

Estudios y observaciones preliminares

PARA DETERMINAR LA POSIBILIDAD DE CREAR UN PROYECTO DE RIEGO

Por el Ing. Agr. Samuel Trueba Coronel,
de la Comisión Nacional de Irrigación de la
República mexicana.
Actualmente Jefe del Departamento de Ingeniería
Agrícola, Facultad Nal. de Agronomía de Medellín.

Tomado de AGRICULTURA TROPICAL
SUPLEMENTO AGRONÓMICO.
Año II N° I

Es muy frecuente que el Gobierno de un país o bien alguna empresa o asociación particular se interesen por conocer las posibilidades de crear un proyecto de riego, y conviene estudiar qué factibilidad presenta para todos los fines, ésto es: regularización, riego, y generación de energía eléctrica. Algunas veces se trata solamente de estudiar las posibilidades de ampliación, acondicionamiento o reconstrucción de una obra de regadío; sin embargo, cualquiera que sea el caso, para poder dictar un dictamen, es necesario valerse de ciertos datos de cuya veracidad y suficiencia depende la certeza de las conclusiones a que se llega en dicho dictamen y por lo tanto su elaboración es una de las labores que mayor pericia y criterio requieren, por la gran responsabilidad que encierra.

Es importante percatarse de que en el desarrollo y buen éxito de un proyecto de riego, intervienen diversos elementos que es necesario estudiar detenidamente, tales como por ejemplo: modo de captación de las aguas (que puede ser almacenamiento, derivación o bombeo);

el fin a que se destinan las aguas (ésto es, volúmenes para riego, para regulación, o para la generación de energía); el clima, así como la cantidad y calidad de agua, y terrenos disponibles; los mercados y vías de comunicación para la extracción de los productos agrícolas. Es, pues, muy importante tener la mayor información veraz respecto de cada uno de estos elementos y factores.

En la República Mexicana existe una institución oficial que se llama "Comisión Nacional de Irrigación", que es la encargada de llevar a cabo los estudios, la construcción y la operación de las obras de regadío, que están fuera del alcance de la iniciativa privada. Su fundación data del año de 1926 y a través de los 19 años de vida que tiene, su política de construcción y conservación de obras ha evolucionado de una superficie total beneficiada de 2.000 hectáreas en 1928 a una superficie de 615.379 hectáreas en 1944; está reuniendo lenta pero seguramente, toda la información indispensable de los recursos de que dispone el país en materia de aguas y suelos, con el objeto de efectuar la planeación integral de las obras de irrigación.

Pues bien: volviendo al tema, diremos que para poder dictaminar sobre algún probable proyecto, es necesario efectuar una exploración o estudio preliminar de gran visión, consistente en un reconocimiento del lugar, recabando todos aquellos datos técnicos indispensables que permitan juzgar sobre la factibilidad y costeabilidad de las obras. Del resultado de este estudio preliminar se deducirá si el proyecto es de desechar desde luego o si se efectuarán después los estudios definitivos.

El trabajo de exploración se divide en: trabajos de campo, y trabajos de gabinete. Para los primeros, dada la índole de la inspección, el equipo consistirá generalmente de lo siguiente:

Tránsito de mano, o brújula con clisímetro.
Prismáticos con escala telemétrica
Altimetro
Molinete

Cinta métrica de género
Nivel de mano
Estadales (de hule o charnela)
Máquina de escribir portátil
Cámara fotográfica de 9 x 12 cm.
Podómetro
Cronógrafo
Broca de agrólogo
Puente de Weastone.

Este puente puede suprimirse si el ingeniero explorador considera que es más conveniente enviar al laboratorio para su análisis las muestras de agua y suelo que recoja, así como también puede constar de mayor número de aparatos si el ingeniero así lo juzga conveniente.

El informe contendrá todos los datos obtenidos en el campo y el resultado de los cálculos del ingeniero explorador. Los puntos que deberá tratar variarán según sea la clase de aprovechamiento que en cada caso se estudie; por ejemplo, si se trata de una exploración para obras de riego por medio de una presa de almacenamiento o de derivación, serán los que a continuación se dan, además de ilustrarse con fotografías, croquis y diagramas con signos convencionales.

I.—GENERALIDADES

- 1.—Antecedentes
- 2.—Situación geográfica
- 3.—Datos climatológicos (temperatura, precipitación, vientos dominantes, etc.)
- 4.—Aspectos topográficos y agronómicos
- 5.—Aspectos geológicos generales.

II.—HIDROLOGIA

- 1.—Cuenca
- 2.—Coeficiente de escurrimiento
- 3.—Régimen de la corriente
- 4.—Avenidas máximas y su poder destructivo
- 5.—Poder de arrastre de las crecientes

- 6.—Gastos mínimos de estiaje
- 7.—Estabilidad del cauce.

III.—DATOS PARA LA CONSTRUCCION

- 1.—Vías de comunicación (actuales y las que haya que construir):
- 2.—Materiales (cemento, cal, arena, piedra, agua, madera, fierro, etc.):
 - a) Calidad o marca
 - b) Lugar de abastecimiento o extracción
 - c) Distancia o condiciones de acarreo
 - d) Costo probable de la obra.
- 3.—Mano de obra:
 - a) Salarios acostumbrados en la región para albañiles, carpinteros, herreros, mecánicos, etc.
 - b) Existencia o carencia de operarios expertos para las obras
 - c) Transportes del personal
 - d) Campamentos.
- 4.—Epoca o épocas del año en que puede trabajarse
- 5.—Influencia de las condiciones naturales
- 6.—Procedimientos y orden de construcción que se aconsejan.

IV.—ANTEPROYECTO PRELIMINAR

A.—CONSIDERACIONES INICIALES

- 1.—Problemas que se presentan y su resolución
- 2.—Obras existentes(si las hay)
- 3.—Obras propuestas y partes de que puede constar el proyecto

B.—OBRAS DE CAPTACION

- 1.—Localización del sitio de la cortina
- 2.—Boquilla y vaso, o lugar de la derivación
- 3.—Cimentación de acuerdo con la naturaleza del terreno
- 4.—Altura probable de la cortina
- 5.—Capacidad del vaso

- 6.—Area inundada
- 7.—Selección del tipo de cortina (análisis de costos)
- 8.—Condiciones de impermeabilidad del vaso.

