

# Algo acerca de los datos y observaciones necesarios para determinar la factibilidad de un proyecto de riego

Por el Ingeniero

*M. MIGUEL RAMOS G.*

del Depto. de Proyectos de la Comisión Nacional de Irrigación

**F**RECUENTEMENTE el Gobierno de un país o alguna empresa o asociación particular, se interesan por conocer la factibilidad de crear un sistema de riego y por saber qué posibilidades de ensanchamiento ofrece para el futuro.

Corresponde al ingeniero civil el dictaminar acerca de las posibilidades que ofrece la obra, y es ésta una de las labores que mayor pericia requiere por la gran responsabilidad que encierra.

Para poder fundar un dictamen, es necesario apoyarse en datos. De la veracidad y suficiencia de éstos depende la certeza de las conclusiones de aquél.

Entre estos datos podemos considerar dos clases:

1º Los que corresponden al reconocimiento preliminar, que sirven para indicar al ingeniero si un proyecto es de desecharse desde luego, o si procede la prosecución de su estudio; y

2º Los datos que se toman después de que el reconocimiento ha mostrado la existencia de perspectivas para el proyecto.

El objeto de este trabajo es el de indicar en términos generales los diversos datos de este último tipo, que es necesario obtener como base para un buen informe y presentar, a grandes rasgos, las actividades que es necesario desarrollar para la obtención de dichos datos.

## GENERALIDADES

En el mecanismo de un sistema de riego, intervienen diversos elementos y factores, del conjunto de los cuales depende su funcionamiento:

a). Modo de captación: almacenamiento, derivación, bombeo;

b). Fin para que se destinen: riego, energía.

3. El clima.

4. El terreno.

a). Correspondiente al abastecimiento;

b). Correspondiente al aprovechamiento.

Es por lo tanto, necesario, tener información adecuada respecto a cada uno de estos elementos y factores y esta información se obtiene colectando los datos que pueden catalogarse en los grupos siguientes:

a). Climatológicos.

b). Hidrológicos.

c). Topográficos.

d). Geológicos.

e). Agrológicos.

## DATOS CLIMATOLOGICOS

Los terrenos de riego se destinan a cultivos que necesariamente requieren un clima determinado y por ello es menester el conocimiento de las características climáticas de la región aprovechable.

Hay que investigar si la zona propuesta está o no sujeta a perturbaciones ciclónicas, conseguir registros de temperatura, averiguar si hay frecuentes heladas, si los vientos son huracanados, etcétera.

Mucha de esta labor se desarrolla recurriendo a las cartas climatológicas editadas por instituciones oficiales; también los informes recabados entre los habitantes de la localidad pueden ser valiosos si se justiprecian por una inteligente observación personal de las huellas que los fenómenos climáticos han impreso tanto en la geo-

logía como en la vegetación y topografía del lugar.

### DATOS HIDROLOGICOS

El problema correspondiente a este capítulo es determinar la cantidad de agua que puede suministrar la fuente de abastecimiento de su distribución durante el año.

Para atacar el problema, cuando el aprovechamiento es por derivación o por almacenamiento, se debe recurrir en primer lugar a las instituciones en busca de datos de aforo de las corrientes. Si no hay datos de aforo, habrá que buscar datos pluviométricos para relacionarlos con aforos directos si es posible, o bien para emplear los diversos procedimientos o fórmulas para relacionar la precipitación con el escurrimiento.

Como en la América Latina y en muchas otras regiones es frecuente el estudio de zonas no exploradas, en las cuales no se han establecido estaciones pluviométricas, evaporómetros y mucho menos estaciones de aforo de las corrientes, el ingeniero llamado a hacer el estudio de la región tiene que preocuparse inmediatamente por el establecimiento de estaciones que permitan obtener los datos ya mencionados.

*Pluviómetros.*—La medición de la precipitación pluvial se hace directamente por medio de recipientes de área conocida, llamados pluviómetros.

El tipo empleado por el United States Weather Bureau, consta de un colector circular de ocho pulgadas de diámetro, de fondo cónico que descarga en un tubo cilíndrico de latón cuya base tiene una área igual a un décimo de área colectora, más el área de la sección de una regla calibrada que mide con gran aproximación la altura de precipitación. Si la altura de precipitación pasa de dos pulgadas (veinte en el tubo), el agua del tubo desborda dentro de un recipiente y de allí se puede tomar posteriormente para medirla.

La colocación correcta de los pluviómetros es de gran importancia; deben colocarse en lugares protegidos contra las fuertes corrientes de aire y lejos del follaje de los árboles, para que la altura registrada corresponda realmente a la altura de precipitación. La altura de la boca del pluviómetro sobre el nivel del piso, debe ser la misma

para todos los pluviómetros que se instalen en la zona en estudio; la altura de un metro se considera conveniente.

*Evaporómetros.*—No ha sido sino hasta épocas relativamente recientes cuando se le ha dado la debida importancia a la evaporación y a los factores que la afectan y es debido a que en las regiones en que la altura de precipitación iguala o excede a la evaporación, las pérdidas no son grandes y no se tiene cuidado de cuantificarlas. No sucede lo mismo en algunas regiones áridas, en ellas la evaporación llega a ser hasta cincuenta veces la precipitación anual y si entonces no se toma en consideración al proyectar un almacenamiento, el fracaso de éste es muy desfavorable.

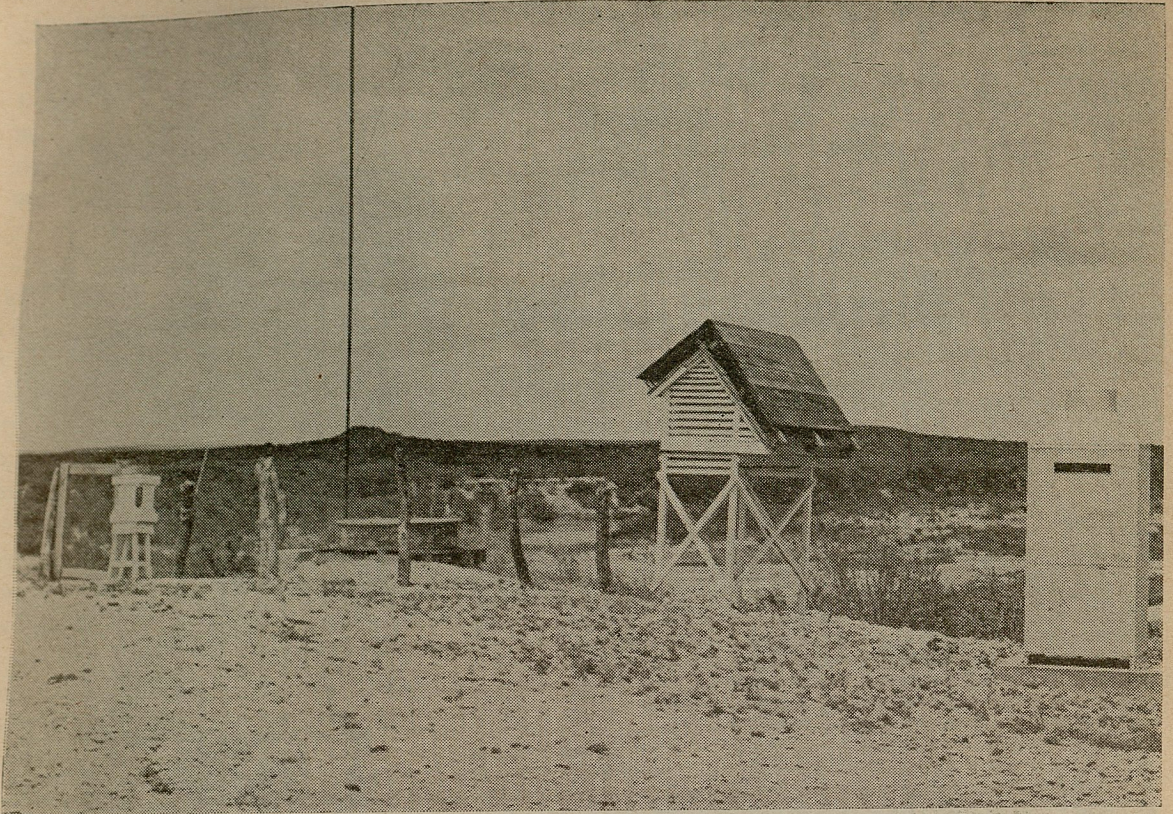
La forma en que se cuantifica la evaporación consiste en medir la diferencia de nivel de la superficie libre del agua en un recipiente de forma y dimensiones conocidas —llamado evaporómetro— en un intervalo de tiempo dado, generalmente veinticuatro horas, pero si no se tienen precauciones especiales, la evaporación medida no corresponde a la evaporación real. Entre las más importantes condiciones, los evaporómetros han de satisfacer los siguientes requisitos:

1º Tener forma y dimensiones uniformes, suficientemente grandes para que el calentamiento del material de que se construyen no afecte sensiblemente la evaporación.

2º Deben colocarse sobre un entarimado cuadrado, cuyos lados sean iguales al diámetro del evaporómetro, situado sobre un montículo de tierra, en un prado sensiblemente horizontal y libremente expuesto a los vientos, libre de árboles, edificios y de todo aquello que estorbe a la circulación del viento o proyecte sombra en el evaporómetro.

3º Debe rodearse la estación con un cercado para protegerla de pérdidas de agua accidentales, ocasionadas bien por gente inculca o bien por animales que se acerquen a beberla. (Fot. Núm. 1.)

4º El registro de las lecturas —que se hacen por medio de un micrómetro portátil— debe ser uniforme y conviene que en él se anoten: la temperatura ambiente a la hora de hacer la observación; la máxima y la mínima correspondientes a las 24 horas anteriores a la observación; la lectura de un pluviómetro cercano al evaporómetro; la intensidad y dirección del viento y



ESTACION CLIMATOLOGICA DE EL CUCHILLO, N. L. (Dotada de pluviógrafo, pluviómetro, evaporómetro y termómetro). Foto Núm. 1.

el estado del tiempo tanto a la hora de la observación como en las 24 horas anteriores a la misma.

*Aforos.*—El sitio en el cual se hacen observaciones para determinar el gasto de una corriente se llama estación de aforo. Los métodos empleados para hacer aforos son múltiples pero el que con más frecuencia se emplea en las corrientes, es el método de sección y velocidad. En él se debe conocer, por sondeos o por algún otro procedimiento, la sección del cauce en el sitio de observación y la velocidad del agua; ésta se puede determinar por medio de flotadores, por la pendiente hidráulica o por medio de molinetes. Generalmente se emplean los molinetes y, como el molinete debe colocarse en diversos sitios del cauce, es menester que en la estación exista un vado, puente, bote o cable de canastilla para que el observador pueda transitar a lo largo de la estación. (Fotos Núms. 2, 3 y 4.)

En la elección del sitio de la estación dentro de la ubicación requerida, debe elegirse un sitio de fácil acceso que permita una instalación no muy costosa de la estructura requerida y sobre todo,

debe buscarse una buena sección en la que a un tirante de agua corresponda siempre un mismo gasto; si el fondo del cauce es fácilmente modificable por la corriente, hay que dotarlo de un umbral de concreto o mampostería que haga que la sección de aforo sea invariable; debe además procurarse que la sección de control esté en un sitio libre de perturbaciones provocadas por remansos. Además, en la sección de control se debe establecer una escala, ya sea vertical o inclinada, que permita leer el tirante del agua del cauce. Dicha escala debe estar referida a un banco de cota fija, cercano, para comprobar periódicamente su posición o reinstalarla en caso que se destruya.

Algunas estaciones se dotan con aparatos automáticos que registran en forma continua la altura del tirante de agua de la sección de control, tales como los limnógrafos.

Finalmente conviene hacer notar que los registros para aforos han de ser apropiados a la forma empleada para aforar, pero que en todos los casos serán uniformes para todas las estaciones de aforo y han de disponerse en una forma



Estación Hidrométrica de El Carmen, Río Atoyac, Pue. (Al fondo la caseta del limnógrafo, construida de tubería de lámina corrugada.) Foto Núm. 2.

tal que el aforador se vea obligado a anotar absolutamente todos los datos necesarios.

*Azolves.*—La determinación del volumen de materias sólidas que una corriente transporta, tiene gran importancia tanto en la previsión de un volumen para la sedimentación del azolve en el vaso de almacenamiento, como para prever y evitar, por lo medios adecuados, costos elevados en la conservación de los canales de riego.

Así pues, es necesaria la determinación de las cantidades de sedimentos transportadas por las corrientes, y las observaciones necesarias generalmente se hacen en las estaciones de aforo. Estas observaciones consisten en la toma de muestras representativas del agua de la corriente; generalmente se realizan una a dos veces por semana y cuando se presenta o se retira una creciente. El muestreo se logra con botellas lastradas cuya boca tiene una tapa controlable desde la superficie de la corriente; generalmente se toman tres muestras del fondo y tres superficiales y a cada una se le encierra herméticamente y se le identifica por medio de tarjetas especiales en las que

debe anotarse el nombre de la corriente, el de la estación y el lugar en que se tomó. También se anota en ella el gasto de la corriente al tomar la muestra.

En el laboratorio se hace el análisis de las muestras con el objeto de determinar las cantidades de sedimento en cada muestra, y los porcentajes en peso y volumen y periódicamente se calculan las cantidades de sedimentos escurridos durante un tiempo dado, generalmente un mes.

#### DATOS TOPOGRAFICOS

Area de captación.

Vaso de almacenamiento. (Sólo cuando se requiere presa de almacenamiento.)

Sitio de la presa. (Ya sea de almacenamiento o de derivación.)

Zona irrigable.

*Levantamiento del área de captación.*—Este levantamiento tiene por objeto determinar la forma y superficie de la cuenca o de las cuencas

de captación y definir los cauces principales y su pendiente. Al tiempo que se realice el levantamiento —que por cierto debe hacerse con los más rápidos procedimientos y precisión no mayor de 1:500— se debe recabar ordenadamente el mayor número de datos relativos a la vegetación y condiciones geológicas del terreno.

La forma general para hacer este levantamiento consiste en correr una poligonal con estadia o con plancheta, por el parte aguas de la cuenca y otras a lo largo de los cauces. También se puede hacer una triangulación con plancheta o con tránsito de I situando los vértices en los puntos más encumbrados del parte aguas y apoyar en ella poligonales auxiliares.

Claro está que en una misma cuenca puede emplearse una combinación de los métodos descritos. Actualmente la fototopografía es un valioso auxiliar en el levantamiento de cuencas.

Debe recalarse que en esta clase de levantamientos no se requiere precisión: se necesita rapidez y un criterio justo para registrar todos los datos necesarios.

En cuanto a la presentación de este trabajo, se puede hacer por medio de un plano a escala 1:20,000 a menos que la cuenca sea de gran extensión, más de 150 Km.<sup>2</sup> en cuyo caso se podrá elegir otra escala como 1:100,000 o menor todavía. En este plano se anotará el área de la cuenca hasta la Ha., si la cuenca no pasa de 150 Km.<sup>2</sup> y hasta el Km.<sup>2</sup> si la cuenca es mayor. Se deben anotar las pendientes de los cauces, las zonas cultivadas, las deforestadas, etc.

