



Principios y aplicaciones del riego

O. W. Israelsen / V. E. Hansen

Segunda
Edición

EDITORIAL REVERTÉ

Principios y aplicaciones del riego

O. W. Israelsen, Ph. D.

Profesor Emérito de Ingeniería Civil y Riegos

V. E. Hansen, Ph. D.

Director de la Estación experimental de Ingeniería

UNIVERSIDAD DEL ESTADO DE UTAH, LOGAN, UTAH

Principios y aplicaciones del riego

OBRA QUE COMPRENDE TODAS LAS FASES DEL RIEGO, DESDE
LAS FUENTES Y ALUMBRAMIENTO DEL AGUA HASTA
EL ASPECTO SOCIAL Y ADMINISTRATIVO DEL REGADÍO

2ª Edición



EDITORIAL
REVERTÉ

Barcelona · Bogotá · Buenos Aires · México

Título de la obra original:

IRRIGATION PRINCIPLES AND PRACTICES (3rd ED)

Edición original en lengua inglesa publicada por

John Wiley & Sons, Inc., Nueva York

Copyright © John Wiley & Sons, Inc.

Edición en español:

© Editorial Reverté, S. A., 1985

Versión española por

Dr. Alberto García Palacios

Doctor Ingeniero Agrónomo.

Diplomé des Hautes Etudes Agronomiques Méditerranéennes

Profesor de Planificación Rural de la E. S. T.

de Ingenieros Agrónomos de Madrid

Edición en papel:

© Editorial Reverté, S. A., 1985

ISBN: 978-84-291-1030-2

Edición e-book (PDF):

© Editorial Reverté, S. A., 2021

ISBN: 978-84-291-9000-7

Propiedad de

EDITORIAL REVERTÉ, S. A.

Loreto, 13-15. Local B

08029 Barcelona. ESPAÑA

Tel: (34) 93 419 33 36

reverte@reverte.com

www.reverte.com

Reservados todos los derechos. La reproducción total o parcial de esta obra, por cualquier medio o procedimiento, comprendidos la reprografía y el tratamiento informático, queda rigurosamente prohibida, salvo excepción prevista en la ley. Asimismo queda prohibida la distribución de ejemplares mediante alquiler o préstamo públicos, la comunicación pública y la transformación de cualquier parte de esta publicación (incluido el diseño de la cubierta) sin la previa autorización de los titulares de la propiedad intelectual y de la Editorial.

La tercera edición esta dedicada a la Comisión Internacional de Riegos y Drenajes como testimonio de reconocimiento a su notable contribución al progreso de la humanidad. La labor de la citada Comisión en los Congresos celebrados en la India en 1951 y 1954, en Estados Unidos en 1957 y en España en 1960, ha contribuido a un progreso efectivo de la enseñanza, investigación y práctica del riego y del drenaje en más de cincuenta países miembros. Las actividades de la Comisión han impulsado en gran medida al riego y el drenaje y en consecuencia proporcionado una mayor y más segura fuente de alimentos para la creciente población del mundo.

ORSON W. ISRAELSEN

VAUGHN E. HANSEN

PRÓLOGO DEL TRADUCTOR

A los partidos políticos:

Regad los campos si queréis dejar rastro de vuestro paso por el poder: los árabes pasaron por España; ha desaparecido su raza, su religión, sus códigos, sus templos, sus sepulcros, y, sin embargo, su memoria está viva, porque han subsistido sus riegos.

JOAQUÍN COSTA

El traductor, en su misión de divulgador de una obra maestra en el arte del regadío, no puede olvidar la tradición espiritual que ha condicionado su cultura en este campo, ni la contribución al futuro desarrollo social y económico que supone un conjunto de conocimientos, de los que es únicamente mensajero.

Por ello se ve en la obligación de encabezar este prólogo a la edición en lengua castellana con una «explosión espiritual», típicamente ibérica, que, recordándolo, sirva de homenaje a la memoria de ese gran apóstol de la política hidráulica española, maestro de políticos y economistas agrarios que tomaron sus enseñanzas como guía para su quehacer público.

En algún lugar del libro dicen sus autores que las estructuras y sistemas de riegos más costosos son los que quedan por realizar. ¡Qué lección magistral nos da Joaquín Costa en su «Política hidráulica», sobre la sistemática de evaluación de los beneficios, clasificándolos con un criterio plenamente actual en económicas y sociales y aquéllos en directos, indirectos e inducidos! Y no olvida el maestro español la repercusión de la puesta en riego sobre el secano, haciendo cambiar sus tradicionales rotaciones y produciendo una cadena de reacciones que en nuestro país darían como resultado el armisticio de los dos subsectores del mundo agrario que, antagonistas a través de recientes épocas históricas, buscan la tan ansiada paz y equilibrio: la Ganadería y la Agricultura.

