

SECRETARIA DE INDUSTRIA COMERCIO Y TRABAJO

DEPARTAMENTO DE EXPLORACIONES Y ESTUDIOS GEOLOGICOS

JEFE DEL DEPARTAMENTO Y DIRECTOR DEL INSTITUTO GEOLOGICO, ING. JUAN D. VILLARELLO

110.

ANALES

DEL

INSTITUTO GEOLOGICO DE MEXICO

TOMO II. NUMEROS 1 2 Y 3



TALLERES GRAFICOS DE LA NACION

MEXICO.-1925

APUNTES PARA LA HIDROLOGIA DE LA REGION SUD-ORIENTAL DEL ESTADO DE QUERETARO

POR HERIBERTO GAMAGHO

INTRODUCCION

Los vecinos de varias localidades del Estado de Querétaro, se dirigieron en distintas fechas del año anterior, al Gobernador del Estado, para que, por su mediación oficial, solicitara de la Secretaría de Industria, Comercio y Trabajo, se emprendieran estudios hidrológicos en aquellos lugares, por una comisión del Departamento de Exploración y Estudios Geológicos. El jefe del Departamento tuvo a bien nombrarme para desempeñar ese delicado encargo. Tres eran las solicitudes que debían atenderse, a saber: de los vecinos de la villa Ezequiel Montes (antes Corral Blanco), Distrito de Cadereyta, que carecen de agua para sus necesidades domésticas; de los vecinos del Pueblito, cercano a la ciudad de Querétaro, que piden se les aconseje la obra de captación más eficaz para disponer de un caudal de agua suficiente para el riego de 180 hectaras de terreno, y finalmente, los vecinos de la ciudad de San Juan del Río hacen la misma demanda para evitarse el consumo de energía eléctrica que hoy emplean para extraer el agua de las norias que destinan el riego del extenso valle de San Juan del Río.

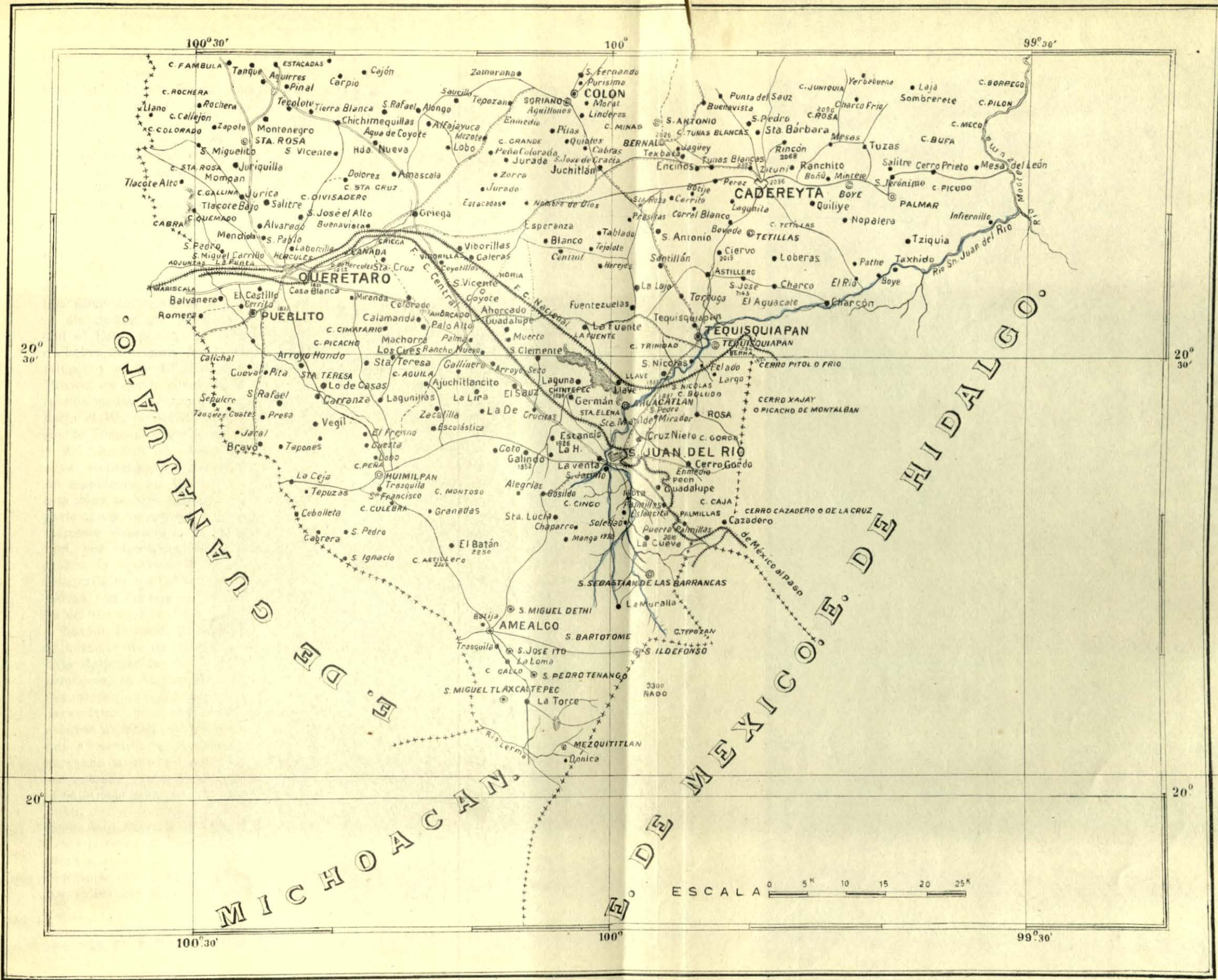
Los puntos mencionados: El Pueblito, San Juan del Río y Ezequiel Montes, forman sobre el terreno un triángulo cuyos lados son poco más o menos de 50 kilómetros; no podía hacerse en cada lugar un estudio aislado que abarcara una área relativamente pequeña, porque además de no resolverse en esta forma nada concluyente acerca de la hidrología subterránea de estas localidades, es imposible desligar o desmembrar un todo físico desde el punto de vista geográfico y

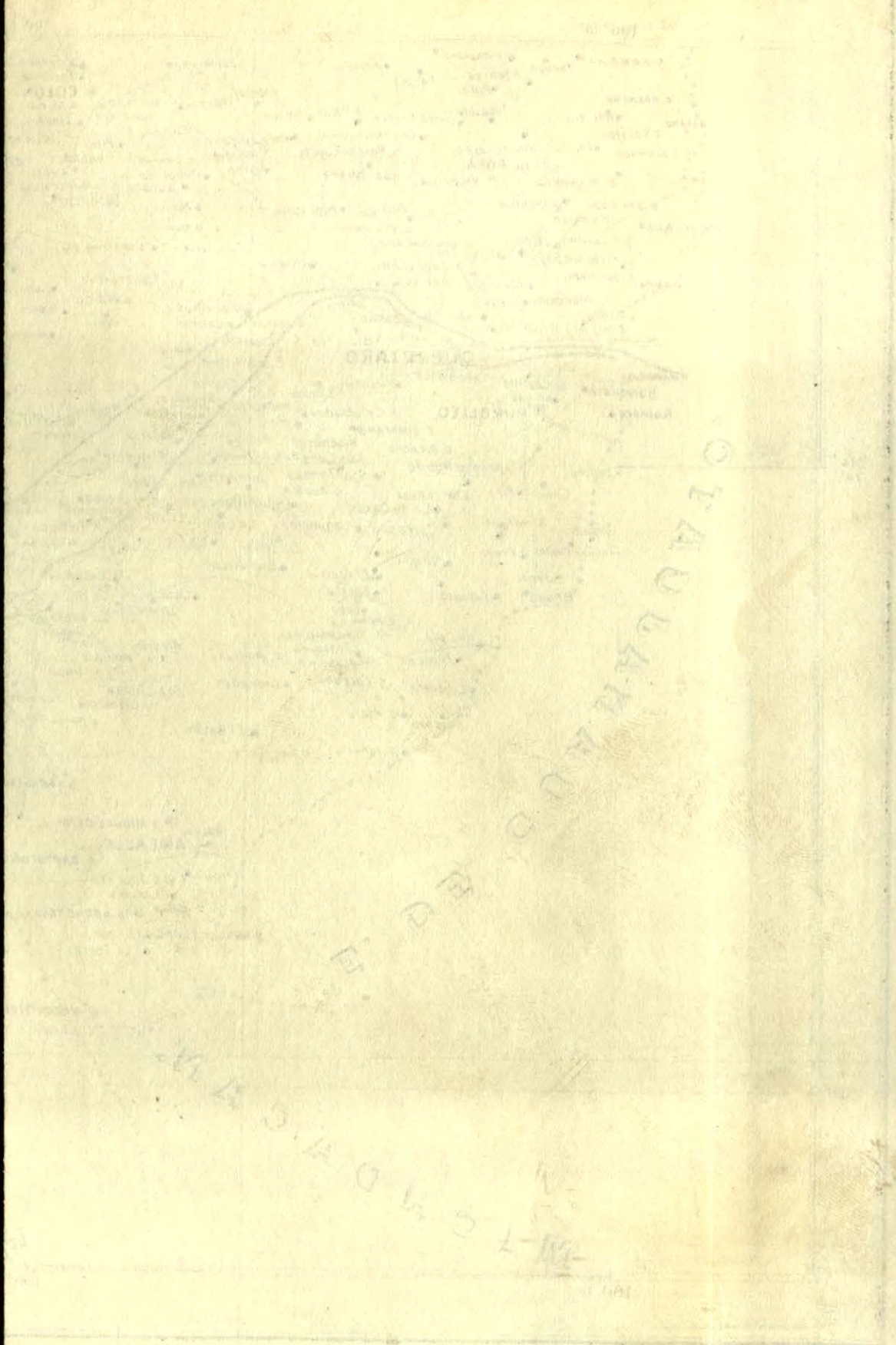
geológico, cuya unidad se revela por detalles importantes que se mencionarán en este escrito. Por esta circunstancia tuve que recorrer la extensa área contenida en este triángulo y limitaré mis descripciones y conclusiones a las regiones meridional y sub-oriental del Estado de Querétaro, en una extensión aproximada de 2,400 kilómetros cuadrados, comprendiendo en ella el Distrito de San Juan del Río y parte de los de Amealco y Cadereyta.

CAPITULO I

Situación Geográfica.—Línea divisoria de las vertientes oceánicas en la parte meridional del Estado de Querétaro.

El Estado de Querétaro (lám. I), es una faja territorial de anchura media de 74 kilómetros, y de longitud aproximada de 165 kilómetros, que se orienta según su mayor dimensión de SW. a NE., y ocupa el centro del país. Su mitad meridional la forman políticamente los Distritos de Amealco y San Juan del Río, y éste y el de Cadereyta, su parte sub-meridional. Se caracteriza la región que vamos a describir y que queda comprendida entre los paralelos $22^{\circ} 02'$ y $21^{\circ} 07'$ y los meridianos $0^{\circ} 15'$ y $1^{\circ} 15' W.$ de México, por contrastar con su relieve suave y de planicies dilatadas, con la parte boreal del Estado, de relieve rugoso y pronunciado, ocupado por la sierra queretana, que territorialmente pertenece a los Distritos de Tolimán y Jalpan. La parte pla-





ANTIQUE

S. M. D. S. L.

ANTIQUE

S. M. D. S. L.

na del Estado de Querétaro contiene dentro de su área la línea orográfica de más alto relieve o de perfil máximo que divide las vertientes del Pacífico y del Golfo de México: efectivamente, al SW. y NW. de esta línea, descienden las corrientes torrenciales y las permanentes que tributan sus aguas a la cuenca hidrográfica del río de Lerma, y al E. de ella se forman las corrientes superficiales tributarias de la cuenca del río de San Juan, o río Moctezuma, tronco principal del río Pánuco.

Esta línea orográfica se interna por el Sur en el Estado de Querétaro y con una dirección media de Sur a Norte, hace un zig-zag que presenta su concavidad al Este; penetra al Estado después de haber atravesado los Distritos de Jilotepec y el de El Oro, del Estado de México, en donde conserva la misma dirección media, presentando su concavidad hacia el W., es decir, hacia el curso del río de Lerma; dejando, por tanto, al S. y SE., la zona de Acambay-Tixmadejé, cuya importancia sismotécnica quedó de manifiesto en 1912 (1). Dentro de esta zona se hizo notar la existencia del parte-aguas continental, y desde ahí tomaremos el principio de nuestra descripción, por ofrecernos esta vecindad geográfica la oportunidad de relacionar la fisiografía de los valles tributarios del río Lerma, con los que pertenecen a la cuenca del río de San Juan.

Cuando la cresta continental atraviesa el Distrito de Jilotepec, es un lomerío bajo desprendido de la sierrita, apenas montuosa, de San Andrés Timilpan, pero esa altura insignificante es suficiente para dividir la cuenca del Lerma de los arroyos anónimos y de fuerte pendiente que alimentan la laguna de Huapango, surcando la enorme llanura pantanosa de ese nombre y que puede definirse como el valle más alto que drena el río de San Juan. Así se establece la división de las aguas superficiales sin tener a la vista una cumbrera abrupta ni de flancos pendientes, sino una cadena de cerros arredondados y de poca altura con respecto a los valles que separan. Avanzando esta

línea hacia el N., tuerce su curso hacia el W., en el aparato volcánico andesítico del cerro de La Manga; desde ahí, a 90° con respecto a su dirección anterior, se prolonga según el eje montañoso: monte de Arroyo Zarco, Acambay, Dongú, Tixmadejé-Colmilludo, ya conocido por sus manifestaciones sismogénicas. Esta brusca deflexión de 90° al W., de la cresta continental, aloja en su concavidad meridional al valle de Acambay, en cuyos aluviones se asienta el pueblo del mismo nombre, al pie del escarpado alineamiento, que es al mismo tiempo que *cicatriz reveladora* de los procesos orogénicos de esa región, una porción del parte-aguas continental, en una longitud de 50 kilómetros y orientada de W. a E., en el sentido en que la describimos. La fisiografía de ella es típica: abrupta al Sur, descendiendo al valle por terrazas escalonadas y limitadas por cejas acantiladas de labradorita; mientras al Norte los declives son suaves y se forman mesetas inclinadas desprovistas de vegetación arborescente y cubiertas de pasto. Desde la altura de 3,300 metros sobre el nivel del mar, descienden estas lomas hasta los primeros arroyos torrenciales que son afluentes del río Prieto o de Nadó. Llegando a Tixmadejé la línea orográfica cambia su dirección al NW., y después al N., por los cerros de Botí o de las Palomas, el del Agostadero hasta Dolores Nadó, que es una serranía cuyo eje se orienta de SE. a NW., para unirse con el núcleo montañoso de San Juan Dehedó en terrenos del Distrito de Amealco; después, con igual dirección, coincide con la línea limítrofe entre los Estados de Michoacán y Guanajuato, al W., y el de Querétaro al E. La línea divisoria está formada por un lomerío de formas arredondadas en que la erosión degrada rápidamente las tobas riolíticas rojizas y poco coherentes, que forman en la cumbrera depresiones ligeramente cóncavas como la de La Botija en la loma del Aguacate en la hacienda del Batán, en donde se encuentran las cabezas de los arroyos que forman el río de Galindo, y que son alimentados por manantiales de poca importancia.

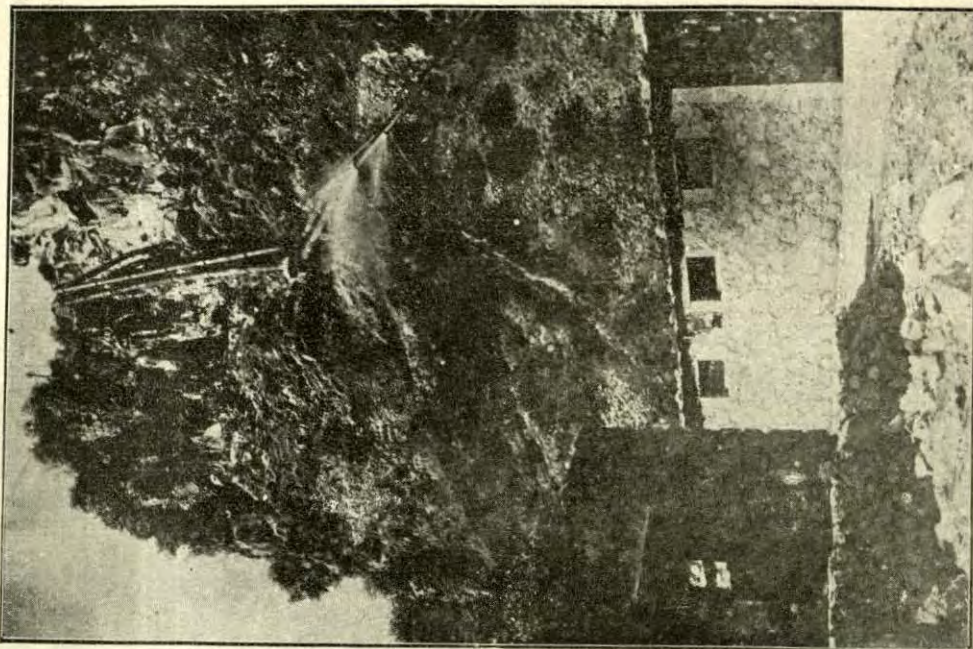
En la loma del Aguacate se levanta la línea del perfil más elevado del parte-

(1) Boletín del Instituto Geológico de México. Núm. 32. F. Urbina y H. Camacho.

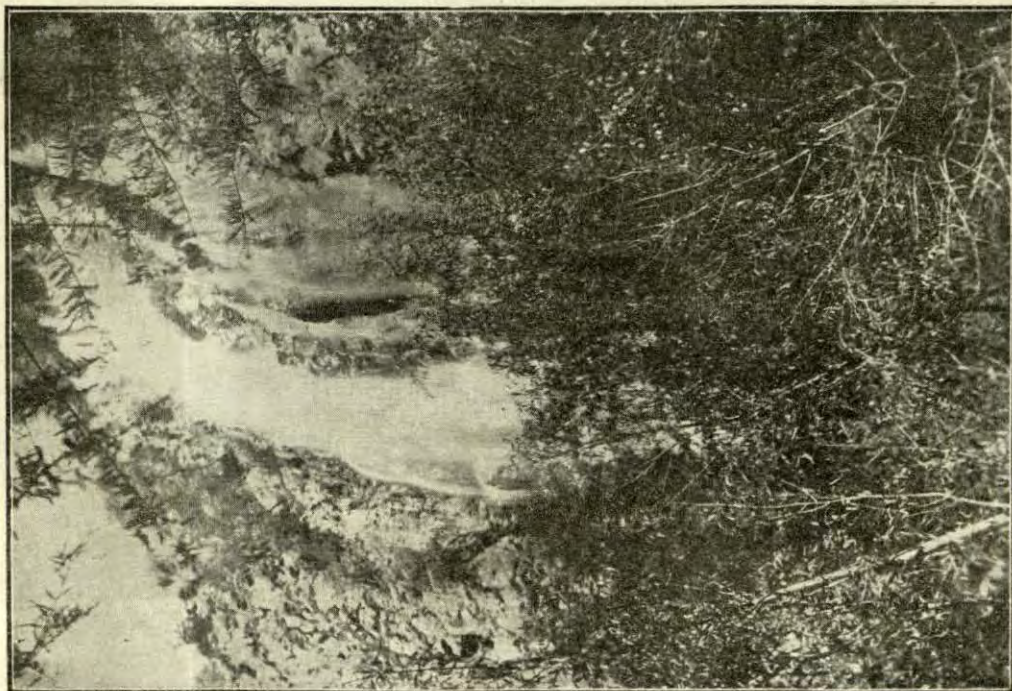
aguas, y en las cumbres riolíticas del Pinal del Batán se inicia un ascenso más brusco hasta los picachos más altos del Artillero (3,300 metros); la cumbre se continúa con los nombres de La Piedra Agujereada, Puerto de la Víbora, el Cuate, La Loma de la Iglesia Nueva y el cerro del Morillo. Entre los dos últimos descendiendo el arroyo de la Cueva, tributario del río de Galindo, que a su vez lo es del río de San Juan. El cerro del Morillo pertenece a la unidad montañosa llamada sierra de Galindo, enorme macizo disecado por la erosión de una manera profunda, cuyo eje se orienta de SE. a NW., sirviendo de límite entre el valle de Huimilpan y el de San Juan del Río. Los principales picachos de esta línea de alto relieve son: El Montuoso, San Mateo, La Cruz, La Campana, Las Zúñigas, etc.; en sus faldas orientales se escalonan mesas planas y extensas, desde la hacienda del Batán hasta la hacienda de Galindo. Queda al NW. de la sierra de Galindo el valle encajonado y estrecho que ha labrado el río de Huimilpan, que tributa sus aguas al río de Querétaro y que por tanto, pertenece a la cuenca hidrográfica del río Lerma. Del lado oriental de esta porción del parte-aguas continental se encuentran las haciendas de Galindo, Lira, La D y Escolástica, en donde nacen pequeños arroyos alimentados por escasos manantiales y que pertenecen a la cuenca hidrográfica del río de San Juan. Después de este accidente orográfico notable, se verifica en la directriz de la línea orográfica, una depresión en altura para ligarse con los cerros de Ajuchitlancito en terrenos de Lira, y después a los de los Cúes, Santa Teresa y la Machorra; la línea sufre una deflexión hacia el NE. y se continúa por los cerros de poca altura de Medina en la hacienda de Miranda y del Colorado, desde este lugar y al Oriente, la línea divisoria de las vertientes oceánicas deja, al Norte la cuenca del río de Querétaro y al Sur la del río de San Juan, es apenas perceptible, pierde todo su relieve y aparece como un caballete de poca altura y de taludes tan suaves, que se necesita

observar con cuidado el curso del agua en los canales y zanjas para adquirir el conocimiento de la localización de esta línea divisoria, que al fin levanta su relieve ligándose con las eminencias aisladas de Coyotes y Coyotillos, para unirse con el apéndice montañoso de Navajas, desprendimiento del gran nudo montañoso del Pinal de Zamorano que se levanta en el centro del Estado de Querétaro. Desde ese núcleo orográfico, la cumbre continental tiene una dirección de S. a N., para internarse en el Estado de Guanajuato, quedando al W. los cursos de aguas que descienden al valle de Querétaro, y al E., los tributarios del río de Tolimán, afluente del río Moctezuma. Pero el hecho notable es la partición de las aguas entre los valles de Querétaro y de San Juan del Río, partición imperceptible a la simple vista, que deja al N. terrenos de las haciendas de los Cúes, Colorado, La Piedad, Jesús María, Coyotillos y La Griega; y al Sur, parte de la hacienda de El Ahorcado y en su totalidad Viborillas, Galeras y Esperanza.