#### *Levantamiento del vaso de almacenamiento.*—

El levantamiento del vaso de almacenamiento debe hacerse por medio de poligonales apoyadas en una triangulación orientada astronómicamente, hecha con plancheta para áreas menores de 40,000 Ha. y con aparatos de 20" a 30" de aproximación cuando el área sea mayor.

Tanto la triangulación como las poligonales de apoyo, que por cierto conviene llevar lo más cerca que sea posible a la futura cota de máximo embalse y por el fondo del cauce, han de dibujarse previamente en las hojas de plancheta. La configuración se debe hacer por medio de plancheta o estadia porque es más fácil y económico que el empleo de niveles montados o de mano.

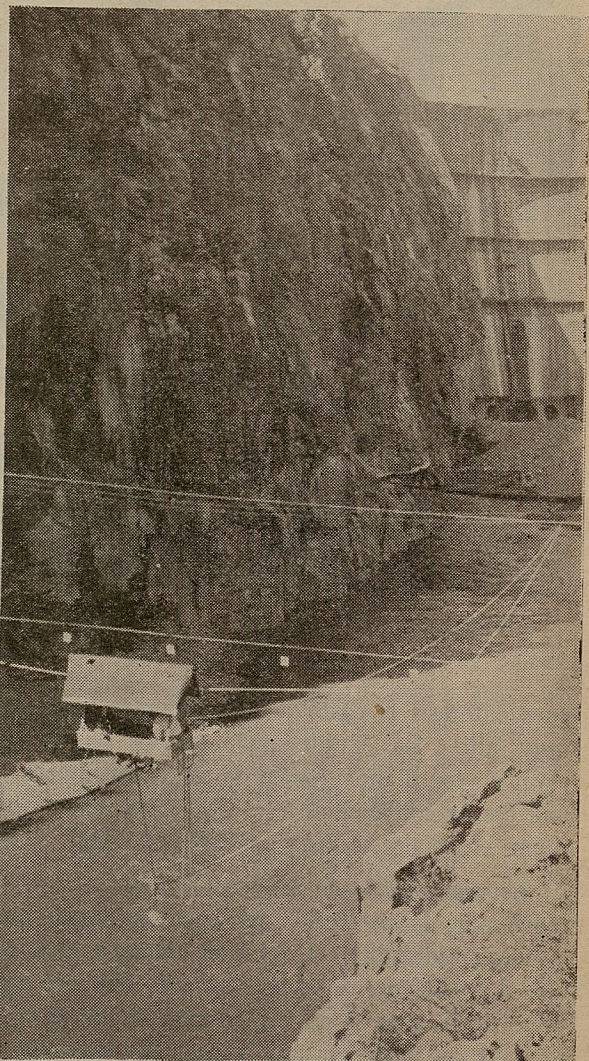
Conviene usar una escala no menor de ..... 1:10,000 (la usual es 1:5,000) que permita alojar

toda el área en una sola hoja; pero si hay necesidad de hacerlo en varias hojas, conviene anotar en cada una el diagrama de colocación de ella y las restantes.

Si el vaso está interceptado por alguna vía de ferrocarril o por algún o algunos caminos, deben figurar en el plano los derroteros actuales y en el informe final han de proponerse las relocalizaciones correspondientes. También deben figurar en estos planos los linderos de las diversas propiedades situadas dentro del vaso y los nombres de sus propietarios.

#### *Levantamiento del sitio de la cortina o dique.*

—Este levantamiento se realiza con estadia o con plancheta, apoyándose en poligonales niveladas al milímetro, que encierran el área por detallar

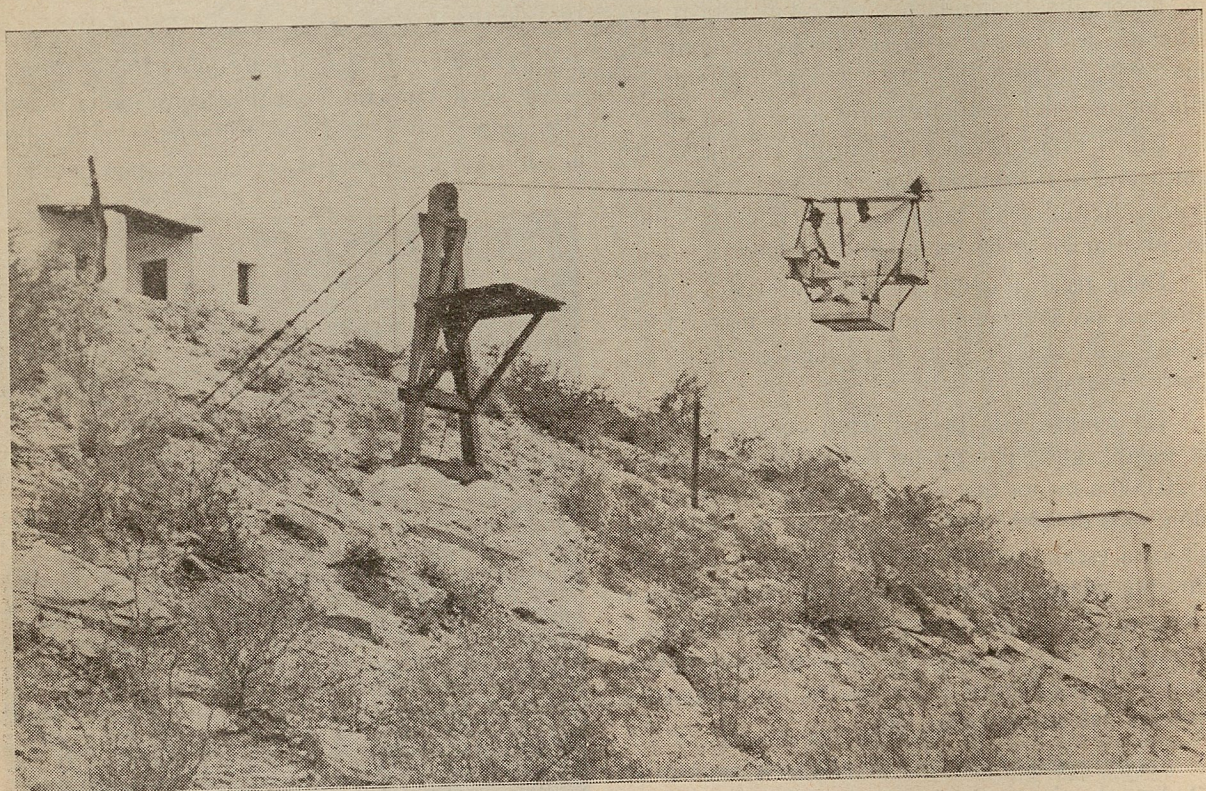


Ejecución de un aforo en la Estación hidrométrica de La Angostura, Son., situada aguas abajo de la cortina de la presa, la cual se advierte al fondo (puede notarse el cable de retenida y el de maniobra, hilo de distancias, etc.). Foto Núm. 3.

y cuya precisión deberá ser no menor de 1:5,000. Además de la poligonal perimetral, deben llevarse una por el fondo del río, unos 500 o 1,000 metros hacia aguas arriba y hacia aguas abajo del probable sitio del dique y una por el eje del mismo. En terrenos muy boscosos, es necesario el empleo de brechas distantes una de otra, más o menos 50 metros, puesto que si se distancian más, la configuración resulta muy pobre; claro está que si el espaciamiento es menor que 50 metros, se tendrá una mayor facilidad para configurar,

cuadrícula rectangular, cuyo meridiano base esté orientado astronómicamente. La cuadrícula debe fijarse previamente con líneas norte-sur y oriente-occidente, trazadas con tránsito, medidas con cinta de acero de 50 m. y niveladas con nivel montado al milímetro; esta cuadrícula se hará de manera de obtener cuadros de un kilómetro de lado y estará debidamente compensada.

