guzmán. El río Santa María, de curso casi paralelo al anterior, terminaba en el lago del mismo nombre. El río del Carmen, al oriente del de Santa María, vierte en el lago de Patos. Es indudable – la identidad de la fauna ictiológica lo atestigua – que estos ríos eran afluentes del Bravo. No creemos que sea difícil descubrir sobre el terreno los antiguos cauces. Al norte y al este de la ciudad de Chihuahua hay varios ríos de corto recorrido, como el de Sauz y el de Bustillos, que muy probablemente aflúan antes al río Conchos. Este lago de Bustillos, situado en la divisoria entre la cabecera de aguas del río San Pedro (afluente del Conchos, y cuyas aguas corresponden a la vertiente del Golfo de México) y la de varios tributarios del río Papigochic, que a su vez vierte en el Yaqui correspondiente a la vertiente pacífica, parece encontrarse en una zona de drenaje juvenil, en donde la evolución del modelado superficial concluirá por facilitar la salida de las aguas que se embalsan durante la estación lluviosa hacia los cursos fluviales exorreicos.

El río Nazas, de considerable recorrido, pues naciendo en la Sierra Madre atraviesa todo el Estado de Durango para extinguirse dentro de Coahuila en el antiguo vaso lacustre de Mayrán, ha modificado extraordinariamente la región de La Laguna elevándola a un extraordinario grado de prosperidad. El río Aguanaval, al sur del anterior y que procede de la parte oeste-noroeste de Zacatecas, fluye en otro vaso lacustre, la antigua laguna de Parras o Viesca. Lo más probable es que el Nazas y el Aguanaval confluyeran en esta zona lacustre Mayrán-Viesca y que juntos vertieran en el Bravo cerca de la línea divisoria de Chihuahua y Coahuila. He aquí otro problema de interés hidrológico el fijar el cauce del desaparecido río afluente.

*Sistema del río Pánuco.*– Hacemos referencia a este sistema hidrológico porque alguno de sus tributarios superiores, a saber: el río de San Juan y el río de Tula drenan parte del altiplano y unidos, formando el río Moctezuma, alcanzan el río principal a través de profundos tajos en las montañas, mediante una serie de rápidos y cascadas. La fauna ictiológica de los dos ríos citados corresponde a la de la cuenca del Lerma, por lo que es de presumir que, originariamente, eran afluentes del Lerma y que fueron capturados por la erosión ascendente del río Moctezuma que lleva al Golfo de México aguas que en otra época vertían en el Pacífico.

*Sistema del río Yaqui.*– Como el río Mezquital, nace al oriente de la Sierra Madre Occidental en el Estado de Durango, penetra en Nayarit, donde se le conoce como río de San Pedro y desagua en el Pacífico, un poco al norte de la desembocadura del río Santiago. La mayoría de las especies ictiológicas que viven en el tramo del río que corresponde a Durango, pertenecen a la fauna del Sistema del Bravo. Esto nos indica que, en el pasado, los tramos superiores del río aflúan a algún tributario de la cuenca del Bravo.

*Sistema del río Yaqui.*– Como el río Mezquital nace al oriente de la Sierra Madre Occidental y la fauna ictiológica de los tributarios superiores que constituyen el río Papigochic corresponde esencialmente a la cuenca del Río Bravo. En cambio, los tributarios que proceden del norte, como el Nacozari y el Bavispe, muestran afinidades ictiológicas con la cuenca del Colorado. La presencia en los tramos superiores chihuahuenses del río Yaqui, de numerosas especies de peces de la cuenca del Bravo se explica por la captura del río Papigochic, uno de sus actuales tributarios que corre al este de las sierras centrales de la Sierra Madre Occidental. Es indudable que este río vertía antes sus aguas en algún afluente del Río Bravo, acaso el Conchos y que, por su intermedio, se pobló de peces procedentes de aquel río.

*Sistema Lerma-Santiago.*– Este río, el de mayor recorrido en la República, drena numerosas mesetas de nivel gradualmente inferior en el altiplano y algunas de ellas con depresiones ocupadas por lagos, el más extenso de los cuales es el de Chapala. Varios lagos pertenecientes a este sistema carecen de río emisario, entre ellos Zirahuén, Pátzcuaro y Cuitzeo, los que se han originado por barrajes volcánicos no muy importantes, por lo que es posible drenarlos mediante obras sencillas. El lago de Cuitzeo se podría verter en el Lerma a través del río de Moreoleón; mediante un canal corto pero profundo es posible vaciar en el río Grande de Morelia las aguas del lago de Pátzcuaro, restituyendo al río Lerma uno de sus antiguos tributarios.

El llamado valle de México, y que es propiamente una cuenca lacustre, formó parte, sin duda alguna, de la cuenca del río Lerma, como lo atestigua su fauna acuática. Sobre esto volveremos más adelante.

Ya hemos indicado que, biogeográficamente, los ríos de San Juan y de Tula pertenecen a la cuenca del Lerma. La fauna ictiológica de esta última es muy diferente, tanto de la que caracteriza la parte septentrional del altiplano, que es propiamente norteamericana, como de la que vive al sur de la cordillera volcánica y que muestra afinidades con la fauna centroamericana. La cuenca del Lerma se nos aparece como un área, típicamente mexicana, de diferenciación de especies de peces que no se encuentran en ninguna otra parte del continente americano y cuyo origen es indudablemente marino produciéndose el poblamiento de las aguas dulces continentales por las corrientes de agua, probablemente desde el Pacífico.

*Sistema del Balsas.*— Por su longitud es el segundo de México y corresponde a la vertiente pacífica. Drena la mayor parte del área comprendida entre la cordillera volcánica, que forma la divisoria con la cuenca del Lerma, y la Sierra Madre del Sur. No obstante la contigüidad de las cuencas del Balsas y del Lerma, sus respectivas faunas ictiológicas son distintas, pues tan sólo tienen en común una especie de peces. La fauna del Balsas corresponde a la región tropical.

### III. FAUNA ICTIOLOGICA CONTINENTAL MEXICANA

Hay en la República Mexicana, según resulta de los datos reunidos hasta el día, cuatro faunas ictiológicas continentales diferentes. Dos de ellas han resultado de una emigración procedente del norte; otra ha venido del sur, al paso que la restante es autóctona y se ha diferenciado en el país.

La fauna del altiplano septentrional es esencialmente la misma que se encuentra en las Montañas Rocosas y en la parte este de los Estados Unidos. Los dos grandes ríos que sirvieron de vías de comunicación para la población ictiológica de los ríos mexicanos de la porción norte del territorio son el Colorado y el Bravo; el primero desemboca en el Golfo de California y el segundo lo hace en el Golfo de México. Aunque las cabeceras de ambos ríos están muy cercanas, sus respectivas faunas ictiológicas muestran patentes diferencias.