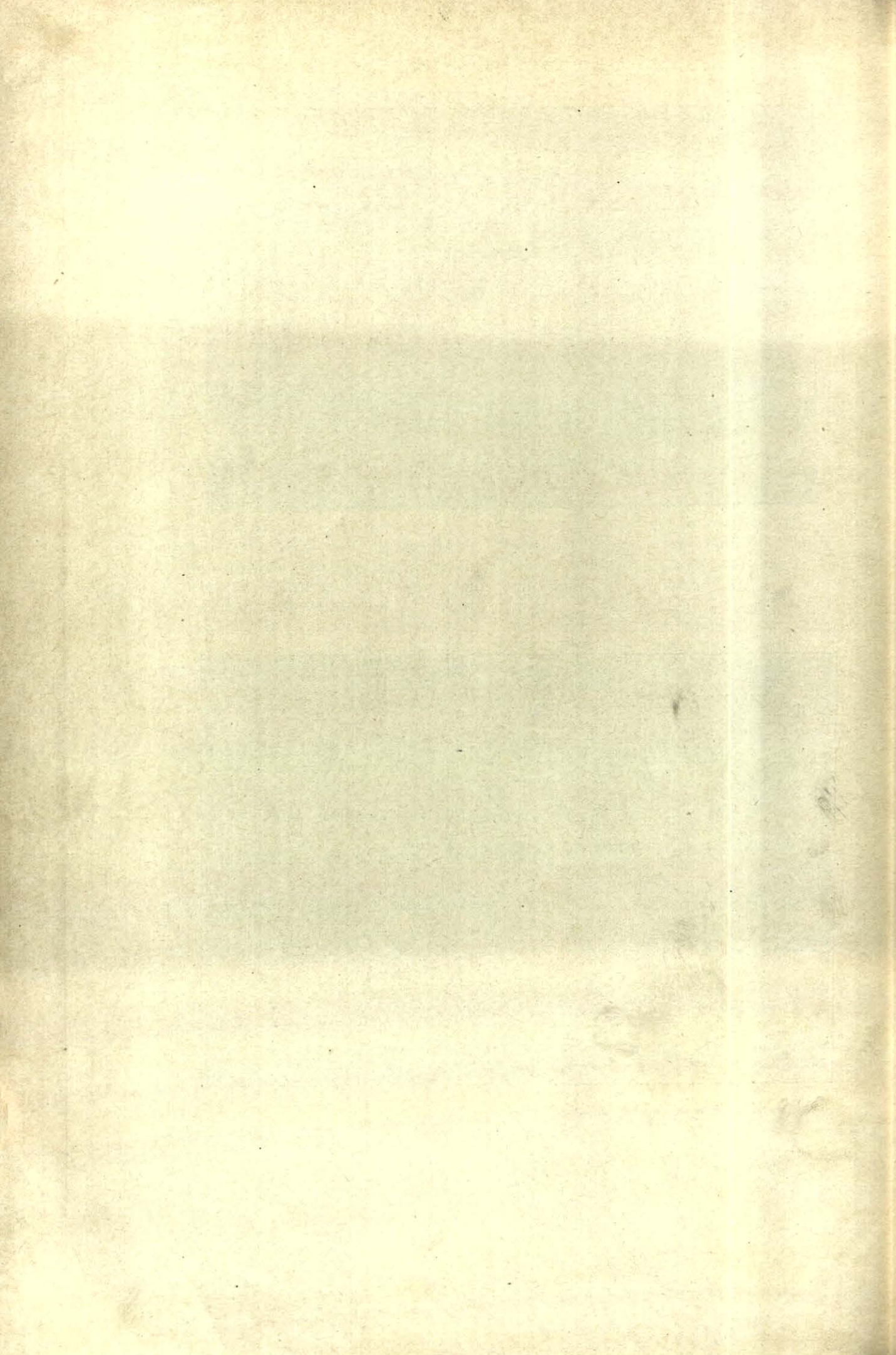
En resumen, la línea divisoria de las aguas superficiales atraviesa la mitad meridional del Estado de Querétaro, con una inclinación media de S. a N.; penetra por el Estado de México, sirve de límite entre el Estado de Querétaro y los de Michoacán y Guanajuato, y se interna en este último. De San Andrés Timilpan al Pinal de Zamorano presenta inflexiones, de las cuales la más austral, aloja en su seno los valles drenados por el río Lerma; y después de recobrar su dirección SN., aloja en su concavidad oriental las fuentes del río Moctezuma y el extenso valle de San Juan del Río. En altura, esta línea no alcanza grandes proporciones con respecto a los valles que separa. Sus accidentes más elevados no llegan a 3,400 metros de altura absoluta. A veces está formada por cumbres abruptas y montuosas, como en Nadó, Galindo y el Pinal de Zamorano, o bien por caballetes de relieve insignificante que confunden su hipsometría con la de los valles separados.



Fot. núm. 2.—Tubercia de llegada a las turbinas de la planta hidroeléctrica.



Fot. núm.—1.—Caída de Agua en la Planta de las Rosas, Río de San Juan, Qro.



CAPITULO II

El río San Juan del Estado de Querétaro.—Sus caracteres geográficos generales.—Su aprovechamiento y sus recursos industriales.

El río de San Juan, que aguas abajo se conoce con el nombre del río Moctezuma, es uno de los troncos principales del río Pánuco, que desemboca en el Golfo de México. Si en relación con la línea orográfica principal del relieve continental, dentro del Estado de Querétaro, se consideran las corrientes que la drenan, se notará lo siguiente: los tributarios del río de San Juan que nacen en las vertientes orientales de este zig-zag orográfico ya descrito, toman direcciones paralelas desde sus respectivos nacimientos hasta formar el tronco principal o thalweg general; esa dirección común es de SW. a NE. El afluente meridional del río de San Juan, nace en la laguna de Huapango con el nombre de arroyo Zarco o río Blanco; y de las vertientes septentrionales de la línea oro-tectónica Acambay-Tixmadejé y de los flancos abruptos de Ñadó, se forma el río de ese nombre o río Prieto. Corre el río después de la confluencia de ambos en un cauce profundo y encajonado para llegar al valle amplio y asimétrico de San Juan del Río, en donde siendo menor la pendiente, su curso divaga depositando arena en su lecho, hasta llegar a Tequisquiapan para encajonarse nuevamente entre un doble muro de riolitas; profundizando más y más su cauce hasta Patché, antes de recibir por la derecha las aguas del Tula y por la izquierda las aguas de la serranía del Doctor. El río de San Juan es el más meridional de los que drenan el suelo del Estado de Querétaro en los Distritos de Amealco, San Juan del Río y Cadereyta; y en el tramo señalado, Huapango-Patché, drena llanuras amplias, situadas a distintas elevaciones absolutas: ya cenagosas y altas, como Timilpa y Huapango; rocosas, coherentes, resistentes a la erosión y escalonadas, como las que se encuentran en el flanco oriental de la sierra de Galindo; o planos extensos, de suave pendiente, ricos por el espesor y la calidad de sus tie-

rras vegetales, como el llamado "Plan de San Juan del Río," o planicies áridas, arenosas y estériles, de pendiente más acentuada, tales como la de Corral Blanco o Ezequiel Montes, que se extiende desde el pueblo de Bernal hasta Tequisquiapan. Pero si por la izquierda la área drenada es considerable en extensión, por la derecha, tiene otros caracteres: el drenaje es rápido, torrencial; el río ha encontrado su camino de mínima resistencia al pie de los lomeríos que al Sur limitan el valle de San Juan del Río, y en las faldas escarpadas del Mastranzo y del cerro del Mercader, y continuando su curso con el trabajo erosivo intenso, ha ampliado pequeñas vegas ligadas entre sí por tramos en que el río se encajona. Esa sucesión de vegas forma un rosario de valles pequeños, en los que el depósito de humus y el clima templado de ese cañón, permiten algunos cultivos como pasa en las Rosas, Yextó y Mothó.

El río de San Juan drena la mitad meridional del Estado de Querétaro, denominada comúnmente "El Plan;" mientras que la otra mitad del Estado, la de relieve fuerte y contrastado, es tributaria del río de Tolimán, que nace al E. del Pinal de Zamorano y al N. del Pico de Bernal; recibiendo tributarios de las vertientes septentrionales de la barrera montañosa que circunscribe la cuenca cerrada del valle de Cadereyta de Montes (antes de Méndez). El Tolimán, como el río San Juan, corre de SW. a NE., y con el nombre de Extorax se une al río Moctezuma.

El que exploramos fué el río San Juan, por pertenecer a la zona que hidrológicamente daremos a conocer.

Creemos que el estudio de los ríos merece especial atención porque sus aguas son más fáciles de captar que las aguas subterráneas; y porque las leyes dinámicas que gobiernan sus cursos son más sencillas y mejor conocidas. Los ríos son los agentes de una buena parte de la riqueza de muchos países; la densidad de la población aumenta considerablemente a lo largo de los ríos, porque establece líneas de fácil comunicación y desarrollan el progreso industrial. Los ríos son, dice D. W. Mead, "líneas de míni-

ma resistencia para la colonización y para la exploración."

El río de San Juan con algunas obras que a su paso se han hecho, dista mucho de dar su rendimiento máximo en provecho de la industria y de la agricultura. Exploramos el río en una longitud de 157 kilómetros (lám. II), de sus fuentes principales a los baños de Tzi-Patehé (Patehé Chico). Para facilitar su descripción, seguiremos sus accidentes río arriba de Tzi-Patehé, es decir, recorreremos el tronco principal que sirve de límite natural entre los Distritos de Cadereyta, Qro., y Huichapan, Hgo., hasta las bifurcaciones y ramificaciones de sus afluentes, como si describiéramos un árbol principiando por el tronco y terminando por sus raíces de segunda y tercera categorías. El tramo estudiado queda dividido naturalmente en tres porciones o regiones, de las cuales nos ocuparemos por separado; decimos que esta división es natural y no convencional porque obedece a razones físico-geográficas:

1.^a Sección o cuenca de drenaje, Tzi-Patehé-Tequisquiapan-La Llave.

2.^a Sección, La Llave, confluencia de los ríos Nádó o Prieto y Arroyo Zarco o Río Blanco.

3.^a Sección, de la confluencia citada a las vertientes septentrionales del alineamiento orográfico Acambay-Tixmadejé; es decir, la cuenca de drenaje de montaña comprendiendo la descripción de las cuencas altas y planas como Huapango.

Primera sección

Dentro de ella el río tiene un desarrollo aproximado de 50 kilómetros con un rumbo medio de S. 60° W., a N. 60° E., desde su salida del valle de San Juan del Río. Al atravesar los terrenos de la hacienda de La Llave serpentea en numerosos meandros y es interrumpido su curso por las presas de enlame o de inundación. Empieza a definir mejor su curso después de recibir por la izquierda en el punto llamado Rincón de Lora, las aguas del río Viejo, el que a su vez apenas señala su curso porque está interrumpido por una sucesión de depósitos artificiales que descargan unos en otros, almacenando por algún tiempo las aguas de los arroyos de La Culebra y del Caracol. El río

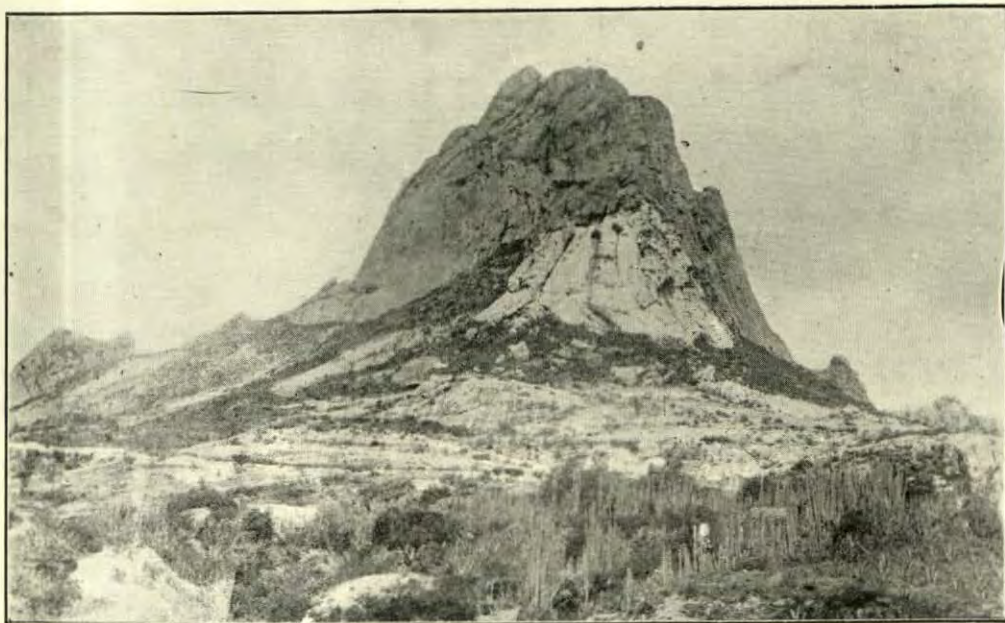
de San Juan pasa de La Llave a San Nicolás y en su margen izquierda se asienta la villa de Tequisquiapan, a 17 kilómetros de Rincón de Lora, después faldea el cerro de Mastranzo o de Santa Rosa y el cerro del Mercader, que se levanta en su margen derecha, y encajona su cauce entre éstos y el cerro de La Sanguijuela, en el lugar llamado El Salitriño, y entre los cerros de Sombrerete y Mercader se localiza el cauce entre un doble muro de acantilados riolíticos, y llega al lugar llamado Paso de Tablas, situado a 10 kilómetros al NE. de Tequisquiapan. El río sigue profundizando su cauce al pasar por el Campo del Diablo, en donde recibe, por la derecha, el arroyo del Muerto, pasa después por la Angostura y el Aguacate, en terrenos de la hacienda Grande y de San Joaquín, hasta llegar a Las Rosas, en donde las murallas riolíticas que lo encajonan y que miden más de 100 metros de altura, se interrumpen bruscamente, abriéndose un pequeño valle, una verdadera vega de buenas tierras de labor. A partir de ahí vuélvese a encajonar en un cañón estrecho y profundo que de tramo en tramo se amplía para formar pequeños valles bien abrigados por altos muros riolíticos; los principales son los del Charcón, Xexthó, y Tzi-Patehé. Este último punto, sobre la margen derecha del río, está a 50 kilómetros del Rincón de Lora, esto es, a 33 kilómetros de Tequisquiapan y al N. 55° E. del pueblo de Tecozautla, del Estado de Hidalgo. El valle de Tecozautla es tributario del río de San Juan y descende hacia el thalweg con fuerte pendiente.

La sección descrita es interesante por las siguientes razones; por ser un corte natural muy profundo hecho en la región ocupada por rocas eruptivas; por la misma profundidad del cañón del río de San Juan, se ponen de manifiesto las formaciones riolíticas desde Tequisquiapan a Tzi-Patehé.

Desde el punto de vista hidrológico esa profundidad lo define como el dren natural de las aguas superficiales y de las aguas subterráneas y profundas y que se infiltran en los valles tributarios que pertenecen a esta cuenca hidrográfica. Además, en Tequisquiapan y en Tzi-Patehé, el thalweg es el sitio, como veremos



Fotografía número 3. Presa de San José, en el río de San Juan, Qro.



Fotografía número 4. Peña de Bernal, Qro.

después, de emergencia de manantiales termales, ligeramente mineralizados. Desde el punto de vista geográfico podemos decir que en este tramo el río hace un trabajo erosivo intenso, tanto por la pendiente de su curso como por la forma de la sección transversal del cañón; y que este tramo es muy alto con respecto a su nivel de base.

Las áreas que drena por la derecha, son las vertientes septentrionales del Mastanzo y del cerro de Mercader, este drenaje es torrencial; por la izquierda recibe las aguas superficiales del valle de Corral Blanco o Ezequiel Montes, el thalweg de este valle apenas se marca sobre el terreno, pasa por la hacienda de Santillán y después por Tequisquiapan. Recibe las aguas de Tetillas y El Ciervo, que conduce el arroyo de San José; y adelante recibe el drenaje de una serie de valles orientados paralelamente de W. a E., y separados por macizos abruptos y alargados que se inician en el borde septentrional del valle cerrado de Cadereyta, hasta la serranía del Doctor. Estos macizos son el Mintejé (Punta de Espina), El Palmar, El Socavón, en la hacienda de Cerro Prieto y el cerro del Bancó. Estos macizos se interrumpen bruscamente al Oriente, dando paso al río de San Juan.

Finalmente del Rincón de Lora a Tzi-Patehé, el río es de importancia industrial. La Compañía Hidroeléctrica Queretana, S. A., ha construido dos presas, la del Centenario, que se encuentra entre Tequisquiapan y la hacienda de San Nicolás, que almacena veintitrés millones de metros cúbicos, y la de Paso de Tablas, que almacena doce millones de metros cúbicos; aquélla descarga el agua en ésta sirviendo de canal el mismo cauce del río. (Los detalles técnicos de las presas no es necesario mencionarlos aquí.) De la presa de Paso de Tablas sale el canal de derivación que conduce, además de las aguas que provienen de la del Centenario, el gran contingente de los manantiales de Tequisquiapan (590 litros por segundo). En su principio el canal se apoya sobre la ladera escarpada de la derecha del río, y después de 400 metros de desarrollo, el acueducto atraviesa el río en una arquería de 18 metros

de altura y apoyado ya en el muro izquierdo del profundo cañón, sigue con un desarrollo de 13 kilómetros, pasando bajo 39 túneles y llega al tanque regulador, situado arriba de la planta hidroeléctrica de "Las Rosas;" la sección del canal es de 1.70 metros por 1.10 metros, con un gasto medio de 1,300 litros por segundo y una pendiente media de uno al millar. Para tener una idea del gasto de los manantiales de Tequisquiapan, bastará decir que para alimentar la planta de "Las Rosas," la presa del Centenario pierde en 24 horas una lámina de agua de un centímetro de espesor; y en igual tiempo la del Paso de Tablas pierde una lámina de agua de 3 centímetros de espesor; incluyendo en estas pérdidas las de evaporación en esos vasos. Los manantiales de Tequisquiapan suministran el 45% del gasto del canal de derivación. Inútil es decir que en el estiaje permanece seco el lecho del río en el tramo Paso de Tablas a "Las Rosas." (Fots. 1 y 2.) En este tramo la diferencia de nivel entre el embalse superior de la presa de Paso de Tablas y la entrada del agua a las turbinas de la planta hidroeléctrica, es de 125 metros. Trabajan en la planta tres turbinas de 600 H. P. cada una y suministra luz y fuerza a Tequisquiapan, San Juan del Río y Querétaro; y con subestaciones en el "Plan de San Juan del Río," proporciona la energía para el bombeo en los pozos de numerosas haciendas. El caballo de fuerza anual con consumo de 24 horas por día, cuesta \$140.00 mexicanos. Es de desearse la ampliación de las obras hidráulicas para reducir el costo de la energía eléctrica indispensable para la irrigación y el desarrollo de las industrias agrícolas en el valle de San Juan del Río. Por ahora la demanda de energía es excesiva.

Segunda sección

Esta se caracteriza por drenar, por su izquierda el área extensa del valle de San Juan del Río, ocupado por los terrenos de labor de las haciendas más productivas del Estado; y por su derecha, los llanos altos de la hacienda de Cazadero, que en fuerte pendiente se inclinan hacia

el thalweg. En el Rincón de Lora de la hacienda de la Llave, el río de San Juan recibe las aguas del río Viejo, que desde el principio de la temporada de lluvias, son detenidas en lo que se llama ahí "presas de enlame," después de haber humedecido las tierras, se les dá salida para que ocupen otros vasos artificiales más bajos; de esta manera no solamente se humedecen profundamente las tierras, sino que en ellas hay un depósito de materias fertilizantes que facilitan la cosecha del trigo, el maíz y el camote; a estas tierras de inundación les llaman "tierras de jugo." Estos depósitos forman un verdadero rosario que marca el paso del río Viejo en una planicie ligeramente inclinada, siendo el último vaso antes de que el río Viejo vierta sus aguas en el de San Juan, La Presa Vieja o de La Purísima. Las presas de inundación de la hacienda de La Llave ocupan una superficie de 11,315,100 metros cuadrados y con una capacidad de almacenamiento de 14,475,450 metros cúbicos. Se cuentan 65 de estos vasos artificiales. Sigamos al río Viejo en su desarrollo y bifurcaciones, aguas arriba del lugar descrito; a unos cuatro kilómetros de la confluencia se bifurca; la rama septentrional es el arroyo de La Culebra, y la del Sur, el arroyo del Caracol. El primero sufre una bifurcación; una rama se desprende al Norte y es el arroyo de Ajuchitlancito, y la del Sur, es el arroyo de la hacienda de la "D." Todos estos arroyos nacen en las vertientes orientales de la sierra de Galindo. Los manantiales más notables que sirven de fuentes a estos arroyos son los de Ajuchitlancito y los de Escolásticas.

El arroyo del Caracol, aguas arriba de su confluencia con el de la Culebra, se bifurca también en dos arroyos: el de Galindo y el de la hacienda de la "H." A su vez, cada uno se ramifica, el primero para recibir las corrientes torrenciales que surcan el macizo de Galindo, como son: la barranca de los Zúñigas y los arroyos del Agua Fría, Agua Dulce y el arroyo de la Cueva, haciendo así el drenaje de las mesetas llamadas: Puerto de Alegrías, Cara de Palo y Paso de las Vigas.

El arroyo de la "H" se alimenta de

los arroyos del Tule y del Aguacate, que descienden del lomerío montuoso de El Batán, del arroyo Hondo, que por Amealco desciende de San Juan Dehedó y del lomerío de San Martín y de San Miguel Dethí.

El área drenada por el río Viejo, afluente del San Juan, alcanza la superficie de 970 kilómetros cuadrados. Si seguimos ahora el curso del San Juan, desde Rincón de Lora hasta la ciudad de San Juan del Río, esto es, en 14½ kilómetros, veremos que lleva la misma dirección media que le hemos asignado: y como accidentes notables, sólo es de mencionarse la afluencia que hace por la margen derecha un arroyo que desciende de los llanos del Cazadero; éste está captado en su mayor parte por bordos artificiales que impiden que el contingente de este tributario del río San Juan sea tomado en consideración.

Al llegar a San Juan del Río, población de 7,000 habitantes, situada a 1,903 metros sobre el nivel del mar y en la margen derecha del río, éste se encajona entre el lomerío de Palmillas por el Sur (parte alta de la población de San Juan del Río), y el cerro de la Venta, así continúa entre dos muros de basalto hasta llegar a la presa de San José, como a 7 kilómetros al SW. de San Juan del Río (fot. 3), y sigue entre laderas escarpadas, andesíticas, dejando al W. los cerros de Xingó, Tetillas o el Jazmín, Santa Rita y Santa Lucía, de constitución basáltica, y al E. los montes del Cazadero. A 8 kilómetros aguas arriba, de la presa de San José se llega a la hacienda de la Cueva. Muy cerca de ella está la confluencia de los ríos de Arroyo Zarco y Ñadó.

Tercera sección

El río Prieto a Ñadó debe considerarse como un afluente del río de San Juan y el Arroyo Zarco o Río Blanco, como la prolongación superior del tronco principal de la red hidrográfica que describimos, en vista de que el último tiene más desarrollo lineal y drena un área mayor que el primero. Entre la afluencia del Ñadó y la hacienda de la Cueva, recibe el río por la derecha las aguas to-

renciales de un arroyo que desciende de los montes del Cazadero y cuyas aguas mansas son captadas totalmente en su parte superior. Por la izquierda recibe el arroyo de Tunamanso, de los flancos orientales del río de San Bartolo. El Río Blanco o Arroyo Zarco tiene 36 kilómetros de desarrollo lineal, desde la Cueva hasta el molino de Arroyo Zarco, corre de SE. a NW., aproximadamente. En el mismo tramo recibe por la derecha el arroyo de San Sebastián captado en su totalidad y que nace en los montes del Cazadero, este arroyo tiene una longitud de 18 kilómetros. El río recibe por la izquierda los arroyos de la Estancia Maxhidó, Santa Rosa y La Cañada, cuyas longitudes son, respectivamente: 13, 23, 16 y 8 kilómetros, éstos descienden de los montes de Arroyo Zarco y de La Manga, drenan el bajo de la gran falla Acambay-Tixmadejé. Del molino de Arroyo Zarco al dique de Huapango, el río recibe por la derecha los arroyos de San Ignacio y de La Virgen o San Martín.

