

SOCIEDAD CIENTIFICA "ANTONIO ALZATE"

---

Informe Sobre las Condiciones  
Geológicas de las Boquillas del Río de San Pedro,  
Afluente del Río Conchos, Chihuahua



Por el Dr.

Paul Waitz,

M. S. A.,

Geólogo de la Comisión Nacional de Irrigación



TALLERES GRAFICOS DE LA NACION

MEXICO.-- 1929



287

## INFORME SOBRE LAS CONDICIONES GEOLOGICAS DE LAS BOQUILLAS DEL RIO DE SAN PEDRO, AFLUENTE DEL RIO CONCHOS, CHIHUAHUA

Por el Dr. PAUL WAITZ, M. S. A.,  
Geólogo de la Comisión Nacional de Irrigación.



### INTRODUCCION

El río de San Pedro es el afluente más importante del río Conchos al cual desembocó a unos 10 kilómetros abajo del pueblo de Meoqui y a igual distancia aguas arriba de Julimes.

Los arroyos principales que forman el Conchos vienen de lo más alto de la Sierra Madre Occidental, donde pasa en ésta la línea de parte-aguas entre el Pacífico y el Golfo; los que originan el río de San Pedro, en cambio, nacen en las cordilleras menos elevadas al Este de aquella línea. Bastante más aguas abajo recibe el río de San Pedro por su margen izquierda, un importante afluente formado por la unión del río de Satevó que viene de Cusihuirachic, con el de Santa Isabel, que nace en las sierras al Poniente de la capital del Estado, y por el lado derecho el menos importante río de San Javier. Estos afluentes son los únicos que aportan al río cierta cantidad de agua durante todo el año, aunque en los meses de primavera y verano, sobre todo cuando las estaciones de lluvias se retardan, el gasto del río merma fuertemente; por ejemplo: en este año, en los primeros días del mes de julio, según aforos hechos en la boquilla de Las Vírgenes, cerca de Rosales, sólo corría en el río un metro cúbico por segundo.

En los 120 kilómetros que tiene el curso del río de San Pedro, desde Satevó hasta su confluencia con el Conchos, el río no recibe ya ningún afluente de aguas perennes, pues el arroyo de San Rafael que se le junta por el lado izquierdo en terrenos de la hacienda de San Lucas, y que es el mayor afluente en todo ese trayecto, casi nunca lleva agua, no obstante que en algunas ocasiones durante la estación de lluvias puede tener avenidas muy fuertes, así como también el arroyo del Vallecito, afluente más pequeño que llega al río por entre las boquillas del Charco del Gallo y de Las Vírgenes.

El área de captación del río de San Pedro tiene una extensión considerablemente más pequeña que la del Conchos arriba de Ciudad Camargo (es decir, excluyendo las áreas de sus afluentes importantes de los ríos de Parral y Florido), y por razón de que, como vimos arriba, no abarca la zona más elevada de la Sierra Madre Occidental, también la cantidad de lluvia que cae en ella tiene que ser menor. Sin embargo, el caudal de agua que corre por el cauce del San Pedro en tiempo de lluvia debe ser enorme, a juzgar no solamente por lo que dice la gente que vive en su orilla, sino también por las señales bien marcadas que se pueden observar en sus márgenes en muchos lugares. Se parece el río de San Pedro en este carácter de su régimen, a los otros grandes ríos de la región Central Norte de México, que nacen en lo alto de la Sierra Madre Occidental, como el Conchos y el Nazas, por ejemplo.

En la parte superior montañosa el área de captación del río de San Pedro colinda directamente con la del Conchos, pero en su porción media e inferior se interponen entre ambas algunos pequeños bolsones, es decir, depresiones y cuencas cerradas que no tienen desagüe superficial hacia afuera. El río de San Pedro es afluente del Conchos, y éste por su lado se junta, después de un curso relativamente corto, al río Grande del Norte, que es un río perenne a acusa de que

nace en la zona de las Montañas Rocallosas, donde el deshielo, precisamente en los meses más calurosos y más secos, proporciona cierto caudal de agua. Tanto el río Conchos como el de San Pedro y los demás de la región que hoy día son tributarios al primero, si no fuera por las circunstancias antes anotadas, morirían en uno de los varios bolsones que atraviesan cada uno de ellos, pues gracias al nivel de erosión baja (841 metros) que proporciona el río Grande del Norte a su afluente el Conchos en el punto de su desembocadura, éste y sus tributarios, correlacionados en sus niveles a él, han profundizado su lecho en los depósitos de relleno de los bolsones y han cortado profundos cañones a través de las sierras que se oponen a sus cursos, por lo que el drenaje de la región es perfecto. Lo contrario sucede, por ejemplo, con el Nazas, cuyas aguas mansas se mueren en los depósitos de acarreo acumulados por el río mismo, mientras que las aguas bronceas se evaporan en la sarteneja de la laguna de Mayrán.

Por las condiciones climatológicas de la región, sin embargo, el río de San Pedro, igual al Conchos, es un río típico de región y clima áridos, pues mientras que—como vimos arriba—en tiempo de estiaje en la boquilla de Las Virgenes su gasto sólo es de 1 a 2 metros cúbicos, en avenidas fuertes probablemente bajan por esta angostura varios miles de metros cúbicos por segundo.

Estas crecientes se efectúan naturalmente en la estación de lluvias que con cierta regularidad se establecen en la región en los meses de julio a septiembre, es decir, en una época ya algo tardía para que las precipitaciones sean oportunas para las siembras. Pero no solamente hace falta la lluvia en los meses de la primavera, sino que también la cantidad total de ellas es insuficiente para la agricultura, sobre todo en las zonas bajas de las llanuras, en donde, por la bondad de las tierras y por sus otras condiciones favorables, se podría desarrollar ésta en gran escala.

En el cuadro siguiente se dan la cantidad de precipitaciones y la temperatura media de algunos puntos cercanos de los Estados de Chihuahua y Coahuila; en la cuarta columna figura el "factor de lluvia" que resulta de la división de la cantidad de lluvia en milímetros entre la temperatura media en centígrados. El profesor Lang, actualmente profesor de Agrología (sucesor del famoso Rahmann) en Munich, ha establecido esta relación y ha enseñado que es la demostración más sencilla de las condiciones climatológicas en su influencia sobre la agricultura, pues en todas las regiones donde el factor de lluvia es menor de 40, las tierras necesitan forzosamente de la irrigación artificial. Posteriormente, el doctor P. Hirth (Petermann Mitteilungen, Tomo 72, Folleto 7/8, Pág. 145, Gotha, 1926), ha utilizado este factor de lluvia para la formación de un mapa mundial de Isonótidas (del griego "Notos"=humedad) que de una manera muy sencilla e instructiva demuestra la distribución de las zonas de factores de lluvias excesivas, suficientes e insuficientes.

	AÑOS	PRECIPITACION M/M.	TEMPERATURA GRADOS C.	FACTOR DE LLUVIA
Ciudad Juárez	6	266.4	17.2	15.5
Ojinaga	3	76.2	23.3	3.3
Chihuahua	11	408.2	18.4	22.2
Parral	10	390.2	17.1	22.8
Ciudad Camargo	4	316.8	18.0	17.5
Jiménez	5	336.4	17.5	19.2
Sierra Mojada	4	330.7	19.8	16.7

Este cuadro de datos meteorológicos demuestra claramente, que en nuestra región las precipitaciones son demasiado reducidas, que la región se puede considerar como árida, y que, por lo tanto, únicamente con riego artificial puede prosperar la agricultura.

El aprovechamiento de las aguas broncas del río de San Pedro, por medio de su almacenamiento en una presa cons-

truída para el objeto en una de las boquillas que se hallan en su curso, forma parte del proyecto de irrigación del río Conchos, elaborado hace tiempo por el ingeniero Benjamín Enríquez. En su informe respectivo habla sólo de dos angosturas que se han estudiado con el fin de aprovecharlas, siendo éstas la boquilla de Villalba a la entrada del cañón en que atraviesa el río la Sierra de San Pedro Conchos (pueblo que se encuentra al pie oriental de esta cordillera donde el cañón del río desemboca a la llanura), y la boquilla del Charco del Gallo, situada al principio de la cañada cortada por el río a través de las estribaciones australes de la sierra de Rosales o de Bachimba. Además de estas dos boquillas hay todavía otra llamada de Las Vírgenes, en la salida de la última cañada citada, a unos ocho kilómetros guas arriba del pequeño pueblo de Rosales. De esta tercera boquilla se ocupa el señor C. C. Fisher, ingeniero consultor, que tiene a su cargo el estudio del proyecto del Conchos, en su informe general respectivo.

#### GEOLOGIA Y MORFOLOGIA DE LA COMARCA

Al contemplar un mapa orográfico del Estado de Chihuahua, lo más notable que se observa a primera vista es que el haz de cordilleras que forman el macizo de la Sierra Madre Occidental en la parte Poniente, hacia el centro del Estado más y más se diversifica de tal manera, que entre las sierras paralelas que se presentan también en esta porción, se intercalan llanuras alargadas en dirección S.S.E. N.N.W. que es la misma de las sierras aumentando el ancho de las llanuras gradualmente mientras más lejos quedan del núcleo compacto de la Sierra Madre. En cambio, la altura y el ancho de las cordilleras disminuyen en la misma relación. Esto sucede hasta cerca de las cadenas que acompañan al río Grande del Norte por su orilla derecha, y que demuestran de nuevo una tendencia de acercamiento y de

aumento de su altura, lo que indica que ya pertenecen al sistema de la Sierra Madre Oriental o a la continuación del de las Montañas Rocallosas.

Estas diferencias orográficas del Oeste, Centro y Este del Estado, tienen su analogía en la composición geológica de las sierras, pues mientras que el haz cerrado de cordilleras de la Sierra Madre Occidental está constituido casi por completo por rocas ígneas que cubren la base sedimentaria que sólo en el fondo de profundas barrancas a veces quedan al descubierto, en las sierras más y más aisladas del centro, las rocas de la cubierta desaparecen tanto más cuanto estén más alejadas de la zona de las grandes erupciones del Oeste y las cadenas están formadas por el plegamiento energético de las calizas, margas y pizarras del Mesozoico, correspondiendo cada sierra con mayor o menor precisión a un anticlinal, y el fondo de las llanuras entre ellas a un amplio sinclinal.

A veces se observan en estos anticlinales intrusiones locales de rocas ígneas, presentándose en algunos lugares en contacto con los sedimentos de origen marino, capas y estratos de rocas volcánicas tanto en forma de corrientes como en la de tobas muy potentes cuya posición no es la horizontal, sea porque ya desde un principio han sido depositadas estas rocas en capas inclinadas, sea porque hayan sido afectadas también por el plegamiento que originó la formación de los anticlinales de las sierras.

Los sedimentos más antiguos que se han encontrado hasta la fecha en la comarca que atraviesa el río Conchos, parecen ser las pizarras que afloran en el anticlinal de Santo Domingo y que pertenecen probablemente a lo más alto del Jurásico Superior (Portlandiano Superior). Encima de estas pizarras siguen los sedimentos del Cretácico Inferior cuyas capas más antiguas están formadas por bancos de calizas con intercalaciones de pizarras (sobre todo en su base), teniendo esta serie, por lo general, una coloración

parduzca, amarillenta o rojiza. (Neocomiano?) Arriba de éstas siguen calizas en bancos gruesos de un color gris claro que contienen gran cantidad de pedernal negro (Aptiano y Albiano). Sólo en muy pocos lugares se encuentran en la región central de Chihuahua, encima de esta caliza de gran espesor, capas de margas oscuras con intercalaciones de bancos calcáreos y de areniscas, cuyos fósiles, no muy abundantes, permiten determinar su edad Vraconiana, que representa la transición del Cretácico Medio al Superior o al Cenomaniano.

En la porción oriental del Estado, es decir, en los alrededores de Ojinaga, afloran arriba de estos sedimentos más o menos calcáreos del Cretácico Inferior y Medio, pizarras, margas y areniscas que pertenecen al Cretácico Superior, y es de suponerse que estas formaciones marinas faltan en el centro y Oeste del Estado, no porque hayan sido destruidas por la erosión, sino porque no se han depositado, a causa de que en la época en que se formaron en el Este, la porción central y Poniente ya era tierra firme en que sólo se acumulaban los productos rhyolíticos y andesíticos de un volcanismo sumamente enérgico desde el Cretácico Superior hasta el Terciario.

Este levantamiento orogénico parece haberse iniciado al principio del Cretácico Superior, primeramente en una forma poco notable; nuevos plegamientos de mayor intensidad en cambio afectaron la comarca en el Terciario, y a esto se debe que en nuestra región central también, por lo menos parte de los sedimentos tobosos y las corrientes volcánicas producidas en época anterior, sufrieron los movimientos correspondientes de los cuales ya se habló arriba. La lentitud de los movimientos, de la elevación y del surgimiento de los pliegues que vinieron a formar las sierras longitudinales que atraviesa la región en dirección S.S.E. N.N.W., nos demuestran hoy día los cursos de algunos de los ríos de la comarca, como en primer término el del río

Grande del Norte y los de su afluente principal el Conchos con su tributario el San Pedro. Tenemos que clasificar todos estos ríos como antecedentes, es decir, como preexistentes al plegamiento, pues en ningún caso su curso corresponde a líneas tectónicas de debilitamiento que hubiere podido ocasionar una erosión local más intensa y atraer y fijar el curso de los ríos en estas líneas. Muy al contrario, vemos que éstos atraviesan las sierras con rumbo oblicuo a su dirección, muchas veces en su porción más elevada, no obstante que tanto al Sur como al Norte de las cordilleras hubieran podido encontrar a poca distancia un paso mucho más fácil, sobre todo si se toma en cuenta que todas estas sierras no tienen una extensión longitudinal muy grande y están rodeadas de llanuras formadas por los depósitos incoherentes y fácilmente destructibles de antiguos lagos.

La existencia anterior de extensos lagos y bolsones, documentada por la naturaleza de sus rellenos actuales, demuestra que a menudo el levantamiento de los anticlinales ha sido algo más rápido y que la erosión de los ríos en sus cauces preexistentes a través de las sierras, siempre necesitaba algún tiempo para profundizarlos lo suficiente hasta que estas lagunas temporales fuesen drenadas y desecadas de nuevo.