Los planos de los terrenos deben incluir en sus detalles los linderos de las propiedades y obras existentes en ellos, la escala conveniente en



Estación hidrométrica de El Cuchillo, N. L. (En la foto puede apreciarse una de las torres de apoyo del cable y la canastilla, así como la casa del aforador y la caseta del limnógrafo). Foto Núm. 4.

pero entonces el costo del levantamiento resulta muy alto. La equidistancia de las curvas de nivel en los planos, habrá de ser de un metro, y una escala conveniente es 1:500, aunque en ocasiones especiales se llega a emplear 1:2,000.

*Levantamiento de la zona irrigable.*—La extensión de la zona de riego queda definida por la carga hidráulica, el volumen de agua disponible, el coeficiente de riego necesario para los cultivos de la zona y por la bondad de las tierras.

Una vez definida el área que puede regarse, el levantamiento topográfico de ella se logra con la mayor economía, claridad y precisión, por medio de la plancheta o la estadia, apoyándose en una

estos levantamientos es de 1:5,000, pero cuando el área de riego es muy grande, conviene tener reducciones a escala 1:10,000 ó 1:20,000 para tener en un solo plano grandes extensiones de terreno y así facilitar la localización de canales, drenes y caminos. Como estas obras de arte son posteriores a la decisión de si se lleva o no a cabo la construcción del sistema de riego, no se describen aquí los métodos de localización de ellas.

#### DATOS GEOLOGICOS

Los aspectos geológicos de la región en que se pretende desarrollar un sistema de riego, son dignos de especial atención, pues gracias al conoci-

miento de la geología del vaso de almacenamiento, del sitio de la presa y de los terrenos irrigables, se pueden prever muchas de las dificultades con que la empresa tropezará y por lo tanto, buscar las soluciones adecuadas.

Desgraciadamente, no ha sido sino en épocas relativamente recientes que se ha dado la debida importancia a este problema, y aun hoy día es frecuente ver que se gasta tiempo y dinero en diseños meticulosos, con cálculos muy refinados y precisos, pero se olvida la atención debida a la parte geológica, se dejan los trabajos de investigación en manos de gentes inexpertas y el resultado es la presencia de dificultades imprevistas en la construcción de los diques, el fracaso de obras perfectamente diseñadas pero construidas para cerrar un vaso que no puede ser de almacenamiento, pues sus paredes admiten mil fugas.

Frecuentemente los directores de la empresa se resisten a hacer erogaciones para este objeto, pues tienen la idea de que son innecesarias y muy costosas. A ellos habría que mostrarles fotografías de los muchos fracasos habidos por la falta de un estudio adecuado de la geología del terreno y habría que hacerles ver que rara vez la partida necesaria para exploraciones geológicas excede al cinco por ciento del costo total de la obra y que esa inversión puede disminuir en mucho y aun anular las partidas de imprevistos, que generalmente son de un diez por ciento del costo de la obra y que jamás se objetan.

El reconocimiento geológico del vaso y de los terrenos irrigables, debe hacerse de preferencia después de tener un plano topográfico aunque sea muy tosco, pues generalmente los accidentes topográficos obedecen a razones geológicas. El reconocimiento geológico que un ingeniero civil haga, seguramente deja mucho que desear, y es de gran provecho contratar los servicios de un geólogo, para este fin. Sin embargo, el ingeniero encargado del estudio del sistema de riego no debe dejar "su" reconocimiento geológico recorriendo toda la zona, haciendo observaciones acerca de las rocas que afloran en el terreno, determinando, a ser posible, su procedencia en la zona y observando los fenómenos de erosión, la naturaleza de los suelos, los cambios de vegetación, existencia de manantiales, corrientes de agua subterráneas, etc.

Para realizar estos reconocimientos se requiere poco equipo y mucha experiencia. El equipo puede ser el siguiente: un libro de notas en

que hacer esquemas, un plano topográfico, una cámara fotográfica, un decímetro, un aneroide, un martillo de geólogo y, en todo caso, algunos sacos y etiquetas para recoger algunas muestras que sean de utilidad y anotar en la etiqueta la localización del sitio de la muestra, elevación del lugar en que se tomó, fecha y alguna otra indicación necesaria.

Generalmente el reconocimiento geológico del sitio de la presa, se hace con mucho más cuidado que los reconocimientos geológicos restantes. Entre otros métodos se emplean para estas exploraciones los siguientes:

- Pozos a cielo abierto y zanjas.
- Perforaciones de corazón.
- Perforaciones con taladros giratorios.
- Perforaciones con lavado.
- Procedimientos geofísicos.
- Algunos otros procedimientos especiales.

Cuándo emplear uno y otro de los procedimientos anotados es algo que no puede decirse, depende del problema de que se trate y de sus peculiaridades. La elección acertada del procedimiento de exploración sólo la puede dictar la experiencia de quien la dirige.

Es imposible indicar como han de llevarse los registros o notas de la exploración, sin las cuales la exploración misma es inútil, pues es asunto que depende principalmente de los métodos de exploración que se sigan. Sea cualquiera que sea la forma en que se lleven los registros, debe hacerse hincapié, y nunca se insistirá demasiado, en que el encargado de llevar los registros debe ser precisamente un ingeniero que permanecerá en el sitio de la exploración continuamente durante el tiempo en que ésta se lleve a cabo. Es lamentable el hecho de que en multitud de trabajos de exploración se encargue al sobrestante del trabajo, de la formación del registro de exploración y claro está que éste no podrá, por grande que sea su voluntad, realizar un trabajo satisfactorio.

No obstante que ya se indicó antes que la forma del registro depende de la manera como se realice la exploración, conviene mencionar algunos de los datos que han de figurar en todo registro:

- Fecha.
- Hora en que se inició el trabajo.
- Hora en que se suspendió el trabajo.
- Estado del tiempo, (lluvioso, seco, caluroso, frío, etc.).

Localización exacta del sitio del trabajo.

Nombre del operador u operadores.

Descripción del equipo empleado, (no dejen de anotarse las condiciones en que se encuentra).

Deben registrarse, además, la elevación del terreno en que se trabaja, de cada plano en que cambie el estrato, la profundidad a la cual se encuentre agua subterránea, la profundidad a la cual se tomó la muestra.

Si la exploración se hace por medio de perforaciones con corazón, deben registrarse además los siguientes datos:

Velocidad de perforación, por ciento de muestra obtenido, observaciones respecto al agua de perforación, esto es, indicar si se conserva, si se pierde, si se recupera y las profundidades a las cuales se presenta cada uno de estos fenómenos.

Todo registro deberá llevar las iniciales de quien lo formó y diariamente será revisado por el Ingeniero jefe

Finalmente, indicaremos algunos de los cuidados que deben tenerse con las muestras tomadas. Cuando estén en forma de corazones, se guardarán en cajas de madera provistas de canales ad hoc, para la colocación de los corazones extraídos, los cuales se colocarán en las canales, en el orden en que salen de la perforación, principiando por la izquierda de la primer canal y llenando así todas las canales necesarias, en la misma forma en que se llenan los renglones de una plana. En las zonas en que no haya sido posible recobrar las muestras, éstas se suplirán con tarugos de madera, debidamente afianzados. Cada caja debe llevar datos que identifiquen el pozo al cual corresponden las muestras y las profundidades.

