

LOS PRINCIPIOS DE LA INGENIERÍA
aplicada a la
IRRIGACIÓN
por
NEWELL y MURPHY.

LOS PRINCIPIOS DE LA INGENIERIA APLICADA A LA IRRIGACIÓN.

Capítulo I.

La Irrigación.

Definición. - Bajo el término "irrigación", aplicado a la agricultura, quedan comprendidas todas las operaciones o prácticas que tienen por objeto aplicar el agua artificialmente al suelo para producir cosechas.

En la actualidad, la irrigación, considerada desde el punto de vista del ingeniero que se dedica a las obras de irrigación, comprende la conservación y el almacenamiento de la provisión de agua, la conducción del agua desde la fuente de provisión hasta el área irrigable y su distribución en las tierras. En muchos casos, implica que se tengan que explotar y llevar a la superficie las aguas de las corrientes subterráneas, así como que se tenga que subir el agua con bombas o por otros medios a las tierras a las cuales no puede llegar de la fuente de aprovisionamiento mediante la fuerza de gravedad. También está estrechamente relacionada con la irrigación la cuestión del desagüe para remover el exceso de agua de la tierra.

El desagüe, ya sea por medios naturales o artificiales, es tan importante como la irrigación para asegurar el éxito de los trabajos agrícolas. Es generalmente impracticable aplicar el agua a las tierras en una cantidad suficiente para producir las cosechas sin que una parte de ella se desperdicie ya sea en la superficie o en el subsuelo. Es menester quitar este desperdicio, o excedente, ya sea por medio de salidas naturales o de canales de desagüe artificiales, para impedir que la tierra quede saturada de agua o cargada de álcali y se vuelva inútil para la agricultura productiva.

Además de los problemas físicos que implica la irrigación, hay que tomar también en consideración las cuestiones económicas. Estas cuestiones implican el cálculo del valor de las tierras que se han de regar, así como una comparación de estos valores con el costo de la construcción de las obras de irrigación, con el objeto de determinar si el pro-

yecto es factible desde el punto de vista financiero.

Historia y Desarrollo. - La práctica de la irrigación es más antigua que la civilización. Se originó, indudablemente, en las regiones semi-tropicales y relativamente áridas, en las cuales ocurre una inundación periódica de las áreas de los desiertos por las cuales cruzan algunos de los grandes ríos, como el Nilo. Estas corrientes, que vienen de las mesetas o de las regiones montañosas, crecen ya sea debido a la temporada de lluvias o al derretimiento de la nieve. En las primeras etapas de su desarrollo, el hombre aprendió a guiar o a ayudar a este desbordamiento por medio de presas y de acequias de construcción ruda, y más tarde construyó canales para llevar el agua a las tierras que no se inundaban de una manera natural, y así llegó a hacerse gradualmente independiente de la creciente natural de la corriente. Ya antes de las épocas históricas la práctica de la irrigación había llegado a ser reconocida hasta tal grado que los escritos más antiguos que se conocen contienen reglas relativas al aprovechamiento del agua. Parece que en el código de Hamurabi (en el año 2250 antes de J. C.) se establecieron disposiciones para resolver dificultades y controversias semejantes a las que se tienen que resolver hoy en día. De los reglamentos más antiguos que registra la historia se pueden copiar y aplicar a las condiciones modernas leyes relativas a la distribución del agua, para impedir su desperdicio, así como los daños a las tierras del vecino originados por el descuido. El arte de la irrigación se practicaba en casi todos los países que rodean el mar Mediterráneo, así como en Mesopotamia, la India y China. Los primeros escritos relativos al descubrimiento y a la conquista de México y de los países de la América del Sur mencionan de una manera casual los canales de irrigación como formando parte de las características de las nuevas regiones.

En el mapa que se ve arriba (Figura 1), las áreas negras indican la situación y la extensión relativas de las regiones húmedas del mundo. Se ve cuán pequeñas son estas áreas húmedas, si se comparan con la superficie total de la tierra comprendida en los perfiles que aparece en blanco, para indicar las regiones en donde la vida vegetal depende en gran

parte de una provisión artificial de agua o en donde el clima es demasiado frío para que se pueda producir la mayor parte de las cosechas comunes. Según lo indica este diagrama, la mayor parte de la Asia occidental y los países del Mediterráneo, en los cuales se desarrolló la civilización, son áridos o semiáridos; también lo es la mayor parte de la región occidental de la América del Norte, incluyéndose una gran parte del Canadá, de México y de los Estados Unidos.

En la parte sudoeste de los Estados Unidos, especialmente en Arizona y en Nuevo México, se han encontrado los restos de las obras de irrigación que fueron construídas y explotadas antes de que se comenzara a escribir alguna historia de esa región. En el valle del río Grande, los habitantes indígenas practicaron la irrigación antes de la llegada de los exploradores españoles a principios del siglo XVI. Los primeros misioneros españoles también construyeron obras de irrigación en ese valle en el curso del mismo siglo. Hasta donde se sepa, éste fue el principio de la irrigación moderna en los Estados Unidos. Algunas de las obras construídas por los primeros colonos españoles se han estado utilizando casi continuamente hasta hoy en día.

En 1847, los colonos mormones iniciaron obras de irrigación en el Valle del Lago Salado, Utah. Este fue el principio de la irrigación anglosajona en este país. La siguiente empresa de irrigación de alguna magnitud se desarrolló en Colorado y en California, unos veinte años después de que se comenzaron las obras en Utah. El desarrollo de la irrigación se fué extendiendo gradualmente de estas primeras colonias a los demás Estados de la región árida del occidente.

Como se dijo antes, los primeros ensayos de la irrigación fueron de un carácter primitivo y consistieron principalmente en ayudarle a la naturaleza a llevar el agua a los terrenos bajos durante la época de la creciente. El siguiente paso consistió en desviar el agua de las corrientes y en llevarla a las tierras por medio de canales de construcción primitiva. Las primeras acequias que se construyeron en todo el occidente consistieron en simples surcos que tenían por objeto desviar una parte de la corriente de un arroyo a las tierras bajas. En muchos

casos, las obras de desviación consistieron en presas provisionales formadas por sacos de arena puestos en el arroyo con el objeto de hacer que el agua subiera un poco y de desviarla hacia los canales. Cuando no se estaban utilizando, se cerraban frecuentemente los canales por medio de un dique de tierra. Cuando se quería que el agua fluyera por el canal, se quitaba el dique ya sea totalmente o en parte. Al construir estos primeros canales, era raro que se buscaran los consejos periciales de los ingenieros, se fijaban las pendientes a ojo o por el flujo del agua, y el trazado se acomodaba a los perfiles de los declives.