C.—UTILIZACIONES

- 1.—Area dominable y su ubicación
- 2.—Cultivos (actuales y futuros posibles)
- 3.—Area regable (según el uso consuntivo y por ende los coeficientes de riego más adecuados)
- 4.—Clasificación de las tierras (por su calidad, producción, y profundidad de la capa vegetal).

D.—OBRAS DE CONDUCCION

- 1.—Localización
- 2.—Canal principal:
 - a) Capacidad probable
 - b) Naturaleza del terreno
 - c) Longitud total
 - d) Longitud del canal muerto
 - e) Obras de arte y su costo
 - f) Costo total



E.—OBRAS DE DRENAJE

- 1.—Localización
- 2.—Canal principal y secundario:
 - a) Capacidad probable
 - b) Naturaleza del terreno
 - c) Longitud total
 - d) Obras de arte y su costo (desagües, etc.)
 - e) Costo total

V.—COOPERACION

VI.—ESTUDIO Y SITUACION ECONOMICA SOCIAL Y LEGAL DEL PROYECTO

VII.—CONCLUSIONES

Una vez que el informe preliminar haya demostrado la factibilidad del proyecto y costeabilidad de las obras, es necesario proseguir los estudios y obser-

vaciones para la información de un buen informe definitivo. En estas notas indicaremos, en términos generales, las diversas actividades que es necesario desarrollar para la obtención de una información más amplia, es decir, de un mayor número de datos en los que intervienen diversos elementos y factores que es necesario estudiar detenidamente; esta información puede constar de lo siguiente:

- 1.—Datos Climatológicos
- 2.—Datos Hidrológicos
- 3.—Datos Agronómicos
- 4.—Datos Topográficos
- 5.—Datos Geológicos
- 6.—Datos generales para la construcción y operación del Proyecto.
- 7.—Situación económica, social, y legal de la obra.

1.—DATOS CLIMATOLOGICOS

La zona irrigada se destinará a cultivos que requieren ciertas condiciones de clima; por lo tanto, es muy importante conocer las características climáticas de dicha zona, pues puede o no estar sujeta a perturbaciones ciclónicas que pongan en peligro las cosechas; hay que conseguir registros de temperatura para conocer la temperatura media, así como las variaciones, si hay o no heladas; sabemos, por ejemplo, que para el maíz por las noches un descenso en la temperatura hasta ser 13°C es fatal. Conviene saber si los vientos son suaves o huracanados, etc. No todos estos datos se consiguen en un momento dado de los registros obtenidos directamente del campo, sino que pueden recurrirse a las cartas climatológicas editadas por instituciones oficiales.

2.—DATOS HIDROLOGICOS

El estudio hidrológico de un proyecto de riego tiene por objeto determinar si es necesario o no establecer un almacenamiento, teniendo en cuenta los factores: cantidad de agua disponible, cantidad de agua necesaria, y capacidad económica del vaso para fijar la altura de la cortina en caso de proceder al almacenamiento.

El problema correspondiente al primer factor: "cantidad de agua disponible", es determinar la cantidad de agua que puede suministrar la fuente de abastecimiento así como su distribución durante el año. Para atacarlo se debe recurrir en primer lugar a las instituciones oficiales o particulares en busca de datos de aforo de las corrientes. Si no hay datos de aforo habrá que obtener datos pluviométricos para relacionarlos con aforos directos si es posible, o bien para emplear los diversos procedimientos de cálculo con fórmulas empíricas y poder relacionar la precipitación con el escurrimiento, teniendo en cuenta el área de la cuenca de captación así como coeficientes que dependen de la topografía y la permeabilidad del suelo, es decir, si se trata de un suelo plano o accidentado o de pendiente media, si el terreno es boscoso o despoblado de vegetación, así como también la intensidad de la precipitación en centímetros de altura. Entre estas formulas tenemos la de Burkly-Ziegler:

$$Q = \frac{1}{360} \text{ Cra} \sqrt{\frac{4 S}{A}}$$

en la que:

R = Precipitación en milímetros por hora

A = Area de la cuenca en hectáreas

S = Pendiente media expresada en tantos por millar

Q = Intensidad de la creciente en metros cúbicos por segundo

C = Un coeficiente que depende de la naturaleza más o menos permeable del terreno; algunos valores que podemos emplear son:

C = 0.6 Para terrenos muy impermeables

C = 0.5 Para terrenos impermeables

C = 0.4 Para terrenos permeables

C = 0.3 Para terrenos muy permeables

Como en la América Latina es frecuente el estudio de zonas no exploradas o poco pobladas en las cuales no se han establecido estaciones pluviométricas, dota-

das de evaporómetro, etc., y mucho menos estaciones de aforo de las corrientes, el ingeniero llamado a hacer el estudio de la región tiene que atender inmediatamente al establecimiento de estaciones climatológicas que permitan obtener los datos ya mencionados (Ver Foto N° 1). Los aparatos de que están dotadas estas estaciones son los siguientes:



FOTO N° 1.

ESTACION CLIMATOLOGICA DE "EL CUCHILLO", Estado de Nuevo León.
República mexicana, dotada de pluviómetro, evaporómetro, termómetro, y pluviógrafo.

PLUVIOMETROS.—La medición de la intensidad de la precipitación pluvial se hace directamente por medio de recipientes llamados pluviómetros; uno de los tipos comunes consta de un colector circular de 3 pulgadas de diámetro, de fondo cónico que descarga en un tubo cilíndrico de latón cuya sección interior es igual a un décimo de área colectora, más el área de la sección de una regla calibradora que mide con gran aproximación la altura de precipitación. Si la altura de precipitación pluvial pasa de dos pulgadas (veinte

en el tubo), el agua del tubo desborda dentro de un recipiente y de ahí se puede tomar posteriormente para medirla.

La colocación correcta de los pluviómetros es de gran importancia para evitar el obtener datos falsos; deben escogerse 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 la precipitación pluvial.

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 de estudio; la altura de un metro se considera conveniente para facilitar su manejo.