Mientras que los movimientos orogenéticos del plegamiento de la sierra no cesaron, los ríos no pudieron profundizar su cauce en las llanuras a causa del repeso que sufrieran por el levantamiento del piso de su curso en los anticlinales de la cordillera. Pero, una vez que ya no se efectuaron tales movimientos, la profundización del curso en las sierras originó que la erosión se extendiera también a las llanuras formadas anteriormente en las lagunas, estando la profundidad a que la erosión llega actualmente en cada llano, coordinada al grado de profundización que ha alcanzado la erosión en el cañón inmediatamente aguas abajo (niveles locales de erosión). Aunque la acción del

desgaste naturalmente no ha quedado limitada a los cursos principales de los ríos sino que abarca toda la superficie de las llanuras y de las sierras, la intensidad de la erosión es mayor en y cerca del cajón que ocupan los ríos principales y sus afluentes más caudalosos (sea que fueren de aguas perennes o sea que fueren de carácter intermitente torrencial). Pero en estas llanuras de clima semi-árido y de pendiente poco pronunciada el desarrollo del sistema de drenaje superficial es poco intenso, tanto en sentido horizontal como en el vertical, de lo que resulta que entre las áreas que han conseguido ya su desagüe hacia uno de los ríos, existen otras áreas que son verdaderos bolsones en que las aguas de las lluvias esporádicas se juntan en la parte más baja sin encontrar salida para ningún lado.

En cambio, ha ejecutado la erosión un trabajo formidable en los cañones en que atraviesan los ríos a las sierras, cañones que son imponentes por la altura de sus paredones, la angostura de sus boquillas y lo tortuoso de su trayecto; en el río Conchos, aguas abajo del Saucillo hasta Ojinaga, existen, por ejemplo, no menos de unas 13 boquillas, que ofrecen condiciones topográficas especialmente favorables para la construcción de cortinas a través del caudaloso río. Como ya se ha dicho arriba, el curso de estos cañones, por lo general, es completamente independiente de la estructura interior de la sierra, y en muchas partes se observa que las capas y los pliegues que se ven en un paredón del cañón tienen su continuación perfecta en el otro. En algunos lugares el cañón atraviesa hasta rocas intrusivas graníticas que por casualidad encontró en su curso; en fin, el trazo de los ríos grandes de la comarca es anterior al plegamiento que ella ha sufrido e independiente de su estructura geológica.

## LAS BOQUILLAS DEL RIO DE SAN PEDRO

El río de San Pedro, después de haber recibido el afluente formado por los ríos de Satevó y de Santa Isabel, sale de la parte montañosa de la Sierra Madre a un amplio plan que se extiende desde el pie de la cordillera, a unos 1,350 metros sobre el nivel del mar, con una ligera inclinación hacia el Este, hasta la orilla del río Conchos a 1,130 metros de altura (Saucillo). No obstante este desnivel de más de 200 metros en unos 80 kilómetros y las condiciones favorables que ofrece la llanura formada por material suelto de acarreo, el río no toma su curso por ella, sino desviándose hacia el NE. atraviesa en el trayecto dos sierras que allá se le oponen, metiéndose con sus estribaciones australes a la llanura en que mueren.

La primera de estas sierras es la de Villalba o de San Pedro Conchos, sierra formada con preferencia por rocas sedimentarias que constituyen un anticlinal algo asimétrico e imperfecto, pues mientras que la dirección N.  $80^{\circ}$  W. (Mag.) y el echado de  $35^{\circ}$  hacia el Sur de su alero SW. es formal y constante, en el centro de la sierra los estratos demuestran fuertes trastornos, y en el alero oriental el echado es menos pronunciado, la dirección de las capas más irregular, y la formación sedimentaria está interrumpida y cubierta por intrusiones y efusiones de rocas eruptivas.

En el cañón tortuoso, en el que atraviesa el río de San Pedro esta sierra, hay dos angosturas o boquillas que por su topografía podrían ofrecer ventajas para la localización de una cortina, una en la entrada que se ha designado con el nombre de boquilla de Villalba, y otra en el centro de la sierra, aguas abajo de un punto llamado "La Joya;" pero como las condiciones geológicas de esta segunda boquilla, por la naturaleza (calizas del Cretácico Medio en bancos gruesos y con abras entreabiertas), y por la posición de los

estratos (en posiciones casi verticales) que forman las laderas, son desfavorables, no nos ocuparemos de ella.

Después de salir el río en las cercanías de San Pedro Conchos, del cañón cavado en esta sierra, atraviesa una faja de llanura que con un ancho de unos 10 a 15 kilómetros se interpone entre la sierra de San Pedro y la de Rosales. La dirección del río en este tramo es de SW. hacia el NE., es decir, la de su curso general, mientras que en la sierra de San Pedro corre en tramos en dirección de Sur a Norte. La cañada en el trayecto de la llanura es amplia y poco honda con relación a la superficie del llano del alrededor, pero se profundiza más y más al acercarse a la sierra aguas abajo de la hacienda de San Lucas. En la boquilla del Charco del Gallo, la cañada entra al macizo montañoso de una estribación austral de la sierra de Rosales o Bachimba y, después de atravesarla en cañada bastante amplia y de una longitud de unos 5 a 6 kilómetros, sale de la parte montañosa por la boquilla de Las Vírgenes, aguas arriba de Rosales. Este macizo montañoso, al contrario del de la sierra de San Pedro, está formado exclusivamente por rocas eruptivas que se presentan en forma de corrientes rhyolíticas y andesíticas y de tobas de las mismas rocas.

El siguiente cuadro de alturas y distancias nos será de utilidad más adelante:

	<u>DISTANCIA</u>	<u>ALTURA</u>
Satevó. ....	Aprox. 40 km.	1 363 m.
Boquilla de Villalba	Aprox. 10 km.	1 260 m. (fondo de la boquilla).
San Pedro, Conchos.	Aprox. 12 km.	1 289 m. ? (en la llanura).
Boquilla Charco del Gallo.....	Aprox. 6 km.	1 292 m. (fondo).
Boquilla de Las Vírgenes.....	Aprox. 35 km.	1 190 m. (fondo).
Confluencias al Conchos.....	.....	1 100 m. aprox.

## LA BOQUILLA DE VILLALBA

Como todas las sierras aisladas de esta región central del Estado de Chihuahua, la de Villalba se eleva bruscamente del relleno de las llanuras que la rodean por todos lados. No es una cordillera ó cadena con cresta bien definida como otras del rumbo, y en sus flancos del NE. hay ciertas irregularidades y complicaciones originadas por rocas eruptivas que borran en algo su carácter de cordillera; su ladera austral, en cambio, tanto al W. como al E. de la boquilla de Villalba, demuestra un alineamiento bien definido en dirección S.  $80^{\circ}$  E.-N.  $80^{\circ}$  W. (Mag.), coincidiendo esta, *grosso modo*, con el rumbo general de la sierra. Más hacia el E.SE. la sierra pierde rápidamente en altura y se sumerge debajo del relleno de la llanura y en los estratos que forman la parte terminal de ella se observa un cambio de su dirección en forma de arco como resultado de la circunstancia de que el apex de su anticlinal tiene una fuerte inclinación hacia el E.SE., por lo cual la disposición de las capas que la componen resulta periclinal en esta zona.

Los estratos que afloran como los más altos en este anticlinal de la sierra son calizas en bancos medianamente gruesos. En la boquilla de la entrada (véase perfil número 1), el río corta las capas en sentido perpendicular a su dirección y en los bancos que forman los crestones bajos a la entrada a ella se encuentran las calizas llenas de fósiles (*Gryphaea Pitcheri* Mort, Gastrópodos, etc.), que permiten clasificar estos sedimentos como pertenecientes al Vraconiano o sea a la formación que caracterizan la transición entre el Cretácico Medio al Superior. Abajo de estos bancos fosilíferos siguen otros del mismo carácter petrográfico y de color gris como los superiores, pero los fósiles son más escasos (sólo se ven cortes de Gastrópodos grandes), y en

cambio, contienen bastantes concreciones de pedernal negro. Esta serie de bancos calcáreos tendrá más o menos un espesor de unos 50 metros y descansa sobre capas margosas de color amarillento y de una resistencia menor que la de las calizas, por lo que la erosión ha podido desgastarlas más fuertemente, correspondiendo el trazo de estas margas, de un grueso de unos 20 metros, a ambos lados de la boquilla depresiones del terreno que se continúa a la sierra por una distancia considerable tanto hacia el Poniente (fotos números 1 y 2) como hacia el Este. Los escombros que cubren estas margas casi por completo, impiden actualmente un estudio detallado de ellas. En perfecta concordancia con las capas superiores siguen debajo de las margas de nuevo calizas grises en bancos gruesos que forman las laderas de aquella parte de la boquilla donde ésta es más angosta. Esta serie uniforme de bancos calcáreos tiene por lo menos un espesor de unos 60 metros, siguiendo, debajo de ellas, calizas de la misma naturaleza pero interrumpidas por intercalaciones de margas, correspondiendo a este material más suave las incisiones o concavidades que existen en ambas laderas abajo de la angostura. También esta zona de margas se prolonga hacia el W. y E. y nos interesa sobre todo la de este último rumbo porque la existencia de las margas tiene allá especial importancia para la localización del vertedor de demasías, como veremos más adelante.

Aguas arriba de la boquilla, es decir, en la amplia cañada del río que servirá de vaso para una futura presa, afloran sedimentos más modernos que descansan en perfecta concordancia sobre las calizas del Vraconiano y se componen de una serie de margas de colores oscuros, azulados, verdosos y otros de tintes más claros, amarillentos, con frecuentes intercalaciones de bancos de areniscas. Los estratos de esta formación, que pertenecen al Cenomaniano y cuyo espesor es muy grande, tienen la dirección y el echado ge-

nerales de los sedimentos de la zona, es decir, corren N. 80° W. (Mag.) y buzan 35° hacia el S.; pero han sido desgastados por una erosión prolongada que ha formado en estos sedimentos deleznable una superficie más o menos horizontal que ha servido como base para los depósitos de acarreo posterior de la llanura. Directamente encima de la superficie de erosión descansa aquí primero un banco de conglomerado duro de algunos metros de espesor, y arriba siguen después los otros depósitos no coherentes del relleno (foto 3). En las laderas de la cañada este material suelto ha sido deslavado enérgicamente, sobre todo, en las inmediaciones del río, donde el banco duro del conglomerado forma una terrefa bien definida, mientras que el cauce mismo corta a través de él y se ha profundizado ya en la serie de margas del subsuelo.

Ahora bien, la caliza cretácica en bancos gruesos, no es precisamente una roca favorable para cimentar en ella una cortina, pues los planos de separación entre los bancos y el agrietamiento perpendicular a estos planos y la consiguiente desintegración de la roca en bloques, favorecen naturalmente, de una manera patente, las infiltraciones del agua y su fuga a través de la roca, a lo cual hay que añadir la solubilidad grande de la caliza, propiedad que origina la formación de canales, abras y hasta de cuevas y grutas. Pero en el caso de la boquilla de Villalba la posición de los estratos y la intercalación de capas margosas y arcillas y por lo tanto impermeables en la serie de calizas, cambian completamente las condiciones de tal manera que, salvo los resultados que darán exploraciones posteriores, se pueden considerar como bastante favorables para la construcción de una cortina aun de una altura considerable en esta angostura. El buzamiento de las capas hacia el interior del vaso (35° hacia el Sur), elimina ya hasta cierto grado las malas condiciones de sus planos de separación, y el agrietamiento perpendicular a estos planos en el interior de las laderas,

es decir, a cierta distancia de la superficie donde el agrietamiento está acompañado con la desintegración en bloques, probablemente sólo existe en estado latente o, en otras palabras, las grietas en el interior estarán cerradas y discontinuas. Pero aunque no fuera así, la intercalación de la serie de margas arcillosas con su espesor considerable forma un manto impermeabilizante de gran extensión, y si la parte impermeable de la cortina queda incorporada a este manto, no hay que temer que puedan efectuarse filtraciones o fugas, ni por el interior de las laderas ni por el fondo macizo del cañón.

Cabe aquí una comparación con las condiciones geológicas de la boquilla de Babizas sobre el Conchos (fotos 4 y 5), donde se han experimentado fugas considerables de agua (en conjunto, unos 2.3 metros cúbicos por segundo), no precisamente cerca de la cortina, sino más bien a través de la sierra al N. y S. de ella. La cortina de esta famosa boquilla del Conchos, se ha construido en aquella parte del profundo cañón donde éste se abre hacia la llanura situada al Este de la serranía. La sierra está constituida por las calizas, en bancos medianamente gruesos del Cretácico Medio, bastante plegados, y además, atravesados por fracturas combinadas con dislocaciones, teniendo estas fallas (de las cuales la del arroyo de Los Chinos, en la porción septentrional, y la de la loma del Tigre, al Sur de la cortina, son las más importantes) una dirección N.NW. a S.SE., es decir, paralela al plegamiento general. La existencia de andesitas a lo largo de las fallas, la intensidad del plegamiento, y en general, la situación del lomerío al N. y S. de la cortina (sierra del Pajarito), respecto al grueso de la cordillera completa (entre el valle de Zaragoza y la llanura al Este de la boquilla), nos hacen suponer que esta porción corresponde en su estructura más bien a la parte NE. de la sierra de Villalba, donde hemos observado condiciones geológicas semejantes, pero muy diferentes de las mucho me-

nos trastornadas que existen en la boquilla de este nombre, en su lado SW. En la boquilla del Conchos, las aguas del lago de Toronto tienen oportunidad de infiltrarse en las calizas cretácicas, por toda la extensión del cañón, arriba de la cortina, y las aguas infiltradas en las fracturas mencionadas y en las calizas, en general, encuentran después, como demuestran las fugas, salidas a través de la sierra del Pajarito. En la boquilla de Villalba, las aguas represadas por la cortina tendrán muy poco contacto con las calizas cretácicas; al parecer faltan fracturas o fallas en esta porción de la sierra, y si existen, quedan cerradas al pasar de las calizas a las intercalaciones margosas, abajo del Vraconiano; por último, esas intercalaciones margosas que pertenecen a una formación más moderna, y que no existe en la zona de la boquilla del Conchos, cuyas calizas son de una época más antigua, por la posición favorable que guardan en la de Villalba, impedirán fugas de agua a través de las calizas.

Como se acaba de decir, la superficie en que la proyectada presa de Villalba, el agua quedará en contacto con la caliza en bancos gruesos, será muy reducida y limitada a una pequeña zona cerca de la boquilla, pues en todo el vaso el subsuelo está formado por la serie de capas margosas y arcillosas del Cenomaniano, por lo que puede considerarse este vaso como completamente impermeable.

No es posible decir de antemano qué grueso tendrá el acarreo fluvial moderno que cubre el fondo rocalloso en la angostura de la boquilla, y que tiene que ser removido, naturalmente, al cimentarse la cortina.