La fauna ictiológica de origen tropical se ha extendido de Sur a Norte por la cuenca del Balsas y por todos los ríos que desaguan en el Golfo de México, exceptuando el Río Bravo y los ríos de San Juan y de Tula, afluentes del Moctezuma y a que antes nos hemos referido. También poseen la misma fauna tropical los ríos de la vertiente pacífica situados al sur de Mazatlán.

En cambio, la fauna ictiológica de la cuenca del Lerma y de los lagos que pertenecen a la misma, no tienen nada que ver, ni con la fauna septentrional de procedencia norteamericana, ni con la fauna tropical de origen centroamericano. Se trata de una fauna ictiológica autóctona, con especies de peces típica y exclusivamente mexicanas.

### IV. EL RIO LERMA-SANTIAGO

Recientemente, el Dr. Paul Waitz publicó un luminoso estudio acerca de la geología de la cuenca del Lerma y en el que, con gran precisión, describe los extensos lagos que el barraje volcánico creó en diversas zonas de su dilatado cauce, lagos que en la actualidad se están restableciendo, más o menos parcialmente, con motivo de las obras que tiene a su cargo la Comisión Nacional de Irrigación.

El problema de si el río Lerma y el río de Santiago constituyen o no una sola arteria fluvial, ha preocupado en diferentes ocasiones a los geógrafos y geólogos mexicanos sin que, por lo antagónico de las opiniones expresadas, se llegara a una completa unanimidad de apreciación. Y así se lee, en los diferentes textos y publicaciones, que el río Lerma es independiente del río Santiago, o bien que ambos ríos constituyen una misma entidad hidrográfica.

El trabajo antes referido, al que el Dr. Waitz presta la gran autoridad de su reconocida competencia, aporta datos que permiten establecer definitivamente que, en realidad, son dos ríos independientes los que, por fenómenos a los que dentro de un momento voy a referirme, han entrado en relación. Sin embargo, expondré algunas reservas a diversos puntos de la doctrina expuesta por el eminente geólogo, respecto al origen y significación del lago de Chapala.

Es evidente que entre el Mioceno y el Pleistoceno ha debido existir, como asevera el Dr. Waitz, un extenso lago que cubriendo todo el Bajío, incluía las cuencas hoy ocupadas por el lago de Chapala y los bolsones de Zacoalco, Sayula y Magdalena. Muy posiblemente, en los períodos de mayor sequía, el extenso lago quedaría fraccionado en una serie de lagunas escalonadas que permitirían el drenaje de las superiores a las inferiores, por la diferencia de nivel. Ahora bien, es cierto también que en el citado período los lagos a que acabamos de referirnos no se vaciaban, del modo que en la actualidad lo hace el lago de Chapala, actual remanente de un área lacustre considerablemente más extensa, por el río Santiago.

Quedan dos posibilidades que solamente estudios detenidos sobre el terreno podrán dilucidar. La primera es que la cuenca del Lerma fuera un área endorreica y que el agua almacenada en el lago de nivel más bajo, que drenaría todos los situados a niveles superiores dentro de la cuenca, y que es el que corresponde a la actual

cuenca cerrada de Zacoalco-Sayula desapareciera por la intensa evaporación promovida por las condiciones climatológicas, la amplia superficie y la reducida profundidad. La segunda posibilidad, que me parece la más probable, es que, antes de que las intensas manifestaciones del volcanismo de Mioceno-Plioceno modificaran esencialmente el relieve de la zona a que hago referencia, las aguas de la cuenca del Lerma se vaciaran en el Pacífico acaso por el río Ameca o el Armería. Las actuales barreras que separan el tramo superior de este río de la Cuenca Zacoalco-Sayula no tienen gran importancia.

El estudio de esta zona particular permitirá dar solución al problema tal y como queda planteado.

Por consiguiente, me imagino la amplia cuenca del Lerma, con la serie de lagos en sucesión desaguardo al Pacífico por una salida directa, hasta que los barrajes volcánicos impidieron el flujo de las aguas y forman los lagos sucesivos de la cuenca, el último y más abajo de los cuales está representado hoy en día por la depresión Chapala-Zacoalco-Sayula. Coincidió en absoluto con el Dr. Waitz cuando dice: "La emisión de las grandes masas ígneas efusivas de la Sierra Madre Occidental y de los volcanes de la zona del "Paralelo 19" impidieron entonces la salida de las aguas continentales hacia los mares y se formaron enormes lagos de los cuales uno de los más grandes ocupaba la zona del Bajío que drena actualmente el curso medio del Lerma con sus afluentes y los valles cerrados de Zacoalco y Sayula".

En lo que discrepo es en considerar el extenso plan de la Barca-Chapala como una enorme *fosa tectónica*, en la cual "una faja de la costra terrestre, confinada entre las sierras alargadas en dirección E. W., en el norte las sierras riolíticas de Pénjamo-Atotonilco, en el sur el cerro de Pajacuarán se ha hundido". Me parece que la depresión, ocupada en parte por el lago Chapala no presenta las características de las fosas tectónicas, a saber, la profundidad y el fuerte declive de las pendientes. Sin negar, porque ha sido perfectamente reconocida, la existencia de fallas en la región citada, creo que son suficientes las barreras volcánicas para cortar la salida de las aguas formando un lago. El lago de Chapala es muy poco profundo, pues de los datos que obran en mi poder la profundidad media es del orden de 8 metros. Claro está que originalmente la depresión pudo haber sido más profunda y rellenarse casi completamente, como dice el Dr. Waitz, por la acumulación de "enormes cantidades de depósitos lacustres con la intercalación de tobas volcánicas antiguas, y con la intercalación y sobreposición de lavas y tobas basálticas más recientes".

Por lo que respecta a la comunicación del lago de Chapala con el río Santiago, el Dr. Waitz opina que "probablemente a causa de las enormes cantidades de precipitación que caracterizan al tiempo pluvial o diluvial y que le han dado el nombre, el lago intercontinental llegó a rebasar por la incisión más profunda de la Sierra Madre al norte-poniente, donde acaso encontró el Río Grande de Santiago una incisión de la sierra hecha con anterioridad por un afluente antecesor del actual río de Huaynamota".

En mi opinión ha sido el proceso de erosión remontante del río Santiago el que le ha permitido capturar las aguas de Chapala. Me parece seguro que un lento levantamiento produjo el rejuvenecimiento de la red fluvial del Santiago, que ya había alcanzado, muy posiblemente, su grado de madurez. Por elevación de su nivel de base, el río reanudó su ciclo de erosión profundizando su cauce entre precipitosas barrancas a través de la sierra y en un tiempo relativamente corto, lo que atestigüa procesos erosivos de intensidad considerable, favorecidos por el gran desnivel.