EVAPOROMETROS.—Aunque a primera vista parece no tener importancia el factor evaporación en un proyecto de riego, es, sin embargo, tan determinante como cualquier otro. La causa de esta indiferencia se debe a que en las regiones en que la altura de la precipitación pluvial, 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 donde la evaporación llega a ser hasta cincuenta veces la precipitación anual y, entonces, si no se toma en cuenta la evaporación, al proyectar un almacenamiento, puede resultar un penoso fracaso del sistema de riego.

La forma como que se cuantifica la evaporación consiste en medir la diferencia de nivel de la superficie del agua en la evaporación —recipiente de forma y dimensiones conocidas— en un intervalo de tiempo dado, generalmente 24 horas. Para que la apreciación sea correcta, es decir, para que la evaporación medida corresponda a la evaporación real, es necesario que los evaporómetros satisfagan los siguientes requisitos:

a) Tengan forma y dimensiones suficientemente grandes para que el calentamiento del material no afecte sensiblemente la evaporación.

b) Su colocación debe hacerse sobre un entarimado cuadrado, cuyos lados sean iguales al diámetro



del evaporómetro, y colocado sobre un montículo de tierra dentro de un prado sensiblemente horizontal, libre de árboles, edificios, y de todo aquello que proyecte sombra en el evaporómetro o que estorbe la circulación del viento, pues las pérdidas por convección son muchísimo mayores que las pérdidas por temperatura.

c) Debe rodearse la estación con un cercado de alambre para protegerla de pérdidas de agua, accidentales u ocasionadas por gente inculca, o bien por animales que se acerquen a beberla.

d) Debe ser uniforme el registro de las lecturas que se hacen por medio de un micrómetro portátil y que se use sólo al ir a hacer la lectura; en dicho registro conviene que 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 —valiéndose de un termómetro registrador de máxima y mínima del que también está dotada la estación—; la lectura del pluviómetro cercano al evaporómetro; la intensidad y dirección del viento, y la nubosidad, es decir, el estado del tiempo, tanto a la hora de la observación como en las 24 horas anteriores.

AFOROS.—Se llama aforo a la operación directa para determinar el gasto de una corriente, así como los volúmenes diarios escurridos. Al sitio escogido, en el cual se hacen las observaciones, se llama estación de aforo.

Los métodos empleados para hacer aforos son varios, pero cada caso particular dependerá de la corriente que se trate de aforar; entre éstos tenemos:

METODO VOLUMETRICO.—Consiste en hacer pasar la corriente a un recipiente impermeable, de capacidad conocida, y medir directamente el tiempo en que se llena; el gasto será el cociente del volumen del recipiente entre el tiempo transcurrido en llenarse. Este procedimiento no es adecuado para corrientes naturales.

CON VERTEDORES U ORIFICIOS.—Consiste en interponer en la corriente una cortina con estos dispositivos. Este procedimiento, así como el anterior, se emplean generalmente para aforar pequeños caudales.

CON CONDUCTO MEDIDOR DE PARSHALL.—

Este medidor ideado por el Ing. R. L. Parshall se utiliza para el aforo en canales para riego y drenes, así como en ríos.

METODO QUIMICO.—Consiste en aplicar sustancias químicas en forma de soluciones concentradas para facilitar su incorporación a la corriente. Por ejemplo: si se vierten en una corriente K kilos de una sustancia durante un segundo a Q kilos de agua que representan el gasto de la corriente en litros, y después por el análisis de una muestra de la corriente se encuentra que un kilo de la sustancia está disuelto en N kilos de agua, se tendrá:

$$\frac{K}{Q} = \frac{1}{N}$$

de donde $Q = KN$.

METODOS DE SECCION Y VELOCIDAD.—Consiste en determinar separadamente la sección y la velocidad. El perfil de la sección transversal del cauce, y la velocidad se determinan por medio de flotadores, tubos de Pitot, o con la pendiente hidráulica que tenga la corriente en un momento dado —aplicando la fórmula de Manning por ejemplo—, o bien por los procedimientos de estrechamiento de sección como con el medidor de Venturi, que no se emplea para aforo de corrientes con superficie libre.

El molinete es el aparato más comunmente empleado para determinar la velocidad y, pudiéndosele colocar en diferentes puntos de la sección de la corriente, permite conocer las diferentes velocidades de los filetes. Para movilizar el molinete es necesario que exista un vado, pero si la corriente no lo permite es necesario dotar a la estación de una estructura para que el aforador pueda transitar a lo largo de la estación y hacer las observaciones. De acuerdo con esto podemos hacer la clasificación como:

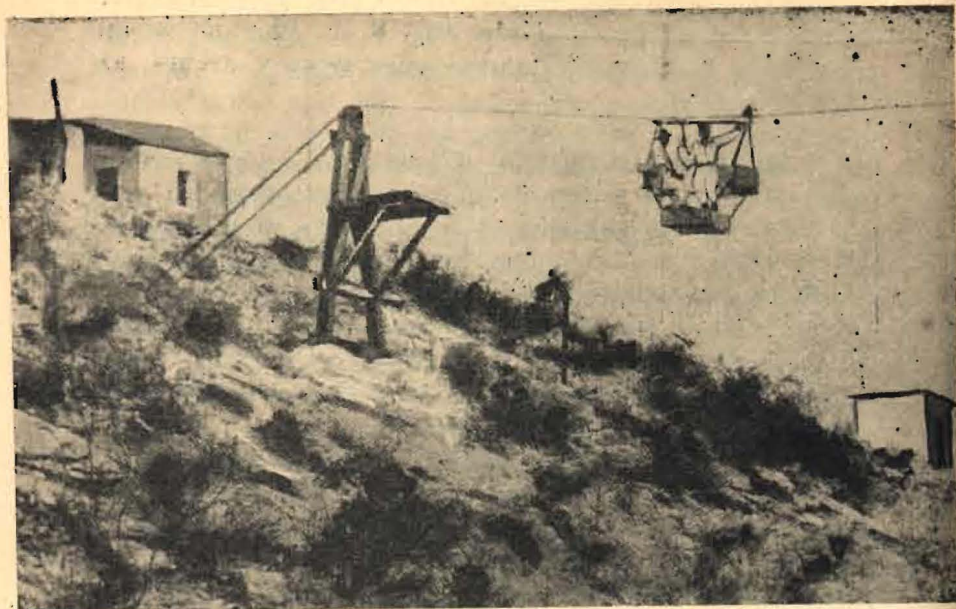


FOTO N^o 2.