Dada la posición de la boquilla en el trayecto medio del río, y en la zona limítrofe entre la cañada, de la depresión que servirá de vaso para la presa y el cañón cortado en la roca más resistente de la sierra, es de suponerse que no habrá grandes acumulaciones de material de acarreo en este punto, pero puede suceder que las primeras capas cal-

cáreas a la entrada de la boquilla, que se compone de rocas bastante duras, origine durante las crecientes la formación de un salto de cierta importancia, a cuyo pie puede haberse formado, por la fuerza de la caída, un hoyo en las capas más suaves de las margas que siguen aguas abajo, rellenándose este hoyo, al bajar la creciente, con el acarreo que arrastraron las aguas. En este caso, naturalmente, las excavaciones, para cimentar la construcción, tendrán que llevarse a cierta profundidad, aunque es poco probable que pase ésta más de unos 5 a 8 metros.

El levantamiento topográfico que existe del vaso, parece ser algo defectuoso, por lo que no se pueden precisar todavía bien las calidades y defectos de este almacenamiento. Según los datos que da el señor ingeniero Benjamín Enriquez, en su informe, la configuración del vaso y la fuerte pendiente hidráulica del río (más de 2.2 metros por kilómetro), en este tramo exigirán una cortina de una altura considerable, 73 metros, para el almacenamiento de 1 500 millones de metros cúbicos, pero favorecerán el aprovechamiento del agua almacenada, en la producción de energía.

Las condiciones para la localización y construcción del vertedor de demasías, también son favorables, pues en la ladera derecha existe, arriba de la boquilla, un crestón de calizas macizas con varias incisiones que ventajosamente pueden ser aprovechadas para el objeto. El agua, al derramarse por estas incisiones, reconoce a un arroyo que se ha formado en la segunda serie de margas, pero atraviesa después la caliza inferior de bancos gruesos, en dirección perpendicular a su rumbo, y conduce el agua a punto del cañón, que dista del lugar, donde se situará la cortina, más o menos medio kilómetro, por lo que fácilmente se podrá evitar el reculeo de las aguas sobre el pie de la construcción.

Los datos anotados en los párrafos anteriores, deben considerarse sólo como provisionales, pues para una localización definitiva de la presa, así como para un estudio de

tenido del vaso y de las otras condiciones del proyecto, se necesita, en primer término, un levantamiento topográfico detallado y exacto de la región que abarca, y en segundo lugar, deben hacerse exploraciones para averiguar la naturaleza de las rocas en que se piensa apoyar la construcción y el estado de su conservación, pues, como se advirtió arriba, la capa arcillosa que debe garantizar la impermeabilidad del fondo y de las laderas, actualmente está oculta por una cubierta de escombros que impide su estudio detallado.

En términos generales, empero, se puede decir que el vaso y la boquilla de Villalba ofrecen buenas condiciones para el almacenamiento económico de las aguas abundantes del río de San Pedro, y, sobre todo, para el desarrollo de energía, por las siguientes razones:

*a).* El vaso es amplio, aunque de una pendiente hidráulica algo fuerte, pues se ha calculado que con una cortina de 73 metros de alto se podrían almacenar cerca de 1 500 millones de metros cúbicos, lo que necesita, probablemente, una ratificación, por no parecer el plano topográfico muy exacto.

*b).* La boquilla es angosta y sus condiciones topográficas y geológicas son atractivas para la construcción de una presa de arco, siempre que se procure apoyarla y ligarla con el manto impermeabilizante de una serie de capas de margas intercaladas en posición favorable entre las calizas.

*c).* La construcción del vertedor, al lado derecho de la cortina, asegura la desviación de aguas broncas hasta cierta distancia del lugar donde se situará la construcción de la presa, por lo que ésta quedará bien protegida contra los efectos de un rebalse de las aguas del vertedor.

*d).* La presa de Villalba es ventajosa, en primer término, para el desarrollo de energía, y su situación en la parte superior del río, no perjudicará o impedirá la construcción de una presa auxiliar, aguas abajo, cuyo objeto será el de

aumentar el caudal almacenable y la transformación del régimen de energía al de riego, para aprovechar las aguas del río de San Pedro en la irrigación de los vastos terrenos a lo largo de su curso inferior.

*e).* Los terrenos que se inundarán con la construcción de esta presa, son de un valor muy reducido, pues actualmente la región está completamente desierta y sin labores ni construcciones de cuantía.

### BOQUILLAS DEL CHARCO DEL GALLO Y DE LAS VIRGENES

Al salir el río de San Pedro del cañón en que atraviesa la sierra de Villalba, toma su curso hacia el NE. a través de la llanura longitudinal situada entre la sierra mencionada y la de Rosales.

Esta última representa la terminación de la cordillera importante, cuya porción Norte es conocida con el nombre de sierra de Santa Eulalia, por el antiguo y rico mineral que está situado en el centro de ella, y donde se explotan criaderos plomo-argentíferos que arman en la caliza del Cretácico Medio, que constituye el núcleo de la sierra. Los bancos de esta caliza forman en aquella porción septentrional de la cordillera un anticlinal cuyo eje tiene una dirección NW., y un echado marcado hacia el SE., donde la formación calcárea buza rápidamente debajo de una cubierta de rocas eruptivas que existían anteriormente también en el Norte, pero que han sido destruidas allí en gran parte por la erosión.

En su porción media, la cordillera lleva el nombre de sierra de Ojito, y está constituida en su totalidad, ya por las rocas de la cubierta eruptiva, no asomándose la base sedimentaria ni en el corte profundo del cañón de Bachimba que separa la sierra aludida de la parte austral de la cordillera, de la sierra de Rosales, ni mucho menos, natu-

ralmente, en esta última. Sin embargo, la estructura anticlinal de la formación calcárea del núcleo meso-cretácico se expresa también en esta cubierta eruptiva que, por estar constituida por capas alternantes de tobas y corrientes, se ha portado como una formación sedimentaria al ser afectada por el plegamiento postcretácico, como se observa, sobre todo, en la parte Central y Norte de la cordillera. En la porción Sur, es decir, en la sierra de Rosales, la estructura original de las capas volcánicas es bastante complicada, por lo que la influencia del plegamiento difícilmente puede ser distinguido.

Pero existe otra indicación que nos conduce a suponer que también esta sierra ha estado sujeta a levantamientos tectónicos postcretácicos, pues sólo admitiendo esto y el carácter antecedente del río de San Pedro—del que habíamos hablado arriba, en página 244 y siguientes—se puede explicar por qué este afluente del Conchos, en lugar de tomar su curso al Sur de la sierra de Rosales, por el llano en el cual no se le oponían ningunos obstáculos, lo ha tomado a través del macizo de ella. Por el corte profundo del río de San Pedro, queda separado del cuerpo principal de la sierra de Rosales un pequeño grupo montañoso cuya estructura interior es la continuación perfecta de aquél, sin que existiera una falla o dislocación que representara una separación natural entre las dos partes, y que, por resultar una línea de menor resistencia, hubiera podido atraer el curso del río.

El río de San Pedro entra a la sierra en la boquilla del Charco del Gallo, y después de un curso de unos 6 kilómetros por una cañada bastante amplia a través de la serranía, sale de ella en la boquilla de Las Vírgenes. De esta manera, tanto su entrada, como su salida, son caracterizadas por formas topográficas propias de rocas relativamente duras.

En la boquilla del Charco del Gallo (fotos números 6

y 7 y perfil número 2) tenemos a la izquierda el cerro del mismo nombre, formado por el macizo rhyolítico, al cual se ajustan en el fondo del río capas de tobas de la misma naturaleza muy silicificadas, y por lo tanto, endurecidas, que parecen formar la base de la roca maciza, pues su echado es hacia abajo de ella, mientras que su dirección cambia paulatinamente de EW., arriba de la boquilla, al N. 10° E., en el centro de ella. Es de suponerse que la gran masa de magma viscoso que formaba la montaña, cuyo resto actual es el cerro del Charco del Gallo, empujó y plegó las capas de las tobas sobre las cuales se acumuló.

La toba endurecida y las capitas de rhyolita maciza que con aquéllas alternan, afloran en dos terceras partes del fondo de la boquilla, desde el pie del cerro hasta la depresión que forma el lecho del río durante el estiaje. En esta última parte la roca del subsuelo está cubierta por una capa de material de acarreo. Para explorar el grueso de esta capa, se han hecho, en los años de 1921 a 1922, algunas perforaciones, encontrándose la roca maciza a 3.6 metros de profundidad, en el máximo. Por mala suerte no existen datos sobre estas exploraciones, por lo que no se sabe qué clase de roca se encontraría, pero por la estructura general del lugar, es de suponerse que era la misma rhyolita que aflora en la orilla izquierda, y que con el echado lento pero constante de su superficie hacia el Sur, buza en la margen derecha de la boquilla, debajo de la serie de corrientes y tobas andesíticas que constituyen, en primer término, la montaña al Sur del río.

No obstante que de esta manera en la boquilla no se ve el contacto de las tobas rhyolíticas con la serie andesítica que descansa sobre las primeras, no es de dudarse que las condiciones geológicas para la construcción de una presa en ella, sean favorables, tanto respecto a la resistencia de las rocas del subsuelo para soportar el peso de una cortina, como a su impermeabilidad, siendo, además, seguro

que no existen fracturas de orientación más o menos paralela al curso del río, que podrían causar fugas de agua por el subsuelo del fondo o de las laderas de la boquilla. La pequeña fractura, marcada por una veta de manganeso, que existe en la ladera Sur, tiene una dirección N.  $30^{\circ}$  E., y es completamente local, por lo que no hay que temer que resulte peligrosa para la presa.

Aguas abajo de la boquilla que atraviesa a la cañada, una falla de dirección N.  $30^{\circ}$  W.—es decir, del rumbo predominante de las dislocaciones y de las líneas tectónicas generales de la región—a lo largo de la cual parece haberse movido el bloque occidental del cerro del Charco del Gallo hacia el Sur, o haberse hundido el bloque oriental, pues los dos movimientos hubieran dado el mismo resultado. La falla no tiene ninguna importancia para la cortina y la presa, porque la dislocación queda aguas abajo de la construcción proyectada. Una dislocación más pequeña pero del mismo sistema, se observa a unos 600 metros, río abajo de la anterior, en la margen derecha, en que la sobreposición de las andesitas oscuras sobre las tobas blancas rhyolíticas y el echado concordante de ambas está perfectamente visible (véase foto 8 y plano geológico).

La capacidad del vaso de la presa del Charco del Gallo o del lago de Delicias, como se le designa en el proyecto original del ingeniero Benjamín Enríquez, ha sido calculada en unos 1 300 millones de metros cúbicos para una cortina de 63 metros de altura. Siendo la cota del fondo de la boquilla del Charco 1 202 metros sobre el nivel del mar, la superficie del agua represada con una cortina de 63 metros llegaría a 1 265 metros, con lo cual quedarían cubiertos varios metros de la cortina de Villalba (véase cuadro en la página 245), lo que, como ya lo indicó el ingeniero consultor Fisher, en su informe de marzo de este año, sería naturalmente un grave inconveniente si se llegara a construir esta última presa. Además, inundaría el lago de Delicias, con

esta altura de la cortina, todos los terrenos de riego y el casco de la hacienda de San Lucas y parte de las tierras y del pueblo de San Pedro Conchos. Pero hay que advertir que, al construirse el gran almacenamiento de Villalba, para el desarrollo de energía, ya el vaso auxiliar inferior no necesitará tener la capacidad que fuera deseable darle si este último fuese el principal y único almacenamiento. Tomando esto en cuenta sería, como veremos más adelante, acaso más ventajoso construir la cortina de la presa auxiliar en la boquilla de Las Vírgenes, a 6 kilómetros aguas abajo de la del Charco del Gallo.

Las obras de exploración que deben emprenderse en esta boquilla para reconocer el subsuelo, serán poco costosas, pues se pueden reducir a unas pocas perforaciones en el fondo del río, con objeto de obtener corazones del subsuelo rocalloso, y a unos pozos o catas a cielo abierto en la parte donde el río no invade el fondo de la boquilla y en las laderas de ella.

Aguas abajo de la boquilla del Charco del Gallo, la cañada del río se abre bastante. Las laderas de su margen izquierda tienen una pendiente muy suave, mientras que la del lado derecho, donde afloran las cabezas de las capas de andesita, y en su base las de la toba rhyolítica, por lo general es más empinada.

Detrás de la ladera izquierda de la cañada, existe la cuenca del arroyo de Vallecillo (foto 9), que viene de la sierra principal al Norte, habiéndose formado esa depresión amplia por la fuerte erosión de las tobas rhyolíticas que parecen formar el cono piroclástico de un antiguo volcán, que sólo en parte ha estado y está protegido por corrientes de lava más resistentes, que han conservado los márgenes de la depresión contra su desgaste completo. El cono volcánico del Vallecillo forma con su ladera austral una loma de tobas y lavas rhyolíticas que avanzan en dirección Sur, por lo que las tobas afloran también en el

fondo y en la margen derecha de la cañada hasta cierta altura, donde descansa sobre ella la serie andesítica. Más aguas abajo, donde, adelante de la boquilla del Vallecillo, las capas del cono rhyolítico se retiran hacia el Norte, las rocas andesíticas, en cambio, ganan terreno, bajan al fondo de la cañada y pasan al lado izquierdo, donde por un tramo de  $1\frac{1}{2}$  kilómetros, más o menos, es decir, hasta muy cerca del rancho abandonado de la Boquilla, forman también la parte inferior de la ladera Norte.

En el pequeño arroyo que, aguas arriba del mencionado rancho, afluye al río, el límite de la formación andesítica torna de nuevo hacia el Sur y atraviesa casi en ángulo recto el fondo del río y sube rápidamente por la ladera derecha, formando la andesita la parte media y superior de la Sierrita del Convento, como se llama la parte alta de la montaña al Sur del río, mientras que la porción inferior menos empinada de ella está constituida por la serie de tobas rhyolíticas, desde el arroyo mencionado hasta algo más abajo de la boquilla de Las Vírgenes (foto 10). También en este tramo las rocas rhyolíticas forman la ladera Sur de un antiguo cono volcánico, cuyo centro eruptivo debemos buscar en la cercanía del picacho de Rosales, y cuya estructura interna de capas alternantes de tobas y lavas, con disposición periclinal, se puede observar en los arroyos que surcan su macizo y que vienen a afluir al río de San Pedro, uno aguas arriba, y el otro aguas abajo de la boquilla de Las Vírgenes. En la fotografía 11 se ve el corte de este último arroyo, y en ella se observa perfectamente la posición periclinal de las tobas y corrientes rhyolíticas; abajo de los paredones de la parte más elevada de la Sierrita del Convento, se destacan los peñascos del lado derecho de la boquilla de Las Vírgenes, que todavía están formadas de rhyolita de colores claros, mientras que el macizo de la sierra, atrás, se constituye de la andesita basáltica oscura, cuyas rocas duras de sus corrientes forman las fajas de lós acantilados.