El afluente llamado río Prieto o de Ñadó corre dentro de un cañón profundo y de flancos acantilados, recibe por su derecha el arroyo de San Pedro y después los de San Pablo, Aculco, Taxhidó y del Colmilludo. El más importante es el de Taxhidó, que alcanza una longitud de 48 kilómetros, este arroyo se llama impropiaemente de Acambay, pues el valle de Acambay no pertenece a la cuenca hidrográfica del río San Juan. Todos estos arroyos drenan el bajo de la falla citada. Existe el proyecto de levantar la cortina de una presa, aguas abajo de la afluencia del arroyo de San Pedro, que almacenará sesenta y tres millones de metros cúbicos con una altura de cortina de 50 metros. No discutiremos este pro-

yecto desde el punto de vista económico, pero sí debemos asentar aquí que el vaso estaría expuesto, en cualquier momento, a ser agrietado y la obra podría sufrir graves desperfectos, a causa de los movimientos estructurales de esa región. Por más que los efectos máximos de los terremotos se han observado en el alto y no en el bajo de la falla Acambay-Tixmadejé.

Valle de Huapango

Este es un valle longitudinal a 2,620 metros sobre el nivel del mar, muy extenso y que con la pendiente de 0.3% descienden de las vertientes de la sierra de San Andrés Tumilpan hasta el dique de Huapango. Mide 30 kilómetros en esa dirección y está ocupado, en su mayor parte, por la laguna de este nombre y por la de Tiupa, que al S. de la anterior llega hasta 3 kilómetros, al N., de San Andrés Timilpan.

El dique de Huapango, construido de mampostería de piedra, tiene 7.60 metros de altura, 0.84 metros de espesor en la corona y 4.30 metros, en la base, siendo ésta de 321 metros de longitud. El embalse de la presa mide de S. a N. 13 kilómetros hasta el bordo de Tiupa, y tiene una anchura máxima de 4½ kilómetros y mínima de 400 metros. El bordo de Tiupa es de tierra, tiene 980 metros de longitud, 3.50 de altura, 3 metros de corona y taludes de 3.2. La profundidad media del agua en la presa de Tiupa es de 3.25 metros. Existen en el valle de Huapango otros depósitos menores. El cuadro adjunto demuestra que la topografía del valle es la mejor acondicionada para contener vasos artificiales económicos y de gran capacidad.

| PRESAS | Áreas ocupadas Metros cuadrados | Volúmenes Metros cúbicos |
|------------------------|------------------------------------|-----------------------------|
| Huapango | 20 535 900 | 49 502 067 |
| Tiupa..... | 16 502 975 | 23 150 775 |
| Depósitos menores..... | 5 261 950 | 8 085 020 |
| Totales..... | 42 300 825 | 80 737 862 |

Para completar la hidrografía de este valle diremos que la presa de Huapango se alimenta cerca de la cortina de las aguas del bordo de La Lavandera, que se caracteriza por contar con una región

de 63 manantiales que dan un gasto total de 133 (1) litros por segundo. Este

(1) Aforo del señor ingeniero Fernando Beltrán y Puga.

grupo de manantiales está a 2,690 metros sobre el nivel del mar. Actualmente se ha notado una depresión en el nivel de la presa de Huapango, y una disminución en el gasto de los manantiales de la presa de La Lavandera. Recordaremos aquí que con motivo del terremoto de Acambay, del 19 de noviembre de 1912, las grietas del sistema septentrional orientado de E. a W. (1) cortaron el vaso de la presa de Tiupa, transversalmente, a su eje mayor y aun supusimos que parte del agua de la presa se había perdido por esas grietas, pero no lo pudimos comprobar. También con todo fundamento se dijo entonces que el eje longitudinal de estos vasos artificiales era un alineamiento sismo-tectónico; efectivamente, el thalweg del valle de Huapango es un alineamiento natural orientado de S. a N. y de 30 kilómetros de longitud. En ocasión del terremoto de Acambay, sirvieron las destrucciones registradas en San Andrés Timilpan, para sospechar que este alineamiento tenía el carácter de tectónico, porque dicho pueblo se localiza en la intersección del thalweg del valle de Huapango con el alineamiento sísmico marcado por las grietas del sistema central orientadas de Este a Oeste, y es bien sabido que los desastres máximos se registran en las intersecciones de los alineamientos tectónicos. No se ha hecho un aforo posterior al terremoto de 1912, en los manantiales de la presa de La Lavandera, pero su gasto ha disminuído notablemente. No puede atribuirse esa merma a los movimientos estructurales que siguen verificándose en esa región, pues debe llevarse en cuenta que el desmonte en el Cazadero y en Arroyo Zareo ha contribuído en mucho a que el gasto de los manantiales disminuya.

Perfil longitudinal del río San Juan
(Lám. II.)

El perfil hidrográfico del thalweg general, no sirve solamente para mostrar en el capítulo de Geología las formaciones puestas al descubierto por la erosión, sino

que es un perfil de equilibrio en el que pueden apreciarse en su verdadero valor los trabajos de erosión, de acarreo y de depósito de los materiales disgregados en distintos tramos de este perfil y por tanto puede apreciarse por su examen, que el río es el principal agente del modelado del relieve en la zona estudiada. La cuenca alta del río es la llanura de Huapango que ya describimos; a los 31 kilómetros se inicia una caída rápida del thalweg a razón de 88 metros por kilómetro, durante 3 kilómetros. Después se suaviza la pendiente, de modo es que en 61.5 kilómetros, es decir, hasta la ciudad de San Juan del Río, el promedio de la pendiente es de 11.8 metros por kilómetro; esta porción pertenece a la cuenca de drenaje de montaña en la que hace papel importante el Nádó que con su tributario el Taxhidó tiene un desarrollo de 70 kilómetros. Desde San Juan del Río, en donde se abre el valle, hasta Tequisquiapan la pendiente es de 0.60 metros, por kilómetro, y así continúa hasta la presa de Paso de Tablas; desde este lugar hasta Tzi-Patché, la pendiente es de 7.4 metros por kilómetro.

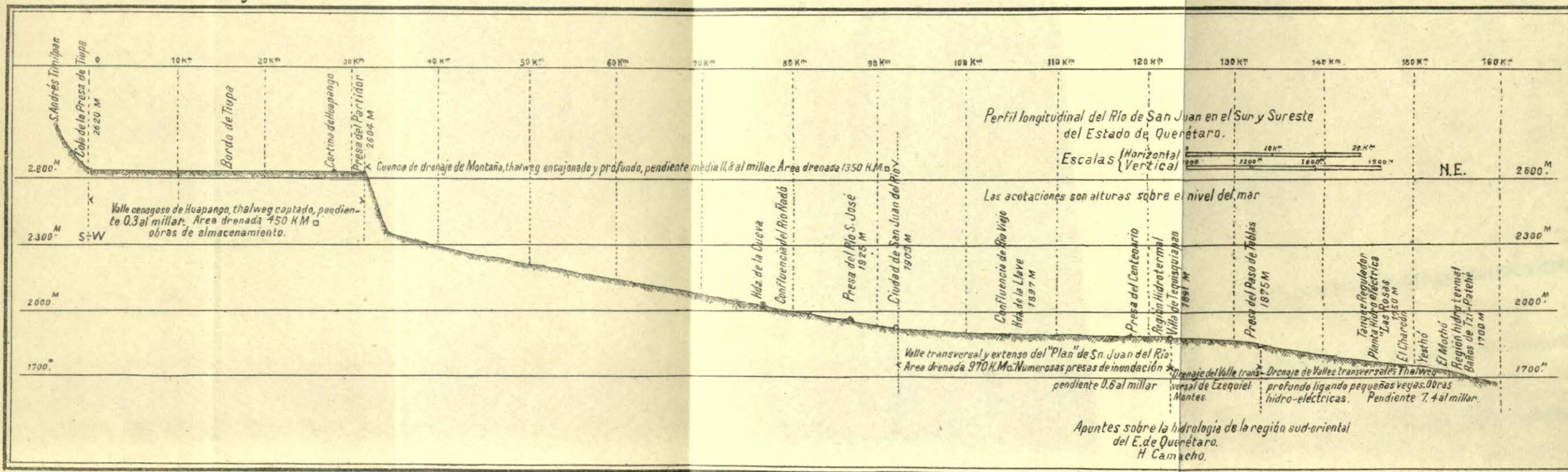
Areas drenadas

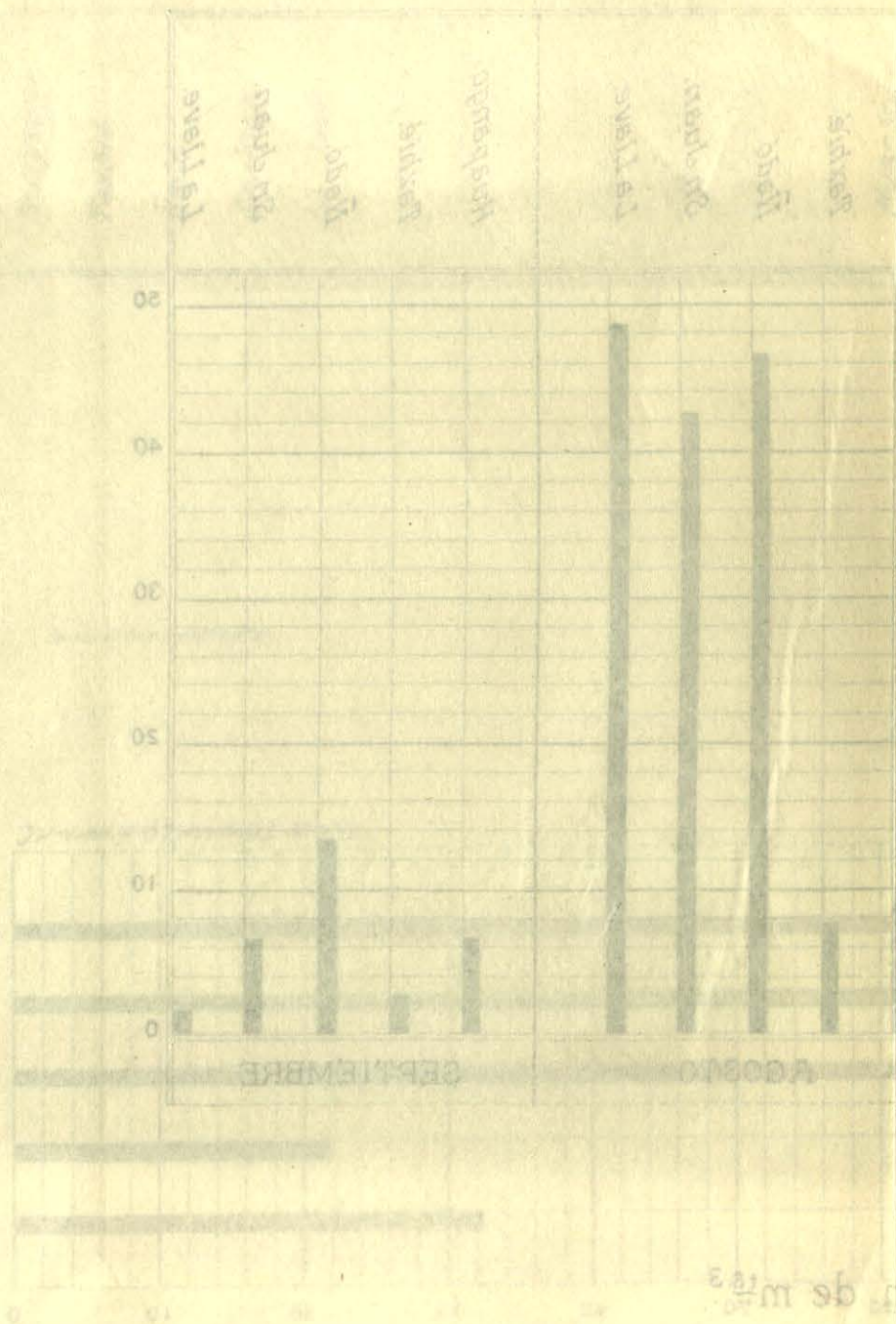
La cuenca alta de Huapango, puede valuarse en 450 kilómetros cuadrados. La cuenca de drenaje de montaña con arroyos de 3 a 7% puede estimarse en 1,350 kilómetros cuadrados. Por último, la cuenca inferior del Plan de San Juan del Río, tiene un área de 970 kilómetros cuadrados.

Gastos del río y de sus tributarios

En los años de 1905, 1909 y 1910, se hicieron aforos en distintas estaciones hidrográficas y los resultados los doy a conocer por medio de gráficas. (Láms. III y IX.) He construído éstas en vista de los datos que bondadosamente me proporcionó el señor ingeniero José A. Ortiz, a quien debo también otros muchos tomados del brillante trabajo hidrográfico del señor ingeniero Fernando Beltrán y Puga, que abarca con gran detalle la porción comprendida entre Huapango y San Juan del Río. Se instalaron cinco estaciones atendiendo a las condiciones

(1) Boletín núm. 32 del Instituto Geológico de México.





GASTOS del Río de Sn. Juan y sus tributarios
 en los meses de
 — JUNIO a SEPTIEMBRE —
 — de —
 — 1905. —

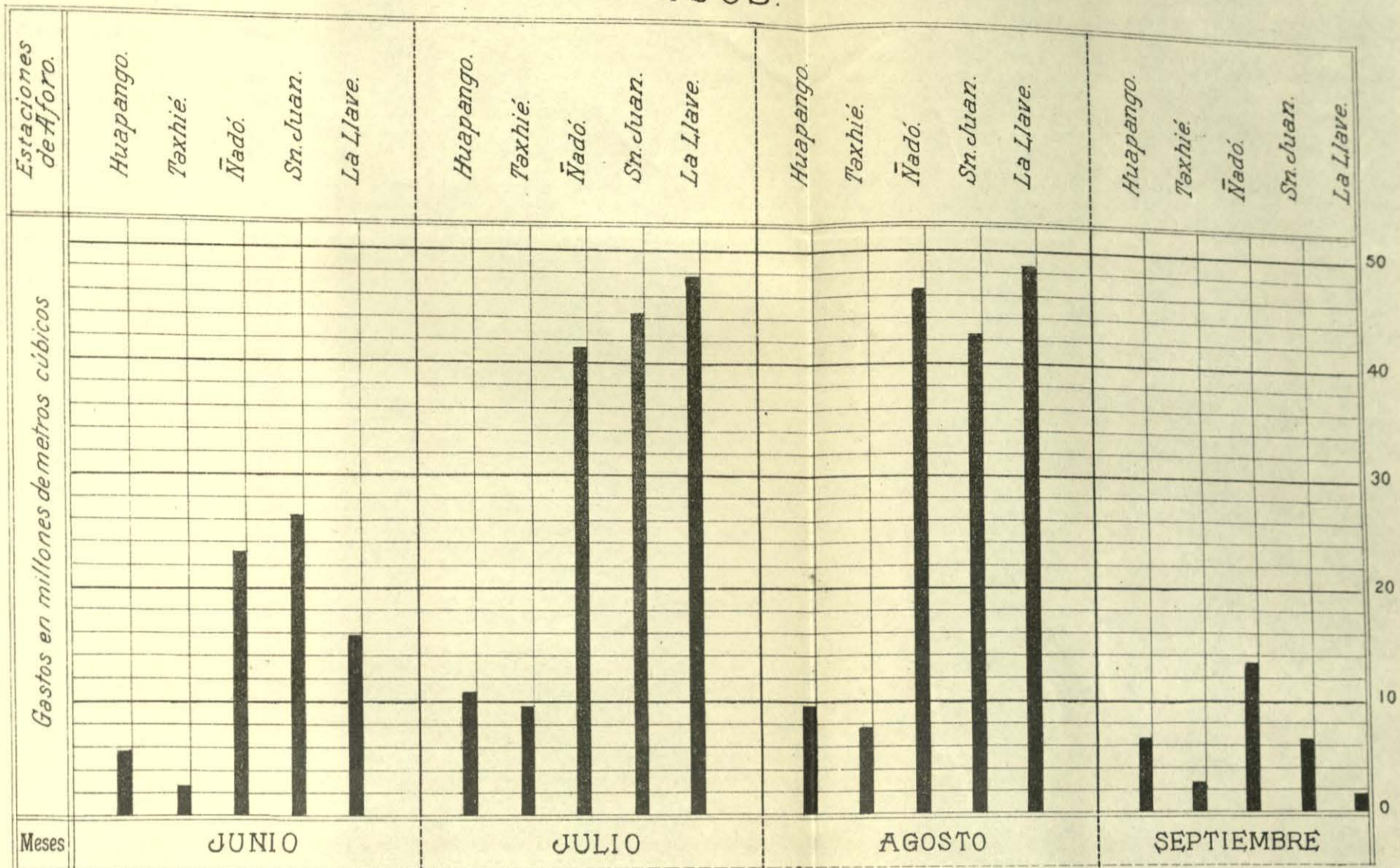
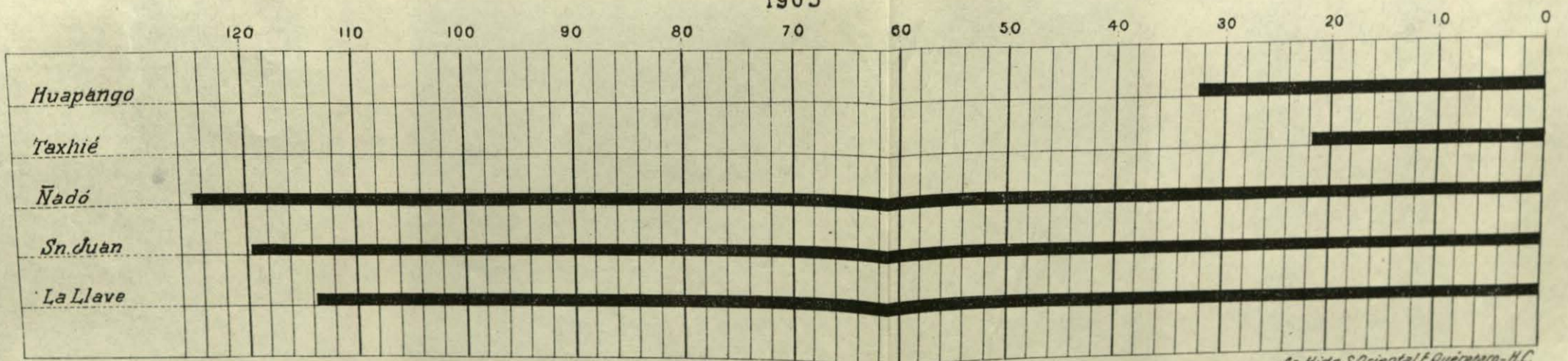


Fig. 1.

Escala 2^m/m.=1 millón de m^{ts}.³

Volúmenes totales corridos en el Río de
 Sⁿ JUAN.
 y sus tributarios en la Estación lluviosa de
 1905



Ap. Hidr. S. Oriental E. Querevaro-M.C.

Fig. 2.

Gastos del Rio de San Juan
 en los meses
 JUNIO a SEPTIEMBRE
 1905

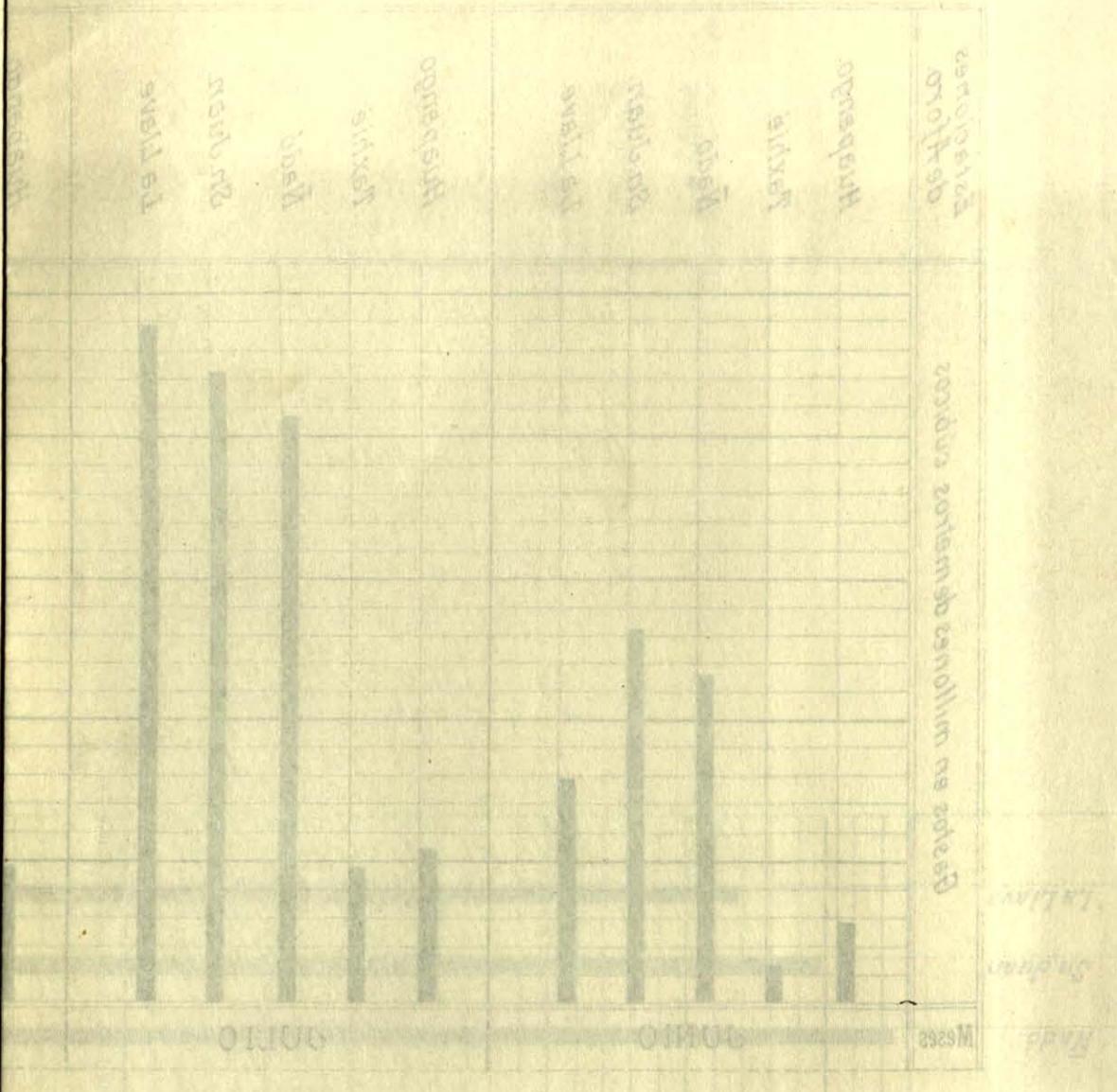


Fig. 1.
 Escalas 2^m - 1 millo
 1905

que debe satisfacer una estación hidráulica, a saber: instalar los instrumentos en un tramo recto del curso del río para evitar los cambios de velocidad que sufre la corriente en los codos o meandros, tanto aguas arriba como aguas abajo de la estación de aforo y lejos de los obstáculos que producen remansos, tales como presas, vertederos, pilas, o estribos de los puentes, etc., etc. La 1.^a, en el dique de Huapango, que medía las demasías o sea el contingente que recibía el río; 2.^a, en Taxhidó, es decir, sobre el río de Arroyo Zarco, aguas abajo de la anterior y aguas arriba de la confluencia del Ñadó; 3.^a, sobre este río en la hacienda de la Laborcilla antes de la confluencia. De manera que la suma de los gastos medidos por la 2.^a y la 3.^a pueden considerarse como los gastos del río de San Juan. La 4.^a en San José, aguas arriba de la ciudad de San Juan del Río, que dá un excedente sobre las sumas de los gastos de la 2.^a y 3.^a estaciones, excedente que corresponde a los tributarios del río que drenan la parte montañosa de su cuenca, menos las pérdidas por infiltración y evaporación; por último, la 5.^a estación funcionó en la hacienda de La Llave, abajo de la última presa de "enlame," de las que tiene esta hacienda y que por tanto, da el gasto de la 4.^a menos la cantidad captada y almacenada en La Llave. La interpretación de estas gráficas nos ahorra toda discusión inútil.