En general, puede decirse que los progresos de la irrigación, la más antigua de las prácticas agrícolas, han sido muy lentos. No fue sino hasta en los tiempos relativamente recientes que se dedicó la atención a los problemas más importantes relativos al almacenamiento y a la conservación de la provisión de agua. En los últimos cuantos años se ha hecho un progreso notable en este sentido. El límite extremo de la extensión de la tierra que se pueda irrigar en la región árida del occidente depende en gran parte en que se aumente el almacenamiento y la conservación de la provisión de agua y en que se mejoren los métodos para conducirla y aplicarla al suelo.

Necesidades y Beneficios. - La necesidad de la irrigación proviene de la falta de una precipitación pluvial natural en las épocas en que la requieren las cosechas. En algunas regiones la precipitación total anual es aparentemente adecuada para toda la vegetación, pero sucede frecuentemente que las lluvias se presentan en las épocas en que no se necesitan y fallan en las épocas críticas, en consecuencia, hay que recurrir a la irrigación durante la época de la sequía estival. En estas condiciones, la irrigación puede considerarse como una forma de seguro, mientras que en las áreas realmente áridas constituye una necesidad absoluta.

Los beneficios que se obtienen de la irrigación son los que surgen de la posibilidad de suministrarles a las plantas que se cultivan el agua necesaria en la cantidad y en las épocas en que sea más benéfica para la producción de las cosechas. En las regiones áridas o secas, en las cuales las lluvias son irregulares o espasmódicas, hay pocas nubes, y no hay

nada que impida que los rayos solares lleguen al suelo; si se puede suministrar el agua necesaria, los rayos solares que llegan diariamente, de una manera continua y sin obstrucción, estimulan el crecimiento de las plantas en alto grado, debido al hecho bien conocido de que la energía solar es la que sostiene toda la vida y todo el desarrollo en la tierra.

La irrigación le proporciona las condiciones ideales a la agricultura, puesto que contando con la luz vivificadora del sol y con los medios de suministrar el agua en las épocas debidas y en la cantidad precisa que sea necesaria, la agricultura puede aproximarse más a la precisión científica.

Es en gran parte debido a estos hechos que la agricultura en una región árida ofrece mayores oportunidades en cuanto a los rendimientos de una área determinada que las que ofrece en las regiones húmedas, en las cuales se tiene que confiar en una precipitación pluvial insegura. En las regiones húmedas, la cantidad de la luz del sol y, en consecuencia, también las fuerzas que favorecen el crecimiento, quedan limitadas por el gran número de los días nublados. Desconociendo este hecho, se ha sostenido algunas veces que si se dedicaran la misma energía y la misma cantidad de dinero a las operaciones agrícolas en la parte occidental de los Estados Unidos se obtendría un rendimiento igual o mayor que en la parte occidental, pero, al hacer esta aseveración, se deja de tomar en consideración el punto importantísimo de la cantidad total de la luz solar.

Métodos para la Irrigación. - Por lo general, el agua que se aprovecha para la irrigación es conducida de algún arroyo o lago por medio de canales descubiertos cavados en la roca o en la tierra, los cuales se parecen en muchos respectos a las acequias de desagüe que se usan comúnmente en las regiones húmedas. En efecto, es tan grande el parecido entre el canal de irrigación y una acequia de desagüe que se aplica comúnmente el término "acequia" al pequeño canal de irrigación, aunque es preferible limitar el término "acequia" a su uso primitivo con respecto al desagüe.

El canal principal, destinado para llevar el agua a una área determi

nada, comienza generalmente en algún arroyo perenne y toma el agua de éste ya sea por medio de una presa u obstrucción en el río, la que hace que una parte del agua entre en el canal (véase la Figura A en la Lámina I), o se desvía el agua construyendo las compuertas de entrada a un nivel suficientemente bajo para permitirle que fluya del arroyo a la entrada del canal. Desde este punto, el canal se construye con una pendiente suave que sea menor que la del arroyo del cual recibe el agua, es decir, si el arroyo tiene una pendiente de 10 pies en cada milla, el canal de irrigación se puede construir con una pendiente de, por ejemplo, 1 pie en cada milla, de manera que al llegar a la distancia de 10 millas el canal se encontrará a un nivel de 90 pies sobre el lecho del arroyo. Para construir un canal semejante en un terreno que lo pueda sostener, el canal, después de correr una corta distancia a lo largo del arroyo, tiene que apartarse de éste y correr por los límites del valle, para que así rodee en parte una extensión considerable de tierra, la que se vaya haciendo cada vez más ancha entre el canal y el arroyo. El agua, al salir del canal, volverá al río por las pendientes naturales, o también se puede hacer que quede en los terrenos más altos, para que así se pueda llevar a los puntos más altos de la mayor parte de las granjas que se encuentren entre ella y el río.

El canal se divide o tiene ramales, de los cuales parten, a su vez, otros ramales más pequeños, llamados a veces laterales, que se van dividiendo y subdividiendo hasta que el agua llegue a cada granja. (Véanse las Figuras C y D en la Lámina I.)

Los canales contruídos por la simple excavación de la tierra pierden necesariamente una gran cantidad de agua por la infiltración, especialmente si el suelo es arenoso o cascajoso. Hay también pequeñas pérdidas originadas por la evaporación de la superficie. En los casos en que el agua tiene un gran valor, se reduce frecuentemente la pérdida originada por la infiltración revistiendo los canales de mampostería o de otros materiales impermeables, o conduciendo el agua por tuberías, como se hace para el aprovisionamiento de agua de las ciudades.