En 1962 vio la luz un informe del Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento sobre el Desarrollo Económico de España. En él y entre otras recomendaciones se daban normas para la selección de planes de regadío, con criterios económicos basados entre otros en la demanda futura de la producción agrícolas. No se olvidaba tampoco la mejora de las obras de regadío existentes, por medio del perfeccionamiento de canales o el aumento de drenajes. ¿En qué medida puede este libro eminente «Principios y aplicaciones del riego» enseñar a los futuros ejecutores de esta tarea técnica?

Superada ya la polémica que mantuvo Costa con sus opositores parlamentarios sobre quién debería realizar las obras hidráulicas, el Estado Español ha emprendido en lo que va de siglo una decidida política hidráulica, impregnada de un gran sentido social. No obstante, es hora de hacer un alto en el camino y pensar que nuestros métodos de riego, y la mejora de algunos sistemas, que como el que riega la huerta de Murcia, podrían ser objeto de perfeccionamiento. ¿No nos enseña este libro, acaso, que las pérdidas de humedad producidas por las hierbas que crecen en los canales de tierra significan un desperdicio de agua que la sustrae de esa labor creadora que es el riego? ¿Y en cuanto a los peligros de la elevación de la capa freática y de la deficiencia del drenaje y de la dilapidación que suponen las filtraciones? Poco se ha hecho en nuestro país en ese aspecto, y este libro bien puede ser el catalizador que desencadene y coordine la actuación de tantas iniciativas dispersas. ¿Se ha pensado alguna vez en los beneficios que supondría un revestimiento de acequias en Levante? y ¿no se evitarían con un drenaje debidamente tratado, ayudando a la mejora anterior, problemas que en la actualidad acucian a nuestras zonas áridas?

En fecha reciente ha publicado la FAO un estudio comparado del régimen económico y administrativo de «Las Leyes de Aguas en Sudamérica», que es de una importancia capital para los lectores de habla castellana, en relación con el capítulo XVIII de «Principios y aplicaciones del riego». Se señala en él el origen común de las leyes de aguas de los países hispánicos, que tienen como columna vertebral nuestra Ley de Aguas de 1879, y recomienda la lectura de las Leyes de Aguas en Países Musulmanes, publicado en la misma colección. Existe una indiscutible relación de paternidad entre las leyes hidráulicas musulmanas y la española. Y de ella quedan vestigios indudables en las deliberaciones que, reunido antes del mediodía cristiano y principio del musulmán, cada jueves (sábado en el calendario religioso de los mahometanos) celebra en la puerta de la Catedral de Valencia el famosísimo Tribunal de Aguas. Jaime el Conquistador, ese rey catalán nacido en Montpellier, dio una fórmula sencilla a la distribución de aguas mediante la cual los regantes de una acequia son los propietarios de su caudal en relación a la tierra que poseen, de forma que el agua está ligada a ésta.

Instituciones legislativas, asociativas, administrativas, muchas de ellas precursoras, como las Confederaciones Hidrográficas, ha producido España, pero ¡qué escasas son las obras científicas que en el campo de la hidráulica agrícola prestigian a un país que está obligado, por su experiencia secular, a darles la luz!

Este libro bien puede ser, repetimos, la base de un perfeccionamiento futuro, dándonos la lección de todas las obras maestras: el deber de superarlas.

Madrid, septiembre de 1964.

ALBERTO GARCÍA PALACIOS

PREFACIO

En la tercera edición de «Principios y aplicaciones del riego» se pone un énfasis especial en los principios que rigen las prácticas del riego. Se exponen los conceptos generalizados y se incluyen los nuevos métodos. Los ejemplos específicos y la experiencia local han sido reemplazados en la tercera edición por los conceptos y prácticas generales.

Los olivos del riego se estudian en todo el mundo y con detalle, desde la fuente de agua a los drenes. Los pozos, bombeos y transporte de agua son igualmente tratados. También se consideran las relaciones agua-suelo incluyendo almacenamiento, movimiento y drenaje en los terrenos encharcados y se dedica especial atención a los problemas de alcalinidad y salinidad y a los principios de la utilización del agua. Se resuelve el problema de cuándo regar y las dotaciones de agua que han de ser aplicadas a cualquier cultivo, de forma que los resultados puedan aplicarse a cualquier localidad. Se discuten los problemas relacionados con el riego superficial y por aspersión, estableciendo los modernos conceptos de eficacia del riego. De la misma forma se hace hincapié en los problemas sociales, administrativos y legales del regadío y se apuntan los principios rectores de los mismos. Se considera que la interdependencia entre el suelo, agua, clima y gestión del regadío tiene una importancia capital.