En la fotografía número 10 se ve, en el fondo, a la izquierda, el macizo del picacho de Rosales. Desde la loma que se destaca delante de él, está tomada la fotografía número 11, en dirección hacia la boquilla, que en la vista número 10 se oculta en una vuelta que da el río detrás del espolón blanco de rhyolita en el centro de la fotografía. La rhyolita pasa del lado izquierdo de la cañada al derecho y buza hacia abajo de la corriente andesítica marcada por la cinta de acantilados. A la derecha de la vista éstos llegan al fondo del río y pasan al lado derecho, formando la andesita la loma que se ve a la izquierda en el primer término, mientras que la loma que sigue y en que están situadas las ruinas del rancho de La Boquilla (que no se ve en la vista), está constituida ya de rhyolita. En la fotografía 12, por fin, se ve en la boquilla de Las Vírgenes desde aguas abajo. El contrafuerte de la izquierda es la continuación del macizo a la derecha, del cual está separado únicamente por la incisión de la boquilla. Ambos lados de ésta están formados por la misma toba rhyolítica endurecida por silicificación, y se ve con bastante claridad que el espolón de esta roca resistente que forma el promontorio de la izquierda buza en esta dirección. La incisión poco pronunciada que se ha formado en la loma donde desaparece la roca clara de este espolón, debe su origen a la menor resistencia de la parte superior de las tobas rhyolíticas que forman el alto de esta loma hasta la incisión superior, donde principia la pendiente fuerte de la Sierrita del Convento, constituida por la serie andesítica. Esta aflora también ya en la ladera derecha del pequeño arroyo que viene de la incisión superior y que se junta al río aguas abajo de la boquilla.

La toba rhyolítica endurecida que forma los contrafuertes de la boquilla, demuestra todavía de una manera muy vaga la estratificación original, aunque sólo la de bancos gruesos, mientras que la estructura fina se ha borrado. Los planos de estratificación, empero, están cerrados en el

interior de la roca, y sólo visibles en aquellos lugares donde la superficie de la roca ha sufrido un ataque prolongado de los agentes atmosféricos (foto 13). Por lo tanto, no es de temerse que esos planos causaran filtraciones y fugas de importancia, del agua represada detrás de estos contrafuertes.

Atraviesa a la roca de los promontorios, además, un sistema de fracturas verticales o casi verticales (echado hasta de  $70^\circ$  hacia el Este), que tienen la dirección N.  $30^\circ$  W. magnético (fotos 14 y 15). Estas diaclasas no tienen importancia mientras se presentan en el promontorio del lado izquierdo del río, porque con el rumbo que llevan quedan allí en toda su extensión en el interior del vaso. En el promontorio derecho esto no sucede, porque las fracturas que aquí aparecen en el paredón de la boquilla, atraviesan el cuerpo del promontorio y salen hacia el otro lado hasta el pequeño arroyo, en donde se descubre la toba endurecida afuera del vaso de la presa. No obstante esta circunstancia, es de suponerse que la cantidad de agua que podría fugarse por esas fracturas no sea muy grande, por una parte, porque estas diaclasas siempre han estado bien cerradas, y, por otra parte, parece que la silicificación de la toba ha sido un proceso que afectó la roca después de su fracturamiento y las ha cerrado por completo. Por último, conociendo el peligro que acaso pudieran originar estas fracturas, y siendo claramente visible cada una de ellas, no será difícil protegerse con anticipación contra fugas y filtraciones eventuales.

El fondo del río, en toda la extensión de la boquilla, está formado por la misma toba rhyolítica endurecida, que ha sufrido aquí un desgaste muy especial, a causa de que la erosión del río ha seguido ciertas líneas de menor resistencia, que atraviesan la roca en varios sentidos. Por esta corrosión la superficie presenta una red irregular de surcos, canales y pequeños cañones entre los cuales han que-

dado las partes no atacadas de la toba, en forma de prominencias fantásticas y raras (véanse fotos 13 a 15).

El vertedor de demasías podría construirse en la primera incisión del lado derecho, detrás del contrafuerte de la boquilla (foto 12), pues en ésta el punto más bajo y su subsuelo, está constituido por la roca endurecida que, como vemos en el fondo de la boquilla, es bastante resistente contra la erosión. Sin embargo, la pequeña cañada, a la cual vertería el agua, representa un corte que debilita bastante este lado, por lo que debería evitarse todo lo que puede disminuir su resistencia. Por esta razón quedaría probablemente el vertedor de demasías mejor asegurado y en situación más favorable si se construyera en la loma izquierda, donde el agua, además, reconocería a un arroyo que la conduciría a un lugar más alejado de la cortina.

#### COMPARACION DE VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LAS BOQUILLAS DE CHARCO DEL GALLO Y DE LAS VIRGENES

Si se lleva a cabo la construcción de una cortina en la boquilla de Villalba, formando un almacenamiento de una capacidad de unos 1 500 millones de metros cúbicos, con objeto de producir energía, un vaso auxiliar en el curso inferior del río, sólo tendrá que tener capacidad para recoger el agua descargada por las turbinas de Villalba, con el fin de transformar el régimen de energía en el de riego y, además, todas o por lo menos, gran parte de las demasías que derraman eventualmente por el vertedor de la presa superior. Sin datos exactos sobre el régimen hidráulico del río, sobre la capacidad definitiva de la presa superior, etcétera, no es posible, naturalmente, calcular la capacidad que conviene dar al vaso auxiliar, pero es de suponerse que un almacenamiento de una tercera parte de lo que se puede

retener en la principal, es decir, una capacidad de 500 millones de metros cúbicos, sería suficiente. Con una cortina de unos 40 metros de alto, se podrá, probablemente, retener esta cantidad en el vaso de la boquilla del Charco del Gallo, y el rebalse del lago entonces no llegaría ni cerca de la cortina de Villalba, pero siempre se inundarían los terrenos de riego de la hacienda de San Lucas. Los levantamientos topográficos de que se dispone no permiten calcular la relación que hay en este vaso, respecto a la superficie inundada y el volumen almacenado, y por esto no se puede decir por de pronto, si la forma del vaso es favorable o desfavorable respecto a la evaporación.

El vaso de una presa formado por la construcción de una cortina de más o menos la misma altura en la boquilla de Las Vírgenes, tendrá, aproximadamente, la misma capacidad, y su agua inundará sólo parte de los terrenos de riego de la hacienda de San Lucas, quedando disponibles para el cultivo aquellos que no serán afectados por el rebalse, y pudiéndose, probablemente, aumentar su extensión en la cañada del río, aguas arriba, por la circunstancia de que se contará con gran cantidad de agua de riego que proporcionará ya entonces la presa de Villalba. En el tramo entre la boquilla del Charco y la de Las Vírgenes, no hay terrenos cultivables y únicamente existe allí una vegetación raquítica de breña, por lo que el gasto por indemnizaciones será muy reducido.

La relación de superficie inundada con volumen almacenado parece en este vaso más favorable, pero no se puede determinar exactamente por no atracar el levantamiento topográfico disponible toda la extensión del vaso.

#### PRESA DE DERIVACION

En cualquiera de los puntos mencionados que se construyera la presa auxiliar, la presa de derivación quedará localizada aguas abajo de la boquilla de Las Vírgenes, cerca

de la toma existente ya, que lleva el agua del río a los terrenos de riego de Rosales.

El terreno para la construcción es favorable, pues quedaría sentada ésta sobre la roca basáltica que aflora en este lugar, tanto en el fondo del río como a ambos lados. Por su resistencia presenta el basalto condiciones favorables para embutir en él la mampostería de esta presa de derivación, sin que la permeabilidad que tiene esta roca por su fracturamiento, sea un inconveniente, pues la cortina sólo necesitará tener poca altura.

### RESUMEN Y CONCLUSIONES

La sierra de Villalba, a la cual atraviesa el río de San Pedro, en cañón angosto y tortuoso de unos 15 kilómetros de longitud, está formada en su parte occidental central por un anticlinal cuyo eje corre N. 80° W., componiendo los sedimentos de este anticlinal las calizas del Cretácico Medio. En el lado SW. de la sierra, las capas tienen un echado de 35° hacia el S. y forman con la superficie de sus bancos las laderas de la sierra por varios kilómetros, tanto hacia el E. como al W. del río. En dirección hacia el vaso, las calizas que afloran al pie de esta ladera y que, a deducir por los fósiles que contienen, pertenecen al Vraconiano, sirven de base para la formación muy potente de capas margosas (con intercalaciones de algunos bancos de areniscas) del Cenomaniano que descansa sobre las calizas en perfecta concordancia, pero que, a causa de la poca resistencia que presentan las margas contra la erosión, han sido desgastadas fuertemente. En la depresión que resultó de este desgaste se había formado en época anterior y temporalmente un lago que fué rellenado poco a poco con material de acarreo; pero en la actualidad la erosión ha vaciado de nuevo parcialmente la depresión que en esta forma servirá de vaso

a la presa proyectada de Villalba. La impermeabilidad del fondo de este almacenamiento está asegurado por las capas margosas que lo forman en toda su extensión.

Aguas abajo de la primera angostura en la entrada al cañón que está formado por calizas en bancos medianos, sigue una serie de calizas margosas y de margas, correspondiendo a esta intercalación de rocas menos resistentes, un pequeño ensanchamiento del fondo del cañón, y la formación de unos arroyitos laterales (fotografías 1 y 2 y perfil número 1). Estas margas descansan de nuevo sobre calizas que forman la segunda angostura de la boquilla de Villalba, que es el lugar más apropiado para la localización de la cortina que debe situarse y construirse de tal manera que quede ligada con la formación impermeable de las margas.

Estas margas, tanto en las laderas como en el fondo del río, están cubiertas, las de las primeras, con escombros, y las del último, con acarreo del río, por lo que es necesario limpiar el terreno para poder estudiar bien la posición y el estado de estas margas, así como hacer unas exploraciones en el fondo del río, con el objeto de conocer el grueso de la capa de acarreo que cubre la serie impermeabilizante en este lugar, y que tiene que ser removida para poder sentar la construcción en las margas.

El vertedor de demasías puede construirse ventajosamente en lo alto de la cordillera al E.S.E. de esta angostura, donde nace un pequeño arroyo que llevará las aguas que se derramen a un punto río abajo de la cortina y a tal distancia de ellas que las aguas broncas que salgan por el vertedor ya no puedan perjudicar la construcción de la cortina.

La capacidad de este vaso se ha calculado en unos 1 500 millones de metros cúbicos para una cortina de 73 metros de alto, pero el levantamiento topográfico en que está basado este cálculo, parece no ser muy exacto; de todos modos, el proyecto de esta presa es atractivo, sobre todo, para

el desarrollo de energía, por lo que, para utilizar las aguas del San Pedro, también para riego, debería construirse aguas abajo otra presa auxiliar para convertir el régimen de energía que tienen las aguas al salir de la presa de Villalba, en uno de riego.

Para el objeto, puede aprovecharse una de las dos boquillas que existen sobre el río en el tramo en donde atraviesa la sierra de Rosales: la boquilla del Charco del Gallo en su entrada a la sierra y la de Las Vírgenes en su salida.

Las condiciones geológicas de ambas angosturas, son bastante favorables. En la boquilla del Charco del Gallo (fotografías 6 y 7 y perfil número 2), la ladera izquierda está formada por una rhyolita maciza impermeable. En el fondo de la cañada afloran en este punto tobas rhyolíticas silicificadas con inyecciones de roca maciza rhyolítica, sirviendo estas tobas de base para la formación andesítica de la margen derecha. Todas estas rocas, así como su disposición, son favorables, tanto respecto a su resistencia, como a su impermeabilidad. Sin embargo, y para mayor seguridad, conviene repetir las exploraciones que años atrás se hicieron en esta boquilla, y de las cuales ya no existe más dato que el de que se había encontrado en el lecho del río la roca maciza a menos de 4 metros de profundidad abajo del acarreo.

En la boquilla de Las Vírgenes (fotos 12 a 15), ambas laderas, así como el fondo, están formados por las tobas rhyolíticas endurecidas por inyecciones magmáticas y por silicificación. La resistencia y la impermeabilidad de esta roca de por sí son satisfactorias, pero la zona está atravesada por fracturas de dirección N. 30° W. (fotos 14 y 15), y la existencia de éstas, exige cierta precaución sobre todo, respecto al contrafuerte derecho, donde los planos de algunas de ellas pasan al otro lado del espolón y pueden ser la causa de filtraciones y fugas. Como la localización de estas fracturas (que, además, parecen cerradas por

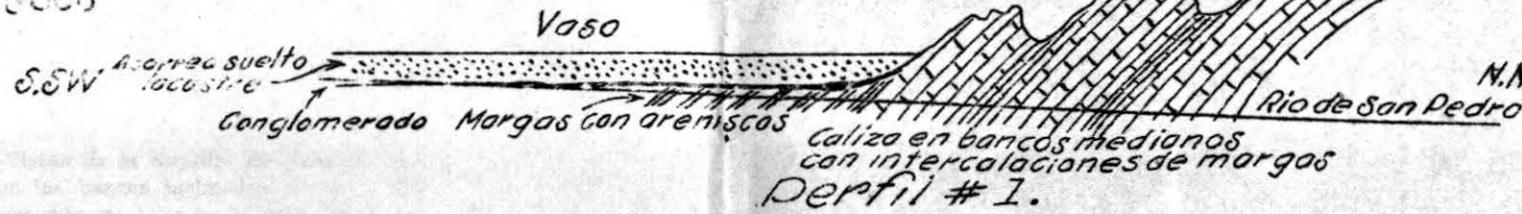
la silificación posterior) es sencilla, no habrá dificultades para protegerse eficientemente contra fugas a través de ellas. De todas maneras, conviene hacer también en este lugar algunas exploraciones que pueden ejecutarse por medio de pozos a cielo abierto, procedimiento que probablemente dará mejores resultados que exploraciones por medio de máquina perforadora.

Con la construcción de la presa auxiliar en la boquilla del Charco del Gallo, quedaría inundada, por lo menos, gran parte de los terrenos de riego de la hacienda de San Lucas, aun en el caso de que el lago de Delicias que se formaría, no tuviese la extensión que se le ha dado en el proyecto de Enríquez, en el cual se pretendía almacenar toda el agua disponible del río de San Pedro en esta única presa. Al construir la cortina en la boquilla de Las Vírgenes, se evitaría esta pérdida de terrenos de riego, y en cambio, se podrían ampliar las tierras de irrigación en el curso medio del río, aprovechando las aguas de la presa de Villalba.