ESTACION HIDROMETRICA DE "EL CUCHILLO", Estado de Nuevo León, México. Puede verse en la foto una de las torres de apoyo del cable, y la canastilla, así como la casa-habitación del aforador y la caseta del limnógrafo.

Estaciones de vado

” ” puente

” ” bote o canoa

” ” cable y canastilla (ver fotos números 2 y 3).

Para la elección del sitio debe procurarse un fácil acceso a la estación 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 erosionable o modificable por la corriente, habrá que dotarlo de un revestimiento de concreto o mampostería en un tramo más o menos corto, que haga que la sección de aforo sea invariable, colocándose en esta sección de control una escala, ya sea vertical o inclinada, que esté rela-

cionada a un banco de nivel, y que permita leer el tirante en el cauce. Se puede calcular también la escala para que su lectura sobre ella dé directamente la sección hidráulica en metros cuadrados, o bien calcular separadamente un diagrama relacionando el tirante y el área correspondiente.

Además, debe procurarse que la sección de control esté en un sitio libre de perturbaciones provocadas por remansos.

Hay que hacer notar que los registros para aforar han de ser apropiados a la forma adoptada para hacer el aforo, pero conviene que, en todos los casos, sean uniformes para todas las estaciones de aforo y deberán disponerse en forma tal que el aforador se vea obligado a anotar todos los datos necesarios.

Algunas estaciones se dotan con aparatos automáticos, como los limnigrafos que registran, en forma continua, los tirantes del agua en la sección de control.

Otra de las observaciones que generalmente se hacen en las estaciones de aforo es la obtención de muestras del agua para la determinación del volumen de materias sólidas que transporta la corriente, pues este conocimiento tiene gran importancia para evitar costos elevados en la conservación de los canales de riego, previendo y evitando el depósito de azolve, ya sea construyendo desfogues adecuados o procurando dar ciertas secciones al canal de conducción o por otros medios adecuados (ver anexo N° 1). También estas observaciones son de capital importancia en la previsión de un volumen para la sedimentación del azolve en el volumen total de un vaso de almacenamiento.

La toma de las muestras del agua de la corriente, se hace generalmente una o dos veces a la semana, y cuando se presente o se retira una creciente; este "muestreo" se hace con botellas cuya boca tiene una tapa controlable desde la superficie libre de la corriente; generalmente se toman tres superficiales y cada una se cierra herméticamente y se la identifica en el laboratorio por medio de tarjetas especiales en las que se anota el nombre de la corriente de la que se tomó, el



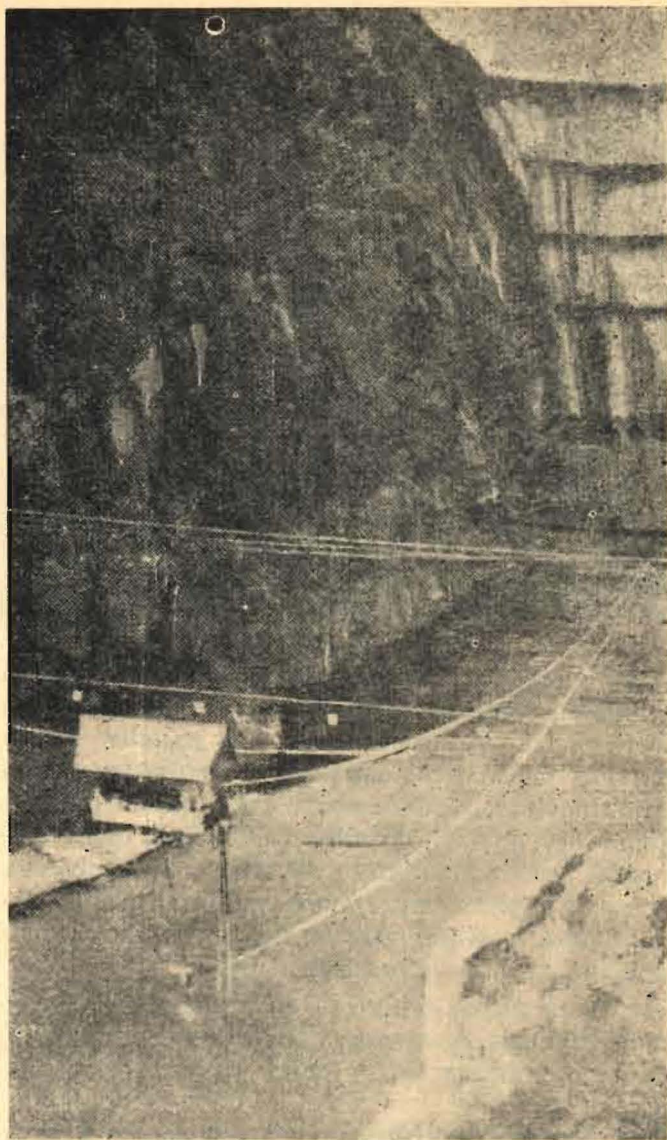


FOTO N^o 3.

Ejecución de un alero en la Estación Hidrométrica situada aguas abajo de la cortina de la presa de La Angostura, en el Estado de Sonora, República Mexicana. En la foto pueden notarse el cable de retención, el de maniobras, el de distancias, etc. Al fondo se advierte la presa.

de la estación de aforo y el del lugar de la sección en que se tomó; también es importante anotar el gasto y el tirante de la corriente al tomar la muestra. Una vez que se haga el análisis de las muestras, con el objeto de determinar las cantidades de sedimento en cada muestra y los porcentajes en peso y volumen, se calculan periódicamente, generalmente cada mes, las cantidades de sedimento escurrido.