CAPITULO III

Valles principales y secundarios; sus límites y extensión

Valle de San Juan del Río: En la ciudad de San Juan del Río y después de un curso encajonado, el río llega al dilatado valle de ese nombre. Al recorrerlo en ferrocarril de Sur a Norte, parece extenderse en esa dirección y tener su menor dimensión de E. a W. comprendida entre dos bordes montañosos paralelos: al W. la sierra de Galindo y al E. el desprendimiento montañoso que es el núcleo orográfico llamado del Pinal de Zamorano; este desprendimiento avanza con un rumbo medio de NW. a SE., con los nombres de Las Navajas, Esperanza, Ga-

leras, La Llave y La Laja, para detenerse bruscamente en la margen izquierda del río San Juan. Este apéndice orográfico de constitución riolítica está coronado por mesetas estrechas planas y alargadas en la dirección indicada y que se interrumpen bruscamente por cejas acantiladas; establece la separación del valle de San Juan del Río del de Ezequiel Montes (antes Corral Blanco) que se sitúa al NE. del primero. Ambos son los más importantes de la región por su extensión y tienen de común la forma de su drenaje superficial hacia el río San Juan; al primero se subordinan las mesetas del Batán y de Galindo, y al segundo, los valles de Ajuchitlán, el del Ciervo o Tetillas; y como accesorios el valle cerrado de Cadereyta de Montes (antes de Méndez). El eje mayor de este valle se orienta de NW. a SE. y mide 38 kilómetros, tiene una anchura media de 16 kilómetros. Sus límites son los siguientes: por el Sur el lomerío de Palmillas, último escalón en el descenso de los llanos del Cazadero hacia San Juan del Río. Siendo las eminencias notables al Sur, el cerro del Cazadero y Cerro Gordo, Santa Rita, La Venta y Xingó; al SW. se encuentra el puerto de Alegrías, estribación del macizo de la sierra de Galindo, ya descrita. El límite boreal ya lo describimos como línea divisoria entre este valle y los de Huimilpan y Querétaro; al N. y NE., el alineamiento de eminencias riolíticas y cuyas mesetas de N. a S. tienen los nombres siguientes: Las Cabras, Tierra Dura, El Pedregal, La Cajeta, El Tejocote, San José de las Trojes, El Sitio, La Laja, Fuentezuelas y La Llave, que termina en el llamado Puerto de La Espíndola, para dar paso al río de San Juan. Este valle es transversal, asimétrico con pendiente media de 0.8 al millar; situado a 1,918 metros sobre el nivel del mar, contiene tierras fértiles de 1.50 metros de espesor, en su superficie se cuentan como principales las haciendas agrícolas siguientes: La Llave, que tiene 1,448 H. A. de terrenos de labor; La Venta del Refugio, La "H." Galindo, La Estancia o El Parián, Santa Matilde, Chintepec, Ahorcado, La "D." Ajuchitlancito, Viborillas, Galeras, Esperanza y La Fuente. En el fondo del valle se encuentran

aislados, algunos cerros pequeños muy erosionados como los de la Estancia y San Clemente.

Mesas de la hacienda del Batán

(Lám. X., fig. 1)

El valle secundario de la hacienda del Batán está orientado de S. a N., tiene una superficie de 360 kilómetros cuadrados, está limitado al Sur, por el lomerío de Amealco y San Juan Dehedó, lomas de Dethí y La Botija, El Aguacate, El Pinal del Batán, y cerro de El Astillero; al W. por la sierra de Galindo, al E. por los cerros de Santa Lucía o Xingó, el Santa Rita o Las Tetillas, cerro de Banderas y cerro del Gato, que se liga al de La Venta. Se forma de mesas planas con muy escasa tierra vegetal, las tobas riolíticas desnudas son el asiento de este valle que resiste a la erosión. Las aguas que descienden del Batán, de Dethí y de la sierra de Galindo hacen trabajo de degradación en este valle estéril y rocoso. Las mesas que lo forman están escalonadas y reciben los nombres de Paso de Vigas, Cara de Palo y Puerto de Alegrías, con pendiente suave hacia la hacienda de Galindo. Es un valle secundario subordinado al de San Juan, longitudinal, porque su thalweg ocupa la posición de su eje mayor y consecuente, porque su pendiente desciende paralelamente y en el mismo sentido que la del thalweg general del valle, del cual queda separado por las lomas del Dethé y de La Venta.

Valle de Ezequiel Montes o Corral Blanco. Está situado al NE. del de San Juan del Río y separado de éste por el alineamiento Navajas-La Llave; y drenado también por el río de San Juan. El río recibe por su margen izquierda, ya lo dijimos, el drenaje del valle de Ezequiel Montes, aguas abajo de la villa de Tequisquiapan. El valle toma su nombre en la villa que ocupa su centro a 1,964 metros sobre el nivel del mar y que cuenta con 1,000 habitantes. El valle es asimétrico, transversal, tiene una superficie, aproximada, de 300 kilómetros cuadrados. Su eje mayor se orienta de NW. a SE. y mide 25 kilómetros; tiene una anchura media de 12 kilómetros. Al NW. se levantan los

cerros de Ajuchitlán y el elevado Pico de Bernal cuyas faldas vienen a ligarse con el cerro de La Caja, situado al N. de la villa Ezequiel Montes por intermedio del lomerío de Macho Viejo o Jagüey Grande. Así se señala la división entre este valle, que cuenta como tributario al de Ajuchitlán, y la cuenca del río Tolimán que recoge las aguas de Bernal y del arroyo de San Pablo. El cerro de La Ceja se liga a su vez con las lomas de Zituní y Tierras Blancas, La Magdalena, Boxasne y Tetillas y los Ramírez, lomas de Taxdejé y cerros del Borrego y de Sombrerete, y de esta manera se separa el valle Ezequiel Montes del valle cerrado de Cadereyta de Montes, que ha sido estudiado con anterioridad por el señor ingeniero don Juan D. Villarello (1). Por el E. se limita el valle por los cerros de La Sanguijuela y las lomas de San Joaquín. En este valle se encuentran, además de los terrenos de la villa Ezequiel Montes, las haciendas de La Purísima, San Antonio, Santillán y La Tortuga, El Ciervo y San José.

CAPITULO IV

Geología y recursos minerales

La región sudoriental del Estado de Querétaro está ocupada por rocas eruptivas terciarias, cuaternarias y modernas. Está señalada como una de las zonas eruptivas más notables del país, en las que predominan las riolitas (2). El señor ingeniero E. Ordóñez valúa en 200 kilómetros cuadrados el área ocupada por estas rocas en los distritos de San Juan del Río y de Cadereyta. Afloran bajo la forma de diques o de corrientes.

Las eminencias que establecen la división entre los valles descritos en el capítulo anterior presentan una morfología especial que les es común; son alineamientos orográficos, orientados transver-

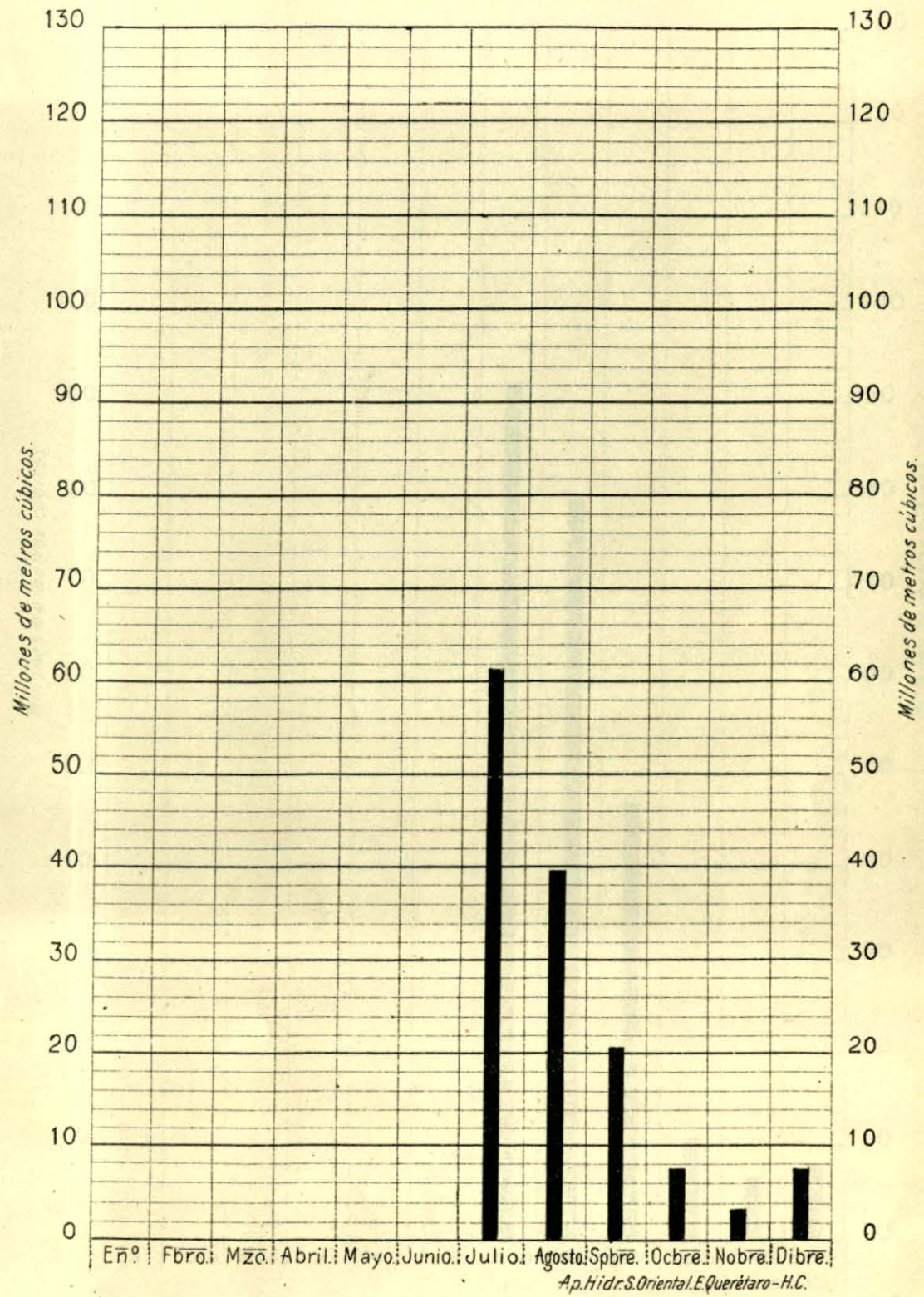
(1) Ingeniero J. D. Villarello. Estudio de la Hidrología Subterránea de la Región de Cadereyta de Méndez, Estado de Querétaro. Parergones del Instituto Geológico de México. Tomo I, núm. 6.

(2) Boletín núm. 14 del Instituto Geológico de México. "Las rhyolitas de México," por el señor ingeniero E. Ordóñez.

GASTOS del Río de Arroyo Zarco.

(antes de la afluencia del Ñadó)

— Año de 1909 —

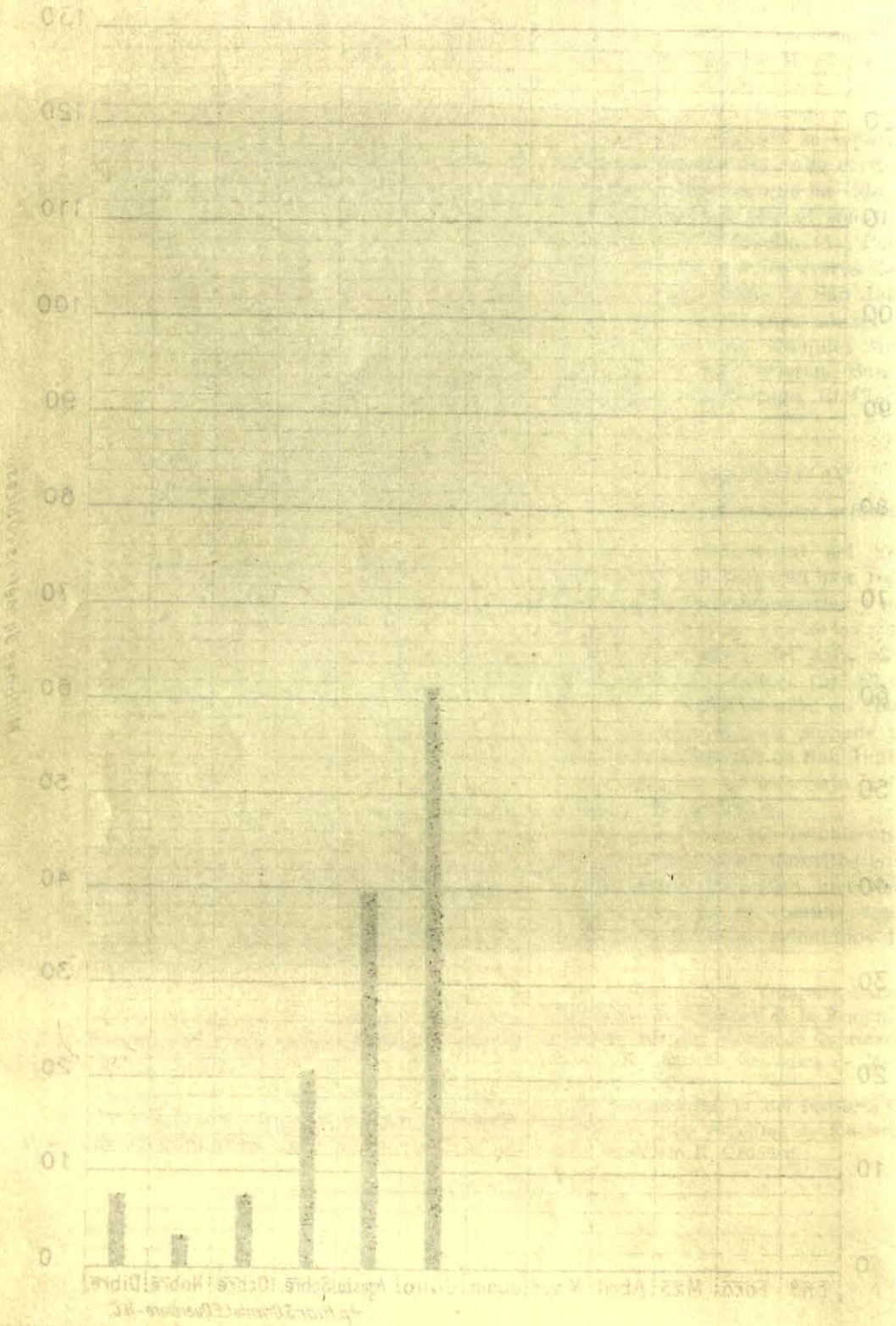


Escala 3^m = 2 millones de m³

GASTOS del Rio de Arroyo Zarco

(antes de la apertura del Nido)

Año de 1909

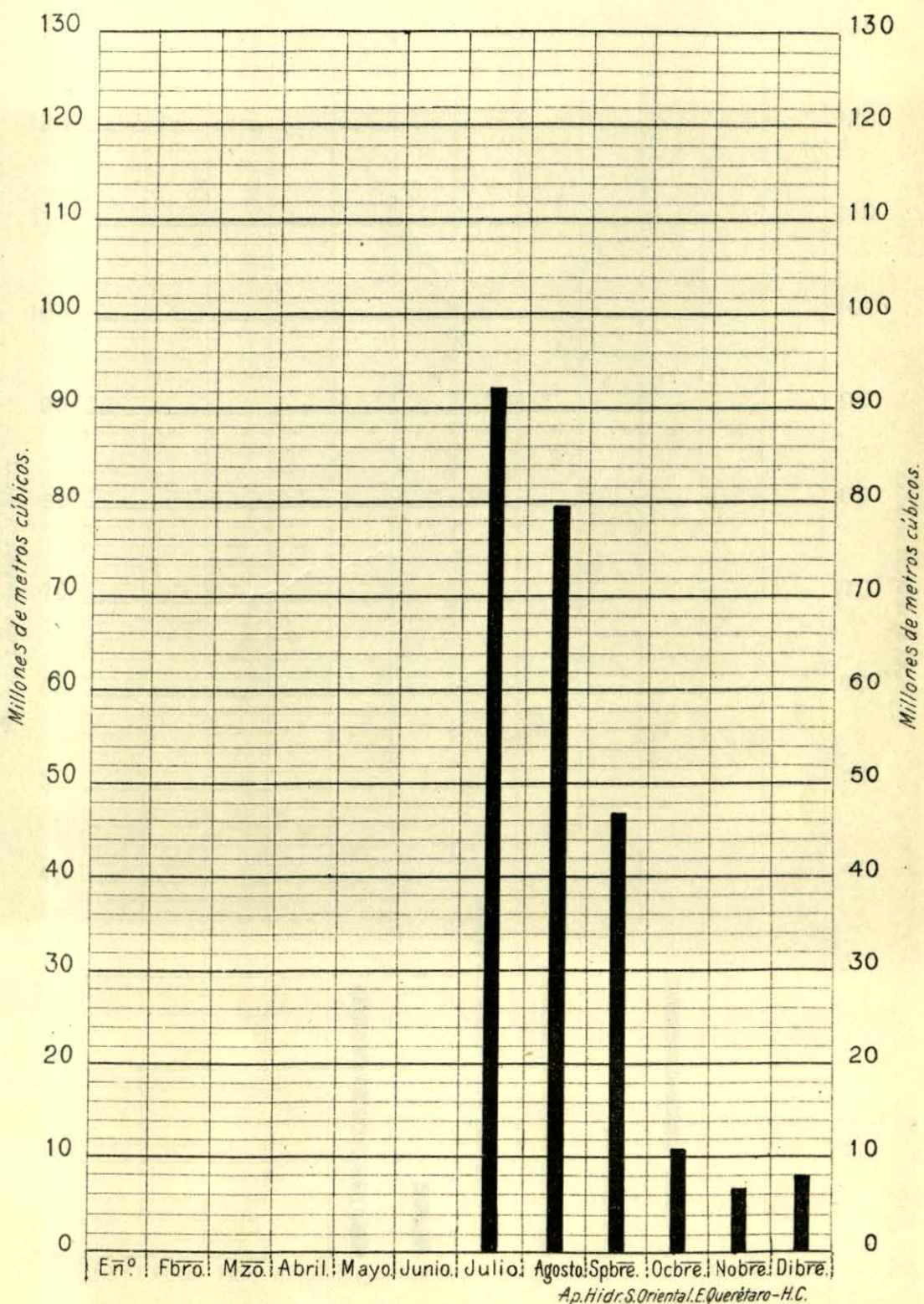


Escala 3/4 = 2 millones pesos

GASTOS del Río de San Juan

(después de la afluencia del Ñado)

— Año de 1909 —

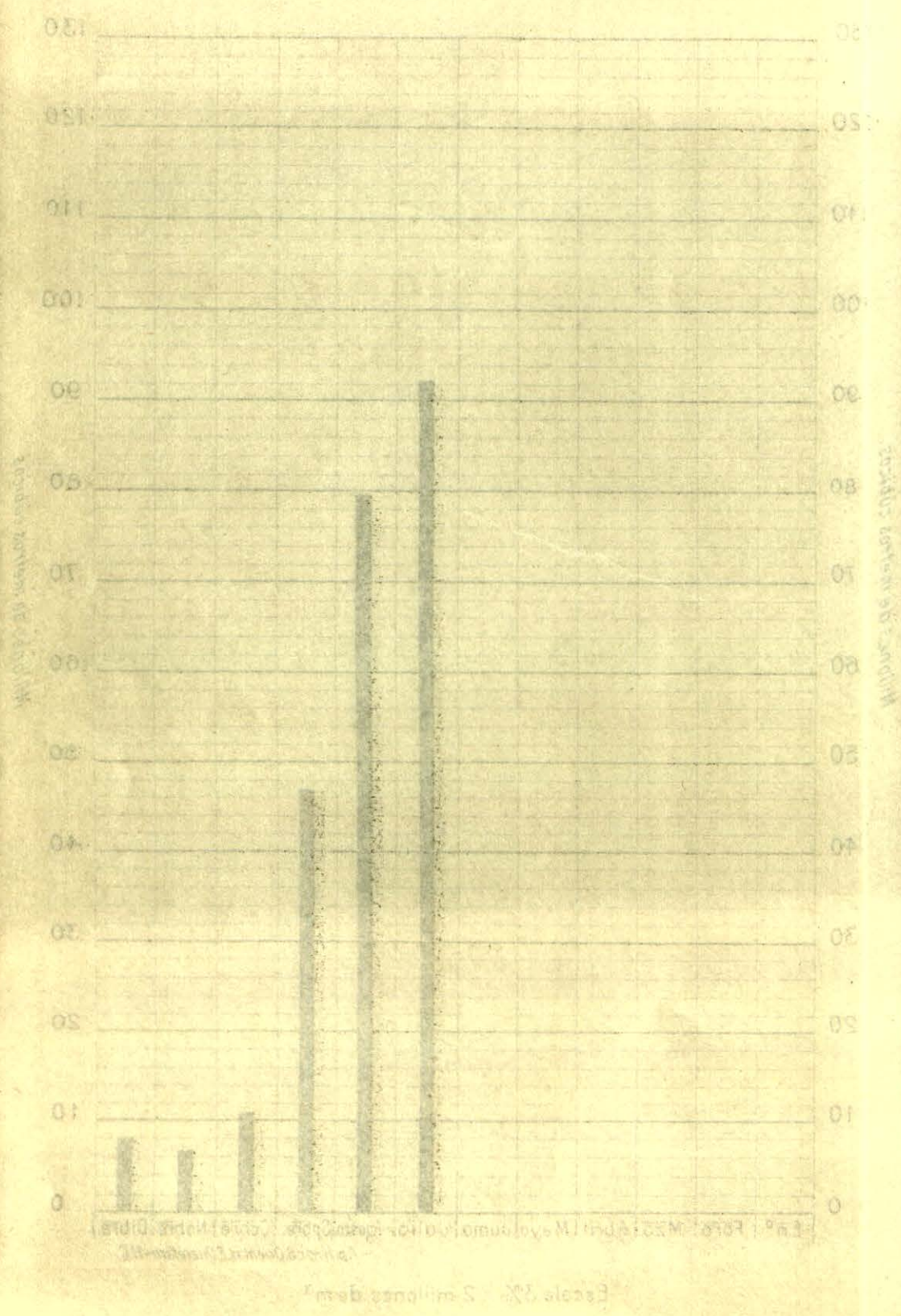


Escala 3^m/m = 2 millones de m³

GASTOS del Rio de S. Juan

(según la memoria del Sr. D. Juan)