Cuando las muestras extraídas no vengan en forma de corazón o sean de material muy deleznable, se conservarán previamente secadas, sin calor especial, en bolsas herméticas y resistentes, provistas de etiquetas que las identifiquen, o en tubos provistos de cierres herméticos si se requiere conservar la muestra sin que pierda su humedad.

## DATOS AGROLOGICOS

Como el objeto principal de un sistema de riego es bonificar la producción agrícola de una región e incrementarla, y como el desarrollo de las plantas depende muy principalmente de la

naturaleza del suelo y de las condiciones más o menos favorables que ofrezca a la penetración de las raíces y del agua, es necesario que antes de decidir acerca de la construcción y de la extensión del sistema de riego se haga un estudio más o menos completo del área irrigable, atendiendo a las facilidades que ofrezca el suelo para el buen desarrollo agrícola.

Es evidente que este estudio no corresponde al ingeniero civil, sino al ingeniero agrónomo, pero como quiera que la cooperación entre ambos es indispensable para rendir un buen informe, es menester que el ingeniero civil tenga un concepto claro del objeto del reconocimiento agrológico, de los procedimientos empleados en él y de los datos que el agrónomo debe hacer constar en su informe. A continuación se presenta un bosquejo de las actividades que ha de desarrollar el ingeniero agrónomo.

Deben estudiarse en los terrenos de riego:

1º Las características morfológicas del suelo, esto es: origen, modo de formación, edad, etc.

2º Las características físicas y de entre ellas muy especialmente la textura. Arcillas, arenas o migajones.

3º La alcalinidad del suelo y la naturaleza de las sales solubles existentes en los suelos y que son perjudiciales en mayor o menor grado para los cultivos.

4º *Fertilidad*.—La fertilidad se deduce de la observación de la vegetación existente y toda documentación que los agricultores de la región puedan aportar a este respecto.

5º *Topografía y drenaje*.—El terreno ideal por topografía es un plano con pendiente suave; siguen las laderas que no ofrecen problemas de erosión y, por último, los terrenos accidentados, difíciles de labrar y regar y propensos al deslave.

El estudio del drenaje se hace necesario porque la falta de un drenaje natural, no contrarrestada por un adecuado drenaje artificial, afecta a la salud pública, a la del ganado y a la vida de las plantas. En efecto, la presencia excesiva de agua en el suelo facilita la vida de los insectos, especialmente del mosquito transmisor del paludismo. Los mosquitos y otros insectos cuya vida se facilita en los pantanos, afectan el desarrollo del ganado y lo hacen propenso a las enfermedades. Además, ese exceso de agua dificulta la aereación del suelo, su temperatura y su textura, con lo cual la vida

de las plantas se ve gravemente afectada. Así pues, en su reconocimiento, el ingeniero debe observar las condiciones naturales de drenaje de las tierras irrigables, tanto por medio de la topografía de las tierras, como por la profundidad del agua freática, y debe también localizar aquellas zonas que requieran drenaje artificial y estudiar el medio de suministrarlo.

El estudio de las características morfológicas y físicas de los suelos se hace por medio de pozos a cielo abierto, debidamente localizados y por el análisis granulométrico de muestras obtenidas; el estudio geológico de la zona de riego es un gran auxiliar para este estudio.

La alcalinidad se estudia por la resistencia que al paso de la corriente eléctrica ofrece una pasta hecha con la muestra del terreno y agua destilada. Las muestras se toman en el terreno, con brocas de 2 a 3 metros de longitud, en puntos espaciados entre 200 y 400 metros y localizados en hojas de plancheta adecuadas, en las que debe figurar la topografía del lugar cuando se disponga de ella. Finalmente, la naturaleza de las sales existentes en las tierras, se determina en el laboratorio por análisis químico.

Pesando todos y cada uno de estos factores, el

agronomo finalmente califica las áreas de riego en cuatro grupos, que son:

Tierras de primera.

Tierras de segunda.

Tierras de tercera.

Tierras de cuarta (desechables).

Esta clasificación es local y queda sujeta exclusivamente al buen juicio del ingeniero agrónomo, pues hasta ahora, aunque se han propuesto varios procedimientos de calificación, no existe uno que elimine el factor de apreciación personal.

Se ha creído conveniente anexar al presente trabajo, la siguiente bibliografía:

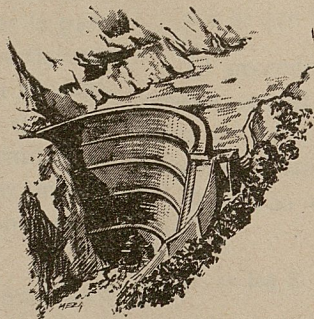
Water Supply & Utilization by D. M. Baker & H. Conkling.

Modern Surveying for Civil Engineers by H. F. Birchall, editado por Chapman & Hall. Ltd.

Reconnaissance Surveys by L. B. Roberts. Revista Civil Engineering, Vol. 10, N° 9.

Route Surveys by Harry Rubey, editado por la casa McMillan de New York, E. U. A.

Survey of Swift River Reservoir by N. LeRoy Hammond. Proceedings de la American Society of Civil Engineers, en febrero de 1931.



# Nuevo procedimiento para analizar avenidas

Por el Ingeniero

**ANDRES GARCIA QUINTERO**

Jefe de la Sección de Hidrología del Depto. de Estudios

**E**L objeto del presente artículo es dar a conocer un nuevo procedimiento para analizar las avenidas en los ríos, con el fin de determinar sus propiedades de frecuencia; este procedimiento fué ideado por John C. Greyer, de la John Hopkins University, y su descripción detallada aparece publicada en los Transactions of The American Geophysical Union, páginas 660-668, año 1940, Hidrology.

Se basa en la hipótesis de que si la frecuencia de las avenidas en función de su magnitud sigue una ley definida, es posible expresarla matemáticamente. La principal razón para derivar una ecuación, es permitir la extrapolación a fin de determinar la magnitud de avenidas menos frecuentes.

Para obtener esta expresión se fija una avenida o gasto base, arriba del cual se consideran todos los gastos como avenidas; es decir, no se utilizan las avenidas máximas anuales sino todas aquellas que por su magnitud pueden clasificarse como tales. La avenida base debe fijarse suficientemente pequeña para que permita obtener la parte baja de la curva de frecuencias con suficiente aproximación. El método permite fijar la avenida máxima probable cuando el período que se considera es infinito; es decir, se puede determinar la avenida máxima *maximorum* que es capaz de producir determinada cuenca bajo las condiciones más desfavorables.

Para deducir la ecuación que liga la magnitud de una avenida con su frecuencia y al mismo tiempo que permita obtener la avenida límite cuando la frecuencia en años es infinito, se utiliza la siguiente forma de fórmula:

$$Y = RL^{-t^k} \dots \dots \dots (1)$$

en la cual Y = Magnitud de la avenida en metros cúbicos por segundo con una frecuencia de t años.

t = Intervalo en años de la frecuencia media con la que es igualado o excedido el valor Y. Es igual al número de años de registro entre el número de avenidas que igualan o exceden a Y.

L = Valor límite del gasto máximo probable cuando t = infinito.