En resumen, las fases hidrográficas del Lerma parecen haber sido las siguientes: 1º La cuenca del Lerma se vaciaba directamente al Pacífico, antes del intenso vulcanismo de la segunda mitad del Terciario. 2º La enorme efusión de rocas volcánicas, durante los paroxismos de la edad mencionada, cerró la salida de las aguas formando un área endorreica con extensos lagos ocupando las partes más bajas y en cuyas depresiones se acumularon espesores considerables de materiales detríticos de procedencia volcánica, mezclados con sedimentos de origen manifiestamente lacustre, entre los que figuran los producidos por diatomeas que hoy se encuentran en zonas más elevadas que el nivel actual del lago de Chapala. 3º El relleno de las áreas lacustres y la consiguiente elevación del nivel de los lagos, incrementado por las abundantes precipitaciones diluviales, por un lado; y el proceso de erosión remontante, por otro, a cargo del río Santiago, acelerado por el rejuvenecimiento de su red fluvial, determinaron el drenaje de la cuenca del Lerma por el mencionado río.

Fenómenos de captura semejantes a los que acabamos de exponer ya hemos dicho que se observan en diversos ríos de la vertiente pacífica que atraviesan Sonora, Sinaloa y Nayarit y que hoy tienen sus tramos superiores al este de la Sierra Madre, por haber capturado cursos de agua que en otra época vertían en la cuenca del Bravo.

## V. LA CUENCA DE MEXICO Y SUS ANTIGUAS CONEXIONES

La historia de la cuenca de México y el proceso de desaparición de sus antiguos lagos tienen el mayor interés geográfico y humano. Este capítulo, por sí solo, pudiera ser objeto de una amplia exposición. Me limitaré a presentar mi opinión relativa a las fases por las que parece haber atravesado la cuenca, deducido de la investigación de su fauna acuática.

Creo que la primera conexión de la cuenca de México ha sido con el Pacífico y por medio del río Balsas. Probablemente en el Mioceno, las erupciones de andesitas con hornblenda, que dieron lugar al macizo del Ajusco, aislaron por el rumbo de Cuautla la conexión de las aguas de la cuenca con el Balsas.

La relación más duradera ha sido con la cuenca del río Lerma. Fundamentalmente las especies ictiológicas son las mismas y corresponden al grupo que se ha diferenciado para dar formas exclusivas y típicamente mexicanas. Esta conexión ha debido durar hasta comienzos del Plioceno, en que las erupciones de las andesitas de hornblenda e hiperstena que constituyen la serranía de las Cruces, cortaron la comunicación de los lagos de la cuenca de México con el tramo superior del Lerma.

Finalmente, la última y más reciente comunicación ha sido por el norte a través del río de Tula, para vaciarse en el Pacífico, como se desagua artificialmente en la actualidad por medio del tajo de Tequixquiac, hacia el Pánuco. La gran abundancia de restos fósiles de desdentados, rumiantes y paquidermos en el borde septentrional de la cuenca de México, indica el sentido en que fluían las aguas.

Todavía hay otra posibilidad y es que la conexión de la cuenca de México con el alto río Lerma no fuera a través del lugar hoy ocupado por la serranía de las Cruces, sino por el río de Tula, en la época en que éste era tributario del Lerma y no había sido capturado todavía, en unión del río de San Juan, por la erosión remontante del Moctezuma.

Quedan expuestos varios e interesantes problemas relacionados con estas antiguas conexiones de la cuenca de México que, unas veces, ha vertido sus aguas al Pacífico y, otras, al Golfo de México, para que los especialistas en las diversas ciencias relacionadas les den adecuada solución.

## VI. LAGOS Y LAGUNAS DE MEXICO

Está por hacer el estudio morfométrico de los lagos y lagunas mexicanos. Son muy pocas las áreas lacustres a las que se ha prestado alguna atención limnobiológica. Pátzcuaro, Zirahuén, Cuitzeo y Chapala en la región de los lagos michoacanos, Texcoco y Xochimilco en la cuenca de México, y Alchichica en el Estado de Puebla han sido estudiados con mayor o menor intensidad. Pero los datos reunidos son todavía fragmentarios y desde luego insuficientes para presentar siquiera una síntesis de este importante capítulo de la hidrología continental mexicana. Me limito, por tanto, a insistir en que este estudio debe llevarse a cabo, al igual que el de los embalses construidos por la Comisión Nacional de Irrigación, a fin de conocer las propiedades físicas y químicas de las aguas lacustres y de las embalsadas. Con tales datos se llegarán a determinar sus condiciones biológicas para deducir su valor como productores de materia orgánica y, por tanto, como viveros potenciales de una abundante población ictiológica, susceptible de ser explotada remuneradamente. En un trabajo nuestro publicado hace un par de años, con el título "Los Estudios Hidrobiológicos en México y la Conveniencia de Impulsarlos" consideramos la utilidad de que, entre los técnicos de la Comisión Nacional de Irrigación, figure un hidrobiólogo. Estoy seguro de que la colaboración de este especialista habría de ser sumamente ventajosa para el mejor aprovechamiento de las aguas embalsadas.\*

\* En el departamento de Geología de la recién organizada Secretaría de Recursos Hidráulicos, fueron atendidas estas sugerencias y entre sus técnicos figuran hidrobiólogos.

Todo lago es una entidad hidrográfica transitoria cuyo proceso de declinación comienza inmediatamente después de haberse formado la cubeta lacustre. El estancamiento de las aguas en una depresión cerrada, como es la regla en casi todos los lagos y lagunas mexicanos, indica una imperfecta organización del drenaje. Por otro lado, el copioso arrastre de materiales detríticos por el río afluente tiende a disminuir la profundidad y a facilitar la evaporación. Por ello no es de extrañar que los lagos del altiplano de México se hallen en un avanzado estado de senectud. Algunos, que no hace 50 años todavía almacenaban importante caudal de aguas en la estación lluviosa, han desaparecido, habiendo intervenido en ciertos casos la mano del hombre que reclama tierras más fértiles para sus cultivos. Son numerosos los ejemplos de lagos que se han extinguido total o casi completamente en

Chihuahua, Coahuila y Michoacán. Es conocida de todos la desaparición paulatina de los antiguos lagos que ocupaban las partes más bajas de la cuenca, mal llamada Valle de México. Por diversos datos, procedentes de fuentes distintas, se sabe que el altiplano de México recibe en la actualidad menos agua que hace varios centenares y millares de años. En distintas zonas de la República se aprecia un avance gradual del desierto, el que tiende a ocupar zonas de aridez creciente. Parece ser que este desplazamiento hacia la aridez se ha iniciado en los tiempos postglaciales. Sea de ello lo que fuere, lo cierto es que, como he indicado anteriormente, las condiciones hidrográficas en el altiplano de México distan mucho de mostrar la estabilidad que se observa en otras áreas más septentrionales.

He mencionado que algunos de los antiguos lagos van siendo restablecidos para almacenar las aguas con arreglo a los proyectos de Irrigación. Ahora bien, en el fondo de los lagos que todavía subsisten, si bien considerablemente reducidos, y en el espesor de los sedimentos que han colmado las antiguas cubetas lacustres, está escrita la historia climatológica y botánica del Pleistoceno en México. El análisis de estos sedimentos lacustres, que constituye hoy un cuerpo de doctrina llamado Paleoeología, permite reconstruir interesantes capítulos del pasado y precisar, mediante el análisis de los granos de polen y el estudio de los microfósiles (diatomeas, ostrácodos, cladóceros, piezas de insectos, etc.) las condiciones de su depósito.