Año de 1809

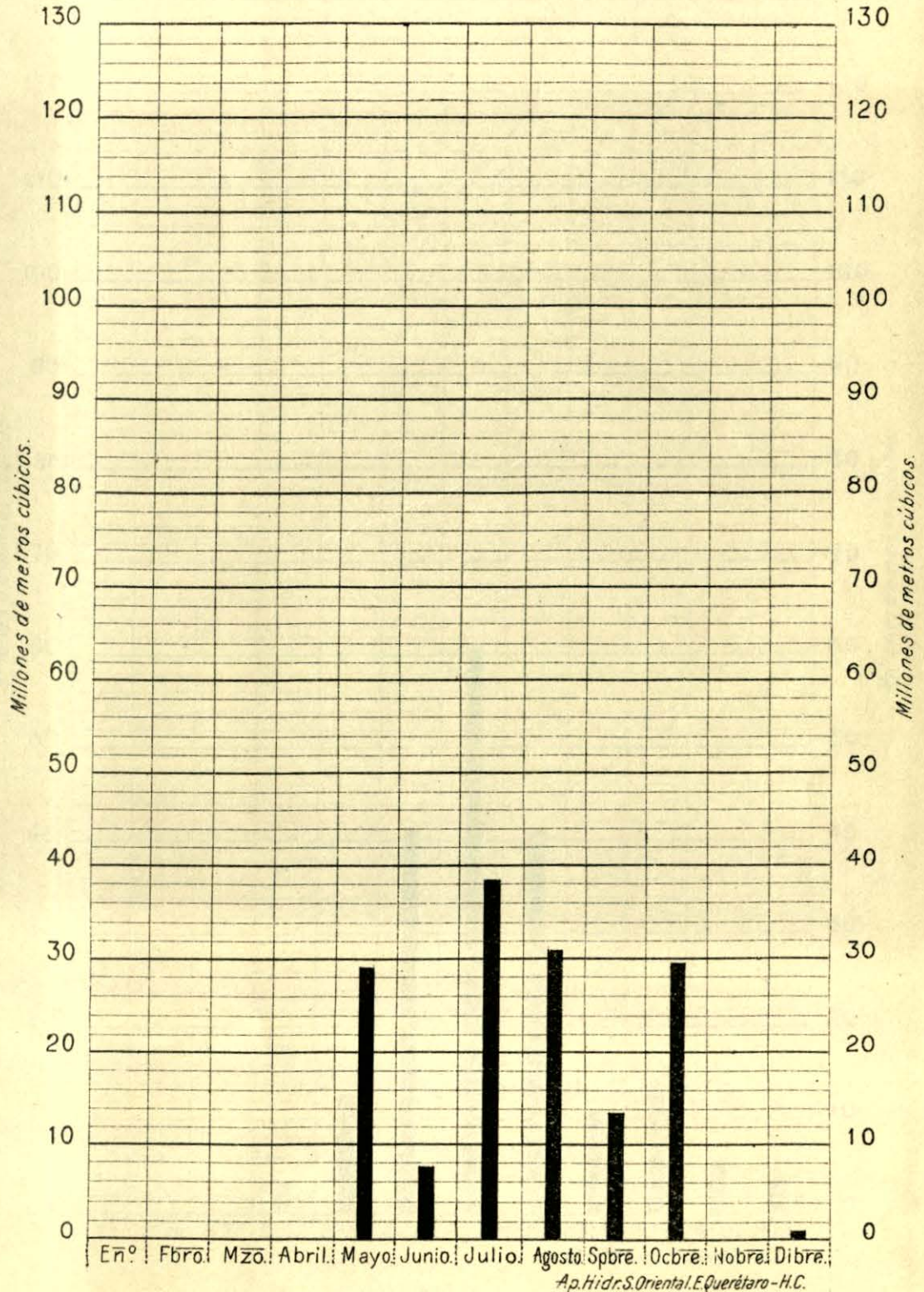


Escala de 2 millones de reales

GASTOS del Río de Sⁿ. Juan

(en la Presa de S. Juan del Río)

— Año de 1909. —

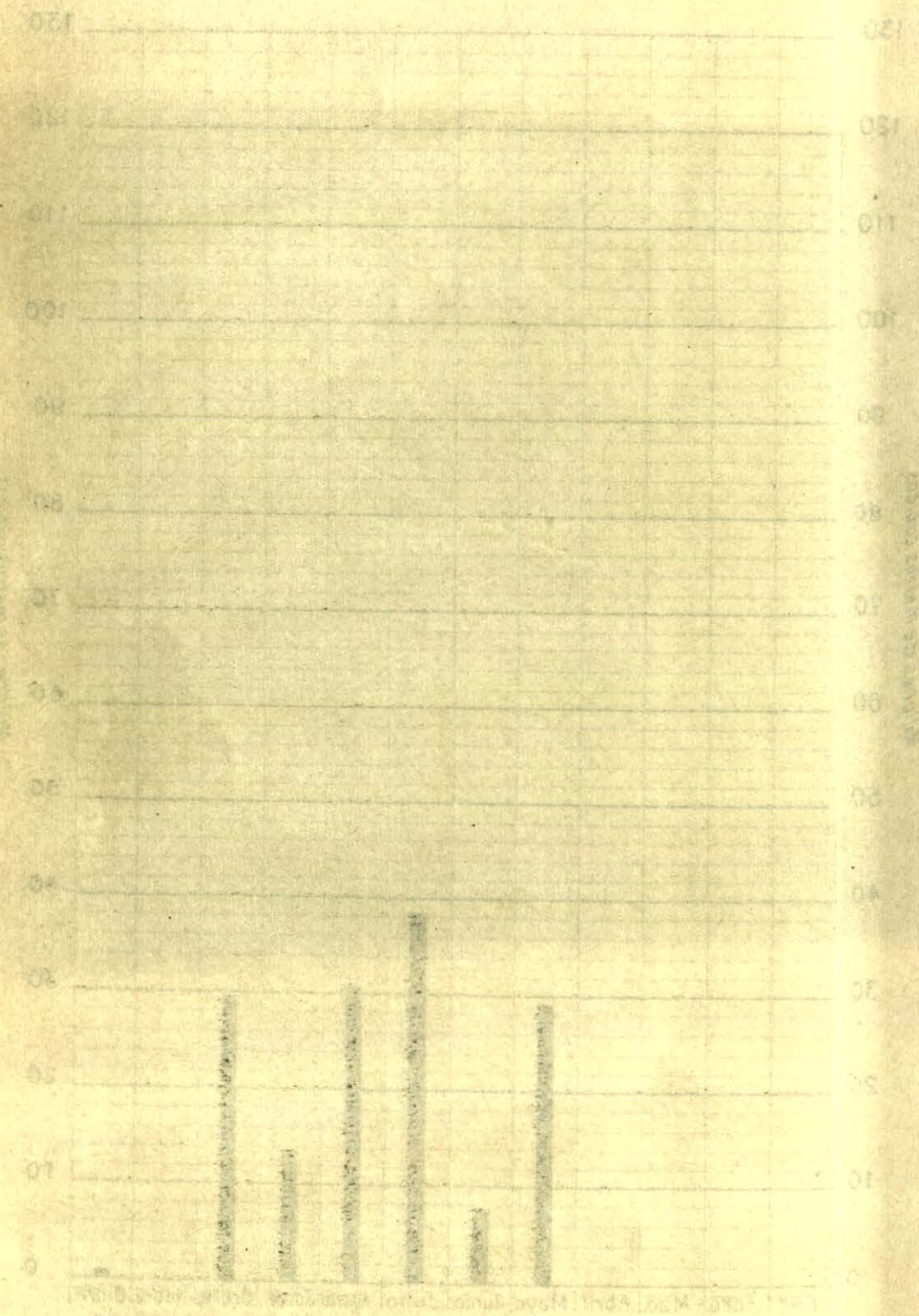


Escala 3^m = 2 millones de m³

GASTOS del Río de San Juan

en la Presa de San Juan del Río

Año de 1909

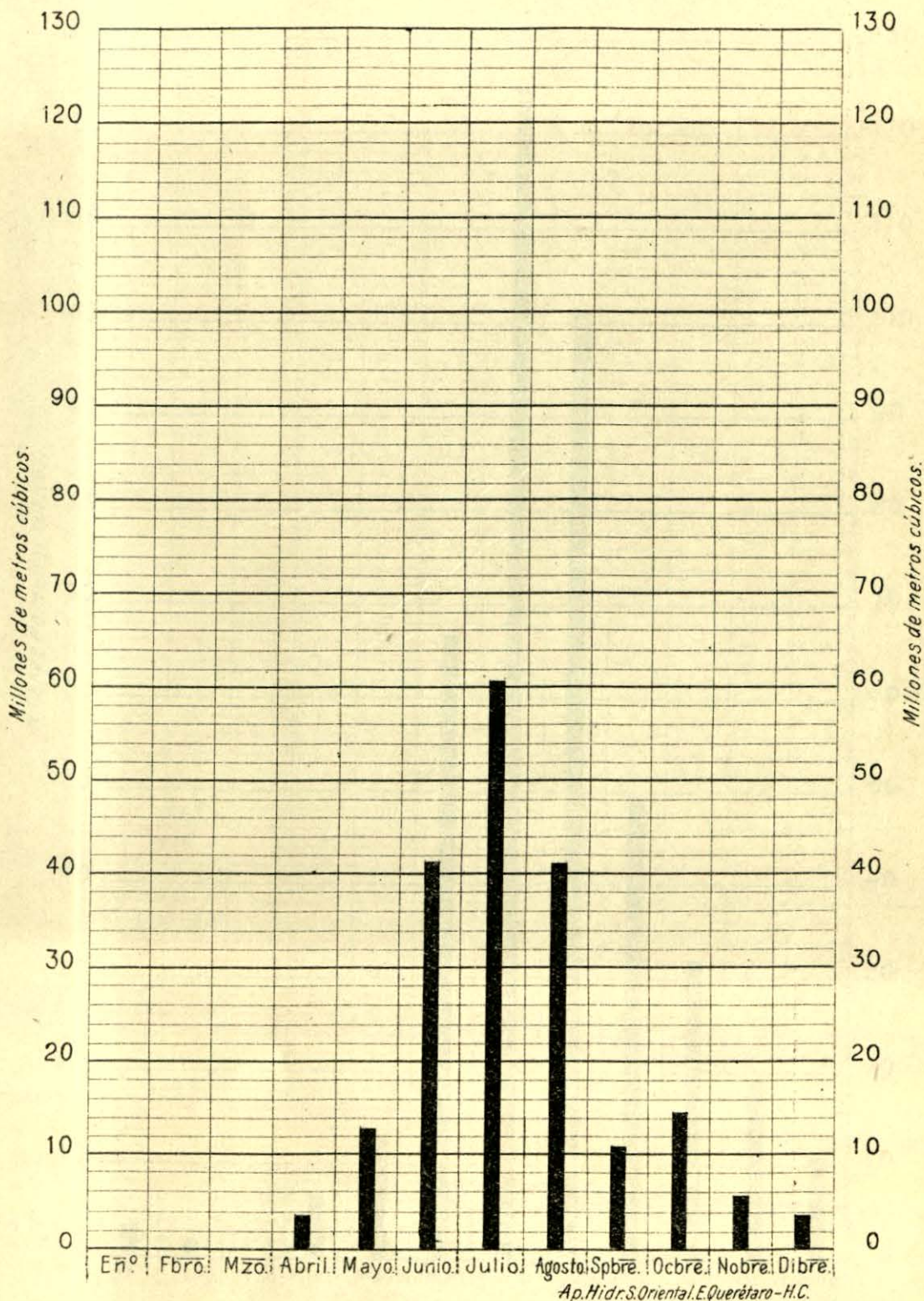


Estadística de los gastos del Río de San Juan

GASTOS del Río de Arroyo Zarco.

(antes de la afluencia del Ñadó)

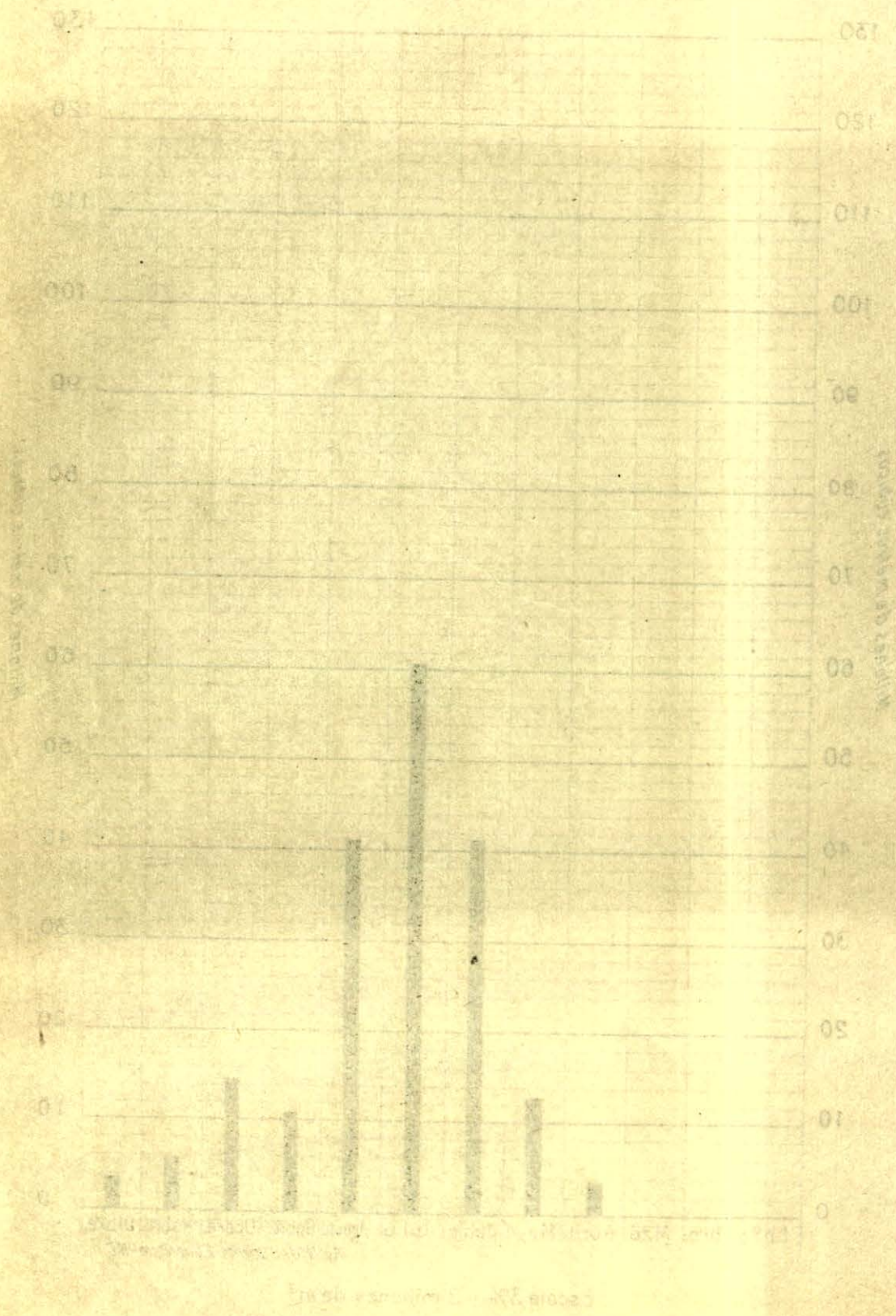
— Año de 1910. —



Escala 3^m = 2 millones de m³

Ap. Hidr. S. Oriental. E. Querétaro - H.C.

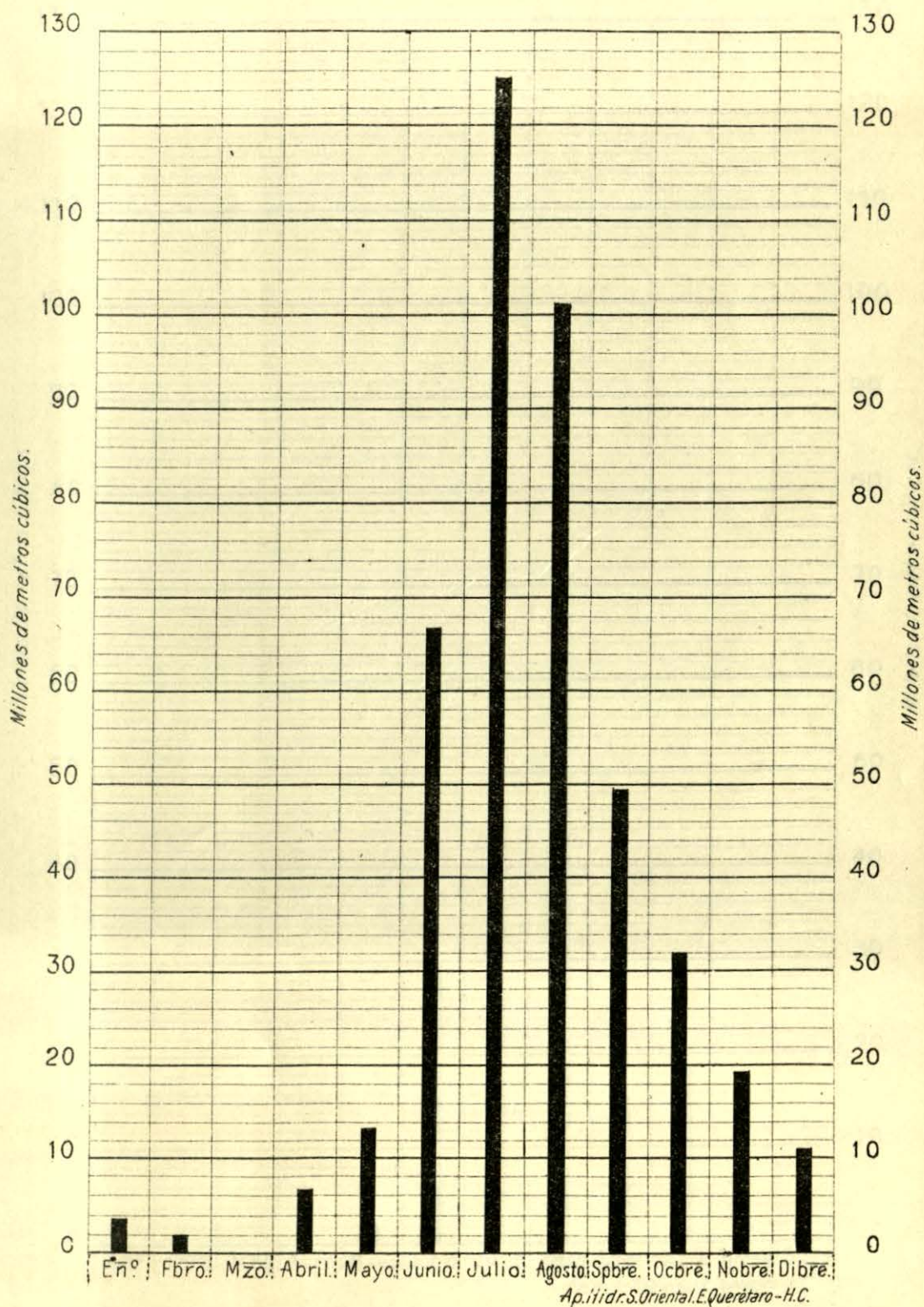
GASTOS del Río de Arroyo
 (antes de la apertura del canal)
 Año de 1910



GASTOS del Río de San Juan

(después de la afluencia del Ñadó)

— Año de 1910. —

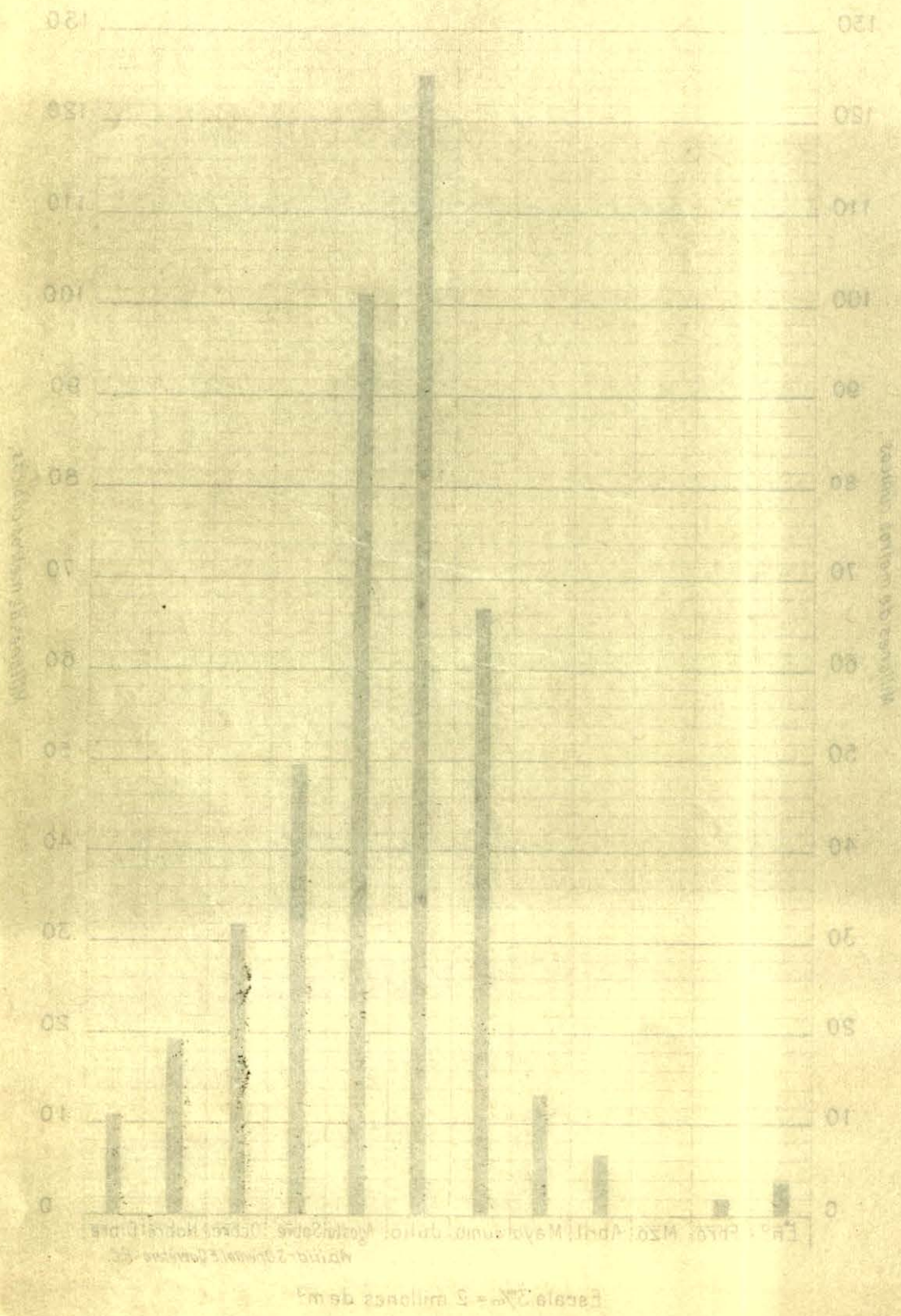


Escala 3^m = 2 millones de m³

GASTOS del Río de San Juan

después de la aplicación del 75%

— Año de 1910 —

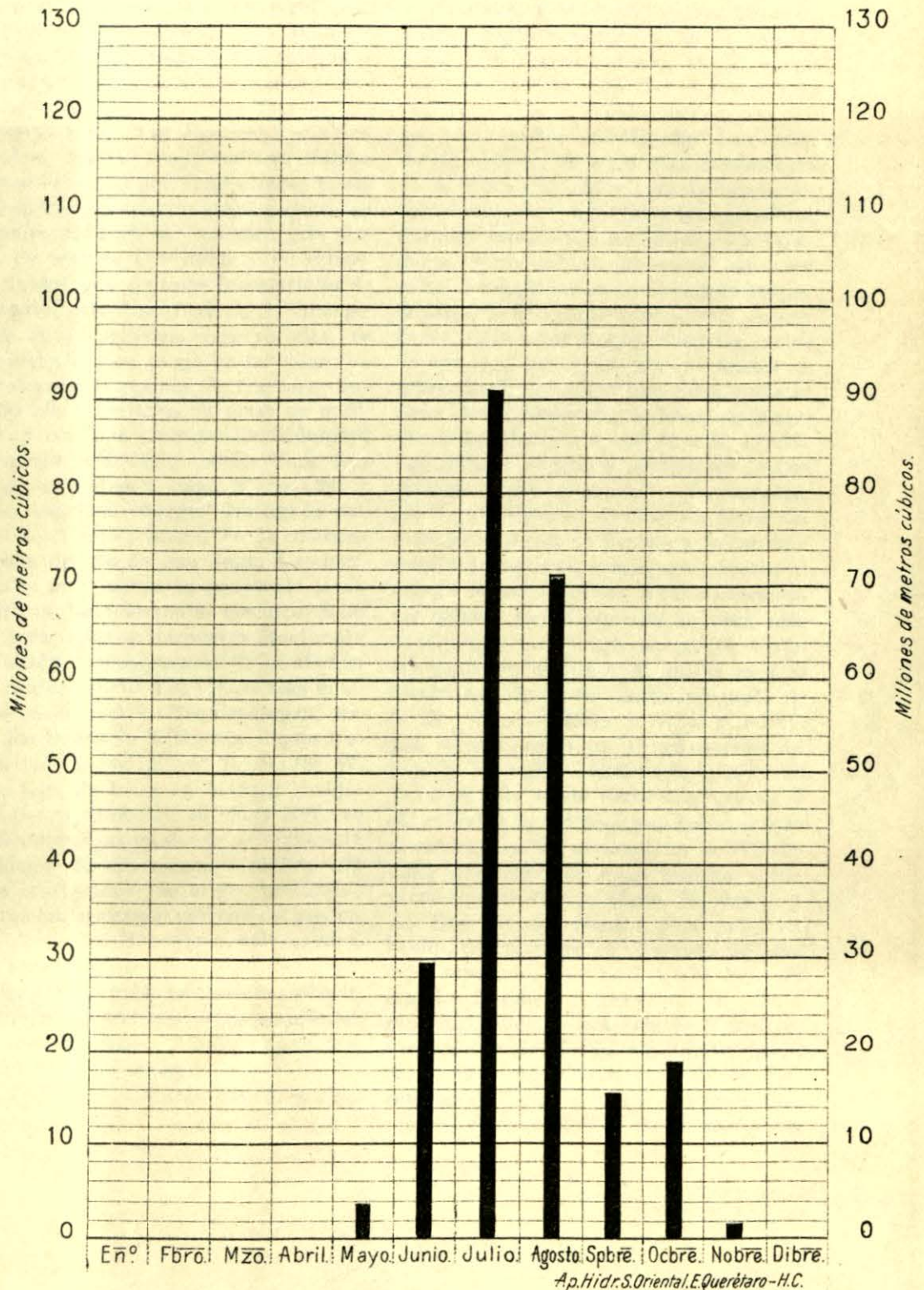


Escala 1/2 = 2 millones de pesos

GASTOS del Río de S. Juan

(en la Presa de S. Juan del Río)