México, D. F., a 15 de octubre de 1927.

Esc. Hor. 1:10000  
 " Ver. 1:50000

Boquilla de Villalba

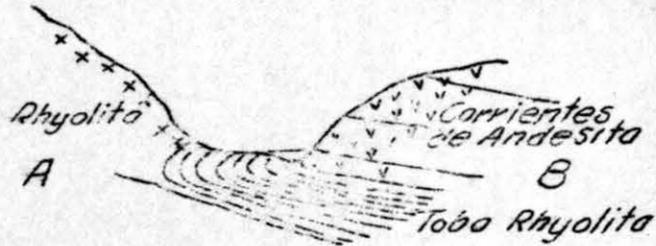


INFORME SOBRE CONDICIONES GEOLOGICAS DE LAS BOQUILLAS DEL RIO SAN PEDRO, AFLUENTE DEL RIO CONCHOS, CHIH.

Paul Waitz Boletin 49 - pag. 266.

Perfil # 1.

Boquilla del Charco del Gallo



Perfil # 2

Boquilla de las Virgenes

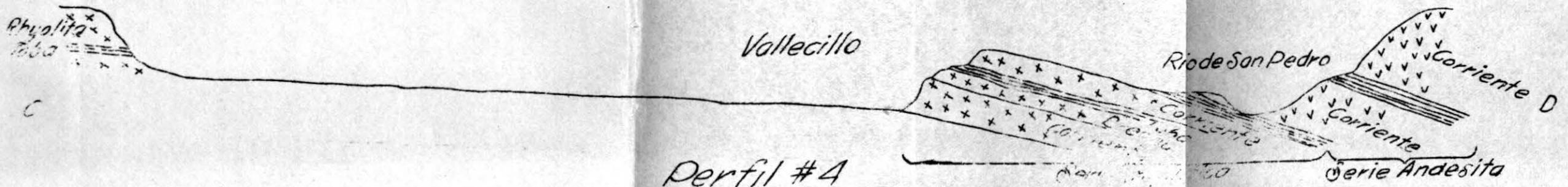


Perfil # 3

Sierrita del Convento



Vallecillo



Perfil # 4

Ver 11000  
Ver 11500

Vaso



Brújula del  
Charco del Gallo



Perfil #2



Figuras números 1 y 2.—Vistas de la boquilla de Villalba, en la formación calcárea con los bancos inclinados hacia el vaso. En el centro de la figura número 1 se ve la depresión formada por la intercalación de capas margosas menos resistentes contra la erosión. Esta misma depresión se ve a la izquierda de la figura número 2, mientras a la derecha se ven otras incisiones correspondientes a otras intercalaciones. En ambas figuras se ve el lado izquierdo del río.

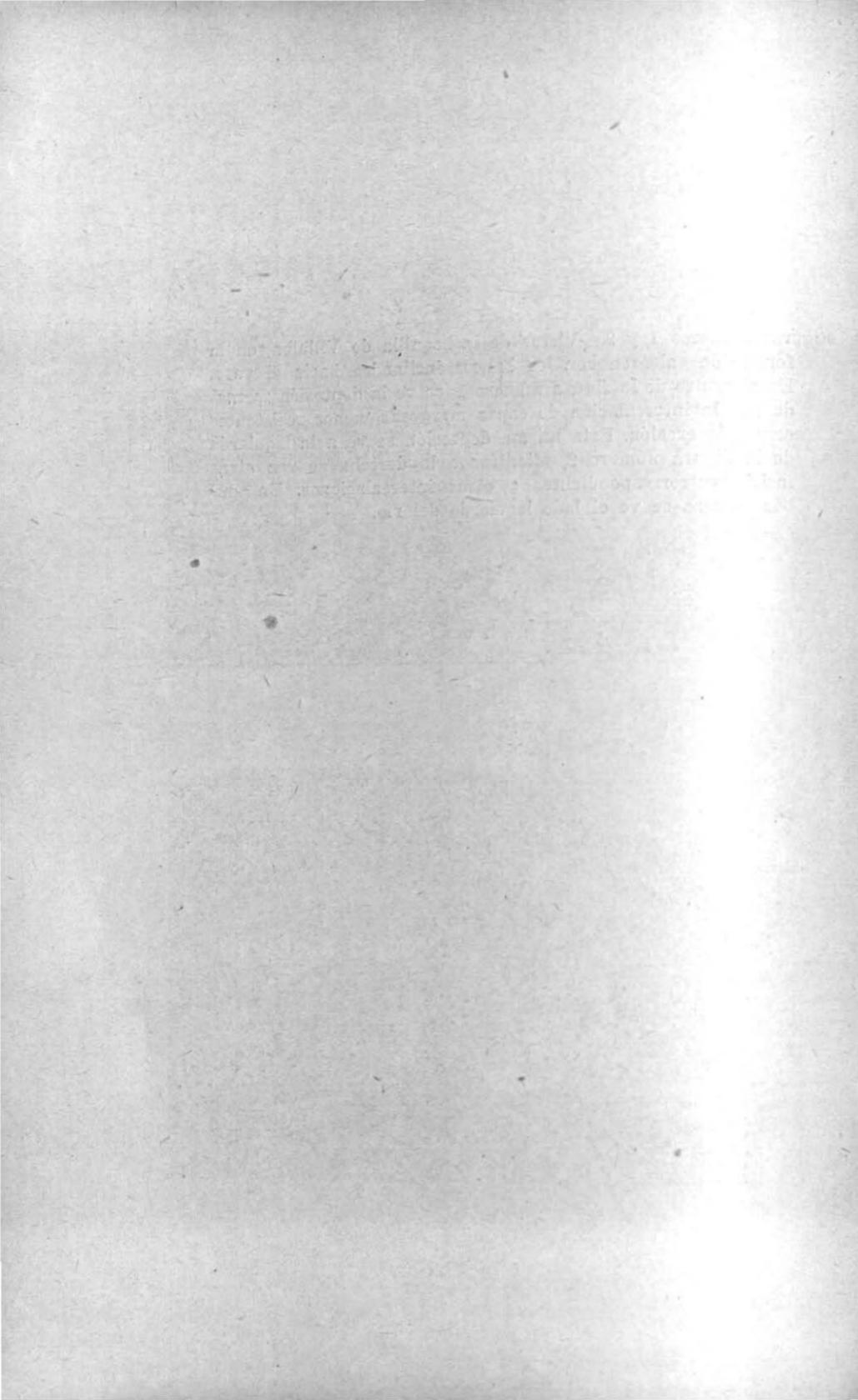




Fig. 1.

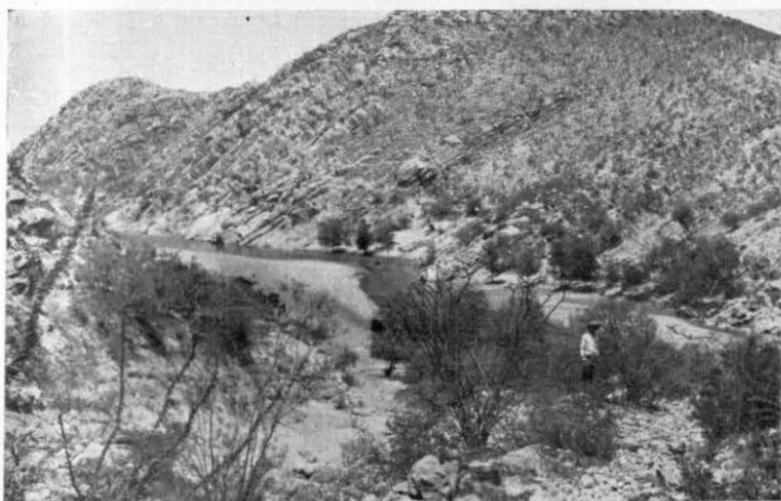


Fig. 2.



Figura número 3.—El fondo del vaso de Villalba, a poca distancia aguas arriba de la boquilla del mismo nombre, margen derecha del río. La parte inferior de la mesa que se ve en el centro de la vista, está formada por capas margosas delezna- bles con intercalaciones de bancos más resistentes de areniscas. Esta serie de sedimentos tiene su echado hacia aguas arriba y está cortada por la erosión descansando sobre su superficie de desgaste el conglomerado que forma precisamente los pequeños acantilados de la meseta. Encima descansan los depósitos lacustres sueltos.

---

Figura número 4.—Vista de la boquilla del Conchos. A la izquierda de la presa la Loma del Tigre, y a la derecha el principio de la Sierra del Pajarito, oculta por la mesa Ancón que se compone de capas lacustres cubiertas por una corriente resistente de basalto.





Fig. 3.



Fig. 4.



Figura número 5.—La cortina de la boquilla del Conchos. La sierra que ocupa el centro y el fondo de la figura, es la Sierra del Pajarito, pudiéndose distinguir, sobre todo al lado derecho de la vista, el fuerte plegamiento y los intensos trastornos que han sufrido las calizas cretácicas de esta sierra.



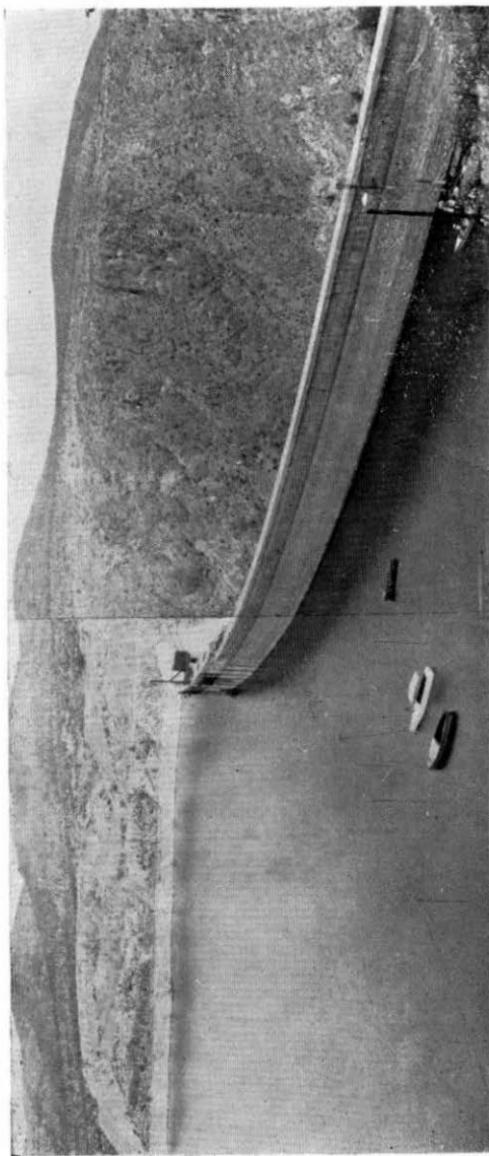


Fig. 5.



Figura número 6.—La boquilla del Charco del Gallo, vista desde aguas arriba. A la izquierda el cerro del mismo nombre y a su pie las rocas rhyolíticas ocupando dos terceras partes del fondo de la boquilla. Sólo la parte blanca que se ve a la derecha, está cubierta por acarreo sobre el cual corre el río. A la derecha, las rocas andesíticas afloran desde el pie de la ladera y forman toda la sierra que se ve en este lado, siendo la parte culminante de ella que aparece en el centro y fondo de la figura, la Sierrita del Convento.

---

Figura número 7.—La misma boquilla vista desde aguas abajo. A la izquierda se distingue perfectamente la sobreposición regular de diferentes corrientes andesíticas con intercalación de tobas.



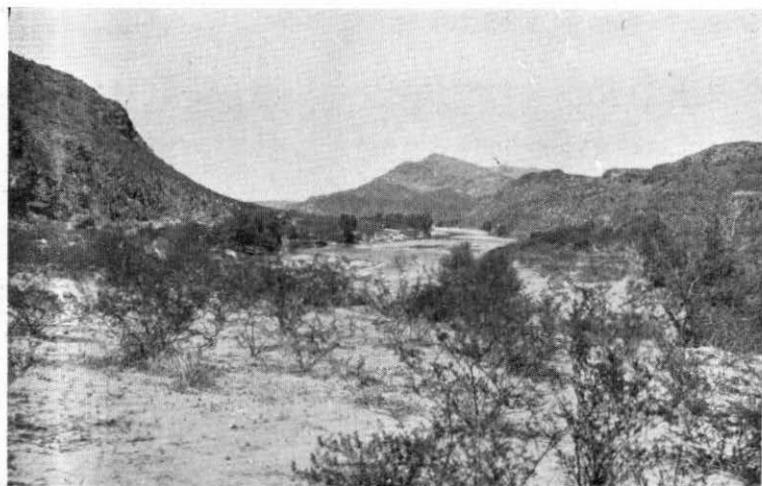


Fig. 6.