Es lástima que las numerosas perforaciones practicadas en la cuenca de México no se hayan estudiado paleoecológicamente, pues ello vendría a completar, como antes he dicho, la historia climatológica y botánica, y también agrícola, de la región. De lo investigado hasta la fecha se deduce la alternancia de períodos de humedad, en número de dos, el primero más dilatado que el segundo, separados por etapas de aridez.

Los depósitos correspondientes a los primeros contienen granos de polen de pináceas (pinos, oyameles, cedros, etc.) que son plantas anemófilas, es decir, que se polinizan por el viento, produciendo enorme cantidad de granos de polen. En cambio, los depósitos correspondientes a los períodos secos apenas contienen granos de polen de las plantas señaladas, abundando los de especies vegetales herbáceas propias de zonas áridas, como diversas Quenopodiáceas y Composáceas.

No quiero dejar de mencionar un fenómeno químico sumamente curioso que se da en las aguas de muchos lagos de México, a saber: En general las aguas que afluyen al lago son de reacción ácida; en cambio las aguas del lago tienen su pH en la zona alcalina, de 8 o más. Este fenómeno ha sido estudiado por Orozco y Madinaveitia para explicar el origen del tequesquite, mezcla de sales formada principalmente por cloruro, carbonato, bicarbonato, sulfato y metaborato sódicos con algo de cloruro potásico. Estos productos son en la actualidad explotados industrialmente en los grandes estanques de evaporación que con una superficie de 400 hectáreas, forman la salina conocida con el nombre de El Caracol, cuyas sales se benefician en la planta de San Cristóbal Ecatepec.

## VII. ALGUNOS DATOS SOBRE EL CARSO MEXICANO

El nombre de *Carso* (italiano). *Karst* en alemán, procede de la región caliza, con peculiares características fisiográficas, que se extiende desde el río Isonzo hasta el golfo de Fiume, al nordeste de la península de Istria, en terreno italiano hoy disputado por Yugoslavia. Por extensión se aplica el mismo término, en sentido geográfico, a toda área en que dominan los terrenos calizos y donde destacan los fenómenos de disolución de las rocas y una activa circulación subterránea. Los fenómenos cársicos han sido estudiados con detalle en los Balcanes, región en que tienen enorme importancia por el gran desarrollo que presentan y el influjo que ejercen sobre la vida humana.

La característica general de las regiones cársicas se debe a los fenómenos de disolución que se operan en los terrenos calizos por la acción de las aguas, más o menos cargadas de anhídrido carbónico, y a la percolación de estas aguas carbónicas por las fisuras de las rocas, las que paulatinamente se van ensanchando por la disolución del carbonato de calcio en forma de bicarbonato. La topografía superficial, en gran parte, está dominada por el drenaje subterráneo. Y así sucede que sobre extensas áreas, aun a pesar de caer abundantes precipitaciones, las corrientes superficiales pueden faltar completamente. Sucede esto porque las aguas de lluvia o las de los ríos se pierden en el laberinto subterráneo que la disolución química ha fraguado en la profundidad de las rocas calizas. Por lo general, las corrientes superficiales de agua desaparecen en los extremos de profundas gargantas u hondos cañones, de paredes acantiladas. Son frecuentes las resurgencias o fuentes vaclusianas que dan origen a ríos caudalosos, continuación de los desaparecidos bajo tierra y que emergen en la base de los paredones calizos. Son, asimismo, muy características las depresiones en forma de embudo, ocasionadas también por la disolución de las calizas subyacentes, y que han recibido el nombre de *dolinas*. Si alcanzan grandes dimensiones, del orden de 10 o más kilómetros, se denominan *poljens*. Las dolinas y los poljens suelen estar recubiertas de un tipo de suelo correspondientes a las *tierras rojas*, formado por la acción disolvente del agua sobre las calizas, fenómeno que deja

como residuo insoluble arcillas de decalcificación, teñidas de rojo por los óxidos de hierro.

Durante la estación de las lluvias sucede, en ocasiones, que el caudal de agua recibido es superior al que puede contener la circulación subterránea y en este caso los poljens se convierten en lagos temporales (*trop plein*) que a veces se desbordan originando ríos superficiales. En ciertos lugares se dan fenómenos de inversión del drenaje, es decir, en un período los poljens recogen y absorben el agua, al paso que en otros funcionan como fuentes. Como resultado de los fenómenos de disolución hay un desarrollo amplio y laberíntico de las cavidades y oquedades subterráneas, siendo numerosos los pasajes y cuevas. A menudo, por hundimiento del techo respectivo, el relieve superficial en las regiones cársicas resulta muy accidentado.

Los fenómenos cársicos en México están bien representados, por lo menos, en las partes de los Estados de San Luis Potosí, Coahuila y Nuevo León, ocupadas por calizas cretácicas, así como en la losa caliza yucateca, geológicamente mucho más reciente. Pasaremos brevemente revista a estas dos zonas.

En su estudio sobre la hidrología del Estado de San Luis Potosí, los ingenieros Gálvez, Hernández y Blásquez dicen: "La hidrografía es poco importante pues sólo por la zona sureste del Estado se encuentran colectores notables, tanto por su contenido de aguas, como por la longitud de su desarrollo; los demás componentes de las redes fluviales son arroyos que se pierden en las llanuras de las cuencas." Los autores citados se refieren indudablemente a la hidrografía superficial, pero apenas toman en cuenta que, por la estructura cársica del terreno, las corrientes de agua, incluso verdaderos ríos, son subterráneas. Cuando los mismos ingenieros se refieren en su trabajo citado a la hidrología subterránea entienden por ella principalmente las aguas almacenadas en receptáculos subterráneos, en forma de aguas freáticas y brotantes. En cambio, yo llamo la atención sobre la circulación subterránea por estos terrenos calizos muy fisurados, abundantes en cuevas y en *sótanos*, en forma de verdaderos ríos bajo tierra, caudalosos y de corriente continua unos, y de carácter torrencial durante la estación lluviosa e intermitentes otros. En la región de Valles, algunas de cuyas cuevas he tenido ocasión de estudiar, y en la Sierra de Guadalcázar, pero de seguro también en otras partes de la porción sudoriental y oriental del Estado de San Luis Potosí, la topografía cársica es manifiesta y amerita su estudio detallado por el geógrafo.

La fauna troglobia de las cuevas de la mencionada región es sumamente interesante. En términos generales podemos decir que es muy especializada y anofalma. La fauna acuática, que es para nosotros la más interesante, está constituida por pececillos ciegos (Caracinos del género *Anoptichthys*), por Copépodos con apéndices sensitivos desarrollados (*Microdiaptomus*) e Isópodos carentes de ojos y caparazón hialino (*Cirolana*). Respecto al origen de esta fauna podemos decir que es doble: Al paso que *Cirolana* es una forma relicta de origen marino adaptada a las aguas dulces, pero indicando una antigua submersión del terreno bajo las aguas del mar, el resto de la fauna procede de precursores que han vivido o todavía viven en las corrientes superficiales.