— Año de 1910. —

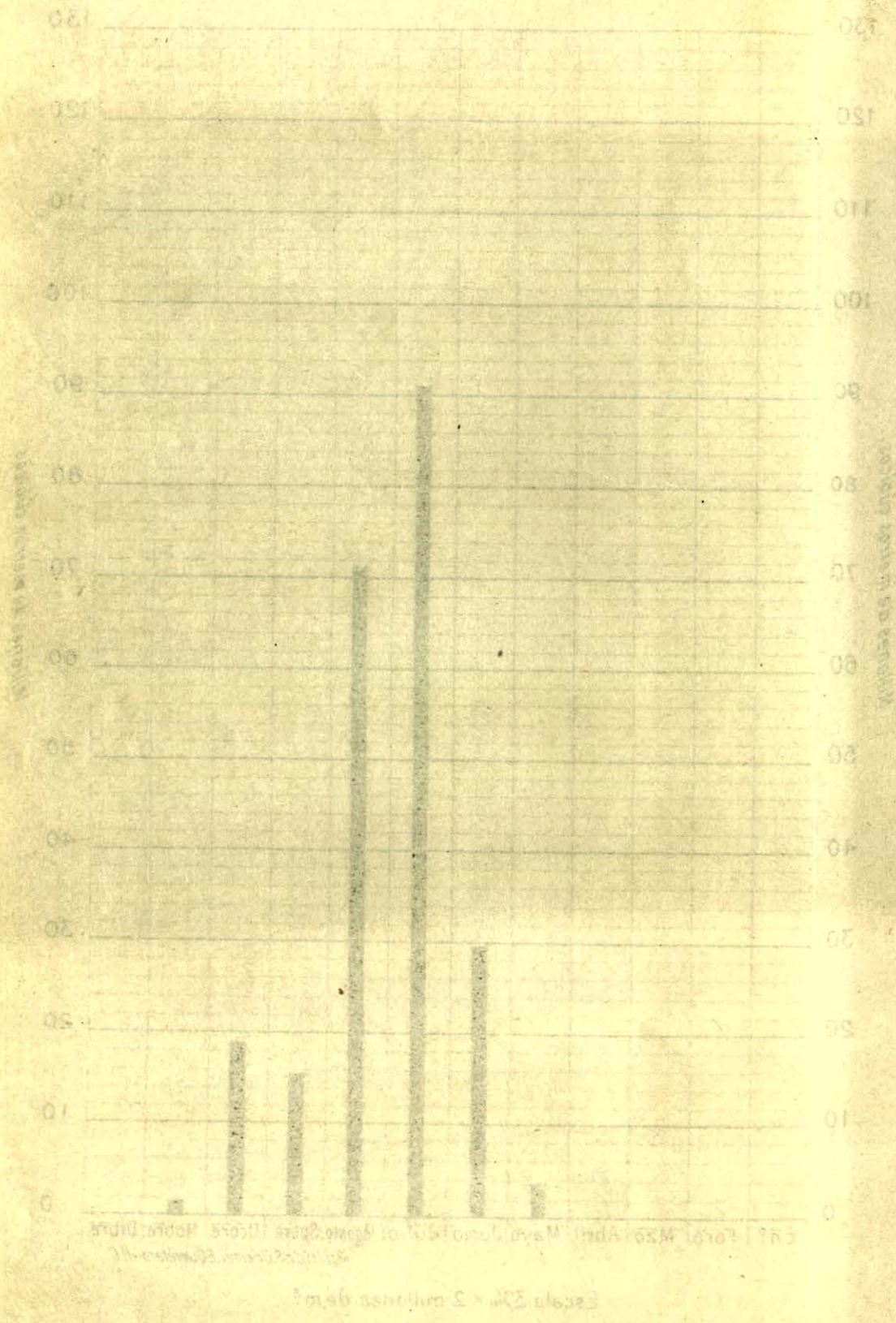


Escala 3^m = 2 millones de m³

GASTOS del Rio de San Juan

(en las fiestas de San Juan del Rio)

— Año de 1910 —



salmente al curso medio del río de San Juan, de poca altura con respecto a la llanura y coronados por mesetas planas y estrechas; limitadas por cejas acantiladas a las que el autor citado llama "cornizas." La erosión ha burilado así estos perfiles característicos de las montañas riolíticas, que son el resultado de la efusión de las lavas por grietas eruptivas; esos derrames se superponen a las tobas riolíticas que rellenan los valles de San Juan del Río y de Ezequiel Montes. Las riolitas se presentan también bajo la forma de cerros cónicos como pasa en "Las Tetillas" de Cadereyta y en "Los Ramírez," que fueron otros centros eruptivos. Las riolitas hicieron erupción por diques, como puede verse en Tequisquiapan; efectivamente, en un campo riolítico de una roca gris obscura, de textura granitoide y de estructura fluidal, que contiene fenocristales de feldespato, ortoclasa y vidrio; y que podemos clasificar como una retinita, se encuentran diques de riolita de color violeta, obscura, compacta, de fractura conchoidal sin ser vítrea, su masa es porfirítica y contiene cristales de feldespato en láminas delgadas y cuarzo libre. Los diques son radiales (lám. X., fig. 2), y en los respaldos emergen las aguas termales de Tequisquiapan, en la margen izquierda del río de San Juan. La circulación de estas aguas ha producido la alteración de los feldespatos constituyentes de la roca; ésta se encuentra fracturada y dislocada a consecuencia de la efusión de la riolita violeta. Los diques más notables se encuentran en Tequisquiapan, cerca de los Baños de la Granja, diques que siguen los rumbos N. 25° E., N. 12° W. y NS. Las diaclasas en la roca encajonante tienen rumbo N. 25° E. y EW., es en estas diaclasas en donde se verifica la circulación de las aguas termales (32 grados centígrados) de origen profundo; mientras en la margen derecha del río, en el pueblo de La Magdalena, sólo existen aguas freáticas.

Es muy común la asociación entre la efusión de las riolitas y las manifestaciones hidrotermales. Tequisquiapan nos proporciona un ejemplo.

Las aguas subterráneas han hecho un trabajo químico que consiste en el depó-

sito de siliza hidratada en las fracturas de las riolitas, impregnando de ópalo las pequeñas cavidades de la roca. El ópalo se encuentra en varios criaderos en los distritos de San Juan del Río y Cadereyta, siendo los principales "La Carbonera," "La Trinidad" y la "Mina del Hueso;" en el cerro de La Sanguijuela, predomina el ópalo de fuego. El ópalo se pierde a la profundidad y le sucede generalmente el kaolín. Algunos mantos de kaolín pueden verse a distintas alturas en el campo riolítico de Tetillas y El Ciervo, distrito de Cadereyta. Estos mantos tienen por origen la alteración que "in situ" han sufrido las riolitas. Se les utiliza escasamente en la industria; algún manufacturero fabricó con estos materiales los aisladores para las subestaciones y líneas de la Compañía Hidroeléctrica Queretana, con buen éxito. Su explotación no es económica por la falta de vías de comunicación; sin embargo, el tonelaje pagaría bien los gastos de una pequeña industria. El kaolín se presenta en el arroyo que corre entre el cerro de los Ramírez y la loma de Taxdejé con la dirección S. 45° E. a N. 45° W. Las riolitas rosadas y porfiríticas de Los Ramírez están dislocadas y fracturadas, así se presentan en la ladera derecha del arroyo torrencial de Taxdejé y le dan una sección transversal a éste, que obedece al echado actual de estas rocas dislocadas. La erosión ha encontrado su obra más fácil labrando el cauce del arroyo, según los planos de fractura en que la roca se divide. Las diaclasas tienen un rumbo de N. 38° W. con echado de 68° al S. 52° W. Los mantos de kaolín se encuentran debajo de las tobas riolíticas de la loma de Taxdejé. Las tobas están fracturadas y ahí circulan aguas freáticas que resurgen al exterior en los manantiales de "El Sábino," sirviendo de lecho inferior e impermeable el kaolín. (Lám. X., figs. 3 y 4.) Dos son los mantos principales de kaolín, descubiertos en el arroyo de Taxdejé, separados por una brecha roja de grandes fragmentos angulosos. El manto superior tiene una potencia de 10 metros, surcado por fracturas con rumbo de N. 62° W. y echado de 58° al S. 28° W. Las riolitas de Tetillas y Los Ramírez descansan sobre andesitas grises microcrist-

talinas muy fracturadas y divididas en pequeñas lajas o bloques; por estas diaclasas brotan escasos manantiales en el arroyo que va de Tetillas a la hacienda de El Ciervo; en este arroyo existen aguas freáticas en algunos pozos. La posición de las diaclasas acuíferas en las andesitas es como sigue: rumbo N. 69° W. con echado de 41° al N. 21° E., rumbo S. 76° W. con echado de 51° al S. 14° E.; rumbo N. 40° W., con echado de 48° al N. 50° E.

Las andesitas fueron dislocadas y fracturadas a consecuencia de las efusiones riolíticas que se verificaron en la base del plioceno (1) y que levantaron las eminencias de Los Ramírez y Tetillas, en cuyas faldas se advierte una gran mesa de brechas y conglomerados rojos. El proceso eruptivo se verificó por grietas, como puede verse en las paredes del cañón del río San Juan entre Tequisquiapan y Las Rosas, estas grietas son transversales al curso del río y se corresponden de uno y otro lado, como puede verse en El Aguacate y en La Angostura. Las rocas se presentan en este cañón divididas en prismas verticales, que ahí llaman "cuar-tones." Todas las variaciones riolíticas están representadas en este corte natural.

Las andesitas, rocas terciarias más antiguas de las riolitas, ocupan un área mucho menor que la riolítica en la zona que describimos, afloran en la sierra de Galindo, en el corte que ha hecho el San Juan a la altura de la Presa de San José. El cerro del Mastranzo o de Santa Rosa, es un macizo andesítico en la margen derecha del río al S. de Tequisquiapan; igualmente es andesítico el esqueleto de los cerros de Ajuchitlán; son también andesíticos los cerros de la hacienda del Rincón (Puerto del Chivato) en el valle de Cadereyta.

Las tobas riolíticas rellenan los valles de San Juan del Río y Ezequiel Montes.

Las erupciones pleistocenas de basalto vinieron a cubrir con sus derrames, esporádicamente, algunas áreas de la región recorrida. Los basaltos que provienen de

los centros eruptivos de Xingó y Santa Rita cubren las tobas riolíticas, alternando los derrames de lava compacta con los productos clásticos cementados por el lodo volcánico, brechas y tobas. El cerro de La Venta del Refugio es basáltico y las erupciones se hicieron por grietas que la erosión ha puesto de relieve, dejando ver los afloramientos de diques basálticos con rumbo de N. 20° W. De formación basáltica es el cerro de San Clemente aislado en el valle de San Juan del Río.

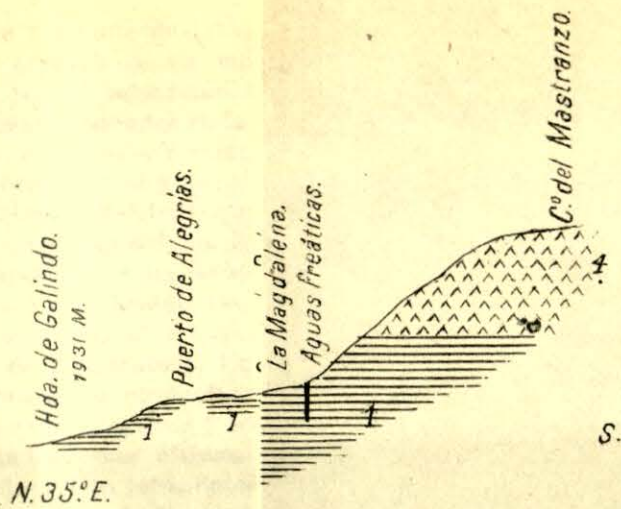
Los productos de proyección de estas erupciones cuaternarias están recubiertos por tobas y terrenos de aluvión. Otros centros eruptivos basálticos los señalaremos en la barrera montañosa que separa los valles de Ezequiel Montes y de Cadereyta. El cerro de La Caja es un aparato volcánico de cráter muy erosionado. Los derrames basálticos se encuentran al NW. de la villa de Ezequiel Montes al llegar al rancho de Buenos Aires, en camino para Ajuchitlán y Bernal. El cerro de La Magdalena, en Cadereyta, es basáltico y de igual formación son los cerros de La Cueva y de La Silleta, próximos a la ciudad de Cadereyta de Montes.

De las diaclasas del basalto columnar, en este último cerro, brotan manantiales de gasto muy reducido que utilizan los vecinos de Cadereyta.

Las tobas basálticas rellenan los valles de Ezequiel Montes y de Cadereyta. Este último en circular, aproximadamente, cerrado de 8 kilómetros de diámetro, más alto que sus circunvecinos de Ezequiel Montes, Tetillas y el Palmar.

Las erupciones basálticas cubren las tobas riolíticas en el tramo de Tzi-Patehé a Las Rosas. (Lám. X., fig. 5.) Las tobas riolíticas en Yexthó, Mothó y Tzi-Patehé son muy deleznales, de color amarillo y muy arcillosas; contienen venillas de yeso fibroso cristalizado en pequeñas agujas y venas de calcita. Se encuentra también azufre pulverulento que da el color amarillo a las tobas, que por frotamiento desprenden el olor de anhídrido sulfuroso. En las mismas tobas que presentan formas de erosión muy avanzada se encuentran diseminados, a distintas alturas, fragmentos de cuarzo celular y de anhidrita. Finalmente, en Tzi-Patehé se ob-

(1) Ingeniero don José G. Aguilera. Distribuidor geológico de los criaderos minerales de la República Mexicana. "Boletín Minero." Tomo II. Núm. 4, pág. 179.

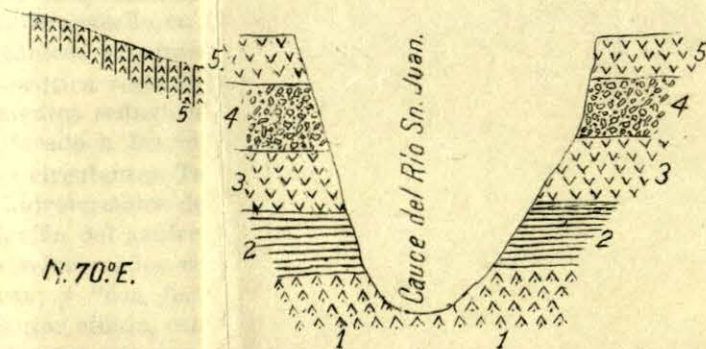


acturadas

Fig. N° 3.

Fig. N° 5 Corte transversal.

en Nexthé



- | | | | |
|---|---------------|---|-------------------|
| 1 | Kaolin | 1 | Riolitas |
| 2 | Tobas Rio | 2 | Tobas Riolíticas. |
| 3 | " | 3 | Basalto columnar. |
| 4 | " Icedonia. | 4 | Brecha volcánica |
| 5 | Riolitas ana. | 5 | Basalto. |
| 6 | Riolítico | | |

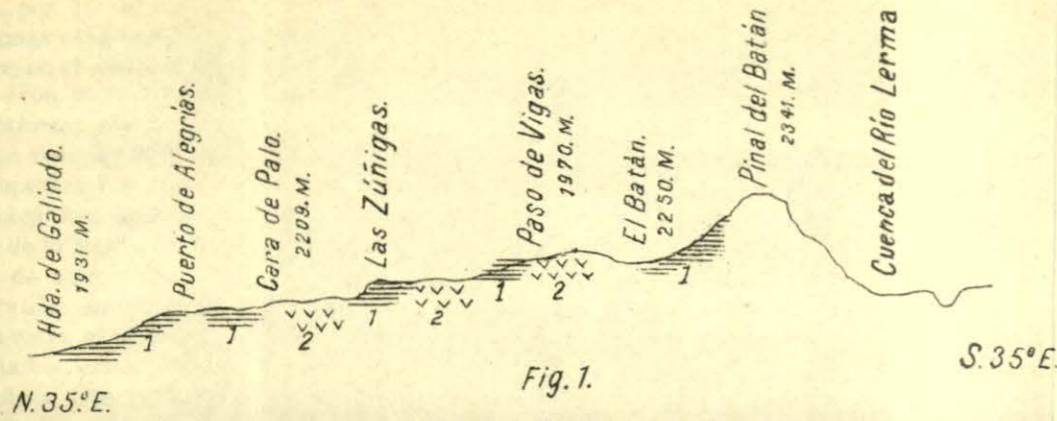


Fig. 1.
1 Tobas Riolíticas
2..... Basalto.

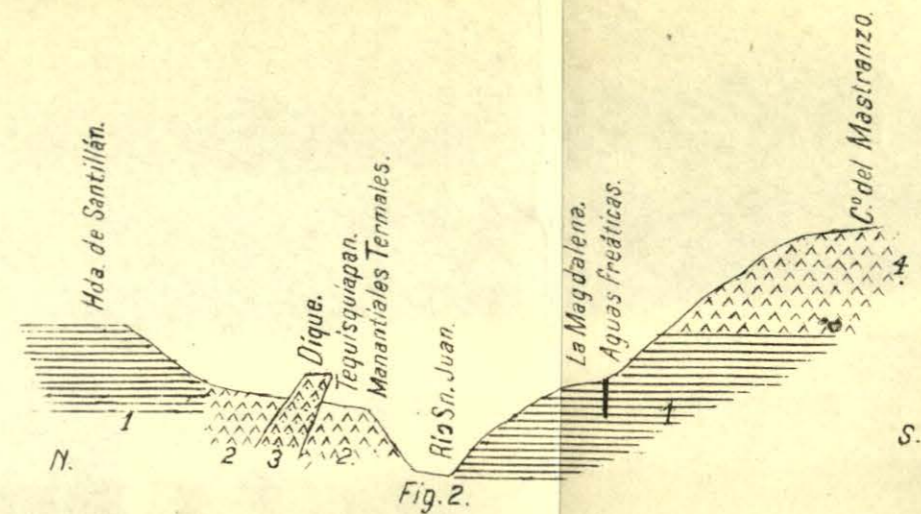
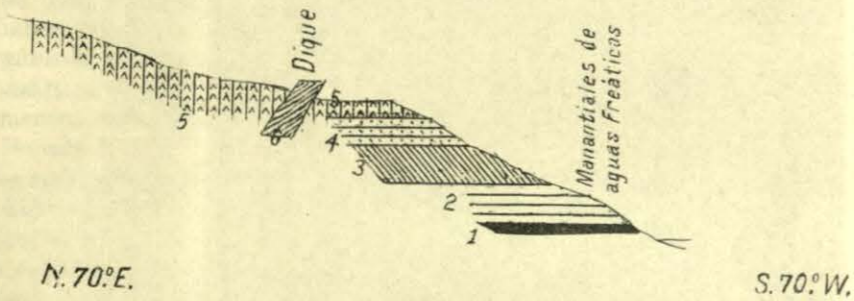


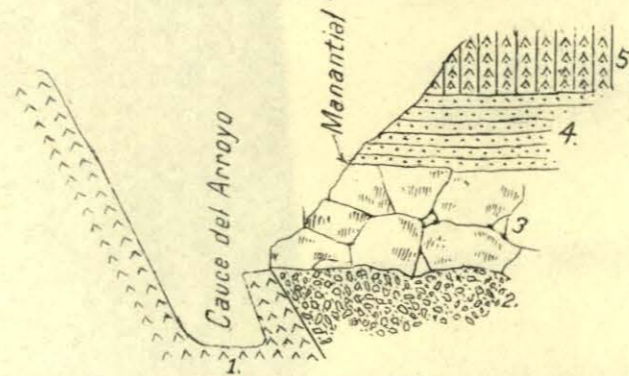
Fig. 2.
1 Tobas Volcánicas.
2 Riolitas dislocadas y fracturadas
3 Riolítico.
4 Andesitas.

Fig. N° 3. Perfil longitudinal del arroyo de Taxdejé.
(margen izquierda)



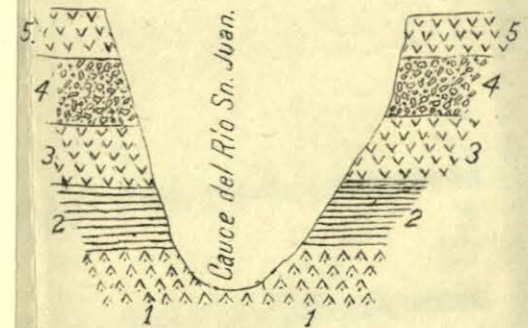
1 Kaolín
2 Tobas Riolíticas horizontales.
3 " " inclinadas.
4 " " con lentes de obsidiana.
5 Riolitas columnares de color rosado.
6 Riolítico con litofisas, alojando ópalos.