3.—DATOS AGRONOMICOS

Como la finalidad de un Proyecto de Riego es incrementar y bonificar la producción agrícola de una región, y como el buen desarrollo de las plantas depende muy principalmente, entre otras cosas, de la naturaleza del suelo y de las condiciones más o menos favorables que ofrezca a la penetración de las raíces y al movimiento del agua en el suelo, es necesario que antes de decidir acerca de la construcción y de la extensión del proyecto de riego, se haga un estudio del área irrigable atendiendo a las seguridades que ofrezca el suelo para el buen desarrollo agrícola.

En realidad, el informe agronómico que el Ingeniero Agrónomo presenta es una de las principales bases del éxito que tiene el proyecto y deberá ser tan amplio como sea posible. Debe contener entre otras cosas:

Las características físicas, y entre ellas muy especialmente la textura y espesores de los diferentes horizontes del suelo, así como la posición de la capa freática. Un estudio de la alcalinidad del suelo y de la naturaleza de las sales solubles existentes en los suelos y en la futura agua de riego, emitiendo un juicio acerca del perjuicio, en mayor o menor grado, para los diferentes cultivos, y el control del álcali acerca de los siguientes puntos:

- 1º—Abatir convenientemente la capa freática.
- 2º—Lavados del terreno por medio de entarquinamientos.
- 3º—Construcción de una red de drenaje que asegure un eficiente y rápido drenaje después de

una tormenta, o de una aplicación del agua de riego.

- 4^o—Una cuidadosa e inteligente operación del Proyecto. Se pueden discutir los peligros del álcali si se pusiera en uso una parte, o el proyecto total antes de determinarse totalmente la red de drenaje y las estructuras con qué está dotada la de distribución, tales como represas, tomas, desagües, etc. (Ver fotos Nros. 4 y 5).

La alcalinidad se estudia determinando la resistencia que las muestras de suelo humedecidas con agua destilada ofrezcan al paso de una corriente eléctrica; estas muestras se toman en el terreno con brocas de agrólogo, en puntos espaciados entre 200 y 500 metros y localizados en hojas de plancheta adecuadas en las que debe figurar la topografía cuando se disponga de ella. La localización de estos puntos puede ser con relación a levantamientos tales como ciertas poligonales o bien una cuadrícula.

Finalmente, la naturaleza de las aguas se determina en el laboratorio por análisis químicos.



FOTO N^o 4.

Sistema Nacional de Riego N^o 4, Río Salado, Coahuila y Nuevo León, Rep. Mexicana. Represa y caída del K, 12.58 del canal Camarón.



FOTO Nº 5.

Represa construida inmediatamente aguas abajo de dos tomas. Es muy importante dotar al canal con un número suficiente de estas estructuras para una buena operación del Proyecto de Riego en todas sus fases, tales como distribución del agua, control del álcali, etcétera.

Considerando todos los factores, el Ingeniero Agrónomo hace la clasificación del total del área de riego en cuatro grupos que son:

Tierras de primera.

Tierras de segunda.

Tierras de tercera.

Tierras de cuarta (desechables).

USO CONSUNTIVO DEL AGUA EN IRRIGACION

Es de gran importancia la nueva teoría del uso consuntivo del agua en un proyecto de riego, en lo que toca la relación entre el área de riego y el volumen destinado para riego en un almacenamiento.

Por los años de 1924 a 1927, el Comité del Control Hidráulico dependiente de la División de Irrigación de la American Society of Civil Enginneers puso especial

interés al "Uso consuntivo del agua en Irrigación", cuya definición, podríamos decir, es la cantidad de agua en hectárea-metros por hectárea cultivada y por año, y cuyo total es la suma absorbida por el cultivo (la transpirada y la empleada directamente en la formación del cuerpo de las plantas), y la cantidad que se evapora del terreno de cultivo, así como la empleada en humedecer el suelo.

El reporte del comité se publicó primero en Proceedings, Abril 1928, y más tarde en Transactions de la Sociedad 94, 1930), y hace un balance de los factores de la siguiente ecuación:

- U = una función de (Qh, e, m, s, c.), en la que,
- Qh = Cantidad disponible de calor, en días — grados, durante el año agrícola
- e = Evaporación
- m = Contenido de humedad media
- s = El suelo con todos sus factores de influencia
- c = La clase de cultivo.

Por la cierta vaguedad de las especificaciones no es correcto esperar experimentalmente un valor preciso de U que pueda considerarse rigurosamente exacto. Sin embargo, si es de fiar ese resultado y por supuesto depende de posteriores análisis. Con respecto a una finca en particular la dotación de agua sería la suma del uso consuntivo y las pérdidas por conducción y humedecimiento del terreno de cultivo.

Un inteligente manejo del agua, por supuesto, es un factor del buen éxito del proyecto de Riego.

CANALES

Una vez que se han considerado los factores anteriores y se ha determinado el gasio requerido en el canal Principal, se procederá a calcular las características del canal por medio de las fórmulas siguientes:

$$Q = A V$$

$$V = \frac{1}{n} r^{2/3} S^{1/2} \text{ (fórmula de Manning)}$$

siendo:

Q = Gasto del canal en metros cúbicos por segundo

A = Area de la sección transversal del agua en el canal, en metros cuadrados

V = Velocidad media del agua en metros por segundo

r = Radio hidráulico en metros = A

p = Perímetro mojado en metros

s = Pendiente hidráulica

n = Coeficiente de rugosidad (ver tabla):

Valores de "n" dados por Horton para ser empleados en las fórmulas de Kutter y Manning:

CONDICIONES DE LAS PAREDES

SUPERFICIE CANALES Y ZANJAS	Perfectas	Buenas	Mediana- mente bnas.	Malas
En tierra, taludes alineados y uniformes	0.017	0.020	0.0225	0.025*
En roca, lisos y uniformes	0.025	0.030	0.033*	0.035
En roca, con salientes e irregulares	0.035	0.040	0.045	
Sinuosos y de escurrimiento lento..	0.0225	0.025*	0.0275	0.030
Dragados en tierra	0.025	0.0275*	0.030	0.033
Con lecho pedregoso y bordes de tierra enhierbados	0.025	0.030	0.035*	0.040
Plantilla de tierra, taludes ásperos	0.028	0.030*	0.033*	0.035
CORRIENTES NATURALES				
(1).—Limplos, bordes rectos, llenos, sin hendeduras ni charcos profundos	0.025	0.0275	0.030	0.033
(2).—Igual al (1), pero con algo de hierba y piedra	0.030	0.033	0.035	0.040
(3).—Sinuoso, algunos charcos y escollos. Limplo	0.033	0.035	0.040	0.045
(4).—Igual al (3), de poco tirante con pendiente y sección menos eficientes	0.040	0.045	0.050	0.055
(5).—Igual al (3), algo de hierba y piedras	0.035	0.040	0.045	0.050
(6).—Igual al (4), secciones pedregosas	0.045	0.050	0.055	0.060
(7).—Ríos perezosos, cauce enhierbado o con charcos profundos	0.050	0.060	0.070	0.080
(8).—Playas muy enhierbadas	0.075	0.100	0.125	0.150

* Valores comúnmente empleados al proyectar.