No es posible comprender la civilización maya sin los cenotes y aguadas que, en número considerable, existen en la losa caliza yucateca. Los cenotes, aguadas y cuevas constituyen hábitats acuáticos aislados, algunos de los cuales han existido desde épocas remotas, de ahí que su fauna posea desusado interés biológico, sobre todo en relación con el papel desempeñado por el aislamiento o segregación en la evolución y adaptación de las especies.

Otro interés puramente humano de estas estructuras cársicas en Yucatán reside en el hecho de que, en la época del florecimiento de las civilizaciones mayas y desde entonces hasta nuestros tiempos, han sido importantes factores en el modelado de la cultura de aquel pueblo que, sin estos depósitos de agua seguramente no hubiera podido subsistir en gran parte del territorio. La relación entre estos reservorios naturales de agua y los núcleos de población de evidencia por el hecho de que, donde hay un cenote hay un poblado.

Los cenotes son receptáculos de agua aislados, unas veces con aguas transparentes y otras más opacas y de color verdoso azulado por su abundancia en vegetación planctónica; las paredes suelen ser más o menos verticales, aunque a veces se proyectan en cornisa en las márgenes superiores. Muchos cenotes tienen indudables relaciones con las aguas subterráneas pudiendo observarse, apelando a diversos dispositivos, una débil corriente. El fondo de estos cenotes suele estar cubierto de arena limpia o de roca y la profundidad ser considerable. En cambio, otros cenotes no parecen tener conexión con las corrientes freáticas y entonces sus aguas presentan caracteres de las estancadas; son turbias, muestran estratificación térmica, de tal modo que es factible apreciar diferencias hasta de 5°C. entre las temperaturas de la superficie y el fondo, y suelen carecer de oxígeno disuelto en las capas más profundas, conteniendo en cambio ácido sulfhídrico.

En las cercanías de Chichén-Itzá, ciudad en la que floreció espléndidamente la civilización maya, la superficie del agua en los cenotes se mantiene a unos veinte metros por debajo del nivel del terreno, pero esta profundidad varía entre 8 metros (Ciruak) y 54 (Scan Yui). En Mérida, a 35 kilómetros del mar, el nivel hidrostático queda a unos 5 metros bajo el del suelo y la profundidad de los cenotes está comprendida entre 3 y 7 metros. En esta ciudad los

llamados cenotes son, unos, naturales, pero otros son excavaciones artificiales que alcanzan la capa freática, abiertas con objeto de convertirlas en piscinas o albercas, o para extraer materiales de construcción (sascaberas). Los yucatecos afirman que el agua de los cenotes naturales permanece clara y dulce, mientras que en los artificiales es ordinariamente estancada y turbia.

Otros depósitos acuáticos que se encuentran en Yucatán son las aguadas, las sartenejas y las pozas. Las aguadas que varían en tamaño y profundidad (1 a 10 metros) son de aguas turbias más o menos cenagosas, ampliamente abiertas, y recubiertas, por lo menos en sus bordes, de vegetación emergente. El fondo es también cenagoso y no está en relación directa con el agua de profundidad. Algunas aguadas son quizá cenotes en un avanzado estado de evolución. Las sartenejas son huecos naturales existentes en las rocas y que en la estación lluviosa se llenan de agua de lluvia, la que se conserva durante algún tiempo. Las pozas (una de las más conocidas se encuentran en Telchac, al norte de Motul) son manantiales de agua dulce que emergen en la misma playa o mar adentro, al nivel aproximado de la baja mar. Algunos suponen que las pozas son la emergencia de ríos subterráneos que ponen en comunicación los cenotes unos con otros.

Atendiendo a su morfología los cenotes son de cuatro clases; a) En forma de botella, con boca reducida y anchura que aumenta gradualmente hacia el fondo. b) En forma de pozos amplios y cilíndricos, con paredes más o menos verticales. c) Cenotes en avanzado estado de desmoronamiento, con las márgenes inclinadas o desplomadas hacia el interior: la mayoría están secos o tan sólo se llenan de agua durante la temporada de lluvias. d) El cenote, tipo caverna, con entrada lateral y techo recubriendo la parte ocupada por el agua. La existencia de formas intermedias atestigua la evolución de los cenotes de un tipo a otro. En la región central de Yucatán, por ejemplo Chichén-Itzá, los cenotes corresponden a los tipos a) y b); en el camino de Mérida a Valladolid hay cenotes de los tipos b) y c). Los de Mérida y Motul corresponden al tipo d). El número total de cenotes en Yucatán es probablemente de varios centenares, pero los estudiados constituyen una pequeña fracción del número total.

Cole, en 1910, ha discutido el origen y la evolución de los cenotes. Supone que se formaron, una vez emergida la losa yucateca, por un proceso de disolución química de las calizas sumamente porosas y fisuradas. En esto se equivocó probablemente puesto que Davis, en 1931, ha indicado, a mi juicio acertadamente, que las cavernas se pudieron haber formado por solución bajo el agua o por erosión antes de que la penillanura hubiera emergido del nivel del mar. Muchos datos tienden a apoyar la idea de que las cuevas de Yucatán han comenzado a formarse mientras el terreno se hallaba todavía sumergido. En las paredes de algunas, como la de Sambulá, en Motul, las paredes de la cueva muestran los efectos de la erosión por la acción del oleaje a diferentes niveles durante el proceso de emersión de la tierra.

Después de examinadas las anteriores hipótesis y de haber estudiado personalmente numerosas cuevas y cenotes yucatecos, me inclino a pensar que estas estructuras comenzaron a formarse bajo las aguas del mar, a poca profundidad y por la acción simultánea de la erosión, debida al oleaje y la disolución química. Una vez emergida, la erosión fluvial, acaso menos intensa que la marina, y los procesos de disolución química evidentemente más acentuados, modificaron las oquedades subterráneas ampliándolas considerablemente. Por hundimiento del techo de las cuevas se formaron los cenotes.

Son muchos los que hablan de la existencia de un río subterráneo bajo el suelo de Yucatán. Creo que se debe substituir este concepto por el de circulación subterránea a través de las fisuras del subsuelo calizo y gracias a las cuales los cenotes, cuyo fondo se halla en contacto con la capa freática, comunican unos con otros, lo que explica la existencia de una circulación, probablemente lenta, a favor de la cual se han dispersado los animales que viven en los cenotes y en las charcas del interior de las cuevas.

Las cuevas de Yucatán han jugado también un papel de importancia en el desarrollo de la civilización maya, pues sirvieron como manantiales de agua, como abrigos y guaridas y como terrenos de caza.