Fig. N° 4. Corte transversal del
arroyo de Taxdejé

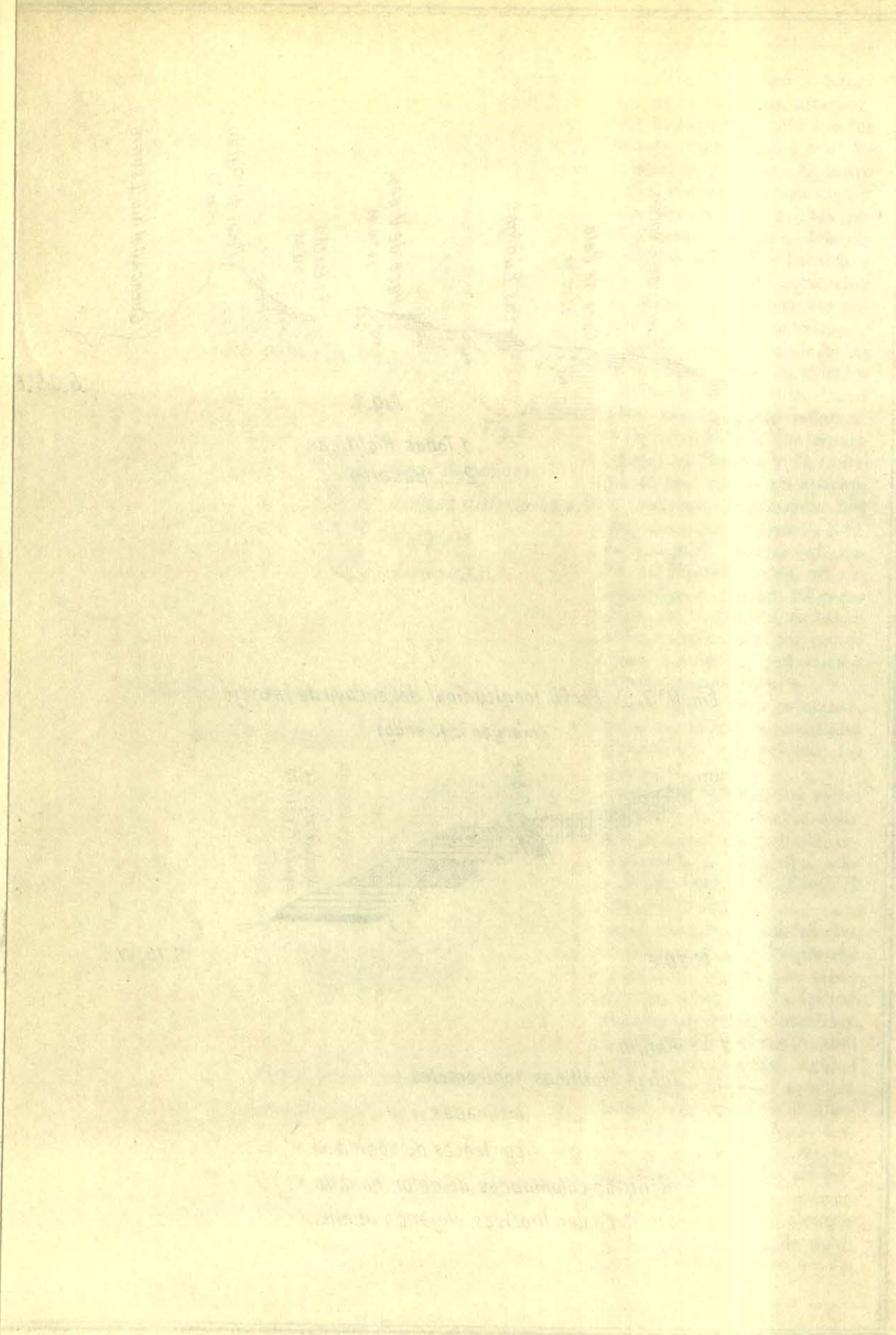


1 Riolitas dislocadas y fracturadas.
2 Conglomerado rojo.
3 Kaolín con fragmentos de cuarzo y calcedonia.
4 Tobas Riolíticas con lentes de obsidiana.
5 Riolita columnar.

Fig. N° 5 Corte transversal.
en Nexthó



1 Riolitas
2 Tobas Riolíticas.
3 Basalto columnar.
4 Brecha volcánica
5 Basalto.



Canaan

Salem

Bethel

Hartford

Springfield

New Haven

New York

serva una corriente de lava reciente que arrasó y englobó en su masa un área ocupada por la vegetación arborescente, cuyas ramas calcinadas en la corteza y silicificadas en el centro forman por su enlace mutuo con la lava y escoria basálticas, una plataforma resistente que termina en la margen derecha del río. Entre esta cubierta superficial y un lecho de arena y vidrio volcánico, brotan los manantiales termales de la localidad a 38.7 grados centígrados de temperatura. Un poco abajo de Tzi-Patehé se encuentra el contacto entre las rocas eruptivas y sedimentarias, representadas estas últimas por calizas metamórficas. Con estos datos es fácil demostrar la causa de la asociación de los elementos minerales mencionados en Tzi-Patehé. El señor ingeniero don José G. Aguilera la explica en términos bastante claros (1): "el azufre aparece algunas veces en íntima relación con rocas eruptivas terciarias que dieron origen a las aguas termales, que, al circular por las calizas dislocadas y fracturadas por tales intrusiones, las disolvían arrastrando en solución el sulfato de calcio (anhidrita o yeso o ambos minerales), éstos, en parte, serán reducidos por los restos orgánicos de las calizas y el azufre será el producto de esta reducción." O bien, como puede haber pasado en Tzi-Patehé: los restos orgánicos vegetales, cubiertos por la lava basáltica reciente, proporcionaron los elementos reductores del sulfato de calcio llevado a las tobas por las aguas termales circulantes. Tanto las manifestaciones hidrotermales de Tzi-Patehé como la asociación del azufre, yeso y anhidrita, están relacionados con las erupciones riolíticas; y "con toda probabilidad," dice el autor citado, estos criaderos son de mediados del plioceno.

Los criaderos de yeso no son de importancia industrial, actualmente se paga la tonelada en Tequisquiapan, incluyendo el flete, a \$5.00 mexicanos. El tonelaje es muy limitado.

(1) Distribución geológica de los criaderos minerales de la República Mexicana. "El Minero Mexicano." Tomo II, Núm. 4, pág. 180, por el señor ingeniero José G. Aguilera.

Ya describimos a grandes rasgos las formaciones eruptivas que ocupan la parte S. y SE. del Estado de Querétaro. Debemos añadir que al NW. y NE. de la villa Ezequiel Montes, en Bernal y en el arroyo de San Juan de la Rosa, respectivamente, alcanzamos el contacto de las rocas eruptivas con las cretácicas sedimentarias.

Al NW. de la citada villa se levanta como accidente prominente del relieve que limita el valle, el hermoso pico o peña de Bernal (fot. 4), visible desde los cerros de Acambay, Estado de México, y de los llanos de Huapango, es decir, desde una distancia poco mayor de 85 kilómetros.

Este pico parece ser el resto de un cuello volcánico fracturado por el enfriamiento rápido que sufrió su masa de composición ácida y posteriormente sometido al intemperismo ha sido ampliamente agrietado como una vieja torre en ruinas. Cuando se le observa desde lejos, su silueta aparece como un pilón cónico de mucha altura y de base pequeña, aunque ésta ocupa un área, aproximada, de 25 H.-A. y se eleva a 300 metros sobre el nivel medio de la villa Ezequiel Montes.

La roca que forma este monumento geológico es una traquita compacta de grano muy fino, de color gris, de tacto rugoso y que contiene cuarzo libre.

La base amplia de Bernal está surcada por muchas diaclasas acuíferas, en las que aparecen al exterior las aguas infiltradas en las diaclasas de las andesitas de Ajuchitlán; estos manantiales que surten a varios centenares de personas que viven en las faldas de La Peña, pertenecen hidrográficamente a la cuenca del río Tolimán; al S. 15° E. del pico, desciende hacia el N. 40° E. el arroyo de la Candelita, tributario del río mencionado. En el nacimiento de este arroyo está el contacto entre las rocas eruptivas y las sedimentarias del cretácico; éstas son calizas negras o azuladas, surcadas por vetillas de calcita. Están fracturadas y dislocadas. Las rocas eruptivas son riolitas muy fracturadas, cubiertas en un espesor de 10 metros por tobas volcánicas. En el contacto y en las diaclasas secundarias que se anastomosean, aparecen manantiales pequeños de aguas frías. Las diaclasas

acuíferas tienen los siguientes rumbos: N. 75° E. con echado de 34° al N. 15° W. y N. 10° E. con echado de 54° al S. 80° E. En un nivel más elevado, en la base tectónica de La Peña se encuentran diaclasas acuíferas con rumbo de N. 6° W. y echado de 47° al N. 84° E. A un nivel más alto todavía y en donde cambia bruscamente la pendiente en el perfil del Pico se encuentra el manantial del Cuervito en la falda Sur, éste es el más alto y surge por diaclasas de rumbo N. 45° W. con 66° de echado al N. 45° E. La erosión es notablemente más activa al N. que al S. y los arroyos de La Candela y del Culantrillo descienden rápidamente al thalweg del Tolimán, mientras hacia el valle de Ezequiel Montes el declive es suave. Esto es de mucha importancia para la hidrología subterránea del valle de Ezequiel Montes; efectivamente si por el Oriente tiene un dren natural profundo que es el río de San Juan, por el NW. tiene otro representado por el río de Tolimán y en este caso se explica la carencia de aguas subterráneas en mantos extensos y a corta profundidad en el valle mencionado.

Por no dejar en la cartera algunos datos de campo nos referiremos aquí al contacto entre las rocas eruptivas y sedimentarias, en el arroyo de San Juan de la Rosa; que visité por invitación de algunos vecinos de Cadereyta, pero advertiré que esta región fué estudiada ya por el señor ingeniero don Juan D. Villarello (1).

Del cerro de La Caja se desprende al N. una sierrita conocida con el nombre de Las Cenizas, en cuyas faldas se asienta la hacienda de Santa Bárbara dentro del valle cerrado de Cadereyta de Montes (antes de Méndez), paralelamente a Las Cenizas, se orientan al Norte los alineamientos orográficos de La Palma Gorda y la Sierra Azul, dentro de la cuenca de drenaje del río Tolimán. En la cresta de Las Cenizas se nota una depresión en altura, un cuello topográfico, llamado Puerto del Tepozán o de San Juan de la Rosa, se

reanuda la elevación del relieve en los cerros de la hacienda del Rincón, y al N. 55° E. de la ciudad de Cadereyta, se levanta el cerro de Mintehé o de Santa Cruz; y así se sigue limitando la cuenca cerrada de Cadereyta por los cerros de Quitiyé, Los Espinos, La Cueva, La Silleta, Boxasní, La Magdalena y Zituní. El Puerto de Tepozán o de San Juan de la Rosa queda al N. 4° E. de Cadereyta, liga los cerros de Santa Bárbara y los de la hacienda del Rincón. Llegando a él se puede ver un arroyo que tiene una dirección de S. 20° W. a N. 20° E. y que corre dejando a su derecha los cerros: Frío, Tepehuajal, del Guajolote y de las Pilitas y a su izquierda el cerro de la Plaza Vieja, todo de constitución andesítica. El arroyo tributa sus aguas al de San Juan de la Rosa; éste tiene un rumbo medio de S. 30° E. a N. 30° W., corre al pie de los cerros: Grande, Frío, de la Mesa Redonda y de la Mina Vieja, pertenecientes a la hacienda del Rincón, y tributa sus aguas al arroyo de San Pablo en el puerto denominado Puerto del Aire. El arroyo de San Pablo es afluente del río de Tolimán. En el corte natural que ofrece el arroyo de San Juan de la Rosa, se observa que las andesitas de los cerros del Rincón, que hicieron erupción por diques, descansan en rocas sedimentarias, plegadas en tal forma, que el arroyo ha cavado su lecho según el eje de un sinclinal. Estas rocas se disponen en capas alternadas de calizas, muy fracturadas, grises oscuras, de tacto untuoso y conteniendo chert o sea el pedernal negro de origen orgánico y de pizarras divididas en pequeños fragmentos por numerosas leptoclasas. En la masa compacta del chert se distinguen venillas de calcita depositada por las aguas subterráneas circulantes. En los planos de estratificación de las calizas y en las leptoclasas de las pizarras aparecen escasos manantiales de agua fría, cuyo gasto es muy semejante al de los de la base de la Peña de Bernal. Los planos de estratificación tienen un rumbo cercano de EW. con echado al N. 76° y las diaclasas acuíferas tienen un rumbo de N. 28° E. con echado de 38° al N. 62° W. y de N. 45° E. con echado de 22° al N. 45° W. Como última formación en las partes altas de las lade-

(1) Hidrología interna de los alrededores de Cadereyta, Estado de Querétaro. Por el ingeniero de minas Juan D. Villarello. Parergones del Instituto Geológico de México. Tomo I, Número 6, 1904, págs. 155-208.

ras de este arroyo pueden observarse las riolitas que hicieron efusión por diques que se encuentran en el puerto del Chivato entre el cerro Grande y la mesa de los Chilitos. Ya se verá por las condiciones estratigráficas del lecho del arroyo de San Juan de la Rosa, que se trata de un terreno permeable por excelencia, la prueba de ello es que el agua que producen en pequeña cantidad los manantiales de ese lugar, no corre por el cauce del arroyo y desaparece rápidamente, más bien por filtración que por evaporación. Yo respeto, por muchos conceptos y razones, las opiniones del señor ingeniero don Juan D. Villarelo; pero no debería aprobarse la construcción de una presa en el arroyo de San Juan de la Rosa, como lo propone el autor citado (1) para hacer el riego del valle de Cadereyta, pues el vaso sería permeable. Además, tenemos otras razones en contra de ese proyecto: 1.^a, no existen datos pluviométricos que garanticen un contingente suficiente para almacenar el agua en la presa para cubrir las exigencias del riego de una superficie aproximada de 4,800 H. A.; por el contrario, existen probabilidades de una precipitación pluvial demasiado baja; 2.^a, en el lugar elegido para la cortina, el arroyo no ha tenido demasiado desarrollo lineal desde su nacimiento, para que los tributarios (arroyos del Ojo de Agua y de la Mina Vieja, entre otros), hagan el drenaje superficial de un área extensa, esto es, hasta el lugar indicado, la cuenca hidrográfica del arroyo citado es pequeña; 3.^a, el perfil longitudinal del arroyo es de fuerte pendiente y, por lo tanto, la altura de la cortina no sería económica para conseguir una grande capacidad.

CAPITULO V

Hidrología subterránea y obras de captación que se aconsejan

Por el orden natural en que hemos de contestar a las cuestiones hidrológicas planteadas, y obedeciendo a la fisiografía

(1) Hidrología interna de los alrededores de Cadereyta, Estado de Querétaro. Por el ingeniero de minas Juan D. Villarelo. Parergones del Instituto Geológico de México. Tomo I, Número 6, 1904, págs. 206-207.

de la región estudiada, daremos a conocer la hidrología subterránea de cada valle, después de anotar los datos meteorológicos e hidrográficos que corresponden a distintas localidades (1). Desgraciadamente no pude obtener datos acerca de la evaporación en ninguna de las localidades. De haber conseguido esto, hubiera sido muy fácil reducir la cantidad de agua infiltrada anualmente en el valle de San Juan del Río, aplicando la fórmula hidrológica de Martonne. Efectivamente, en este caso contamos con el valioso concurso de los aforos hechos en el río de San Juan por la Comisión Hidrográfica de la Secretaría de Fomento y con datos pluviométricos bastante fidedignos. Unos y otros son los siguientes:

| | Milímetros |
|--|--|
| P. = Índice pluviométrico para Querétaro..... | 484.6 |
| P. = Índice pluviométrico para la parte plana del valle de San Juan del Río..... | 466.4 (Promedio de 25 años) |
| P. = Índice pluviométrico para la cuenca alta y montañosa del valle de San Juan del Río..... | 653 o sean 0.4, mayor que la anterior, si se toma como unidad. |
| Area de drenaje de montaña..... | 1421 kilómetros cuadrados. |
| Area de drenaje del Río Viejo..... | 970 kilómetros cuadrados. |
| Volúmenes corridos en la estación lluviosa de 1905: | |
| Estación hidrográfica del Río Ñadó..... | 124683000 metros cúbicos. |
| Estación hidrográfica en San Juan del Río..... | 119601000 metros cúbicos. |
| Estación hidrográfica en La Llave..... | 113805000 metros cúbicos. |

Con estos datos calculamos el índice de circulación superficial D, dividiendo el volumen corrido entre la superficie del área drenada y así encontramos para

(1) Estos los debo a la bondad del señor ingeniero José A. Ortiz, jefe de la Comisión Hidrográfica del río de San Juan.

la cuenca montañosa: $D=88^{\text{mm}}$ y para la parte plana del valle, $D=128^{\text{mm}}$. Valores que están de acuerdo con los obtenidos en otros países, pues se ha visto que en los climas templados para índices pluviométricos comprendidos entre 500 y 750^{mm}, los índices de circulación superficial varían entre 25 y 200^{mm}. Suponiendo que la evaporación física y la cantidad de agua absorbida por las plantas representen, en conjunto, el 15% del índice pluviométrico, entonces: para la parte plana del valle de San Juan del Río, tendremos, representando por I la infiltración y por S la extracción que se hace por el bombeo en las norias numerosas de ese valle:

$$I = P - D - (E_1 - E_2) - S$$

$$I = 466.4 - 128 - 70 - S,$$

o bien:

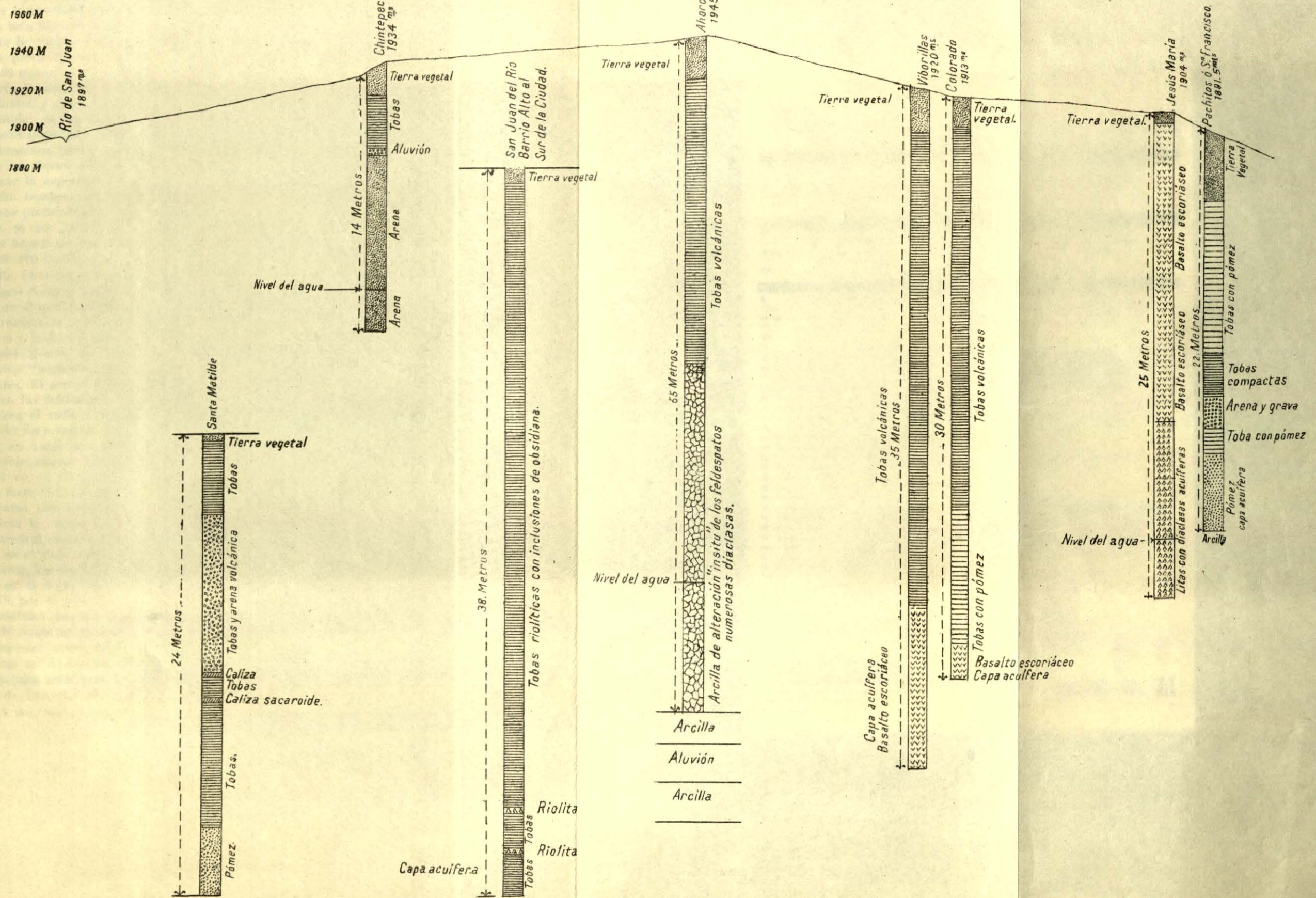
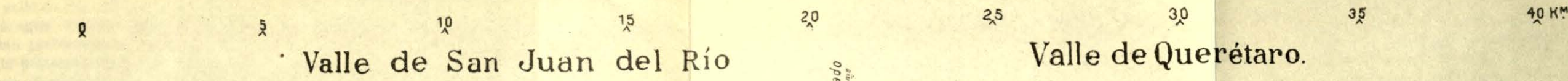
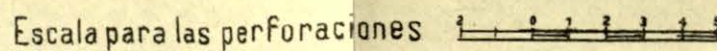
$$I - S = 268.4 \text{ m. m.}$$

La cantidad S es muy considerable, como se verá después, por lo cual es de suponerse que no toda el agua extraída tiene su origen en las precipitaciones que recibe directamente la cuenca citada. Hay que pensar en que su trayecto es remoto y que provienen de zonas de alimentación más lejanas y fuera de los límites del valle de San Juan del Río, con toda probabilidad de las infiltraciones en las vertientes SW. del Pinal de Zamorano.