Una vez que el agua haya sido llevada al área que se tenga que regar,

hay varias maneras de aplicarla a la tierra. Uno de los métodos más comunes, conocido generalmente como el de la "inundación", consiste en llevar el agua a la parte más alta del terreno y en permitirle que fluya hacia abajo por la pendiente hasta que quede cubierto todo el campo o área que se tenga que regar. (Véase la Figura D en la Lámina I.) Otro método, llamado a veces el "sistema de bordes", requiere que se divida el terreno en pequeñas áreas, alrededor de cada una de las cuales se levanta un borde de tierra de unas cuantas pulgadas de altura. Se deja entrar el agua en cada una de estas pequeñas áreas hasta que quede cubierta con la cantidad necesaria. Este método tiene ventajas sobre la inundación común, puesto que se puede controlar con mayor precisión la cantidad de agua aplicada a cada parte del terreno. En el "sistema de surcos", el agua es llevada por la tierra en pequeños surcos (véase la Figura C en la Lámina I), hechos con el arado o algún otro instrumento apropiado, que abarcan toda el área y se encuentran separados por una distancia de unos cuantos pies. Hay todavía otro método, conocido como la "subirrigación", que consiste en conducir el agua debajo de la superficie en tubos tendidos en el suelo y en permitirle que se escape por las pequeñas perforaciones que tienen dichos tubos. Aunque este método es casi perfecto desde el punto de vista teórico, su costo excesivo generalmente impide que se pueda adoptar.

Una Comparación entre las Tierras Regadas y las no Regadas. - Las ventajas de la irrigación se expresan mejor considerando el valor de las cosechas producidas por cada acre de tierra en las áreas regadas y en las no regadas. Desgraciadamente, es difícil hacer una comparación de esta clase debido a la falta de datos relativos a los valores de las cosechas en las diferentes regiones del país en que se pudiera basar. Hay ejemplos de cosechas especiales, cultivadas sin irrigación, que han producido mayores rendimientos por acre que las cosechas cultivadas con irrigación. Sin embargo, hay pocos ejemplos, si es que los hay, de las huertas no regadas que hayan producido cosechas iguales a las de las huertas regadas. Puede decirse lo mismo respecto a los productos agrícolas más comunes, y muy especialmente respecto a las legumbres y la hortaliza.

En general, se cree que en una región bien regada los valores de las cosechas comunes de las granjas son desde un 50 hasta un 75 por ciento mayores que en una sección igualmente bien cultivada de la región húmeda. Este hecho está comprobado por los valores relativos de las tierras sobre los cuales las cosechas producen una utilidad, así como por la extensión que las granjas tienen que tener para sostener a una familia.

La diferencia que presentan los valores está especialmente marcada en el caso de las frutas más valiosas, debido al hecho de que mediante la regulación completa de la provisión de agua se pueden controlar más perfectamente el tamaño y la calidad de las frutas. Esta misma condición también se aplica a la producción de las plantas forrajeras, de las legumbres y de otras cosechas comunes, aunque quizás en menor grado. En consecuencia, la irrigación hace posible la agricultura intensiva y que la población alcance mayor densidad, lo que es impracticable en los casos en que se tenga que contar con la precipitación pluvial para tener el agua necesaria.

Al hacer una comparación de los valores de los productos de una región regada y de una región no regada, debe suponerse que el caudal de habilidad y de energías son iguales, y que los jornales, los medios de transporte y el carácter de los mercados son también aproximadamente iguales. Aun suponiendo que son iguales todos estos factores, los cuales, sin embargo, son en muchos casos menos favorables en las áreas regadas, las cosechas de éstas generalmente presentan un promedio más alto.

Sucede frecuentemente que los agricultores que practican la irrigación lo hacen sin tener la larga experiencia que se ha tenido en las regiones húmedas. La mayoría de ellos han venido de regiones en las cuales se cuenta con la precipitación pluvial, y muchos de ellos tienen que olvidar las prácticas laboriosamente adquiridas y transmitidas durante muchas generaciones para que puedan tener éxito en el cultivo con irrigación. Otros no han tenido sino una experiencia limitada en la agricultura, y tienen que pagar con los fracasos ocasionales la experiencia que van adquiriendo.

En muchas partes de los Estados Unidos, la irrigación está todavía en su primera etapa, de manera que los promedios de la producción no se pueden comparar equitativamente con los de las regiones húmedas más antiguas. Esto se debe, en parte, a que el suelo no se encuentra completamente domado y no se ha llevado al punto en que pueda esperarse que el rendimiento de las cosechas sea grande, y, en parte, a que los colonos carecen de los medios necesarios para efectuar la explotación de la manera más eficaz.

Capítulo II.

Tierras Irrigables.

Región Árida. - Las regiones áridas presentan los ejemplos mejores y más importantes de la irrigación, puesto que ésta constituye una necesidad en ellas, mientras que en otras partes tiene más bien el carácter de un seguro sobre las cosechas. Las regiones áridas de los Estados Unidos forman parte de las del continente de la América del Norte, las cuales comienzan en la parte central de México y se extienden hacia el norte, en una zona cada vez más ancha, al través de los Estados Unidos hasta el Canadá. Se definen generalmente como regiones que tienen una precipitación pluvial de menos de 15 pulgadas al año. Consisten, en su mayor parte, de mesetas elevadas o de extensos valles interrumpidos por cordilleras de montañas, cuyas laderas superiores tienen un clima húmedo. Así es que las regiones áridas no son continuas, sino que se encuentran diseminadas por ellas áreas húmedas, de las cuales vienen las corrientes que son tan esenciales para el desarrollo de la irrigación.

La aridez es una consecuencia de la estructura del continente y es una resultante de la circulación de la atmósfera del globo, la cual no puede ser ni controlada ni modificada en un grado apreciable por las obras humanas. Ha sido el sueño de todas las épocas que el hombre pueda llegar a influir en la distribución y en la cantidad de la precipitación pluvial, principalmente por medio de las fuerzas ocultas o sobrenaturales, los conjuros y diversas ceremonias. Las manifestaciones más recientes de esta esperanza han consistido en los esfuerzos hechos para bombardear el firmamento, con el objeto de que las concusiones originadas por las grandes explosiones produzcan la lluvia. Procediendo desde un punto de vista más racional, se ha tenido la esperanza de poder modificar la cantidad de la precipitación pluvial mediante la conservación o el aumento de los bosques que cubren las montañas. Todas estas esperanzas han sido defraudadas, y ahora, como se ha dicho antes, se reconoce más generalmente el hecho de que la formación de las lluvias se debe más bien a las condiciones mundiales que a las locales.