Hay dos tipos de cuevas: las producidas por fallas y hundimientos y las originadas por el proceso de disolución química. El interés biológico de estas cuevas es grande por su población de animales troglófilos y troglógenos. Los troglobios, que son los que despiertan más curiosidad científica por hallarse excepcionalmente adaptados a la vida en la obscuridad y en las condiciones de ambiente húmedo de las cavernas, corresponden a dos grupos principales, a saber: artrópodos y vertebrados. Por lo que respecta a la fauna acuática merecen citarse dos especies de peces ciegos, un brotúlido (*Typhlias*) y un simbránquido (*Pluto*) y diversas especies de crustáceos anoftalmos. En cuanto a su origen, lo mismo que se observa en las cuevas de la región de Valles, en San Luis Potosí, unas especies tienen afinidades con formas que actualmente viven en el mar, al paso que otras están más relacionadas con tipos que desde hace tiempo se han establecido en la tierra firme. Las cuevas, los cenotes y las aguadas yucatecas merecen la más cuidadosa investigación.

## VIII. ANOTACIONES SOBRE HIDROLOGIA SANITARIA

Los cuatro grandes recursos naturales son el agua, el suelo, la vida vegetal y la vida animal. La prosperidad de un país y de una época resulta de la juiciosa utilización de estos cuatro recursos. Las esperanzas que pueden abrigarse de un futuro mejor dependen, en grado considerable, del modo y manera de aprovecharlos. Pero todavía hay una riqueza natural, a la que acaso podrá considerarse desusado que se la presente como tal: es el hombre. Gran constructor y gran destructor también, pero riqueza natural por su trabajo y actividad que importa sobremanera conservar y mejorar. Se acostumbra a hablar de estas riquezas naturales como si fueran cosas separadas y sin ninguna relación entre sí. Gran error, porque en la naturaleza constituyen un complejo único, con sus diferentes partes tan íntimamente ligadas, que cualquiera modificación en uno de sus elementos acarrea obligadamente mejor diríamos fatalmente, cambios y perturbaciones de variable índole e intensidad en todos los demás.

Ahora bien, lo importante no es la mera existencia de los recursos naturales sino su aprovechamiento. Esta utilización por el hombre y para el hombre es lo que les da valor y lo que contribuye al bienestar de sus usuarios. El hombre, por tanto, ha de considerarse como un recurso natural cuya preservación debe constituir la preocupación de todo momento. Y sin embargo, ¡con qué prodigalidad se derrochan las vidas humanas! No me refiero, aunque ello también tiene su importancia, a las guerras y conflictos entre las naciones sino más bien al inmenso caudal de vidas que se desperdician como consecuencia de la ignorancia y el abandono en que están sumidas las masas más retrasadas de la población; a la gran cantidad de seres humanos que perecen estérilmente como presa fácil de las deficientes condiciones higiénicas y alimenticias en que viven.

En alguna ocasión se ha expuesto en esta misma sala (y nuestro actual Presidente \* ha sido uno de los más valientes expositores, y digo valiente porque realmente se necesita valor para decir en tales casos la verdad) la tremenda realidad que nos muestra el elevado índice de mortalidad de la República y, dentro de él, la terrible cifra de la mortalidad infantil, en la que figuran como causa más importante las enfermedades de origen hídrico. Es a este aspecto sanitario del agua al que voy a referirme someramente para insistir, una vez más, en la necesidad imperativa que existe de suministrar agua potable, y pura, a una gran masa de la población que en la actualidad la está consumiendo en las más deplorables condiciones.

\* El Sr. Dr. Alberto P. León, Presidente de la Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística.

En efecto, el agua es el fundamental de todos los recursos naturales. Sin ella como es obvio, no podría existir la vida sobre el planeta. Por medio de su acción y con la ayuda de otros agentes, se forma el suelo laborable. El agua permite la absorción de los minerales del suelo por parte de esos magníficos laboratorios de transformación que son las plantas verdes. Es asombrosa la cantidad de agua que levantan los cultivos. El maíz, por ejemplo, para formar un kilogramo de materia seca en forma de granos, necesita alrededor de 500 litros de agua, todos absorbidos del suelo a través de su aparato radicular. El agua es el vehículo en que van disueltos los alimentos minerales, y una vez asimilados, retorna a la atmósfera en virtud del fenómeno de la transpiración que se ejerce principalmente en las hojas del vegetal.

Las aguas continentales, que en este momento aunque no sea siempre la verdad podemos considerarlas sinónimas de aguas dulces, constituyen un medio biológico de características peculiares, para el desarrollo de los seres vivos a ellas adaptados. Son numerosas las poblaciones y poblados que acuden a los ríos para el suministro de las aguas que necesitan para el alimento y los menesteres domésticos. ¿En qué condiciones se consumen estas aguas? El índice de mortalidad a que antes hemos hecho referencia suministra una elocuente respuesta a esta interrogación.

Unas aguas corrientes, por no poseer las condiciones mínimas de potabilidad, esto es, por contener materias orgánicas y un total de sustancias disueltas superior a 0.5 gramos por litro, debieran ser proscritas para el consumo. No obstante, en muchos casos y por imperiosa necesidad numerosos poblados mexicanos se ven obligados a abastecerse de las mismas. He aquí uno de los trabajos higiénicos de urgente ejecución: Clasificar, desde el punto de vista de la potabilidad, las aguas, sean de manantial, de pozo o de río que se emplean en la alimentación humana para proyectar los datos recogidos en un mapa que represente los diversos grados de dureza de las aguas en todo el territorio de la República, a fin de conocer lo que hay necesidad de corregir.

Con ser de importancia la potabilidad del agua todavía la tienen mayor sus condiciones higiénicas. No necesito,

por no ser del momento, detallar aquí las numerosas enfermedades y parasitosis cuyo agente causal o factor transmisor es propagado por el agua o tiene alguna relación con el agua que se consume en la satisfacción de las perentorias necesidades humanas o en el riego por aspersión de las legumbres y hortalizas.

La conversión de las aguas de excesiva dureza en aguas potables no presenta ninguna dificultad práctica, ni tampoco constituye un proceso caro. El empleo de sustancias correspondientes al grupo de las zeolitas permite, mediante un fenómeno químico de adsorción y de cambio de bases, eliminar la casi totalidad de las sales cálcicas y magnésicas responsables de un alto grado hidrotimétrico. En la actualidad no hay ninguna empresa industrial que, para evitar la formación de costras en sus calderas de vapor, no posea, caso de que el agua que consume tenga un contenido de materias sólidas en solución superior al conveniente, un dispositivo de purificación del agua gracias al cual se prolonga considerablemente la vida de las calderas. ¡Se protegen las calderas impidiendo en ellas el uso de aguas duras, pero nada se hace por preservar la salud y la vida de los habitantes del campo que no tienen más remedio que consumir el agua que tienen a su inmediato alcance!.