R = Relación entre la avenida límite y la avenida con un intervalo de un año; esto es

$$R = \frac{L}{Y} \text{ cuando } t = 1$$

k = Constante que define la curvatura de la curva de frecuencias para cada par de valores R y L. Como el valor de k es siempre negativo, cuando t = ∞, entonces

$$t^{-k} = \frac{1}{\infty^k} = 0$$

y la potencia

$$R^{-t^{-k}} = R^0 = 1$$

por lo que Y = L cuando t = ∞

El procedimiento consiste en determinar por medios semigráficos los valores L, R y k de la ecuación (1) y para facilitar la explicación se describe la aplicación al río San Juan, Tamps.

Poniendo en forma logarítmica la ecuación (1):

$$\log Y = \log L - t^k \log R \dots \dots \dots (2)$$

cambiando términos:

$$\log L - \log Y = t^k \log R \dots \dots \dots (3)$$

volviendo a poner en forma logarítmica la expresión (3):

$$\log (\log L - \log Y) = \log t + \log \log R \dots \dots \dots (4)$$

si se considera que  $\log (\log L - \log Y) = Y$   
 $\log t = X$   
 $\log \log R = B$

la ecuación (4) sería:  $Y = k X + B$  que es una línea recta cuando se ponen en papel logarítmico los valores de  $\log (\log L - \log Y)$  en comparación de los valores de  $\log t$ .  $L$  es una magnitud desconocida que debe determinarse por tanteos. Esto puede hacerse muy rápidamente por método gráfico que se muestra en la Fig. 1. En papel logarítmico se marca  $(\log t)$  en las abscisas y  $\log Y$  en las ordenadas. (Realmente se marcó  $\frac{\log Y}{100}$ , por razones que después se explican). Los puntos marcados indican la curva A. Suponiendo un valor de  $(\log L)$  y restándole  $(\log Y)$  se obtiene la curva C. La curva C es en realidad la representación gráfica de

$\log (\log L - \log Y)$ , en función de  $\log t$ .

y da por resultado una línea recta si el valor de  $(\log L)$  está bien elegido.

Si el  $(\log L)$  se toma muy alto, se obtiene una curva B, cóncava hacia arriba. Si  $(\log L)$  es muy bajo, entonces se obtiene la curva D cóncava hacia abajo. La elección correcta del valor de  $(\log L)$  produce una línea recta C con la cual pueden determinarse los valores de las constantes  $k$  y  $R$ .

El  $(\log R)$  está determinado con la intersección de la curva C con la ordenada correspondiente a la abscisa  $t = 1$ .

La constante  $k$  es la pendiente de la recta C y puede determinarse con la intersección de la curva C con  $t = 1$  y  $t = 100$ , como sigue:

$$k = \log (\log L - \log Y)_{100} - \log \log R / (\log 100 - \log 1)$$

TABLA 1  
**APLICACION DEL METODO A LA CUENCA DEL RIO SAN JUAN HASTA SANTA ROSALIA, TAMPS.**

Area de drenaje, 30 535 Km<sup>2</sup>. Avenida base: 100 m<sup>3</sup>/s. Período: 16 años

| Avenida m <sup>3</sup> /s.<br>Y | CUENTA DE LAS AVENIDAS IGUALADAS O EXCEDIDAS | Frec. o núm. de veces en que se igualan o exceden. | Frecuencia acumulada | Frecuencia media t (años) | $\frac{7}{100}$ | $\log Y/100$ |
|---------------------------------|--|--|----------------------|---------------------------|-----------------|--------------|
| 1                               | 2  | 3  | 4                    | 5                         | 6               | 7            |
| 100                             | (1)  | 71   | 305                  | 0.05                      | 1.0             | 0.000        |
| 200                             | (2)  | 45   | 254                  | 0.07                      | 2.0             | 0.301        |
| 300                             | 11111 11111 11111 11111 11111 11111 11111    | 35   | 189                  | 0.08                      | 3.0             | 0.477        |
| 400                             | 11111 11111 11111 11111 11111 1111 111       | 28   | 154                  | 0.10                      | 4.0             | 0.602        |
| 500                             | 11111 11111 11111 11111 111                  | 23   | 126                  | 0.13                      | 5.0             | 0.699        |
| 600                             | 11111 11111 11111 11111                      | 20   | 103                  | 0.16                      | 6.0             | 0.778        |
| 800                             | 11111 11111 11111 1                          | 16   | 85                   | 0.19                      | 7.0             | 0.845        |
| 1 000                           | 11111 11111 11                               | 12   | 67                   | 0.24                      | 10.0            | 1.000        |
| 1 200                           | 11111 11111                                  | 9  | 55                   | 0.29                      | 12.0            | 1.079        |
| 1 400                           | 11111 111                                    | 8  | 46                   | 0.35                      | 14.0            | 1.146        |
| 1 600                           | 11111 1                                      | 6  | 38                   | 0.42                      | 16.0            | 1.204        |
| 1 800                           | 11111 1                                      | 6  | 32                   | 0.50                      | 18.0            | 1.255        |
| 2 000                           | 1111   | 4  | 26                   | 0.62                      | 20.0            | 1.301        |
| 2 400                           | 1111   | 4  | 22                   | 0.73                      | 24.0            | 1.380        |
| 2 800                           | 111  | 3  | 18                   | 0.89                      | 28.0            | 1.447        |
| 3 200                           | 111  | 3  | 15                   | 1.07                      | 32.0            | 1.505        |
| 3 600                           | 111  | 3  | 12                   | 1.33                      | 36.0            | 1.556        |
| 4 000                           | 11   | 2  | 9                    | 1.78                      | 40.0            | 1.602        |
| 4 500                           | 11   | 2  | 7                    | 2.29                      | 45.0            | 1.653        |
| 5 000                           | 11   | 2  | 5                    | 3.20                      | 50.0            | 1.699        |
| 5 500                           | 1  | 1  | 3                    | 5.33                      | 55.0            | 1.740        |
| 6 000                           | 1  | 1  | 2                    | 8.00                      | 60.0            | 1.778        |
| 6 600                           | 1  | 1  | 1                    | 16.00                     | 66.0            | 1.820        |

(1) Para iguales o mayores que 100 m<sup>3</sup>/s:  
 11111 11111 11111 11111 11111 11111 11111 11111 11111 11111 11111 11111 11111 11111 11111 = 71

(2) Para iguales o mayores que 200 m<sup>3</sup>/s:  
 11111 11111 11111 11111 11111 11111 11111 11111 = 45

El análisis completo se hace mediante los siguientes pasos:

1.—Preparar la tabla 1, columnas 1 a la 7:

a).—Seleccionar valores adecuados de Y para agrupar los datos observados,  $Y = 100$  m<sup>3</sup>/s se

toma como avenida base y los valores seleccionados de Y se muestran en la columna (1).

b).—Anotar en la columna (2) el número de veces que se tiene en el registro, una avenida mayor o igual que la indicada en el renglón correspondiente de la columna (1).

c).—En la columna (3) se anota la frecuencia numérica de las avenidas. Por ejemplo: hay 71 avenidas que igualan o exceden a 100 m<sup>3</sup>/s.

d).—Comenzando desde la base en la columna (4) se van acumulando las frecuencias de la columna (3), dando así el número de veces que la avenida Y es igualada o excedida.

e).—Divídase el número de años de registro entre las cifras de la columna (5). Este es el método más simple y conservador para obtener los intervalos o frecuencia media.

f).—La columna (6) sirve para anotar los valores de Y divididos entre 100 que es la avenida base adoptada. Es necesaria esta división para tener una gran variación de valores de log Y y poderlos marcar en una sola gráfica de papel logarítmico de escala ya fija. Por ejemplo, si se marcan los valores totales se tendría:

$$\begin{aligned} \log 100 &= 1.0 \\ \log 6600 &= 3.820 \end{aligned}$$

los valores 1.0 y 3.820 marcados en papel logarítmico quedan separados verticalmente 5 cms., aproximadamente. Pero si se marcan los logaritmos de  $\frac{Y}{100}$ :

$$\begin{aligned} \log \frac{100}{100} &= \log 1 = 0.0 \\ \log \frac{6600}{100} &= \log 66.0 = 1.820 \end{aligned}$$

El log 1 = 0.00, localiza una asíntota porque en papel logarítmico cero está en el infinito. La distribución vertical de todos los otros puntos se incrementa en forma muy conveniente para el trazo de la curva.

g).—La columna 7 tabula los valores de log  $\frac{Y}{100}$

2.—En papel logarítmico se marcan los logaritmos de  $\frac{Y}{100}$  de la columna (7) en las ordenadas, y log t columna (5) en las abscisas.