Puede decirse, en términos generales, que las regiones áridas de

de los Estados Unidos comienzan en los 102° de longitud oeste del meridiano de Greenwich, o sea en los límites occidentales de Kansas, extendiéndose hacia el oeste hasta la costa del Pacífico en la parte sur de California, y hasta la sierra de las Cascadas en California, Oregón y Washington. Al oeste de la sierra de las Cascadas, la humedad es grande, y así sucede que en el Estado de Washington hay una aridez extremada del lado este de las montañas y una humedad igualmente extremada del lado oeste de ellas.

Como se dijo antes, se encuentran diseminadas por esta vasta región árida grandes áreas de masas montañosas relativamente húmedas, especialmente en la parte norte de la región occidental de Montana y en la parte norte de Idaho. En la Figura 2 se indican la posición y la extensión relativas de las regiones áridas, semiáridas y húmedas de los Estados Unidos.

Al este de la verdadera región árida se encuentra una extensa zona, que tiene un ancho de varios centenares de millas, en la cual la aridez extremada de las altiplanicies va disminuyéndose progresivamente hasta llegar a las condiciones moderadamente húmedas de las tierras del valle del Misisipí. Esta zona extensa dista mucho de tener límites fijos, puesto que en algunas estaciones, cuando la precipitación pluvial es insuficiente, las condiciones áridas o semiáridas avanzan hacia el este, para volver a retroceder al presentarse las fluctuaciones o series no periódicas de las estaciones más lluviosas. Así es que hay una ancha zona, de la cual la parte occidental de Kansas es un ejemplo típico, que tiene un suelo excepcionalmente fértil que no ha sido deslavado por las lluvias, y en la cual el clima es a veces demasiado seco para que se puedan producir con éxito las cosechas comunes, aunque vienen después años en los cuales las condiciones son altamente favorables para la agricultura productiva. Estas son las condiciones que crean las regiones del mundo que se conocen a veces como las regiones del hambre, en las cuales la feracidad del suelo tienta a los agricultores, y en las cuales los años sucesivos de una precipitación pluvial moderada impulsan el desarrollo de la población, viniendo después los años de sequía con la miseria

y los sufrimientos consiguientes.

Características Topográficas. - La región árida de los Estados Unidos, en su conjunto, es relativamente alta, puesto que comprende la gran mesa de las montañas rocallosas o el área de las cordilleras. El declive general hacia el sur, que comienza más o menos en el centro de la región, es de tal carácter que las tierras áridas llegan hasta el nivel del mar, o hasta un nivel más bajo, como sucede en el caso del valle de la Muerte y del desierto Salton en la parte sur de California. Hay también una disminución general de la altura hacia el norte, pero es mucho menos marcada que hacia el sur. Debido a este descenso hacia el nivel del mar, el clima de la parte norte de esta región árida queda modificado y es menos riguroso.

Las masas montañosas que atraviesan las regiones áridas sirven para obligarles a los vientos dominantes a elevarse y a depositar su humedad en las laderas. Estos vientos producen una precipitación relativamente grande, como lo atestigua la presencia de los bosques que se extienden por las laderas desde la región boscosa hacia los valles secos. Estos bosques se han segregado, en su mayor parte, de las tierras nacionales de los Estados Unidos, y se conservan como reservaciones o Bosques Nacionales (véase la Figura 3) bajo el cuidado del Departamento de Silvicultura de la Secretaría de Agricultura. El objeto principal de la creación de estas reservas ha sido la conservación de los bosques del país, pero un objeto secundario, pero a veces más importante, que se debe lograr, consiste en los efectos benéficos que los bosques tienen sobre la provisión de agua que es tan necesaria para el desarrollo de la agricultura en los valles.

De esta manera, surge en estas cordilleras diseminadas y en los picos aislados un gran número de arroyos, algunos de los cuales son bastante grandes. Como estos arroyos bajan hacia los valles por declives precipitosos, las condiciones son favorables para el desarrollo económico de la irrigación. En Utah, por ejemplo, los arroyuelos casi incontables de las montañas Wasatch que bajan a los valles áridos a intervalos frecuentes hicieron que les fuera posible a los primeros colonos cons-

truir sus pequeños canales de riego con un costo mínimo. Fueron relativamente pocas las construcciones grandes que se necesitaron, y lo precipitoso de los declives permitió que el agua fuera conducida por cauces estrechos, pero a una altura suficiente para que abarcara las tierras irrigables de los valles.

El Suelo. - El suelo de las regiones áridas difiere esencialmente del de las regiones húmedas por el hecho de que la disgregación ha ocurrido en condiciones en las cuales las sales de la tierra no han sido tan completamente deslavadas. Muchos de los suelos han sido formados por la acción de los vientos; otros consisten de depósitos aluviales o deltaicos que han sido llevados a los bordes de los valles por las corrientes que bajan de las montañas altas. Hay todavía otros que han resultado de la sedimentación en los lagos de agua dulce. En general, estos suelos, en su estado natural, son más altamente productivos que los de las regiones húmedas, exceptuándose quizás los terrenos pantanosos.

Una de las características más notables de las tierras labrantías de la región árida consiste en la falta de materias orgánicas de origen vegetal. Los primeros esfuerzos del agricultor experimentado en el cultivo con irrigación se dirigen a suplir esta deficiencia. Afortunadamente, la alfalfa, una de las plantas forrajeras más valiosas, es también valiosa por las materias orgánicas que le proporciona al suelo. Esta planta tiene también la propiedad de recoger el ázoe del aire y de suministrarlo al suelo por medio de las actividades de las bacterias que viven en los nódulos que se encuentran en sus raíces. Por lo tanto, tan pronto como el suelo haya sido roturado y domado en parte mediante la siembra de algún grano o de alguna otra planta similar, se siembra alfalfa, y, después de que se hayan hecho algunos cortes, las plantas verdes se meten debajo del suelo por medio del arado, con lo cual se le suministra al suelo la materia orgánica necesaria, y así queda en condiciones de producir después grandes cosechas de patatas, de remolacha o de otras legumbres.