Según sea la naturaleza del terreno en que se localiza el canal, se procura dar determinadas características hidráulicas a la sección, con el objeto de que el agua no produzca erosiones por una velocidad fuerte ni tampoco deposite azolves por una velocidad pequeña, para lo cual aplicamos la fórmula de Kennedy o la de Woods (ver anexo N° 1).

Si se trata de obtener mayor economía en el volumen de las excavaciones, se aplicará la fórmula de la máxima eficiencia, que es:

$$b = 2 d \operatorname{tang} \frac{\Theta}{2}$$

en la cual B es el ancho de la plantilla del canal en metros; D el tirante del agua en el canal en metros, y Θ el ángulo que forman los taludes con la horizontal.

Si a juicio del Ingeniero hay que obtener la menor pérdida posible de agua por filtración en los canales, se aplicará la fórmula de la mínima filtración, que es:

$$b = 4 d \operatorname{tang} \frac{\Theta}{2}$$

El valor medio de las fórmulas anteriores es:

$$b = 3 d \operatorname{tang} \frac{\Theta}{2}$$

En cada caso particular, el ingeniero aplicará de todas las fórmulas anteriores la que a su juicio sea la más conveniente.

A continuación se da una tabla que fija las relaciones que existen entre los taludes, los ángulos de reposo, y los valores de **b** y **d** según estas últimas fórmulas:

Talud	Angulo	Máxima Eficiencia	Media	Mínima filtración
1/4 : 1	75° 58'	b = 1.562 d	b = 2.342 d	b = 3.123 d
1/2 : 1	63° 26'	b = 1.236 d	b = 1.854 d	b = 2.472 d
4/7 : 1	60° 15'	b = 1.161 d	b = 1.741 d	b = 2.231 d
3/4 : 1	53° 08'	b = 1.500 d	b = 1.500 d	b = 2.000 d
1 : 1	45° 00'	b = 0.828 d	b = 1.243 d	b = 1.657 d
1.1/4 : 1	38° 40'	b = 0.702 d	b = 1.053 d	b = 1.403 d
1.1/2 : 1	33° 41'	b = 0.605 d	b = 0.908 d	b = 1.210 d
2 : 1	26° 34'	b = 0.472 d	b = 0.708 d	b = 0.944 d
2.1/2 : 1	21° 46'	b = 0.385 d	b = 0.578 d	b = 0.770 d
3 : 1	18° 25'	b = 0.324 d	b = 0.486 d	b = 0.648 d

DEPARTAMENTO DE BIBLIOTECAS
Ciencias Agrícolas y Climas



Sede Medellín

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Es muy importante que las paredes laterales de los canales deberán tener taludes apropiados de acuerdo con la naturaleza de los terrenos en los que están alojados, para evitar derrumbes, etc., que elevan los costos de conservación. La siguiente tabla puede servir al proyectar:

Características de los suelos	Canales poco	Canales
	profundos	profundos
Roca en buenas condiciones	Vertical	1/4 : 1
Suelo arcilloso	1/2 : 1	1 : 1
Limos arcillosos	1 : 1	1 1/2 : 1
Limos arenosos	1 1/2 : 1	2 : 1
Arenas sueltas	2 : 1	3 : 1

4.—DATOS TOPOGRAFICOS

Serán variables de acuerdo con la naturaleza del proyecto que se estudia. Podemos decir que para la inspección de gran visión, se recomienda triangulaciones de 3er. orden, midiendo las bases con podómetro o estadimétricamente con tránsito de mano o con prismáticos con escala telemétrica; nivelaciones barométricas y con nivel de mano; poligonales con estaciones alternas, etc. Pero en todos los casos este trabajo deberá relacionarse a puntos fijos fácilmente identificables. Además, se procurará siempre tomar fotografías de los

rasgos típicos de la topografía en las diversas partes del proyecto, y, sobre todo, de los lugares en que se piense alojar las estructuras.

Los levantamientos topográficos que se requieren son los siguientes

- 1.—Del área de captación (para conocer la superficie y las características de la o de las cuencas del proyecto que se estudie
- 2.—Del vaso de almacenamiento (Solamente en el caso que se requiera presa de almacenamiento.
- 3.—Del sitio de la presa (En este caso es conveniente una configuración más exacta).
- 4.—De la zona irrigable.

1.—**Levantamiento del área de captación.**—Generalmente se verifica por medio de una triangulación con brújula fijando el parte aguas y los puntos de más interés del cauce principal y de los arroyos tributarios.

Cuando la cuenca sea muy montosa se puede trazar una poligonal cerrada, recorriendo todo el parte aguas y pasando por la boquilla. Se empleará un tránsito de mano o una brújula y un telémetro, aplicando el método de estaciones alternas. Desde las estaciones más dominantes se visarán puntos fijos y notables, tales como rancherías, torres, iglesias, cerros altos y bien conocidos, puntos importantes del cauce principal y arroyos tributarios.

Para determinar las pendientes de los ríos o arroyos principales, en los puntos de más interés localizados ya topográficamente, se puede medir las alturas con aneroide. En este trabajo no se requiere precisión; se necesita rapidez y criterio para registrar todos los datos necesarios, como los relativos a las condiciones de vegetación, geología, etc. En la actualidad la fotografía se emplea mucho en el levantamiento de cuencas y vasos.