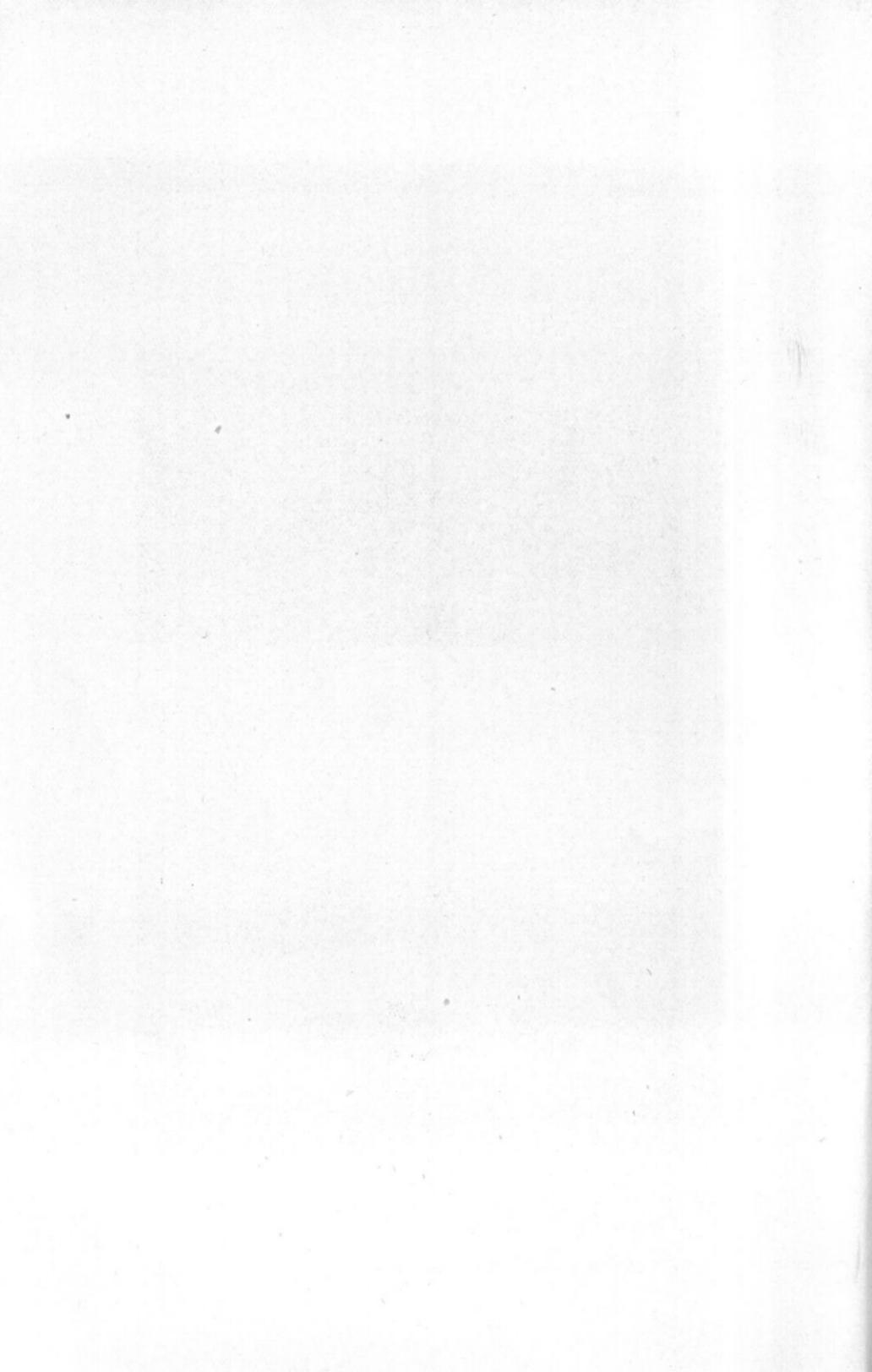
Fig. 7.



Figura número 8.—Margen derecha del río de San Pedro, más o menos un kilómetro abajo de la boquilla del Charco del Gallo. El acantilado y el manchón blanco que se ven al otro lado del río pertenecen a la formación rhyolítica sobre la cual descansa la andesita. En el fondo, a la izquierda, se destaca el Picacho de Rosales.

---

Figura número 9.—La cuenca de Vallecillo. Los acantilados que principian en la vista en primer término a la derecha, y dando vuelta, después continúan formando el coronamiento de los cerros que se ven en el fondo de la figura, pertenecen a corrientes rhyolíticas que cubren tobas de la misma naturaleza con intercalaciones de otras corrientes. Todo este conjunto pertenece a los estratos que formaron el cono de un antiguo volcán que ahora está destruido por la erosión.



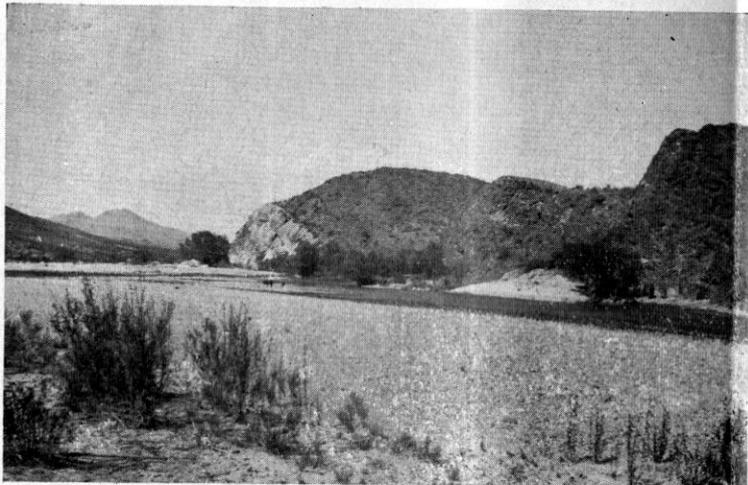


Fig. 8.

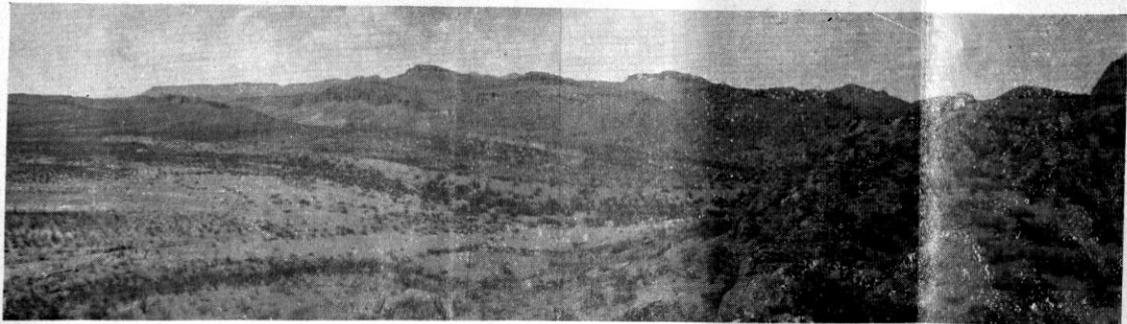


Fig. 9.

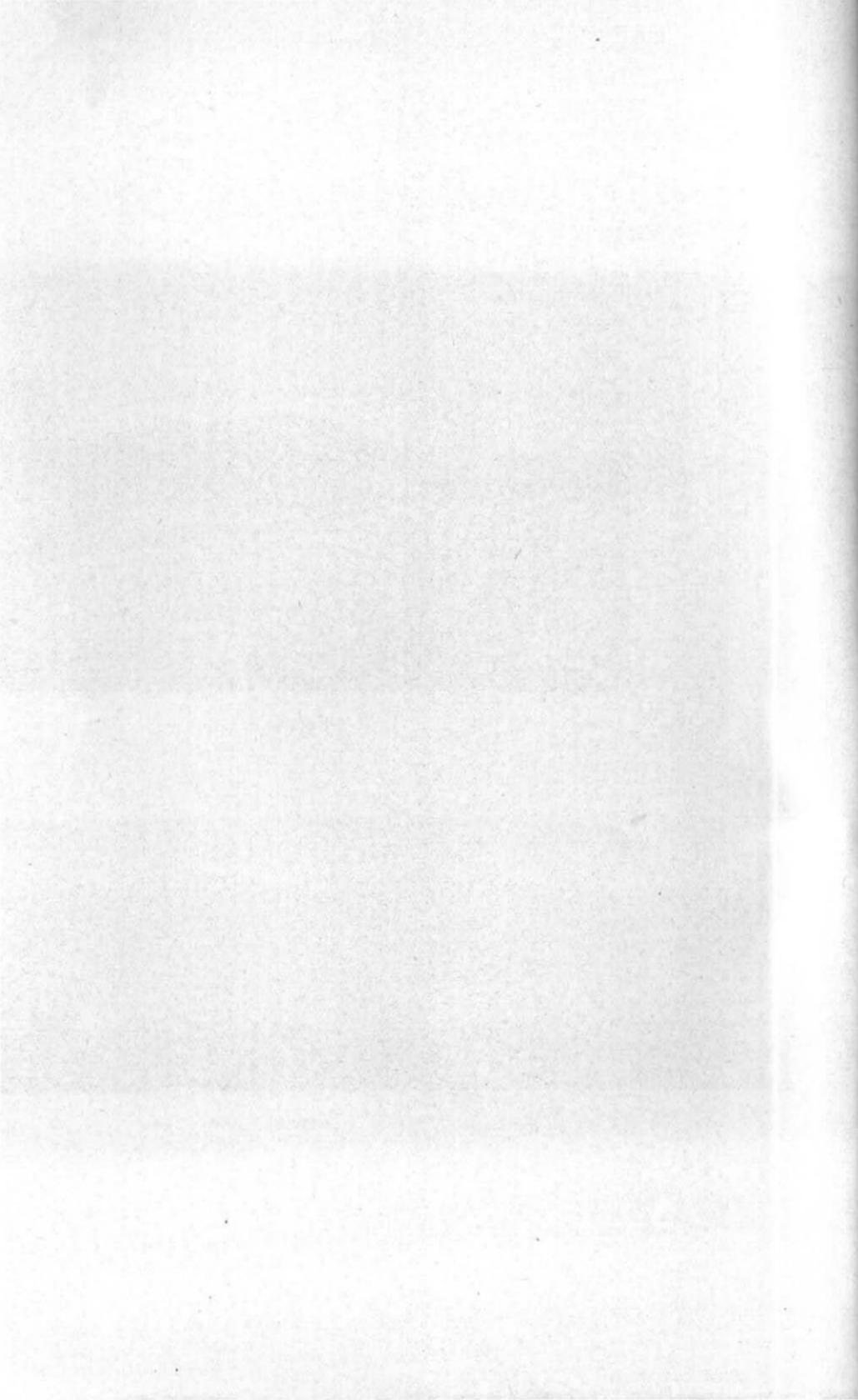
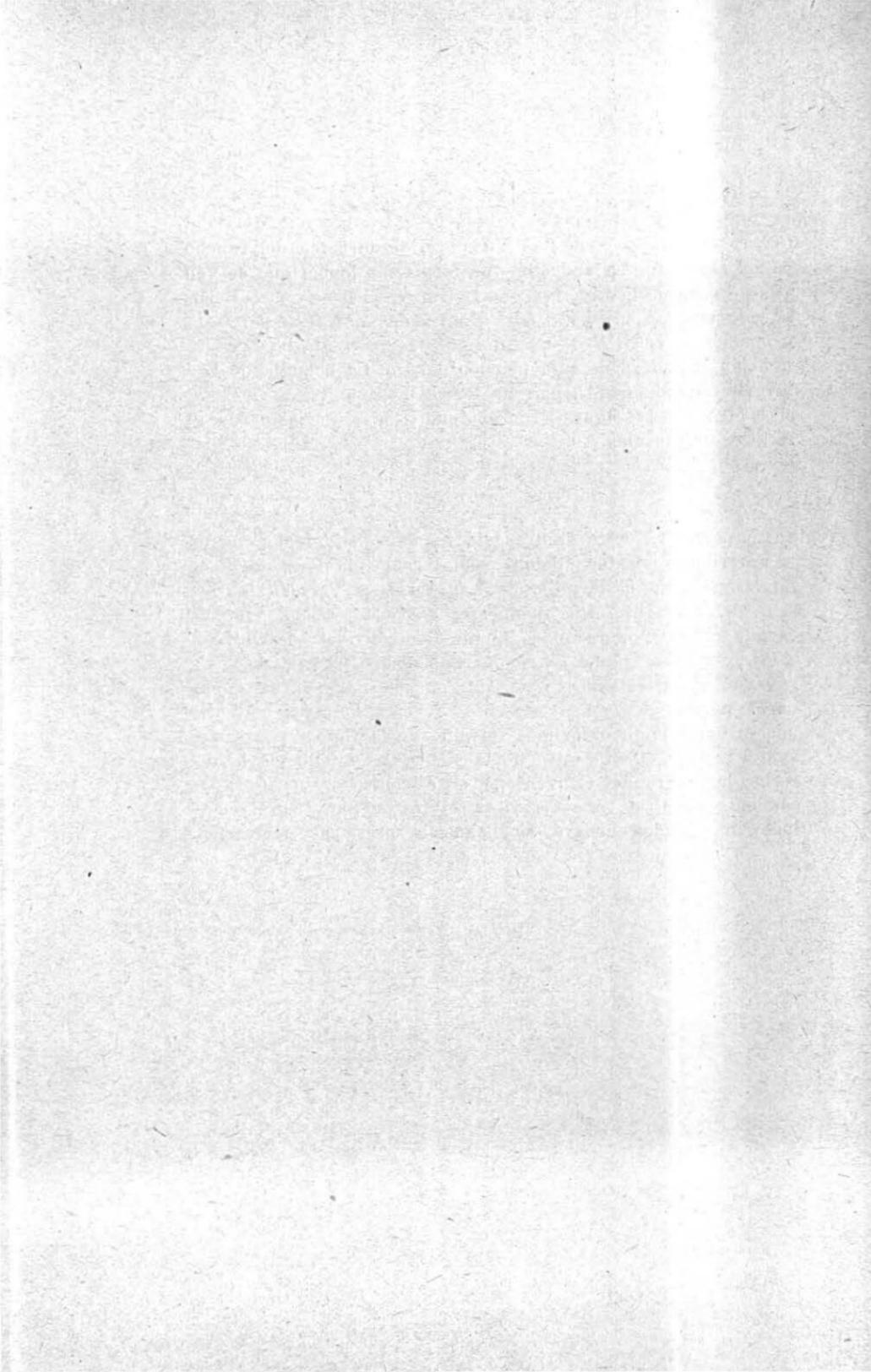


Figura número 10.—Vista de la cañada entre las boquillas del Charco del Gallo y de Las Vírgenes, desde cerca del rancho de La Boquilla. La andesita que forma las lomas que se ven a la derecha de la figura y que tienen en su base una corriente marcada en la vista por acantilados, descansa sobre la formación rhyolítica, e invade en primer término de la vista también la ladera de esta margen del río. La boquilla de Las Vírgenes queda oculta por las lomas de rhyolita que ocupan el centro de la figura. En el fondo hacia la izquierda el Picacho de Rosales.

---

Figura número 11.—Esta figura está tomada de la loma que en la anterior se destaca delante del Picacho de Rosales, y en dirección hacia la boquilla de Las Vírgenes y hacia la Sierrita del Convento. Nos demuestra el corte profundo que ha cavado el arroyo, que nace al pie Poniente del Picacho Rosales, y que se junta al río de San Pedro, aguas abajo de la boquilla, en el cono de un antiguo volcán rhyolítico cuyas capas periclinales más resistentes forman los tres cordones que principian en el primer término de la figura y atraviesan el arroyo en el centro de la vista. En el fondo, a la derecha, la Sierra del Convento, y en el centro de la figura, la corriente basáltica que atraviesa el río de San Pedro, en el lugar en donde quedará localizada la presa de derivación.