Preparación de las Tierras. - El primer paso, el cual es el más importante, que se tiene que dar para preparar las tierras para la irriga-

ción consiste en allanar y nivelar la superficie con la mayor exactitud posible. Si esto se hace debidamente desde el principio, será posible labrar la tierra un año tras otro y aplicar el agua con un mínimum de trabajo y de pérdida. Si dicha preparación no se efectúa con cuidado, será siempre difícil regar la tierra perfectamente, y el crecimiento de las plantas será desigual, debido al hecho de que el agua se ha aplicado más abundantemente en algunos puntos que en otros.

En su estado natural, la mayor parte de la tierra que es la mejor para la agricultura se encuentra cubierta de artemisia. Otras tierras se encuentran cubiertas de otras plantas que se dan en los desiertos, ca si todas las cuales se pueden quitar fácilmente rastrillando la tierra con una rastra de hierro pesada o empleando las máquinas pesadas que se construyen especialmente para el objeto. Después de haber quitado la artemisia, el siguiente paso consiste en roturar la tierra con un arado, y hecho esto, como se dijo antes, en allanar o nivelarla para formar pequeños campos o tierras de labor, empleando para este objeto una cuchara que rebaje los montículos más salientes y llene los huecos.

En las regiones en que dominan los vientos fuertes, especialmente en la primavera, hay que cuidarse especialmente de no quitar inmediatamente toda la artemisia u otra vegetación, puesto que si se quita los vientos pueden llegar a la tierra floja y llevársela fácilmente, quitando al mismo tiempo las semillas o las plantas tiernas. Si se dejan hileras de artemisia para que intercepten los vientos y se cultivan las fa jas intermedias, la superficie queda resguardada hasta que las plantas sean suficientemente altas para proteger el suelo; y entonces se pueden quitar las hileras de artemisia para aprovechar la parte restante del suelo. Recurriendo a la destreza y a la previsión es posible obtener cosechas de las tierras que, de lo contrario, no se podrían cultivar. Después de los primeros cuantos años de cultivo, especialmente después de que la tierra haya recibido cierta cantidad de materia vegetal, disminuye considerablemente la tendencia a que el suelo sea removido por el viento, y si se plantan árboles que intercepten los vientos y se toman otras precauciones, se vencen con éxito las dificultades con que tro

piezan los primeros colonos.

El Lugar que se Debe Escoger. - En la mayoría de las partes de la región árida no existe la cantidad de agua suficiente para regar todas las tierras. Si se tiene una determinada provisión de agua, se pueden escoger las tierras en que se debe utilizar tomando en consideración no tan sólo sus características físicas, sino también su proximidad a los mercados o a las vías de comunicación. La región árida, como conjunto, está muy poco poblada y tiene muy pocas ciudades importantes, pero debido al desarrollo de los sistemas ferrocarrileros, ahora es posible llegar a casi todas las tierras irrigables por medio de caminos carreteros relativamente cortos. Una gran parte del éxito de cualquier proyecto de irrigación depende de que se escojan las tierras de tal manera que la distancia a los mercados y el costo de los transportes sean los menores posibles.

El oeste se encuentra muy favorecido por el hecho de que los minerales preciosos se encuentran muy diseminados por toda la región, y de que en los campos mineros existe generalmente un excelente mercado para todo lo que se puede producir por medio de la irrigación. En efecto, las dos ocupaciones son interdependientes, debido a que el desarrollo de la agricultura en la región reduce el costo de la vida y, en consecuencia, también el costo de la explotación de las minas, de manera que se pueden explotar los minerales de baja ley y la explotación de estas minas proporciona el mercado necesario para las cosechas.

La Agricultura Intensiva. - Debido a la gran cantidad y a la intensidad de la luz solar y a las condiciones favorables del suelo, comparadas con las de las regiones húmedas, le es posible al agricultor común sostenerse con una extensión de tierra mucho menor que en las regiones no irrigadas de los Estados Unidos. Los gastos que implica la construcción de largas líneas de canales también resultan en que las granjas no queden tan diseminadas, y en que se utilicen hasta el mayor grado posible todas las tierras situadas en un distrito determinado. Las áreas irrigadas son no tan sólo susceptibles del cultivo más intensivo, sino que también todas las condiciones de la provisión de agua y de los trans

portes favorecen su desarrollo más completo.

Debido a los jornales altos que predominan en toda la parte occidental de los Estados Unidos, la mayor parte del trabajo en cada granja es desempeñado por la familia que vive en ella, y esto, a su vez, tiende a reducir el área de cada granja y a aumentar la economía y la producción por acre. A medida que pasa el tiempo, y a medida que aumenta la capacidad para la producción y aumenta también la población, las granjas se fraccionan todavía más; hay una tendencia marcada hacia el cultivo aun más intensivo, y, debido al aumento correspondiente de las tierras, a que cada familia ocupe un área cada vez menor y a que el standard de vida aumente con la mayor producción del suelo.

Clima. - Las condiciones climatológicas son las que se conocen generalmente como continentales, por lo cual el invierno y el verano son extremos. Debido a la sequedad del aire, las temperaturas extremas son menos molestas de lo que serían en las partes más húmedas del país. El verano, con el sol que brilla constantemente todos los días, aunque es relativamente breve, es muy favorable para la producción de grandes cosechas. En la parte sur de las regiones áridas, como, por ejemplo, en Arizona, el cultivo de las cosechas continúa prácticamente durante todo el año, puesto que no hay casi ninguna interrupción perceptible de la actividad vegetal durante el invierno, de manera que una cosecha viene tras otra, sucesivamente, tan rápidamente como llegue a la madurez y se pueda recoger. En cuanto se refiere a la salud humana y a la de los animales domésticos, parece que la aridez extremada es altamente benéfica y que es generalmente recomendable.

Capítulo III.

Provisión de Agua.

Fuente de Provisión de Agua. - La fuente principal de provisión de agua para la irrigación consiste en las corrientes perennes que vienen de las montañas más altas. Una cantidad de agua relativamente pequeña, pero que va siendo cada vez más importante, se obtiene captando las crecientes en represas, y una proporción todavía menor se obtiene del almacenamiento natural que se efectúa en el subsuelo, recobrándose esta agua mediante la perforación de pozos en los terrenos cascajosos o arenosos de los valles.