La depuración del agua ya no es un problema tan fácil como el anterior. De todos modos no es difícil velar por el cumplimiento de las disposiciones más elementales tendientes a impedir la contaminación de las aguas por las excretas procedentes de los centros de población o las aguas residuales que, sin preocupación alguna, vierten en los ríos importantes industrias que no piensan en que río abajo, semejantes nuestros se ven forzados a utilizarlas para subvenir a sus necesidades. He querido tocar someramente este aspecto sanitario de las aguas, abarcando su potabilidad e higiene, porque lo considero completamente obligado de todo estudio hidrológico del país y merecedor de la atención más decidida por los especialistas.

Apenas se ha hecho nada en México por estudiar las condiciones físicas, químicas y biológicas de las aguas corrientes. Alguna más atención se ha dado a la investigación de las aguas lacustres, A uno y otro estudio he contribuido con diversas aportaciones. Me ha interesado primordialmente el estudio de las comunidades biológicas existentes en algunos ríos, para deducir su productividad potencial. No he tenido oportunidad de desarrollar como quisiera estas investigaciones que debieran estar a cargo de los organismos oficiales, singularmente de los interesados por la piscicultura de aguas dulces. Por lo que respecta al plancton de los ríos mexicanos estudiados (Papaloapan, Lerma, Balsas, Pánuco, etc.) resulta que es más bien escaso, sobre todo en los de aguas turbias y de corriente rápida. No es cosa de citar aquí los resultados parciales adquiridos porque ello tiene mejor lugar en un estudio especializado. Sí nos interesa manifestar la conveniencia de que, al igual que en centros similares del extranjero, se implante en el plan de estudios sanitarios la enseñanza de Planctonología. El examen del plancton permite informar con rapidez de las condiciones higiénicas de las aguas, mediante los protozoos y las protofitas flagelados que contienen. Así, en general, se puede decir que no se conoce un solo grupo de organismos que, como conjunto, pueda ser utilizado como indicador de las condiciones sanitarias del agua. En cambio, ciertas especies individuales sirven a este respecto. Las Volvocales y las Euglenales indican contaminación con aguas residuales. En cambio, las aguas limpias suelen contener numerosas especies de Bacilariales y Cloroficeas.

Todavía es pronto para deducir conclusiones definitivas. Sin embargo, por lo menos para algunos sectores de los ríos mexicanos citados más arriba, las formas planctónicas señaladas, fáciles de identificar, cuando se presentan en abundancia permiten clasificar con exactitud el tipo de agua de donde han sido tomadas.

Otro problema hidrobiológico de considerable interés sanitario es el concerniente al paludismo. Por lo que se refiere a morbilidad, el paludismo es la enfermedad que en el mundo entero ataca mayor número de individuos. Constituye, por tanto, uno de los más graves problemas médicos de nuestro tiempo. De los diferentes medios preconizados para su combate es indudable que, aquellos en que se han gastado mayores sumas de dinero e invertido más tiempo y esfuerzos, han sido los de impedir o reducir la multiplicación de las larvas de los Anofelinos transmisores. En vista de que se conoce perfectamente la biología de muchas de las especies de mosquitos vectores de los hematozoarios del paludismo, parecería que la lucha contra estos agentes no debiera ofrecer ninguna dificultad, reduciéndose lisa y llanamente a la aplicación de alguno o algunos de los bien conocidos métodos de destrucción de los *Anopheles*, sobre todo los dos de uso más común, a saber, el drenaje de las zonas encharcadas y la aplicación de sustancias tóxicas tales como el Verde París y ahora el D.D.T. o de líquidos de alta tensión superficial como el petróleo. Allí donde se han aplicado apropiadamente estos métodos se obtuvieron excelentes resultados, pero por desgracia, hay extensas áreas endémicas en distintas partes del mundo en donde los mencionados métodos no son de aplicación por diferentes causas, la mayoría de índole económica. Así se explica que en muchos lugares el paludismo lejos de decrecer, esté en aumento.

Quedan como importantes otros medios de prevención y de lucha, sobre todo los que en conjunto reciben el nombre de métodos o medidas *simili-naturales*, que entran de lleno en el campo del hidrobiólogo y que no se acierta a explicar cómo no han sido atendidos desde hace ya mucho tiempo. Es posible que los médicos, una vez dilucidada la etiología del paludismo y la biología de los mosquitos transmisores hayan creído, desde luego

equivocadamente, que ya se sabía acerca de la enfermedad todo lo que tenían que saber y por consiguiente que cualquier investigación ulterior era innecesaria. De otra parte, ha resultado que la mayoría de los malariólogos no fueron ni son hidrobiólogos, ni siquiera naturalistas, y también que muy pocos han sido los hidrobiólogos interesados en cuestiones de paludismo.

En la parte sur del país y sobre todo en los declives de ambas Sierras Madres hacia el litoral, el estiaje reduce en proporciones considerables el volumen de las corrientes de agua, la que se inmoviliza o encharca en numerosos puntos, originando, allí donde se dan otras condiciones ambientales favorables, medios a propósito para el desarrollo de abundantes larvas de Anofelinos. Falta en absoluto por conocer las condiciones ecológicas de las charcas y otras colecciones acuáticas que son criaderos potenciales o actuales de mosquitos. Otro tanto sucede con las numerosas y extensas lagunas litorales, de aguas mezcladas y en las que viven preferentemente los *Anopheles* más temibles (*A. quadrimaculatus*) que vehiculan el agente causal de la terciana maligna.

De lo poco que hemos estudiado en diversas colecciones acuáticas de la zona arroceras de Miacatlán, en el Estado de Morelos, se ha notado una relación estrecha entre la presencia de larvas de Anofelinos y la existencia de una determinada flora planctónica. En cambio en las charcas o acequias con profuso desarrollo de algas (Desmidiaceas, Heterocontáceas y Cianofíceas) el desarrollo de las larvas de mosquitos es precario o nulo. Evidentemente las algas afectan el porcentaje del Oxígeno, del Anhídrido carbónico libre, así como el valor del pH del medio, lo que ejerce influencia decisiva sobre las larvas.

Para completar este breve capítulo de Hidrología Sanitaria se me permitirá hacer referencia al influjo que, en una mayor difusión del paludismo, puede ejercer la construcción de nuevos vasos artificiales y, en general, de las obras de riego a cargo de la Comisión Nacional de Irrigación. Estas obras no sólo modifican las condiciones hidrográficas de una localidad sino que, si no se atiende debidamente al problema entomológico sanitario que plantean, pueden favorecer el desarrollo de larvas de *Anopheles* en puntos con anterioridad libres de dichos mosquitos.