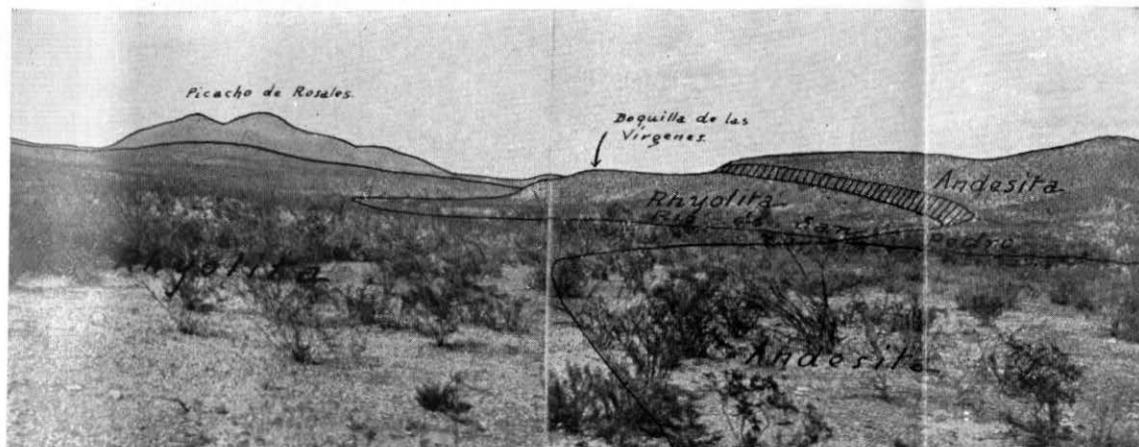


Fig. 10.

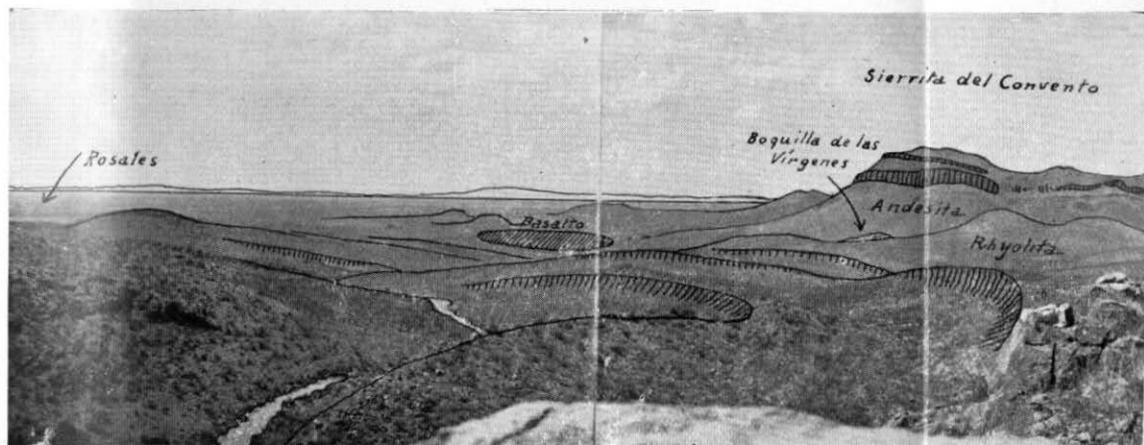
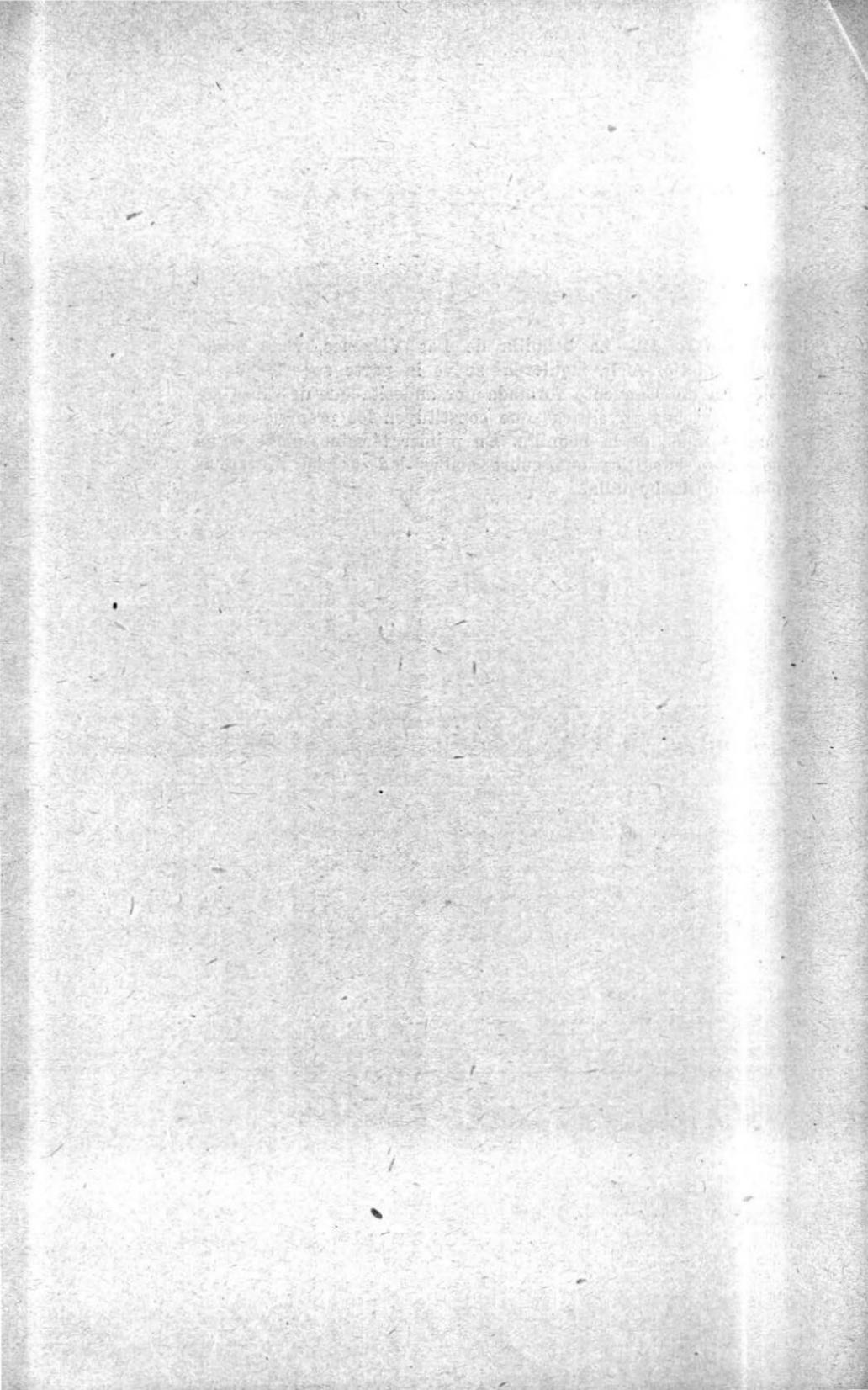


Fig. 11.



Figura número 12.—La boquilla de Las Vírgenes, vista desde aguas abajo. A la izquierda se ve la parte superior de la Sierrita del Convento formada por andesita que descansa sobre las tobas rhyolíticas que constituyen los promontorios a ambos lados de la boquilla. En primer término, parte de la corriente basáltica que cubre ambas laderas del río aguas abajo de la boquilla.



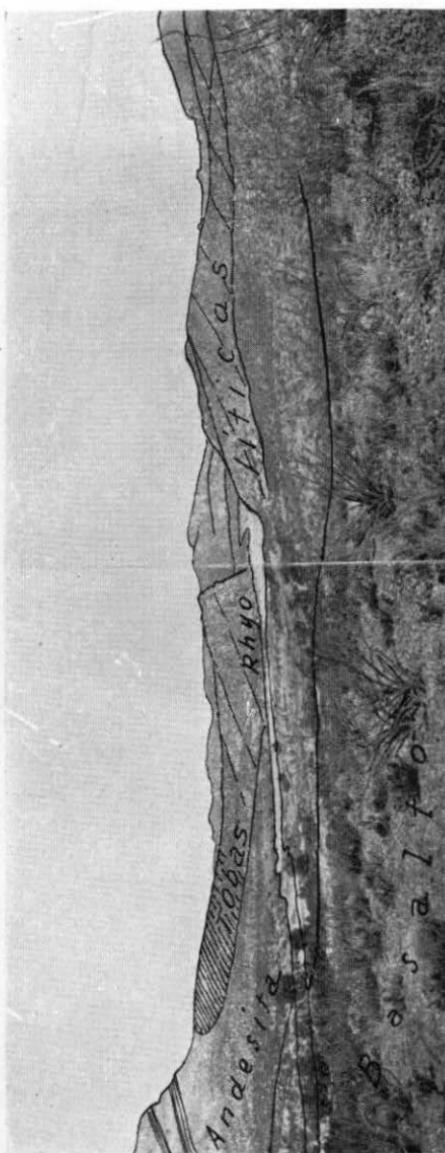


Fig. 12.



Figuras números 13 y 14.—La boquilla de Las Vírgenes, vista desde aguas arriba.

En ambas vistas se ve que la roca rhyolítica endurecida forma el fondo de la boquilla, habiendo esculpado la corrosión del agua formas caprichosas en este material relativamente suave.

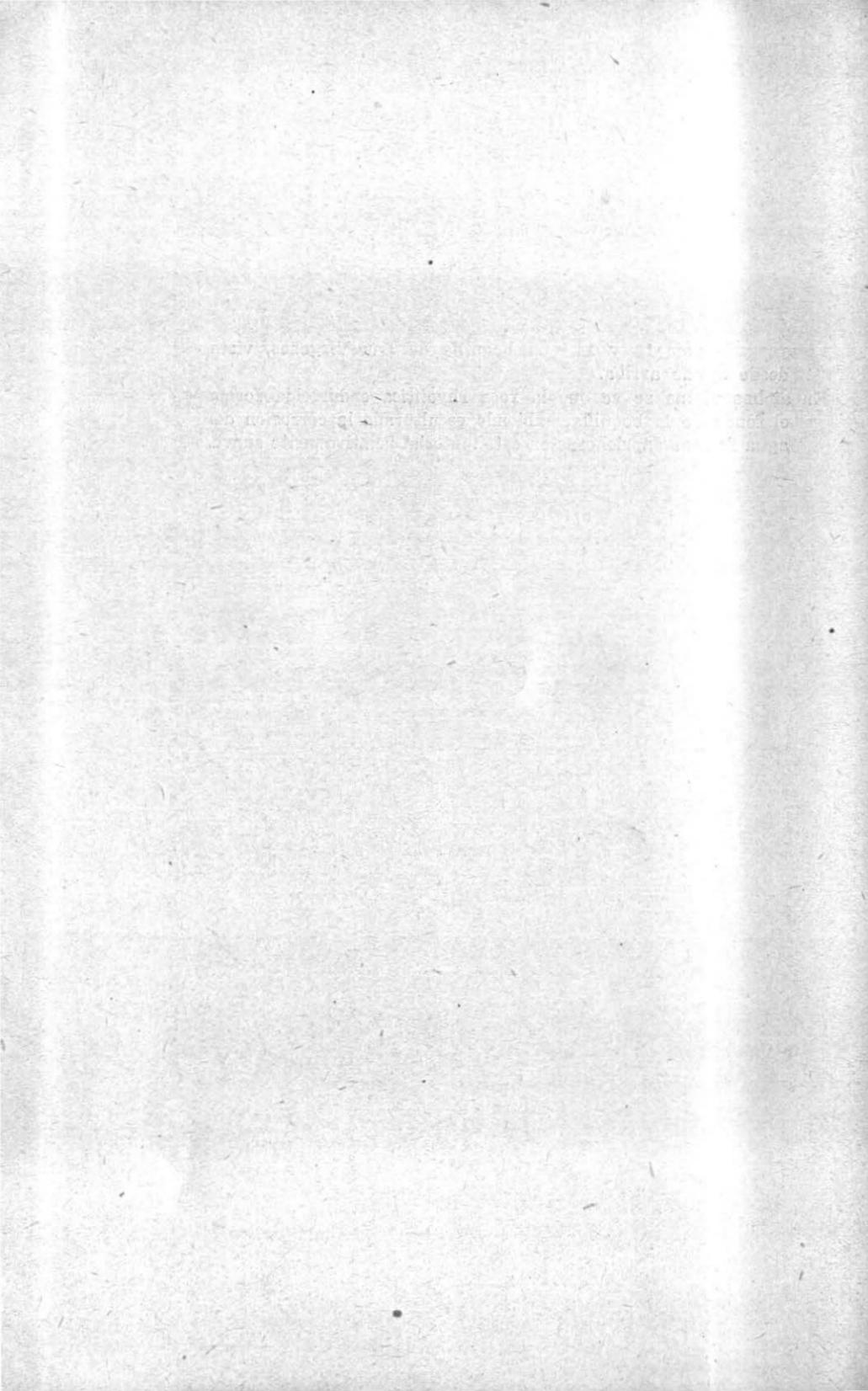




Fig. 13.



Fig. 14.