El caudal de agua de las corrientes que se originan en las montañas altas es sostenido no tan sólo por la precipitación pluvial en las laderas de las montañas, sino que es también aumentado por el derretimiento de la nieve. Debido al gran caudal de agua que reciben de las áreas boscosas, estas corrientes son casi las más ideales para los objetos de la irrigación. Las crecientes anuales ocurren en una fecha casi fija, por lo cual es posible hacer la siembra con la seguridad razonable de contar con una cantidad de agua adecuada para la irrigación común. Estas son las fuentes de provisión que se han utilizado primero, y, en muchos casos, existe un exceso de derechos respecto a ellas, es decir, las concesiones para el aprovechamiento de dicha agua exceden al caudal normal de la misma.

Muy distintas de las corrientes de las montañas son las que desaguan un área menos elevada, las cuales reciben el agua de la precipitación pluvial menos regular. Tienen crecientes de vez en cuando, pero durante la mayor parte del año están casi o completamente secas y no se puede contar con ellas. Se ha intentado aprovechar estas corrientes para la irrigación y se han hecho inversiones de cantidades importantes de dinero, pero con muy poco éxito, debido a que las fuertes crecientes destruyen frecuentemente las obras de captación, y, por lo general, la corriente se seca antes de que éstas se puedan reponer. En casi todos los casos se hace necesario proveer, siempre que sea posible, depósitos grandes y costosos en los llanos para regular el abastecimiento del agua.

Aun así la provisión es bastante insegura, debido al hecho de que la precipitación pluvial en estas regiones más bajas no está tan uniformemente distribuida como en las cimas más altas.

Carácter de la Provisión. - Por lo que se ha dicho, queda evidente que existe una gran diferencia respecto a la cantidad y a la seguridad de la provisión que se puede obtener de las diferentes corrientes. Las corrientes que vienen de las montañas y que cuentan con áreas de desagüe altas y boscosas son las que presentan el menor número de problemas, puesto que su caudal es relativamente constante, mientras que las que vienen de regiones más bajas y más descampadas presentan problemas mucho más difíciles, y exigen que se estudien cuidadosamente todas las oportunidades de proveer los depósitos de almacenamiento necesarios.

Los diagramas que se ven en las Figuras 4 y 5 indican la diferencia entre el comportamiento de los ríos típicos de la región húmeda oriental de los Estados Unidos y los de la región árida occidental. En la Figura 4 la posición y la altura de las áreas negras indican la cantidad relativa del agua, expresada en pies cúbicos por segundo, que existe en las diferentes épocas del año. Se ve en el diagrama que el río Susquehanna, en Harrisburg, Pennsylvania, tiene el mayor caudal de agua en la primavera y que la sequía estival se hace más notable a fines de agosto y a principios de septiembre. En el caso del río Yadkin, en Salisbury, Carolina del Norte, la mayor parte del agua provino de las crecientes rápidas y breves que hubo al fin del verano y al principio del otoño, y es de suponerse que estas crecientes fueron producidas por las fuertes tormentas en las montañas.

Puede compararse con el río anterior el diagrama relativo al río Gila, en Buttes, Arizona, en el cual se ve que éste tuvo una corriente muy pequeña y relativamente constante durante la primera parte del año, después de lo cual siguieron crecientes irregulares producidas por los llamados turbiones que ocurrieron en su cuenca. Presenta un contraste marcado la creciente grande y relativamente uniforme del río Green, en Blake, Utah, el cual es típico de las corrientes que vienen de las montañas nevadas, proviniendo el agua de los deshielos que ocurren a medida

que avanza el verano.

La Comisión Geológica de los Estados Unidos se ha dedicado a formar un registro del comportamiento de las corrientes de la región árida, así como de las de la región húmeda, y, comenzando por el año 1888, se han practicado observaciones sistemáticas en muchos ríos y arroyos. No ha sido posible medir todas las corrientes de agua, pero se ha intentado escoger corrientes típicas que sean bastante representativas de las demás que se encuentran en una misma región.

Se ha observado y registrado diariamente la altura del agua en determinados puntos, y se ha averiguado la cantidad del caudal correspondiente a las diferentes alturas. Por medio de estos datos, ha sido posible computar el caudal total de agua que pasa por dichos puntos en cada mes y en cada estación y obtener cifras exactas relativas a la importancia y duración de las crecientes, así como a los períodos en que el agua alcanza los niveles más bajos.

Beneficios del Control. - Es apenas necesario enumerar los beneficios que resultan de la posibilidad de almacenar las aguas de las crecientes o de los desbordamientos. Estas aguas, cuando no se regulan, se presentan frecuentemente en una cantidad suficiente para destruir los puentes, las presas y otras construcciones que se encuentran en su curso, o para inundar las granjas y las aldeas en las tierras bajas. Con retener las crecientes, las cuales, cuando no se regulan, son tan destructoras, se hace posible aprovechar esta agua para lavar y regar las tierras yermas e inútiles, y así proporcionarles oportunidades a los ciudadanos y a sus familias para adquirir y cultivar dichas tierras. Desde el punto de vista de la estabilidad de la República, quizá no haya ninguna empresa de ingeniería o económica que tenga una significación más profunda o que sea de mayor valor que esta aplicación práctica de los principios de la conservación.

Mediante el estudio de los datos proporcionados por las mediciones sistemáticas, ha sido posible llegar a determinadas conclusiones respecto a la posibilidad de conservar las aguas de los desbordamientos y de almacenarlas en los lugares en donde haya depósitos formados por las de-

presiones naturales del terreno, cuyas salidas se pueden cerrar con presas de un costo razonable. El Gobierno Federal, debido al hecho de que todavía posee vastas extensiones de tierras yermas, tiene interés en obtener todos estos datos, los cuales pueden servir de base para las obras de ingeniería y para la inversión segura de capitales en la construcción de obras de almacenamiento que retengan las aguas de las crecientes y las suministren en las épocas oportunas a las tierras que se puedan regar.

Estudio de la Provisión de Agua. - Al estudiar la provisión de agua y la posibilidad de almacenarla o de desviarla, los puntos más importantes consisten en las observaciones diarias o periódicas de su cantidad. Mediante el estudio de estos puntos, se puede obtener una gran variedad de datos relativos al caudal de agua disponible que tenga una corriente determinada, y pueden establecerse comparaciones. Al mismo tiempo, es importante que se obtengan datos precisos relativos a la topografía del área de desagüe de la cual el agua fluye, y que se conozcan las condiciones de cultivo de dicha área, y si es probable que éstas puedan sufrir algún cambio que pudiera modificar la cantidad de agua disponible. Uno de los factores importantes en una provisión de agua consiste en la constancia o regularidad del caudal. Para poder determinar éste, es necesario tener datos que se refieran a determinado período de años.