Valle de San Juan del Río. Son tan numerosas las perforaciones hechas en este valle (lám. XI), que muestra consideraciones acerca del proceso de circulación de las aguas subterráneas, se basarán en hechos experimentales y no en conjeturas. Efectivamente, los trabajos realizados nos permiten asegurar que el mecanismo de circulación es muy sencillo: existen en el valle mantos acuíferos a distintas profundidades, ya de aguas freáticas o sin presión hidrostática o aguas artesianas ascendentes, pero no brotantes. El caudal de aguas subterráneas es tan considerable que ha hecho pensar a algunas personas en la existencia de un río subterráneo que alimenta las norias de la región. Nada más erróneo: los mantos acuíferos contenidos en rocas permeables son distintos por su naturaleza y se encuentran a diversas profundidades. Unas veces en la pómez

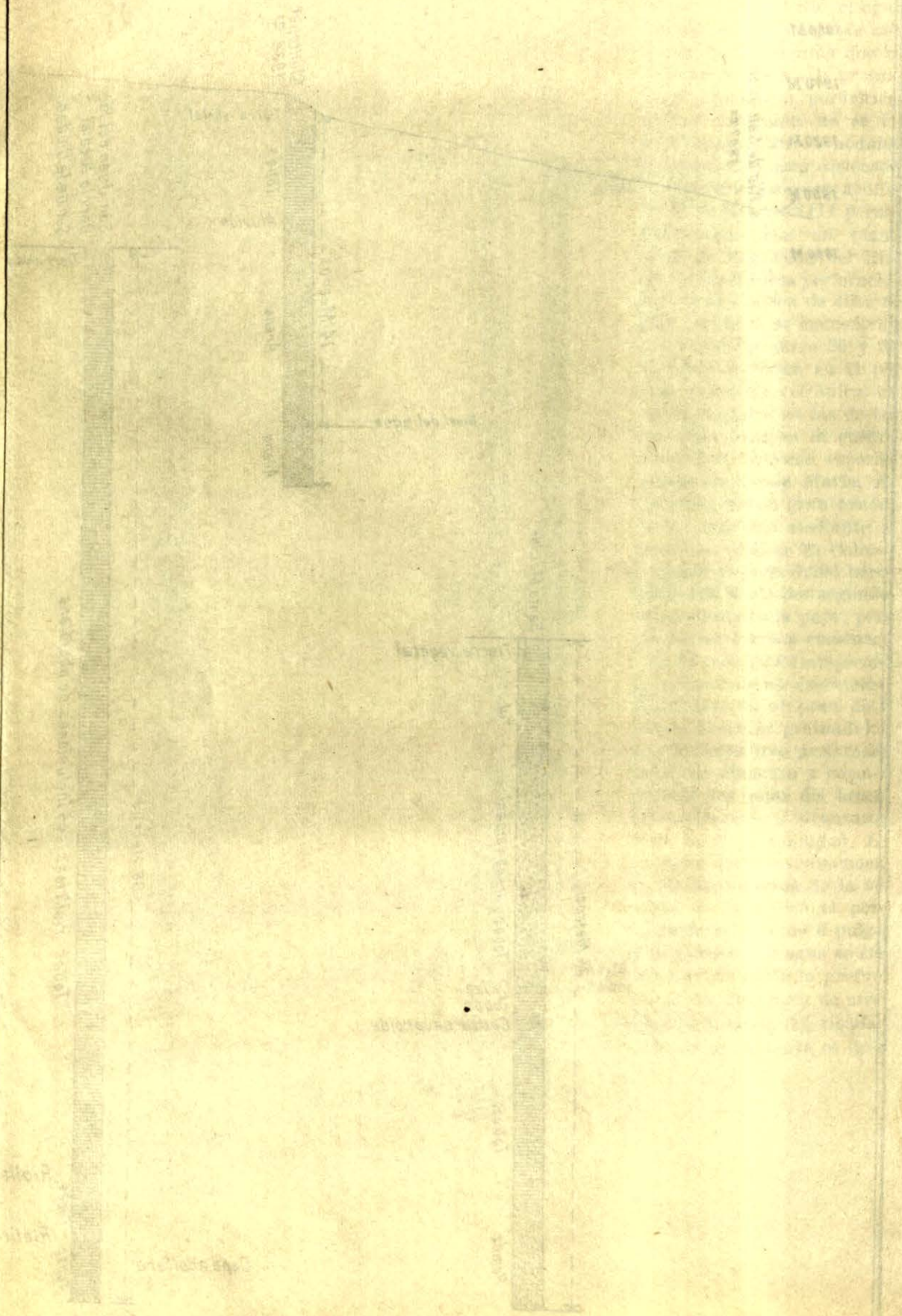
porosa y fibrosa, de permeabilidad continua, la que forma la capa acuífera. Otras veces la circulación subterránea se verifica entre los poros y cavidades del lapilli y de la escoria volcánica. Finalmente, como pasa en las cercanías de la línea divisoria de las aguas de los valles de Querétaro y de San Juan del Río, el agua subterránea circula en las diaclasas amplias y numerosas de las riolitas que se encuentran desde los 20 metros de profundidad. Esta roca es compacta, porfirítica, parda, de fractura conchoide, no es vítrea, presenta el cuarzo libre en nódulos pequeños pero abundantes, está dislocada y fracturada y sus diaclasas son acuíferas. Los cortes de la lámina XIII permiten, si se correlacionan con un plano acotado del valle de San Juan del Río, predecir el éxito de las futuras perforaciones en el valle; por el examen de ellos se ve que las aguas freáticas se encuentran a profundidades variables entre 20 y 35 metros; en las tobas pomozas, en la pomez, en el lapilli y escoria volcánica, en las diaclasas de la riolita o en las de las tobas riolíticas, como pasa en la cuenca de San Juan del Río. Merecen especial atención los pozos de Jesús María, El Colorado y Viborillas por el gran caudal que aportan a la superficie mediante el bombeo. La bomba del pozo de El Colorado extrae, sin agotar el pozo, 7,200 litros por minuto o sean 120 litros por segundo. El combustible empleado es la paja; pero la mayor parte de las bombas consumen energía eléctrica. El pozo de Chintepec está trabajando en condiciones especiales; después de haber labrado el pozo de 5 metros por lado y hasta la profundidad de 14 metros, se hicieron tres perforaciones de 6 pulgadas de diámetro y como a 7 metros de tres de los lados del brocal del pozo. Estas perforaciones alcanzaron 58.62 y 80 metros de la profundidad. La última produjo agua artesiana ascendente hasta menos de doce metros de la superficie del suelo. Se comunicó el pozo central con las perforaciones de 6 pulgadas por medio de túneles y el agua se eleva por medio de bombas desde la profundidad de 12 metros. La diferencia de nivel entre Chintepec y el thalweg del río San Juan en la hacienda de la Llave es de 8

Relieve del suelo



Escudo Nacional
1876

Valle de San Juan del



1. M. de San Juan del
 2. M. de San Juan del
 3. M. de San Juan del
 4. M. de San Juan del
 5. M. de San Juan del
 6. M. de San Juan del
 7. M. de San Juan del
 8. M. de San Juan del
 9. M. de San Juan del
 10. M. de San Juan del
 11. M. de San Juan del
 12. M. de San Juan del
 13. M. de San Juan del
 14. M. de San Juan del
 15. M. de San Juan del
 16. M. de San Juan del
 17. M. de San Juan del
 18. M. de San Juan del
 19. M. de San Juan del
 20. M. de San Juan del
 21. M. de San Juan del
 22. M. de San Juan del
 23. M. de San Juan del
 24. M. de San Juan del
 25. M. de San Juan del
 26. M. de San Juan del
 27. M. de San Juan del
 28. M. de San Juan del
 29. M. de San Juan del
 30. M. de San Juan del
 31. M. de San Juan del
 32. M. de San Juan del
 33. M. de San Juan del
 34. M. de San Juan del
 35. M. de San Juan del
 36. M. de San Juan del
 37. M. de San Juan del
 38. M. de San Juan del
 39. M. de San Juan del
 40. M. de San Juan del
 41. M. de San Juan del
 42. M. de San Juan del
 43. M. de San Juan del
 44. M. de San Juan del
 45. M. de San Juan del
 46. M. de San Juan del
 47. M. de San Juan del
 48. M. de San Juan del
 49. M. de San Juan del
 50. M. de San Juan del
 51. M. de San Juan del
 52. M. de San Juan del
 53. M. de San Juan del
 54. M. de San Juan del
 55. M. de San Juan del
 56. M. de San Juan del
 57. M. de San Juan del
 58. M. de San Juan del
 59. M. de San Juan del
 60. M. de San Juan del
 61. M. de San Juan del
 62. M. de San Juan del
 63. M. de San Juan del
 64. M. de San Juan del
 65. M. de San Juan del
 66. M. de San Juan del
 67. M. de San Juan del
 68. M. de San Juan del
 69. M. de San Juan del
 70. M. de San Juan del
 71. M. de San Juan del
 72. M. de San Juan del
 73. M. de San Juan del
 74. M. de San Juan del
 75. M. de San Juan del
 76. M. de San Juan del
 77. M. de San Juan del
 78. M. de San Juan del
 79. M. de San Juan del
 80. M. de San Juan del
 81. M. de San Juan del
 82. M. de San Juan del
 83. M. de San Juan del
 84. M. de San Juan del
 85. M. de San Juan del
 86. M. de San Juan del
 87. M. de San Juan del
 88. M. de San Juan del
 89. M. de San Juan del
 90. M. de San Juan del
 91. M. de San Juan del
 92. M. de San Juan del
 93. M. de San Juan del
 94. M. de San Juan del
 95. M. de San Juan del
 96. M. de San Juan del
 97. M. de San Juan del
 98. M. de San Juan del
 99. M. de San Juan del
 100. M. de San Juan del

metros, según nivelación topográfica; de modo es que, esta circunstancia nos obliga a asegurar, con todo fundamento, que en el valle de San Juan del Río no se obtendrá agua artesiana brotante si no se efectúan perforaciones a más de 100 metros de profundidad, porque hasta ahora el nivel piezométrico de las aguas artesianas alumbradas es más bajo que el punto más bajo de la superficie topográfica de la región. Tanto en las perforaciones profundas de Chintepec como en la de 96 metros de El Ahorcado, se ha descubierto la alternancia de capas de arena, aluvión y grava con las de arcilla impermeable; es indudable que hay capas acuíferas forzadas o cautivas entre lechos impermeables, pero a esa profundidad las aguas no tienen presión suficiente para alcanzar la superficie del suelo y se elevan con bombas. Es probable encontrar a mayor profundidad capas acuíferas forzadas, y, por tanto, es de aconsejarse que se hagan perforaciones con ese fin a más de 100 metros.

Valle de Ezequiel Montes. Este hace contraste desde el punto de vista hidrológico con el que acabamos de describir, su climatología es también muy diferente. Es seco y árido, los habitantes de la villa Ezequiel Montes se surten de depósitos llamados "jagüeyes" para los usos más urgentes. El arroyo de La Purísima, que nace en las faldas del cerro de La Caja, atraviesa el valle y hace su drenaje superficial muy exiguo hacia el río de San Juan, en donde se tributa un poco al E. de Tequisquiapan. Los agricultores hacen diques en el thalweg para detener las aguas meteóricas siempre escasas. No existen datos pluviométricos, pero podemos clasificar la región entre las subdesérticas, acentuándose esta condición lamentable en el valle de Cadereyta que le es adyacente, las precipitaciones sólo se efectúan en el borde montañoso que limita el valle por el NW. y N. El estado bajo higrométrico del aire hace que los cambios de temperatura sean violentos y tal vez por esa causa las heladas son prematuras en la región, lo que constituye otro peligro serio para la agricultura. El valle de Ezequiel Montes está relleno por un material poroso, de permeabilidad

continua constituido por tobas pomozas que tienen un espesor de más de 100 metros, éstas descansan en basalto escoriáceo como puede verse en los pozos o norias de "Los Sánchez" y de "Buenos Aires," que a más de 80 metros no han alcanzado una capa acuífera, porque el basalto es también permeable. Las aguas meteóricas son absorbidas en su totalidad por esta esponja que forma el subsuelo del valle de Ezequiel Montes. Solamente en La Tortuga y Santillán se ha alcanzado el agua freática a 60 y 40 metros de profundidad. El profundo cauce del río San Juan hace el drenaje subterráneo del valle como ya dijimos antes. Los valles pequeños de "El Ciervo" y "Tetillas" sí contienen aguas subterráneas, cuya circulación se hace por las diaclasas de las andesitas y que aparecen como manantiales en el contacto de las andesitas con el conglomerado rojo y las brechas riolíticas de los cerros de Tetillas y de Los Ramírez. O bien estas aguas circulan en las tobas del cerro de Taxdejé, en el contacto de éstas y los montes de Kaolín. Todos los manantiales de El Ciervo, Tetillas y Taxdejé están a mayor altura que la villa de Ezequiel Montes, por lo cual pueden reunirse y almacenarse para ser conducidas a la villa citada por un canal de 12 kilómetros.

Las obras aconsejadas en este caso para captar las aguas consisten en colar socavones de infiltración siguiendo a rumbo las diaclasas acuíferas más ricas en los sitios mencionados. Hacer la aducción de las aguas captadas por este procedimiento y verificar perforaciones en Taxdejé con el fin de ver si a la profundidad hay capas acuíferas contenidas entre mantos de kaolín, como se ve al exterior, gracias al trabajo erosivo en el arroyo de Taxdejé. Estas aguas así captadas aliviarán la situación de los habitantes de la villa Ezequiel Montes.

Thalweg del río San Juan. Es notable por ser el sitio de manifestaciones hidrotermales. La termalidad de las aguas de Tequisquiapan se debe a la profundidad del trayecto subterráneo en las diaclasas de las riolitas que forman el subsuelo de la región, es de admitirse, sin temor de equivocación que estas aguas tienen una

zona de alimentación lejana y fuera de los límites del valle de Ezequiel Montes, pues su gasto de 590 litros por segundo no se justifica con la corta precipitación pluvial de que hemos hablado. Las aguas de Tzi-Patché deben su termalidad a la presencia de rocas eruptivas basálticas probablemente pleistocénicas. Los análisis de estas aguas fueron hechos por el jefe del Laboratorio de Química, señor profesor Carlos Castro, y figuran al final de este escrito.

Barranca del Zapote. Respecto de la solicitud de los vecinos de El Pueblito, cercano a Querétaro, que dicen necesitar agua para el riego de 180 hectaras de tierra, manifestó que la hidrología subterránea de la localidad fué ya perfectamente estudiada por los señores ingenieros J. D. Villarelo (1), Trinidad Paredes y Vicente Gálvez, en distintas ocasiones (2). De esos trabajos se desprende desde luego, que los vecinos citados sólo pueden aprovechar las aguas subterráneas que pueden captarse en la barranca del Zapote o las aguas que resurgen en las arenas del lecho del río de Huimilpan durante las épocas de sequía. Dice el señor ingeniero Villarelo: "Qué obras deberán hacerse para aumentar el volumen de agua que ahora sale por los manantiales de la barranca del Zapote?"

"Las siguientes, aunque no creo que ese aumento sea notablemente considerable para poderlo utilizar como fuerza motriz.

"En esta zona, las diaclasas son muy frecuentes: la cantidad de agua que producen a nivel de la barranca es pequeña; y, por lo tanto, no es de esperarse un aumento muy considerable al cortar otras grietas con las obras siguientes: prolongar el socavón llamado El Zopilote, abriendo lumbrera de ventilación y en las diaclasas acuíferas que se corten, abrir frentes hacia el NE. y el SW., siempre siguiéndolas a rumbo. Abrir frentes hacia el NE. y SW., siguiendo la diaclasa

(1) Hidrología subterránea de los alrededores de Querétaro, por el ingeniero de minas Juan D. Villarelo. Parergones del Instituto Geológico de México. Tomo I, Núm. 8, 1905.

(2) Informe relativo al agua, solicitado por los vecinos de El Pueblito, Querétaro, por el ingeniero T. Paredes. Parergones, 4-5.

acuífera ya cortada por esa obra, y que se encuentra a 33 metros aproximadamente, del tope actual del referido socavón. Enfrente a este último, en la margen derecha del arroyo "El Zapote" y en donde se observan pequeñas filtraciones, puede abrirse un socavón 80° NE., y romper frentes en las diaclasas acuíferas que se corten, las cuales, repito, ni serán muy abundantes, ni producirán mucha agua, como no la producen las ya cortadas."

Debo decir que cuando visité el socavón del Zapote ya se habían hecho en frente de él en la margen derecha, dos socavones; el más bajo estaba seco y el más alto recibía filtraciones escasas de arriba. Yo me limité a trazar el socavón que aconseja el señor ingeniero Paredes, para comunicarlo después con el mismo del Zapote.

La cantidad de agua que suministren estas obras horizontales será con toda probabilidad escasa. Ahora bien, la experiencia ha enseñado que es muy variable la capacidad de saturación en irrigación, es decir, la relación entre la cantidad empleada para el riego y la superficie por regar; esa relación depende del clima, distancia del océano, calidad de las tierras, clase del cultivo y manera de conducir las labores de campo. Como dato práctico daré a conocer la información que tuve en San Juan del Río: con un gasto de 60 litros por segundo en 24 horas puede regarse una hectara, y en los años siguientes la misma cantidad alcanza, respectivamente, para regar 30, 40 y 50 hectaras.

CONCLUSIONES

El objeto principal del estudio en la parte sudoriental de Querétaro fué el siguiente: aconsejar la mejor manera de captar agua subterránea para evitar el consumo de energía eléctrica en el bombeo del agua en las norías de San Juan del Río.

Captar aguas subterráneas para el abastecimiento de la villa Ezequiel Montes (antes Corral Blanco), en el Distrito de Cadereyta. Aconsejar las obras de captación para el riego de 180 hectaras de terreno en El Pueblito, Distrito de Querétaro.

Como conclusiones indicaré las siguientes:

Dadas las condiciones climatológicas reinantes y de acuerdo con las medidas hidrográficas verificadas en el río San Juan, se deduce que la infiltración de las aguas meteóricas en el subsuelo del valle de San Juan del Río, es insuficiente para mantener el régimen de circulación subterránea tan abundante como lo manifiestan las perforaciones hechas en ese valle; y por lo tanto, que las aguas subterráneas en ese lugar provienen de infiltraciones en otras regiones altas fuera de los límites del valle.

En el valle de San Juan del Río existen aguas freáticas abundantes y poco profundas y aguas artesianas ascendentes, pero no brotantes a la profundidad de 80 a 96 metros.

El nivel piezométrico de estas aguas es negativo; pero probablemente a la profundidad, nuevos mantos acuíferos tendrán la presión suficiente para producir aguas artesianas brotantes en el valle de San Juan del Río; por lo cual es de aconsejarse se profundicen las perforaciones.

La termalidad de las aguas en la villa de Tequisquiapan y los datos climatológicos del valle de Ezequiel Montes hacen pensar que esas aguas subterráneas son de procedencia profunda, que su trayecto subterráneo es muy largo y que la zona de alimentación de esos manantiales está lejana y fuera de los límites del valle mencionado. La termalidad de las aguas de Tzi-Patehé queda explicada de la misma manera; añadiendo, además, que deben intervenir en ella los fenómenos eruptivos de riolitas y basaltos.

El valle de Ezequiel Montes está profundamente drenado por el río de San Juan; y se aconseja para proveer de agua a la villa del mismo nombre, colar socavones de filtración en Tetillas, El Ciervo y Taxdejé, siguiendo a rumbo las diaclasas acuíferas que en esos lugares se manifiestan y reunir esas aguas para conducir las a Ezequiel Montes. Verificar perforaciones en Taxdejé con el fin de explorar, únicamente, pues es posible encontrar aguas subterráneas entre dos capas de kaolín, como se ve en el arroyo de Taxdejé.

El señor ingeniero J. D. Villarelo y el señor ingeniero Trinidad Paredes están de acuerdo en que el agua subterránea que pueda captarse en el arroyo del Zapote para que la aprovechen en el riego los habitantes de El Pueblito, será escasa con toda probabilidad. Se aconseja abrir un socavón paralelo al de El Zapote y comunicarlos con un crucero, siguiendo las diaclasas más acuíferas. La cantidad de agua necesaria para regar 180 hectaras es variable y por eso no puede decirse si el agua captada por ese procedimiento fuera suficiente para el riego de esa extensión.

México, D. F., 27 de noviembre de 1919.

APENDICE

Muestra de agua, procedente de Tequisquiapan, manantial de La Granja

(Análisis practicado por el señor profesor Carlos Castro.)

| | |
|---|-----------------------|
| Anhidrido carbónico libre..... | 0.218 % |
| Materia orgánica..... | 0.008 " |
| Residuo a 110° C. | 0.268 grs. por litro. |
| <hr/> | |
| Anhidrido carbónico combinado..... | 0.053 grs. por litro. |
| Anhidrido sulfúrico..... | 0.050 " " " |
| Cloro. | 0.008 " " " |
| Silice..... | 0.016 " " " |
| Sesquióxido de fierro, más alúmina..... | 0.010 " " " |
| Oxido de calcio..... | 0.062 " " " |
| Oxido de magnesio..... | 0.036 " " " |
| Oxido de potasio..... | 0.026 " " " |
| Oxido de sodio..... | 0.035 " " " |
| | <hr/> |
| | 0.296 grs. por litro. |

Muestra de agua procedente de Tzi-Patehé, margen derecha del río San Juan

(Análisis practicado por el señor profesor Carlos Castro.)

| | |
|---|-----------------------|
| H ₂ S..... | 0.050 % |
| Materia orgánica..... | 0.018 " |
| Residuo a 110° C. | 1.064 grs. por litro. |
| <hr/> | |
| Cloro..... | 0.118 grs. por litro. |
| Anhidrido carbónico combinado..... | 1.106 " " " |
| Anhidrido sulfúrico..... | 0.119 " " " |
| Acido nítrico. | huellas. |
| Acido silícico..... | 0.203 " " " |
| Sesquióxido de fierro, más alúmina..... | 0.024 " " " |
| Oxido de calcio..... | 0.056 " " " |
| Oxido de magnesio..... | 0.038 " " " |
| Oxido de potasio..... | 0.056 " " " |
| Oxido de sodio..... | 0.398 " " " |
| Oxígeno correspondiente al cloro..... | 0.028 " " " |
| | <hr/> |
| | 1.089 grs. por litro. |

Alturas sobre el nivel del mar de algunas localidades del Estado de Querétaro

| | | |
|---------------------------------|-------|------|
| Ajuchitlán. | 2,194 | Mts. |
| Bernal. | 2,063 | " |
| Boxasni. | 2,093 | " |
| Buenos Aires. | 2,085 | " |
| Cadereyta de Montes. | 2,056 | " |
| Cara de Palo. | 2,209 | " |
| Cerro de la Caja. | 2,268 | " |
| Cerro del Astillero. | 2,500 | " |
| Capas de Kaolín. | 2,135 | " |
| Cerro de San Mateo. | 2,600 | " |
| Cerro del Aguacate. | 2,341 | " |
| Cerro de Tetillas. | 2,213 | " |
| Cerro de Taxdejé. | 2,066 | " |
| Ezequiel Montes. | 1,964 | " |
| Fuentes de Cadereyta. | 2,056 | " |
| Hacienda de Chintepéc. | 1,938 | " |
| Hacienda del Ahorcado. | 1,945 | " |
| Hacienda La Griega. | 1,892 | " |
| Hacienda El Colorado. | 1,913 | " |
| Hacienda Jesús María. | 1,917 | " |
| Hacienda la H. | 1,926 | " |
| Hacienda Galindo. | 1,952 | " |
| Hacienda Santa Matilde. | 1,972 | " |
| Hacienda El Ciervo. | 2,018 | " |
| Hacienda la Cueva. | 2,062 | " |
| Hacienda La Llave. | 1,965 | " |
| Hacienda del Rincón. | 2,068 | " |

| | | |
|--|-------|------|
| Hércules. | 1,853 | Mts. |
| Lajas de Tetillas. | 2,108 | " |
| Manantial del Ciervo. | 2,072 | " |
| Pozos del Ciervo. | 2,103 | " |
| Manantial número 1 de Tetillas. | 2,117 | " |
| Manantial número 2 de Tetillas. | 2,124 | " |
| Manantial en el cerro de Tetillas. | 2,157 | " |
| Manantial de Taxdejé. | 2,119 | " |
| Manantial del Cuervito. | 2,040 | " |
| Manantial de Las Pilitas. | 2,143 | " |
| Mina de ópalo "El Hueso". | 2,090 | " |
| Mesa de la Calera. | 2,209 | " |
| Paso de Tablas. | 1,995 | " |
| Paso de Vigas. | 1,970 | " |
| Puente de El Pascualote. | 2,048 | " |
| Puerto del Tepozán. | 2,034 | " |
| Puerto del Chivatito. | 2,253 | " |
| Pie de la Peka de Bernal. | 2,026 | " |
| Querétaro. | 1,821 | " |
| Presa del Centenario. | 1,979 | " |
| El Aguacate en el Río San Juan. | 1,946 | " |
| Rancho de Enmedio. | 2,037 | " |
| Rancho del Batán. | 2,250 | " |
| San Juan del Río. | 1,903 | " |
| San Martín. | 2,135 | " |
| Tetillas. | 2,213 | " |