2.—**Levantamiento de vasos.**—Conviene hacerlos por triangulaciones con tránsito de mano, apoyadas en una base que es precisamente la que se levantó al sec-

cionarla con nivel de mano y cinta de género entre los dos puntos elegidos como extremos. Al localizar los demás vértices de las triangulaciones, se procurará localizarlos sobre la futura cota de máximo embalse.

Después de dibujado el vaso en el gabinete, con equidistancias entre las curvas de nivel a juicio del ingeniero —de dos a cinco metros, según la magnitud del proyecto—, se cubica su capacidad midiendo las áreas dentro de las curvas, utilizando planímetro.

3.—Levantamiento del sitio de la presa.—Se efectúa con estadia o con plancheta, y es conveniente llevar una poligonal por el fondo del río hasta unos 500 o 600 metros aguas arriba, y aguas abajo del lugar probable del eje de la cortina. En la configuración del levantamiento conviene tener las curvas de nivel con equidistancia de un metro.

4.—Levantamiento de la zona de riego.—Desde luego, la zona de riego queda definida tomando en cuenta los factores agronómicos antes dichos —según la relación entre cantidad de agua disponible y cantidad de agua necesaria— así como la carga hidráulica y la bondad de las tierras —alcalinidad, topografía, etc.—; el levantamiento topográfico, para después dibujar la configuración del terreno, se hace empleando la plancheta y apoyándose en una cuadrícula convergente, cuyo meridiano-base esté orientado astronómicamente. Esta cuadrícula debe fijarse en el terreno previamente, haciendo brechas en dirección norte-sur, equidistantes un kilómetro, y brechas en dirección oriente-poniente equidistantes cinco kilómetros. La cuadrícula se traza con tránsito y las líneas se miden con cinta de acero de 50 metros, y niveladas al milímetro con nivel montado una vez compensadas. Esta nivelación se apoyará en pijas de monumentos de concreto formando cuadros de 5 o 10 kilómetros de lado, y monumentos de menor tamaño cada kilómetro.

Cuando ya se tiene la configuración del terreno, sobre ella se hace la localización de los canales, drenes y caminos, así como las obras de arte, es decir, sobre la topografía de la zona de riego se proyectan la red

de distribución y la red de drenaje. Se puede calcular también el movimiento de tierras que por concepto de excavaciones y terraplenes origina el proyecto.

5.—DATOS GEOLOGICOS

Son de capital interés para el diseño y construcción de las estructuras de un proyecto de riego los datos de capacidad de carga del terreno en que piensan construirse así como los efectos de la humedad sobre la roca de cimentación, y el grado de impermeabilidad, tanto del sitio elegido para la cortina como del vaso de almacenamiento, por lo que se hace necesario un estudio geológico.

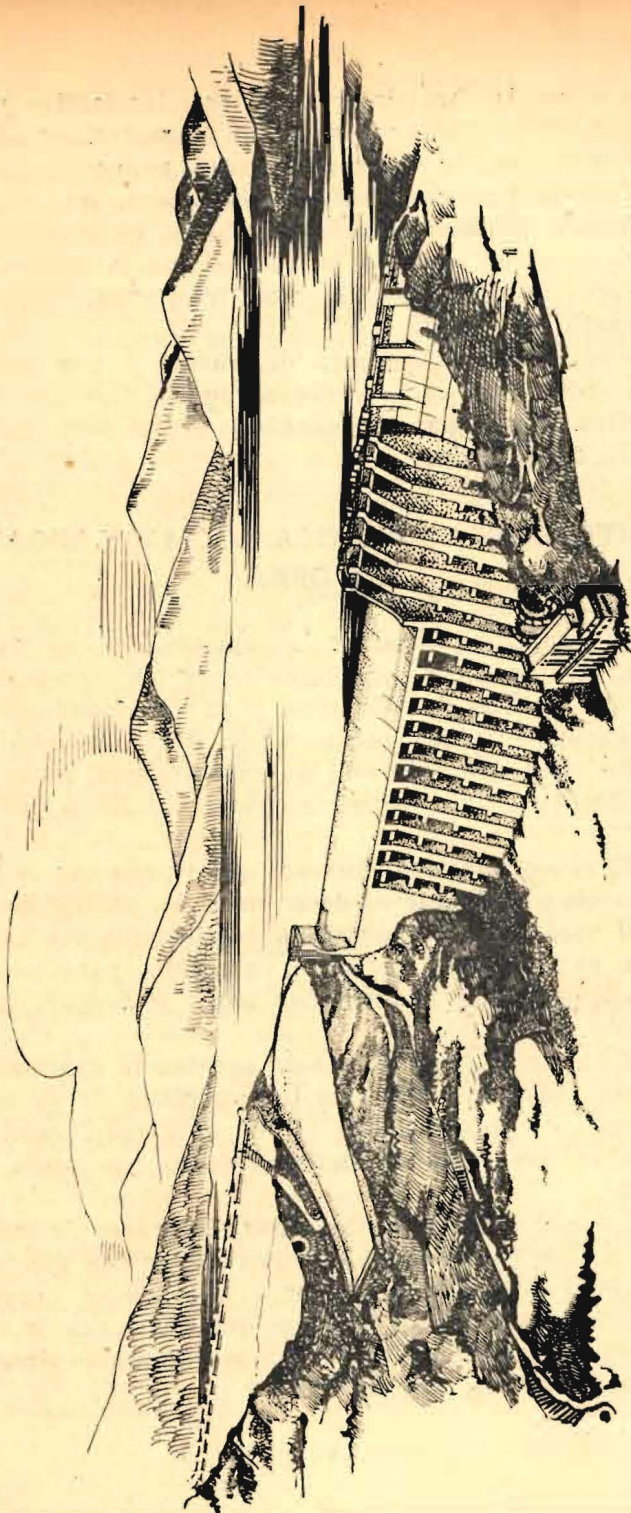
El tipo y la altura de la presa que se adopte dependerán de la capacidad de carga del terreno y de la resistencia de las laderas de la boquilla. Algunas veces una boquilla resulta ideal topográficamente para situar una cortina, pero geológicamente es desechable.