Al elegir una provisión de agua, debe preferirse más bien la que sea de un carácter constante que la que varíe grandemente de un año para otro, aunque el total del caudal de la corriente constante sea algo más pequeño.

Precipitación Pluvial. - En las cuestiones relativas a la provisión de agua, el factor principal consiste en la precipitación que le llega a la tierra en la forma de lluvia o de nieve. Esta varía grandemente en diferentes partes del país, puesto que depende principalmente de las relaciones geográficas o topográficas. Sin entrar en una discusión detallada de éstas, bastará llamar la atención a su resultado que se presenta en este mapa (Figura 6), el cual indica que hay una gran divergencia en la cantidad total de la precipitación en las diferentes partes de los

Estados Unidos, siendo la precipitación pluvial más grande en la costa oriental y cerca del Golfo de México, así como en una faja relativamente angosta del extremo noroeste contigua al Océano Pacífico. La precipitación pluvial menor ocurre en la región interior del país que comprende los Estados de Nevada, Utah, Nuevo México, Arizona y las partes contiguas de California.

El mapa anterior presenta de una manera general las desigualdades de la distribución de la precipitación pluvial en toda la superficie del país, basándose en los promedios de las observaciones practicadas durante muchos años. Cualquiera sola localidad puede presentar una gran divergencia; durante cualquier año determinado la precipitación pluvial puede ser dos veces mayor que en algún año anterior o subsiguiente. Esto se ve en el diagrama de la Figura 7 relativo a la precipitación anual en la ciudad de Salt Lake, Utah, en donde la precipitación media es de cerca de 16 pulgadas, habiendo algunos años en que se aproxima a esta cantidad.

Se ha intentado deducir alguna regla o generalización respecto a esta irregularidad de la precipitación pluvial; se ha intentado relacionarla con las manchas solares y otros fenómenos naturales. Varios investigadores han calculado, de una manera satisfactoria para sí mismos, que los años de sequía o de fuertes lluvias se presentan con cierta regularidad general en ciclos de 7, u 11 o 17 años, pero es difícilísimo encontrar a dos de estas personas que estén de acuerdo respecto a los datos o a las conclusiones reales que se pueden deducir de sus cálculos. Para los objetos de la práctica, debe llamarse la atención al hecho de que cada vez que se presenta un año relativamente seco, puede seguirle una sequía aun mayor, y que, por lo tanto, hay que prepararse para una serie de años relativamente secos.

Escurrimiento. - El término "escurrimiento" fue ideado como una manera conveniente de designar el agua que escurre de la superficie de la tierra en la forma de corrientes visibles. Ha sido un motivo de investigaciones y de controversias entre los ingenieros la relación que existe entre la cantidad de agua que cae sobre la tierra en la forma de llu-

via o de nieve y la cantidad del escurrimiento que se puede aprovechar para la irrigación. De las primeras observaciones que se practicaron de la precipitación pluvial y del escurrimiento, algunos ingenieros y físicos infirieron que existía una relación relativamente precisa entre los dos, y que con conocer la precipitación pluvial se podría calcular la cantidad del escurrimiento. Han sido sumamente interesantes los resultados que se han seguido de esta teoría, pero, en muchos casos, han divergido grandemente de las condiciones reales.

En algunas de las vertientes de las regiones orientales y más húmedas de los Estados Unidos, en las cuales la precipitación pluvial es relativamente constante en cuanto a su cantidad y a los períodos en que se efectúa, parece haber una proporción relativamente fija entre la precipitación pluvial y el escurrimiento. Parece que esta proporción no existe en la región árida del oeste, y los intentos que se hacen de aplicar las proporciones de las regiones húmedas del este a las regiones áridas del oeste producen resultados erróneos y aun ridículos. Un caso que sirve para ilustrar las observaciones anteriores es el de un ingeniero que conocía únicamente las condiciones de la región oriental y que fue contratado para investigar el caudal de agua disponible de un río de Arizona. Tomando la precipitación pluvial del área y fijando el escurrimiento en cerca de un 20 por ciento, lo que consideraba como un cálculo muy conservador, llegó a la conclusión de que se podría disponer de determinada cantidad de agua. Sucedió que ya se habían practicado mediciones, las cuales habían demostrado que el escurrimiento era apenas un poco más del 2 por ciento de la precipitación pluvial. Dicho ingeniero estaba muy seguro de que debía de haberse cometido algún error al imprimir los datos relativos al caudal de agua, puesto que su análisis cuidadoso le había demostrado que el agua teóricamente disponible llegaba a una cantidad diez veces mayor que la que se había fijado por medio de la observación directa.

Influencias que Afectan al Escurrimiento. - Puede formarse un concepto claro del carácter variable del escurrimiento si se considera éste como el exceso de agua en un área determinada después de que se hayan sa

27

tisfecho todas las necesidades de la naturaleza respecto a la humedad en dicha área. Puede decirse que es la diferencia que existe entre la provisión de la naturaleza y las necesidades inmediatas de ésta. Si en un área determinada no cae mayor cantidad de agua que la que ésta puede tomar y absorber, no habrá absolutamente ningún escurrimiento. Como se verá más adelante, el tiempo que se le concede al agua para que sea absorbida ya sea por el suelo o por la atmósfera constituye también un importante factor para que se pueda determinar la cantidad que será absorbida y la que escurrirá en la forma de corrientes.

Los factores principales que afectan directamente a la cantidad del escurrimiento son los siguientes: la cantidad y el carácter de la precipitación pluvial, el carácter de la vertiente, y la evaporación. Todos estos factores variables ejercen una influencia de un carácter tan complejo que es imposible establecer una medida exacta de su valor. En algunos casos es posible encontrar vertientes cuyas condiciones son tan parecidas que el escurrimiento es casi igual en cada una de ellas. En estos casos, se puede obtener un cálculo aproximado del escurrimiento de un área desconocida basándose en el escurrimiento de un área semejante en la cual se hayan hecho mediciones.