La inmensa mayoría de las nuevas vías de comunicación, en particular las carreteras, contribuyen asimismo a la difusión del paludismo. En lugar de ser aprovechadas para hacer desaparecer las hondonadas del terreno en las que, durante la época de lluvias, se acumulan las aguas, lo que hacen los constructores es crear, a derecha e izquierda de la nueva vía, profundos socavones que multiplican en grado extraordinario los medios favorables para el desarrollo de los Anofelinos. Recientemente he tenido ocasión de apreciar estos efectos censurables en el tramo final de la carretera de Huauchinango a Gutiérrez Zamora y Tecolutla, sobre todo entre estas dos últimas ciudades. A lo largo de varios kilómetros la carretera queda flanqueada por dos verdaderas ciénagas que se forman en la temporada lluviosa y en donde se crían en asombrosa cantidad los *Anopheles*. Ganaría evidentemente mucho la salubridad de la zona indicada, y como ella hay muchas en la República, si la construcción de ferrocarriles y carreteras se hiciera de tal modo que se impidiera el estancamiento de las aguas.

## IX. NOTAS BIBLIOGRAFICAS

### Capítulos II y III

Para la redacción de ambos capítulos se ha hecho un uso muy liberal de los datos acumulados por S. E. Meek, en su libro "The Fresh-Water Fishes of Mexico north of the Isthmus of Tehuantepec" (Publ. Field Columbian Mus., Zool. Ser., vol. V, pp. XLIII + 252, Chicago, 1904). Estos datos han sido complementados con los más recientes de C. L. Hubbs (numerosas publicaciones sobre la Ictiofauna continental mexicana, aparecidos principalmente en las Miscellaneous Publications y los Occasional Papers, del Museo de Zoología de la Universidad de Michigan) y de F. de Buen (consúltese, en particular, su "Ictiogeografía continental mexicana" que se publica en la Rev. de la Soc. Mex. de Hist. Nat. Tomo VII núms. 1-4, pp. 87-138, 1946), así como por observaciones, no publicadas, del autor.

### Capítulo IV

Véase el importante trabajo de P. Waitz, "Reseña Geológica de la Cuenca del Lerma" en el Bol. de la Soc. Mex. de Geograf. y Estadíst., Tomo LVIII, núms. 1-2, pp. 123-138, 1943.

## *Capítulo V*

Es conveniente consultar en relación con la materia tratada en este capítulo, la obra clásica de J. G. Aguilera "Sinopsis de Geología Mexicana" que constituye la segunda parte del "Bosquejo Geológico de México", publicado en 1896 por el Instituto Geológico de México. Asimismo la excelente síntesis de E. Ordóñez "Las Provincias Fisiográficas de México" (Rev. Geográf. del Inst. Panamericano de Geograf. e Hist., Tomo I, núms. 2-3, pp. 133-181, 1941). Es también de suma utilidad el "Resumen Geológico del Distrito Federal", edición mimeografiada del Instituto de Geología de la Universidad Autónoma de México, año 1939, así como la obra antes citada de S. E. Meek (1904).

## *Capítulo VI*

F. de Buen y B. F. Osorio Tafall han publicado diversos trabajos sobre lagos mexicanos. Para la obra del primero debe verse la bibliografía que acompaña a su "Limnobiología de Pátzcuaro" (Anal. Inst. de Biol. de México, tomo XV, nº1, pp. 261-312, 1944). Para la del segundo puede consultarse principalmente "Biodinámica del Lago de Pátzcuaro. I. Ensayo de Interpretación de sus relaciones tróficas", (Rev. de la Soc. Mexicana de Hist. Natural, tomo V, núms. 3-4, pp. 197-227, 1944).

El único trabajo publicado hasta la fecha sobre Paleoeología mexicana es el de E. S. Deevey, que lleva por título "Intento para datar las culturas medias del Valle de México mediante análisis de polen", aparecido en Ciencia, vol. IV, núms. 4-5, pp. 97-105, 1943.

Respecto a cambios del pH en aguas de ciertos lagos del país consúltese "Estudio químico de los lagos alcalinos. El origen del carbonato sódico" de que son autores F. Orozco y A. Madinaveitia, publicado en los Anal. Inst. Biol. de México, tomo XII, nº 2, pp. 429-438, 1941. Por lo que se refiere a condiciones ecológicas de algunos lagos alcalinos de México, véase "Rotíferos planctónicos de México, I, II y III", por B. F. Osorio Tafall, en la Rev. de la Soc. Mexicana de Hist. Nat. vol. III, núms. 1-4, pp. 23-79, 1942.

Un resumen sobre actividades relacionadas con la Hidrología en México, con el título de "Los Estudios hidrobiológicos en México y la conveniencia de impulsarlos", se debe a B. F. Osorio Tafall y está publicado en la Rev. de la Soc. Mexicana de Hist. Nat., Tomo V. núms. 1-2, pp. 127-153, 1944.

## *Capítulo VII*

Un excelente tratamiento general de los fenómenos cársicos se halla en la "Geomorphology" de O. D. von Engeln (edit. The Macmillan Co., Nueva York, 1942). Para la Hidrología en el Estado de San Luis Potosí debe ser consultada la publicación nº 56, del Inst. Panamericano de Geograf. e Hist. (1941), titulada "Estudios Hidrológicos en el Estado de San Luis Potosí" por los ingenieros Sres. V. Gálvez, A. Hernández y L. Blázquez. Véase también "Observaciones sobre la fauna acuática de las Cuevas de la Región de Valles, en San Luis Potosí, México", de que es autor B. F. Osorio Tafall (Rev. de la Soc. Mexicana de Hist. Nat., Tomo IV, núms. 1-2, pp. 43-71, 1943).

En los magníficos estudios debidos a A. S. Pearse y colaboradores, que llevan por título, uno, "The Cenotes of Yucatán. A Zoological and Hydrographic Survey", y otro, "Fauna of the Caves of Yucatán" que constituyen respectivamente las publicaciones núms. 457 (1936) y 491 (1938) de la Carnegie Institution, de Washington, se encuentra abundante bibliografía sobre las formaciones cársicas yucatecas. Hay también un trabajo, todavía inédito, de B. F. Osorio Tafall sobre "Cuevas y Cenotes de Yucatán".

## *Capítulo VIII*

Sobre recursos naturales de México y los problemas de su conservación disponemos de dos trabajos de mucha importancia, el de W. Vogt "Los Recursos Naturales de México. Su pasado, presente y futuro", inserto en el tomo II, pp. 5-102, de la Memoria del Segundo Congreso Mexicano de Ciencias Sociales (Soc. Mex. de Geograf. y Estadíst., México, 1946) y el de E. Beltrán, "Los Recursos Naturales de México y su Conservación", trabajo este último que forma el núm. 106 de la Biblioteca Enciclopédica Popular, editada por la Secretaría de Educación Pública de México, año 1946.

Acerca de la significación del plancton, en relación con las condiciones sanitarias del agua de los ríos, es de gran interés el estudio de J. B. Lackey sobre ese tema, publicado en las pp. 311-328 de "A Symposium on Hydrobiology" editado por la Univ. of Wisconsin Press, 1941. En cuanto a los problemas hidrobiológicos relacionados con el paludismo, conviene consultar "The Relation of Hydrobiology to the Malaria control", por L. T. Coggeshall, que forma las pp. 343-334 del mismo Simposio, citado anteriormente.