3.—Trazar la curva media A a través de los puntos marcados anteriormente.

4.—Restar los valores de la curva media A a los valores de  $\log \left( \frac{L}{100} \right)$  para obtener las líneas B, C y D. El valor correcto de  $\log \left( \frac{L}{100} \right)$  es 2.15, pues dicho valor determina la recta C.

5.—Si  $\log \left( \frac{L}{100} \right) = 2.15$ ;  $\log L - \log 100 = 2.15$

$$\log L = 2.15 + \log 100 = 4.15$$

$$L = \text{antilog } 4.15 = 14\,200 \text{ m}^3/\text{s.}$$

6.—En  $t = 1$   $\log R = 0.68$   $R = 4.787$

7.—De la ecuación (5), se tiene:

$$\log \left( \log \frac{L}{100} - \log \frac{Y}{100} \right) = \log \log R$$

$$\begin{aligned} K &= \frac{\log \log R - \log \log 1}{\log 100 - \log 1} \\ &= \frac{0.121 - 0.680}{2 - 0} = \frac{-0.559}{2} = -0.285 \end{aligned}$$

Por lo tanto, la ecuación que liga las frecuencias en años con la magnitud de las avenidas del río San Juan hasta Santa Rosalía, Tamps., estará dada por la ecuación:

$$Y = 14\,200 \times 4.787^{-t} \quad -0.285$$

$$\text{Si } t = \infty, \quad t^{-0.285} = \frac{1}{\infty^{0.285}} = \frac{1}{\infty} = 0$$

Por lo que la potencia  $4.787^0 = 1$

Por lo tanto,  $Y = 14\,200 \text{ m}^3/\text{s}$  para un intervalo infinito de años.

### RESUMEN DE LAS CARACTERISTICAS DEL NUEVO METODO

Las características importantes del método Geyer pueden resumirse en la forma siguiente:

1.—Se utiliza la frecuencia realmente observada para obtener la fórmula general.

2.—Utilizando toda la información disponible puede incrementarse el número de datos que generalmente se tienen si en el método se considera no solamente las avenidas máximas anuales, sino las que excedan determinado valor de la avenida base.

3.—Puede hacerse uso de los datos históricos, con lo que la amplitud del período de datos se incrementa para las avenidas máximas extraordinarias.

4.—La fórmula o expresión matemática representativa de las propiedades de frecuencia de la corriente en estudio, tiene su límite máximo.

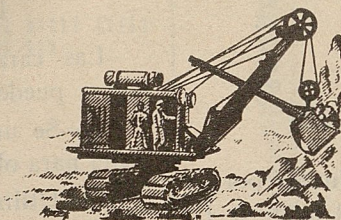
5.—La fórmula representa la potencialidad de la cuenca para producir avenidas, en función de tres constantes L, R y k, lo que permite un medio de comparar las características de diversas cuencas.

6.—El hecho de que la ecuación obtenida no se base en consideraciones teóricas de probabili-

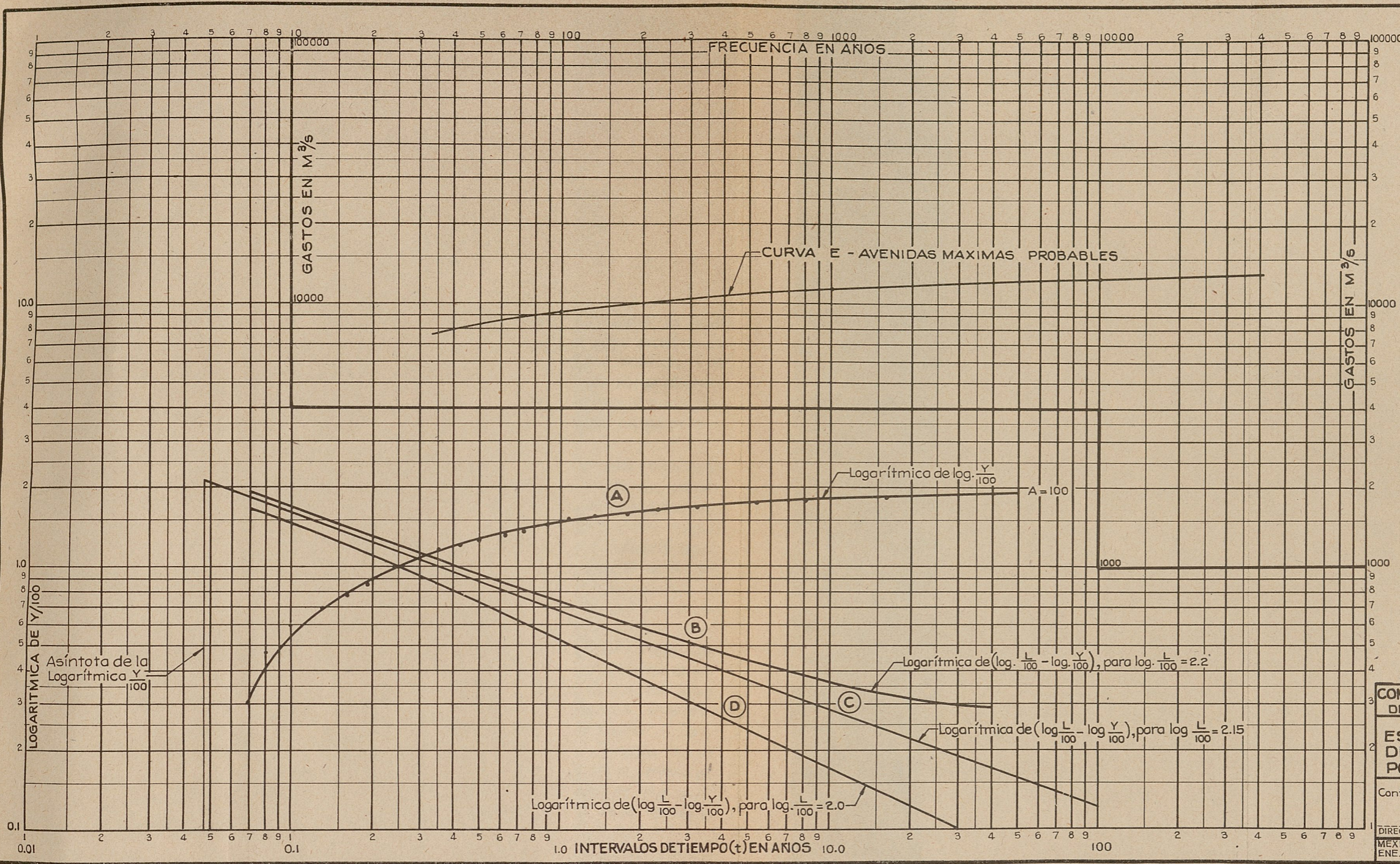
dad, puede hacer pensar que es una desventaja. Sin embargo, cuando se introducen los factores de Foster I, Foster III, u otros a los análisis de probabilidades, se descartan las leyes de probabilidad pura, y el método estadístico viene a ser punto menos que el ajuste de curvas para extrapolar.