La precipitación pluvial constituye el factor más importante del escurrecimiento. Sin embargo, no se sigue de esto que la precipitación pluvial producirá siempre el escurrimiento. Es un hecho significativo que es necesario que la precipitación pluvial alcance cierta cantidad para que resulte algún escurrimiento. La cantidad mínima varía en las diferentes vertientes y depende de las condiciones del clima. Es también cierto que la proporción entre el escurrimiento y la precipitación pluvial aumenta con ésta. Por consiguiente, lo primero que se tiene que preguntar es si la precipitación pluvial total en un área determinada es suficiente para producir un escurrimiento apreciable. Suponiendo que éste sea apreciable, el siguiente paso consiste en determinar la cantidad del escurrimiento con que se puede contar.

Si la precipitación pluvial se presenta en la forma de aguaceros fuertes y abundantes, de manera que sólo una pequeña cantidad del agua

tiene el tiempo necesario para infiltrarse en el suelo, la mayor parte de ella escurrirá por la superficie para juntarse en los ríos o arroyos. Una precipitación pluvial de la misma cantidad, si se presenta en la forma de una llovizna lenta y constante, puede ser totalmente absorbida por el suelo sin aumentar en lo más mínimo el caudal de las corrientes. Si la precipitación se presenta en la forma de nieve y ésta, como sucede frecuentemente, se amontona en las hondonadas, puede conservarse hasta después de la llegada de los meses estivales, y sirve, entretanto, para acrecentar el caudal de las corrientes en un grado más o menos uniforme.

Carácter de la Vertiente. - El declive de las laderas, el carácter y la profundidad del suelo, así como la presencia de la vegetación en una vertiente, ejercerán una influencia marcada sobre la cantidad del escurrimiento. Cuando el agua cae en laderas precipitosas, se escurre rápidamente, antes de que una gran parte de ella pueda ser absorbida por el suelo. Aun cuando el suelo queda saturado hasta cierta profundidad, a consecuencia de las lluvias muy prolongadas, las laderas precipitosas hacen que el desagüe sea más rápido, siendo el resultado que escurre de ellas una cantidad de agua mayor que la que escurriría de las laderas poco precipitosas, pero enteramente semejantes en todos los demás respectos. Una precipitación pluvial que produce un escurrimiento de hasta un 30 o un 40 por ciento en las laderas precipitosas de una cordillera, a veces produce un escurrimiento de no más de un 3 o 4 por ciento en los llanos o en los terrenos ligeramente ondulados.

Un suelo poroso y profundo absorberá y retendrá mayor cantidad de agua que un suelo compacto y poco profundo. En las laderas rocallosas casi no se pierde ninguna agua por la absorción, por lo mismo, el escurrimiento es mayor que en el caso de las laderas terrosas. El hecho de que el suelo se encuentre congelado también tiende a aumentar la cantidad y la velocidad del escurrimiento.

El escurrimiento del agua es más lento si la tierra se encuentra cubierta de bosques o de vegetación de otras especies. En consecuencia, en estas condiciones, una mayor cantidad de agua se infiltrará en el suelo que en el caso de la tierra que se encuentra desprovista de vegeta-

ción. La presencia de bosques modifica también la velocidad del escurrimiento, puesto que éstos detienen una parte de las aguas y las hacen escurrir lentamente hacia las corrientes. Es por esta razón que los bosques son tan útiles para reducir la intensidad de las crecientes después de las grandes tormentas.

Evaporación. - La evaporación es la que ejerce la mayor influencia en el escurrimiento. Su acción es continua en todas las partes de una vertiente en las cuales la humedad está expuesta a la atmósfera. La vegetación, en dondequiera que se halle presente, así como la capilaridad del suelo, llevan constantemente la humedad a la superficie del suelo, en donde se transforma en vapor. Aunque la evaporación es generalmente de un carácter continuo, su cantidad varía grandemente en distintas épocas y en los diferentes lugares.

La rapidez de la evaporación depende principalmente de la capacidad de la atmósfera para absorber la humedad y de la capacidad de la superficie para suministrar esta humedad tan rápidamente como pueda ser absorbida. La capacidad de la atmósfera para recibir y disipar la humedad depende de la temperatura, de la velocidad del viento y del grado de saturación, o sea de la cantidad de agua que ya contiene. La velocidad con que el suelo puede suministrar la humedad depende principalmente de la profundidad a que se encuentre el agua y de la acción capilar del suelo para llevar esta agua a la superficie.

Si el agua se encuentra en la superficie, o si la capa superior del suelo se encuentra saturada, la tierra puede suministrar la humedad mucho más rápidamente que el aire la puede absorber. Esta condición existe en la superficie de los lagos y de los estanques, y también en la tierra después de que haya llovido. Si la provisión de agua que se encuentra en la superficie no es renovada por lluvias frecuentes, la humedad desaparece, debido, en parte, a la infiltración, y, en parte, a la evaporación, hasta llegar a una condición en que la superficie le suministra muy poca o ninguna agua al aire. Esto sucede frecuentemente en las regiones extremadamente áridas. Después de una tormenta, la evaporación podrá ser muy rápida durante un breve período, pero casi no existirá du-

rante el resto del año. En las regiones húmedas, en las cuales la superficie del suelo está húmeda durante la mayor parte del año, la pérdida anual ocasionada por la evaporación es relativamente constante.

Es evidente que en el caso de una vertiente que no tenga corrientes subterráneas, el escurrimiento es igual a la precipitación pluvial total menos la evaporación. Puede decirse lo mismo de las áreas grandes en donde las pérdidas ocasionadas por las corrientes subterráneas son tan pequeñas que llegan a ser insignificantes si se comparan con la cantidad total del agua que cae sobre dichas áreas. Es evidente que esta fórmula no se puede aplicar a las pequeñas áreas de unos cuantos centenares de millas cuadradas en las cuales las corrientes subterráneas llegan a ser iguales a un porcentaje considerable de la precipitación pluvial.

El Escurrimiento de las Diversas Vertientes. - El siguiente cuadro indica las diferencias que presenta la cantidad del escurrimiento de las diversas vertientes de diferentes partes de los Estados Unidos. Este cuadro ha sido formado con los datos relativos a las mediciones de las corrientes hechas por la Comisión Geológica de los Estados Unidos.

(Se omite el cuadro por tener datos demasiado minuciosos.)