6.—DATOS GENERALES PARA LA CONSTRUCCION Y OPERACION DEL PROYECTO

Sirven de base para anteproyectar y antepresupuestar los datos acerca de las vías actuales de comunicación, su tipo, y su longitud aproximada; si su tránsito es permanente o si interrumpe en algunas épocas del año y qué poblaciones unen, porque también habrá que proyectar cierto tipo de caminos de trabajo y comunicación con determinada longitud total y tránsito probable para construcción primero, y comunicación y extracción de los productos agrícolas después.

Es muy importante tener en cuenta los lugares de abastecimiento, de los materiales que pueden usarse en la construcción de las obras (arena, grava, tierra, piedra, agua, cal, cemento, fierro, madera, etc.) y para ello se harán exploraciones para localizar los bancos de préstamo y se recabarán informes en el comercio de la región, acerca de calidades o marcas, precios distancias, y condiciones de acarreos, transportes, etc.

Es necesario también recabar datos acerca del coa-



Perspectiva general de la represa "Las Virgenes" sobre el río San Pedro, Distrito de Delicias, Chib. República Mexicana.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Sede Medellín

DEPARTAMENTO DE BIBLIOTECAS
Cancillerías, Agremiaciones y Clases

to de la mano de obra; interesa conocer las tarifas para destajos en las obras que se vayan a emprender, salarios acostumbrados en la región para peones, albañiles, carpinteros, herreros, choferes, mecánicos, etc., o si, por la carencia de elementos trabajadores, es necesario llevarlos de otras regiones lo que origina la construcción de cierto tipo de campamentos, trasportes, locales indispensables, etc.

Conociendo el régimen de lluvias y, por ende, la o las épocas del año en que se puede trabajar, deben sugerirse ciertos procedimientos y orden para llevar a cabo la construcción.

7.—SITUACION ECONOMICA, SOCIAL, Y LEGAL DE LA OBRA

La situación actual de los agricultores, sus necesidades, los beneficios que reportarían las obras, el número de familias beneficiadas, y su capacidad para la cooperación y futura recuperación de la inversión del importe total que arroje el antepresupuesto, serán factores decisivos para determinar la factibilidad del proyecto.

En el aspecto legal diremos que ya sea que se trate de una obra vieja que se desee mejorar, ya sea de propiedad nacional o pertenezca a particulares o a asociaciones, es necesario hacer su valuación, para conocer los valores de las propiedades antes y después de la inversión.

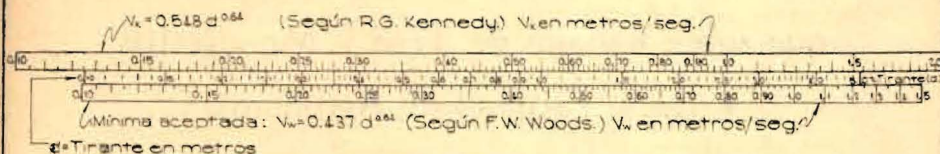
Si un propietario no puede aportar la cantidad de erogación correspondiente a la superficie de su finca, entonces esta superficie se le reducirá conservando la propiedad mejorada el mismo valor que tenía sin mejorar.

El avalúo es útil también para los casos de indemnización; por ejemplo, los terrenos que se ven afectados por quedar dentro del vaso, en el caso de un proyecto de almacenamiento; los terrenos que dentro de la zona irrigable se van a enajenar para servidumbres diversas (camino, canales, drenes, etc.).

Utilizando todos los datos anteriores el ingeniero normará su criterio para deducir las conclusiones, al final del informe, y que serán acerca de la costeabilidad o incoesteabilidad del proyecto que se estudió.

ESCALAS ADYACENTES PARA OBTENER VELOCIDADES MEDIAS QUE NO PROVOCAN EROSION NI DEPOSITO DE AZOLVES EN CANALES

Formulas empleadas: $V = 0.548 d^{0.64}$ Según R.G. Kennedy (Canales en terrenos de aluvión)
 $V = 0.437 d^{0.64}$ Según F.W. Woods.



VELOCIDADES MEDIAS MAXIMAS QUE NO EROSIONAN *	
	VELOCIDAD EN METROS
Tierra arenosa muy fina ó limo suelta	0.15
Arena	0.30
Tierra arenosa ligera, 15% de arcilla	0.37
Barro arenoso ligero, 40% de arcilla	0.55 a 0.61
Arena gruesa	0.68 a 0.81
Tierra suelta con grava	0.76
Barro	0.76
Tierra o barro compactos, 65% de arcilla	0.97
Barro arcilloso estable	1.22
Arcilla con grava, compacta	1.57 a 2.14
Arcilla compacta, jaboncillo	1.83
Conglomerados, esquistos, pizarras	1.98
Pedras estratificadas	2.44
Guijarros, cantos rodados chicos	2.44 a 4.57
Roca dura	4.07
Concreto	4.57 a 6.10

ANEXO Nº 1

Squibb

(*) De: Low Dams.

BIBLIOGRAFIA.

El autor ha creído conveniente recomendar la siguiente bibliografía, en la cual las primeras cuatro obras son directamente consultadas, y tomado de ellas tablas útiles; y en cuanto a las demás, por su relación íntima con el tema o aspecto del tema desarrollado.

Instructivo para Explotaciones. — Comisión Nacional de Irrigación.

Revista "Irrigación en México". — Marzo-Abril 1942.

Aforo de Corrientes por los Métodos de Sección y Velocidad. — Ings. H. A. Téllez y Alfonso de la O. (Edición C. N. I.) *

Low Dams. — International Resources Committee.

Irrigation Principles and Practices. — O. W. Israelsen (John Wiley & Sons).

Land, Drainage and Reclamation. — Ayres and Scoates (McGraw Hill Book Co).

Irrigation Engineering. — A. P. Davies and H. M. Wilson (John Wiley & Sons).

Land Drainage and Flood Protection. — B. A. Etcheverry (Stanford University Press. — Calif.).

Handbook of Applied Hydraulics. — C. V. Davis. (McGraw Hill Book Co.).

Handbook of Hydraulics. — H. W. King (McGraw Hill Book Co.)

Irrigation and Drainage. — F. H. King (Mc Millan Co.)