7.—El método es relativamente simple y de aplicación rápida. Es suficientemente flexible para utilizar el criterio y resultado de otros métodos en la obtención de la curva de frecuencia deseada.

8.—Finalmente, el método es una ayuda más para guiar al ingeniero a fijar valores seguros aunque razonables, de las características de avenidas máximas probables.



Formó: \_\_\_\_\_ Calcó: D. López B.  
 ING. A. G. QUINTERO D. LÓPEZ B.  
 Verificó: \_\_\_\_\_ Revisó: \_\_\_\_\_  
 JEFE DE HIDROLOGÍA



COMISION NACIONAL DE IRRIGACION  
 DEPTO. DE PLANEACION Y ESTUDIOS.  
 Sección de Hidrología.  
**ESTUDIO DE CRECIENTES  
 DEL RIO SAN JUAN, TAMPS.  
 POR EL METODO DE J.C. GREYER.**

Conforme: \_\_\_\_\_  
 JEFE DEL DEPTO. DEPTO. CONSULTIVO  
 Aprobó: \_\_\_\_\_  
 DIRECTOR DE INGENIERIA VOCAL EJECUTIVO  
 MEXICO, D.F. ENE.-1942. 2409-C-1029

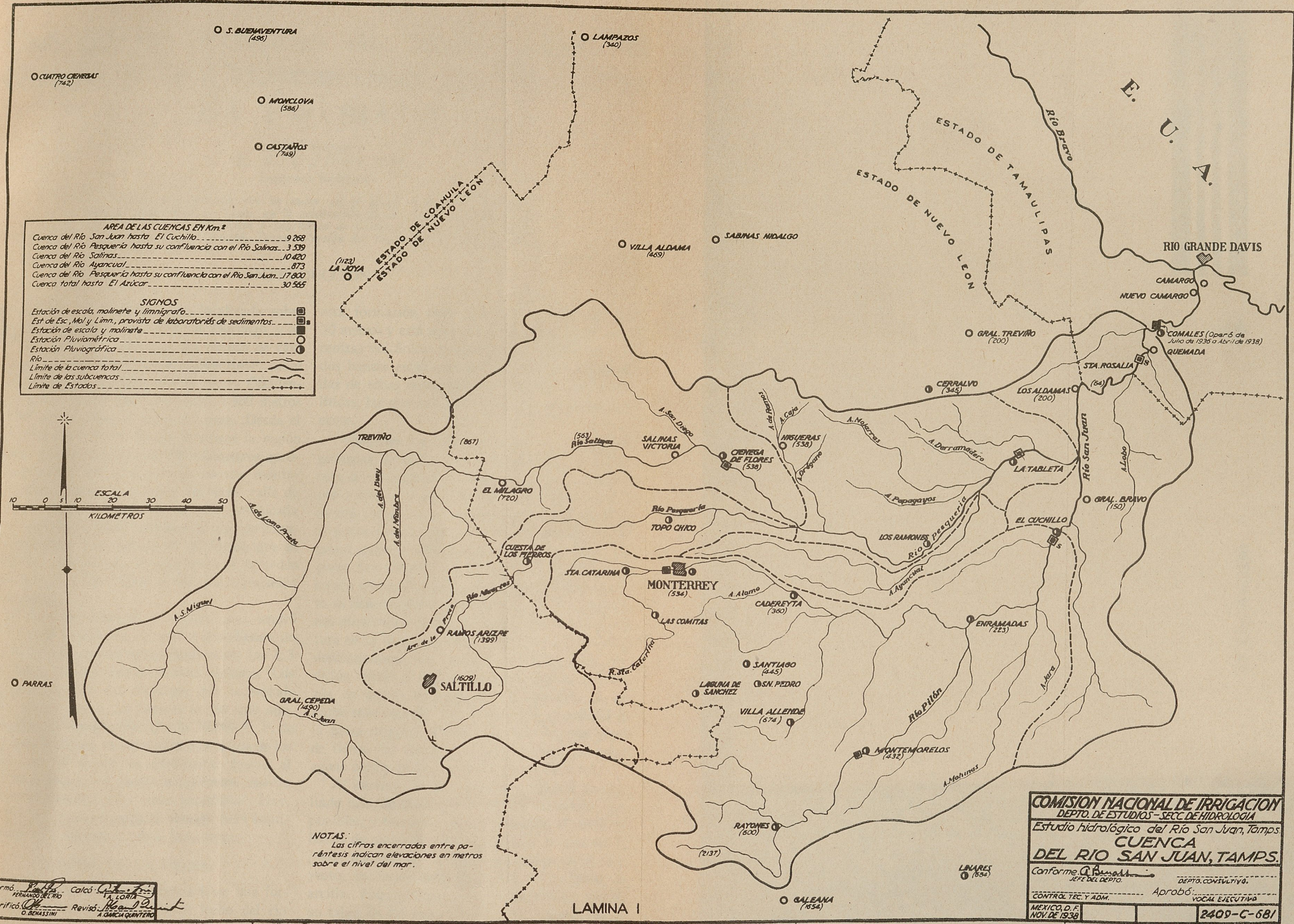
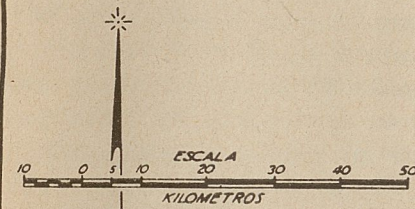
○ S. BUENAVENTURA (486)  
 ○ CUATRO CIEGAS (742)  
 ○ MONCLOVA (586)  
 ○ CASTAÑOS (749)

**AREA DE LAS CUENCAS EN Km.²**

|   |        |
|---|--------|
| Cuenca del Río San Juan hasta El Cuchillo                         | 9 268  |
| Cuenca del Río Pesquería hasta su confluencia con el Río Salinas  | 3 539  |
| Cuenca del Río Salinas  | 10 420 |
| Cuenca del Río Ayacuah  | 873    |
| Cuenca del Río Pesquería hasta su confluencia con el Río San Juan | 17 800 |
| Cuenca total hasta El Azúcar                                      | 30 565 |

**SIGNOS**

Estación de escala, molinete y limnigráfico  
 Est. de Esc. Mol y Limn., provista de laboratorios de sedimentos  
 Estación de escala y molinete  
 Estación Pluviométrica  
 Estación Pluviográfica  
 Río  
 Límite de la cuenca total  
 Límite de las subcuencas  
 Límite de Estados



**NOTAS:**  
 Las cifras encerradas entre paréntesis indican elevaciones en metros sobre el nivel del mar.

Formó: *[Signature]* Calco: *[Signature]*  
 FERNANDO DEL RIO LA LORRA  
 Verificó: *[Signature]* Revisó: *[Signature]*  
 O. BENASSINI A. GARCIA QUINTERO

**COMISION NACIONAL DE IRRIGACION**  
 DEPTO. DE ESTUDIOS - SECC. DE HIDROLOGIA

Estudio hidrológico del Río San Juan, Tamps.

**CUENCA DEL RIO SAN JUAN, TAMPS.**

Conforme: *[Signature]* JEFE DEL DEPTO. DEPTO. CONSULTIVO.

CONTROL TEC. Y ADM. Aprobó: *[Signature]* VOCAL EJECUTIVO.

MEXICO, D. F. NOV. DE 1938

2409-C-681

LAMINA I