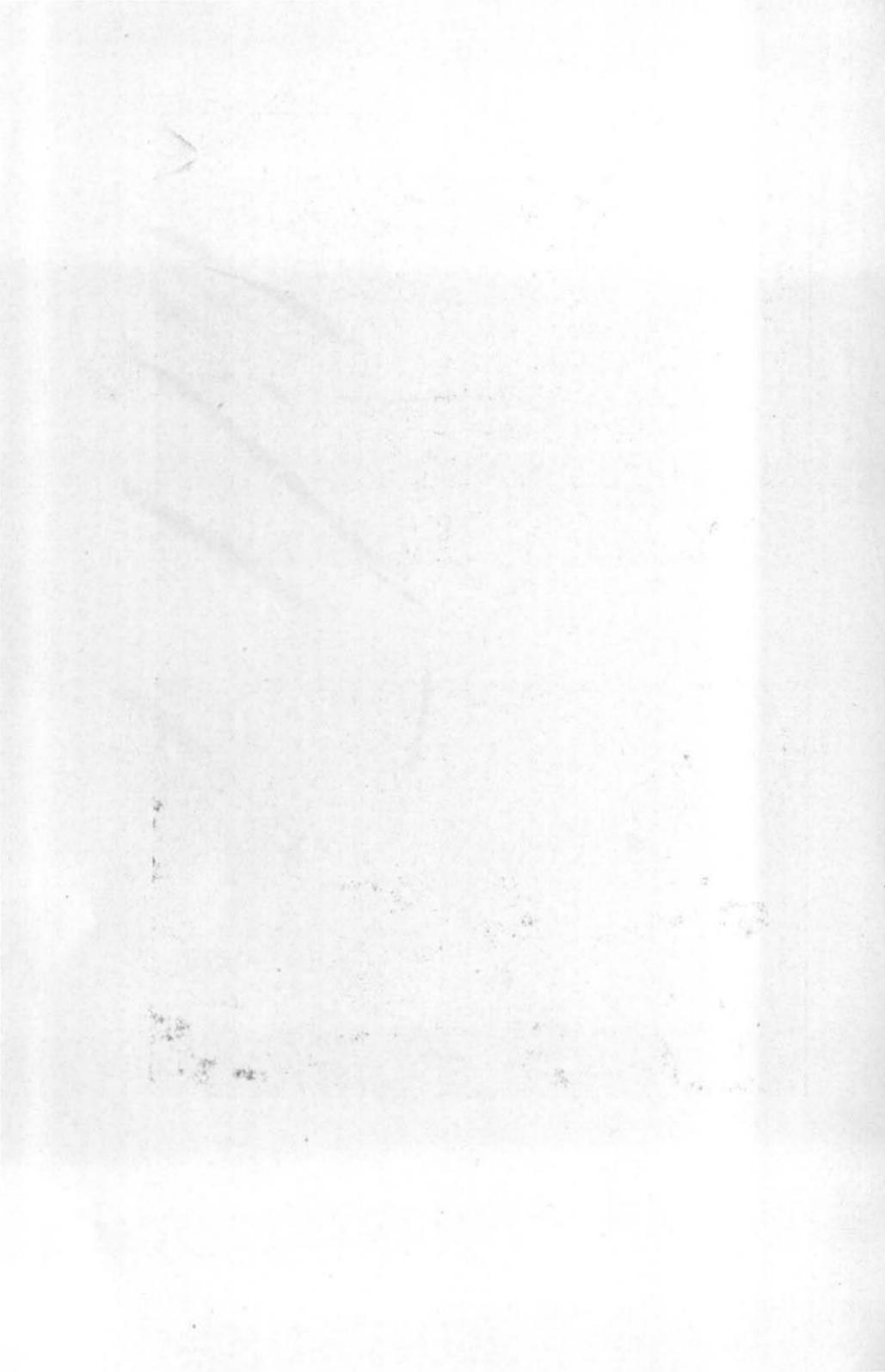


Figura número 15.—Se ven en el fondo del río las mismas formas caprichosas de la corrosión, y en el fondo una de las fracturas N. 30° W. que atraviesan estas tobas y de las cuales se habla en el informe.

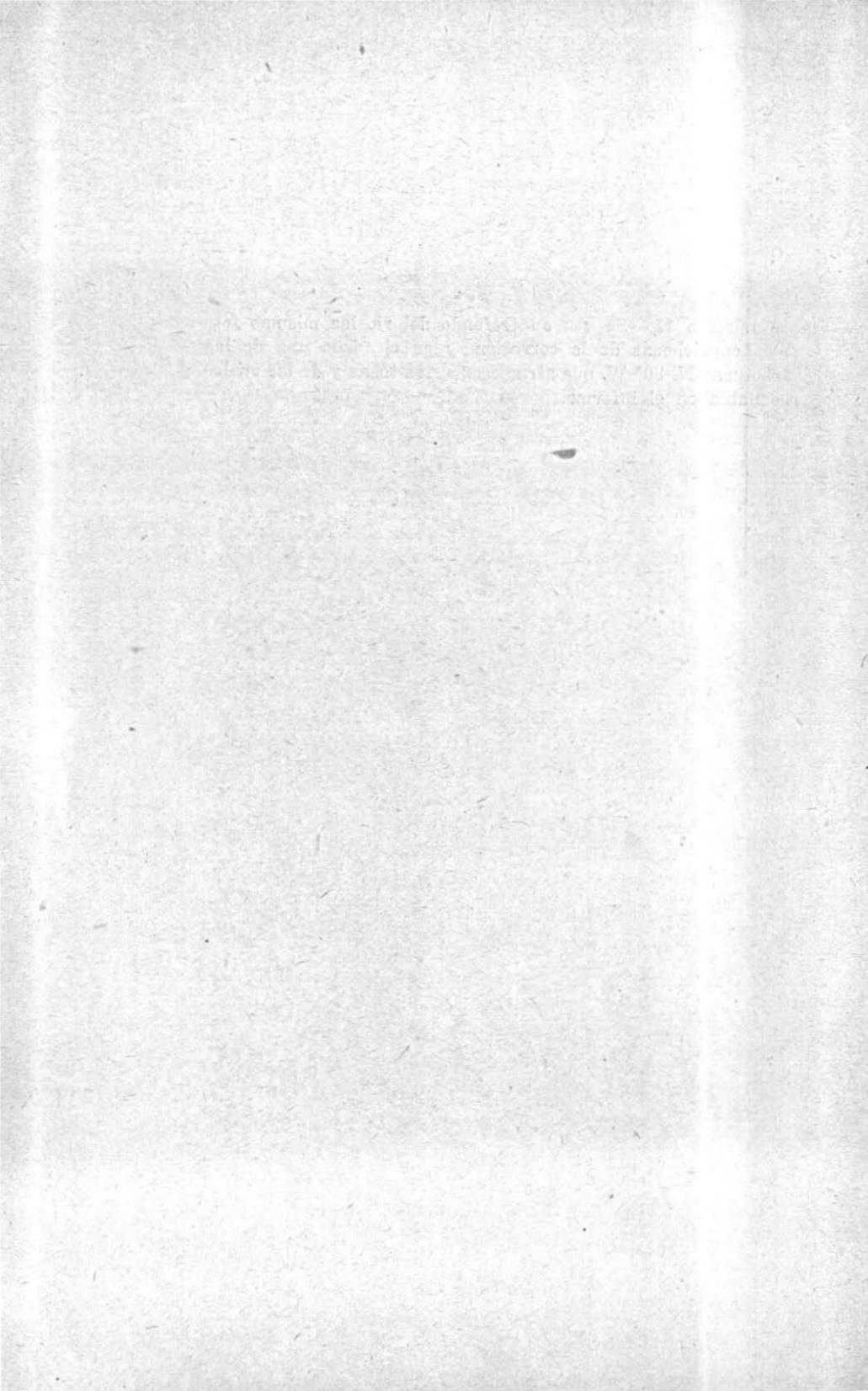
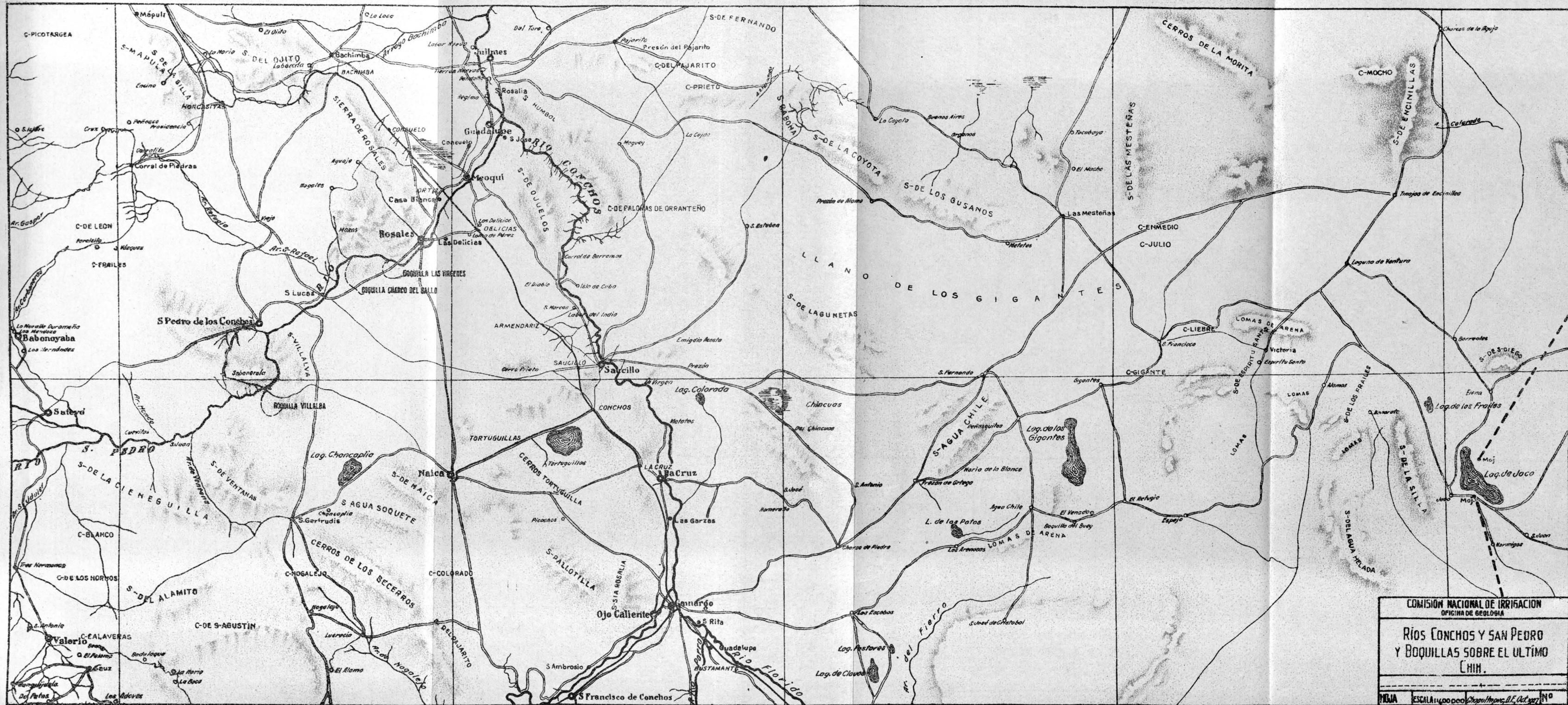


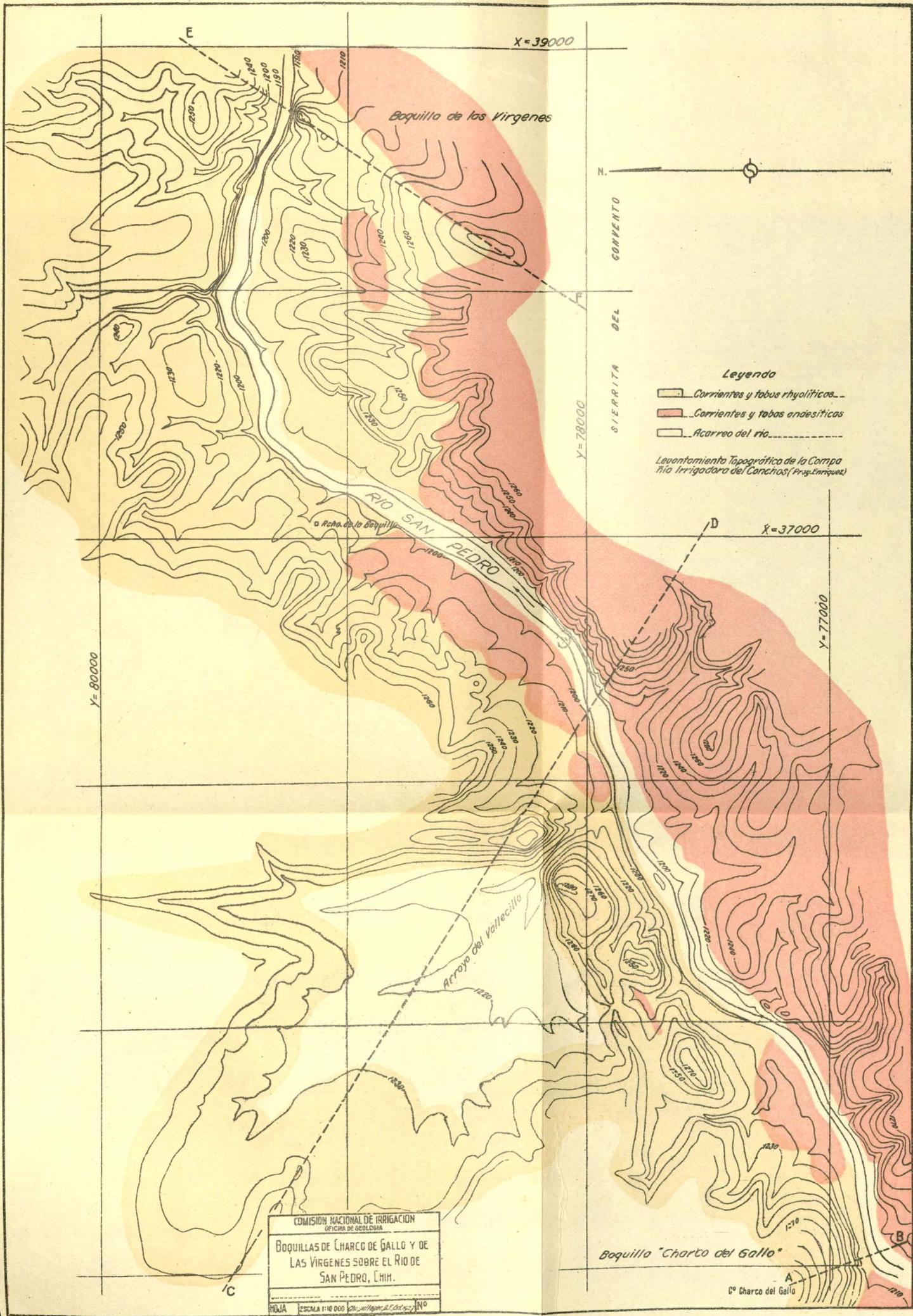


Fig. 15.





COMISION NACIONAL DE IRRIGACION  
 OFICINA DE GEOLOGIA  
**RÍOS CONCHOS Y SAN PEDRO  
 Y BOQUILLAS SOBRE EL ÚLTIMO  
 CHIH.**  
 PLANA ESCALA 1:400,000 (Chihuahua, D.F., Oct. 1927) N°



X=39000



SIERRITA DEL CONVENTO

**Leyenda**

- Corrientes y tabas rhyolíticas...
- Corrientes y tabas andesíticas
- Aclarreo del río

Levantamiento Topográfico de la Compañía Río Irrigadora del Carcho (Fr. Enriquez)

X=37000

Y=77000

Y=80000

Y=78000

RIO SAN PEDRO

Arroyo del Vallecillo

Boquilla "Charco del Gallo"

Cº Charco del Gallo

COMISION NACIONAL DE IRRIGACION OFICINA DE GEOLOGIA
BOQUILLAS DE CHARCO DE GALLO Y DE LAS VIRGENES SOBRE EL RIO DE SAN PEDRO, CHIH.
HOJA ESCALA 1:50 000