Se ha procedido a una revisión de los ejercicios y problemas para que abarquen un campo más extenso y se ha ampliado su número para ilustrar los nuevos conceptos y el mayor ámbito de cobertura de la tercera edición.

He aceptado con agrado la responsabilidad de la tercera edición de «Los principios y aplicaciones del riego». A su llegada, el doctor Orson W. Israelsen, después de un largo viaje de asesoramiento por el extranjero, revisó cuidadosamente el manuscrito y sus sugerencias fueron muy útiles.

Quiero hacer constar que me siento profundamente honrado por el privilegio de haber colaborado con el doctor Israelsen durante los últimos veinticinco años. Su espíritu creativo y de dirección ha sido ampliamente valorado por aquellos que han tenido la fortuna de ser sus discípulos. Esta gratitud se hace patente en los momentos en que despliega su actividad por toda la superficie de la tierra con el fin de mejorar la agricultura de regadío.

Agradezco a Norma Y. Schiffman y a Lillian N. Nielsen su excelente ayuda secretarial, y a Nella W. Lauritzen su depurada corrección editorial. Los comentarios de Guy O. Woodward y Lyman S. Willardson sobre un primer borrador de la tercera edición fueron tenidos en cuenta. El apoyo y los ánimos dados por el doctor Dean F. Peterson, Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad del Estado de Utah, han significado una gran ayuda.

VAUGHN E. HANSEN

CAPÍTULO 1

EL REGADÍO EN EL MUNDO

El arte de regar es antiquísimo. En el transcurso de su historia, la civilización ha sufrido la influencia de la evolución del regadío. Civilizaciones enteras han florecido y se han extinguido sobre tierras regadas. La mayor parte de los expertos en cuestiones de riego están convencidos de la duración indefinida de tales culturas, siempre y cuando el regadío se practique racionalmente. Por el contrario, otros afirman que una civilización basada en una agricultura de regadío está destinada a decaer más tarde o más temprano, debido a que así ha ocurrido a otras anteriores en el tiempo. La perpetuidad de los pueblos civilizados depende de muchos factores, entre los cuales reviste capital importancia la existencia de una agricultura de rentabilidad permanente. En este libro se consideran algunos de los principios y prácticas que se estiman como fundamentales para obtener, de un modo permanente, rendimiento económico de una agricultura de regadío.

1.1 ANTIGÜEDAD DEL REGADÍO

A través de la historia escrita de la humanidad existen abundantes documentos que dan fe de la antigüedad del regadío. En el Génesis se cita a Amraphel, rey de Shinar, contemporáneo de Abraham, que probablemente sea el mismo Hammurabi, sexto rey de la primera dinastía de Babilonia, que promulgó el llamado Código de Hammurabi, de cuyo contenido se deduce que la existencia de las gentes dependía del regadío. Una de las leyes de Hammurabi establece que si un hombre descuida la consolidación de su parte correspondiente de orilla del canal, y las aguas arrastran los sembrados, está obligado a devolver el maíz perdido por su culpa.

Las cartas de Hammurabi, que datan del 2000 a. de C., revelan a un administrador estatal, extremadamente ocupado, que no desperdicia palabras a la hora de dar instrucciones a sus subordinados:

A Sid-Indiannam. Hammurabi dice como sigue: Reúne a los hombres que tienen parcelas a lo largo del Canal de Damanum para limpiar el Canal de Damanum. Que en este mes la monda del Canal de Damanum sea terminada.

Porteriormente se menciona la irrigación en los versículos 16 y 17 del capítulo 3.º del libro segundo de los Reyes:

16: ... Y dijo: Así ha dicho Jehová: Haced en este Valle muchas acequias.

17: ... Porque Jehová ha dicho así: No veréis viento ni veréis lluvia, y este valle será lleno de agua, y beberéis vosotros y vuestras bestias y vuestros ganados.

Se atribuye a una antigua reina asiria, que se supone vivió antes del año 2000 a. de C., el haber ordenado su política a la desviación de las aguas del Nilo a fin de que regaran tierras del desierto de Egipto. La inscripción de su tumba reza:

Yo impuse al agua poderosa que corriera bajo mis dictados y llevé sus aguas a fertilizar tierras que anteriormente habían sido yermas y deshabitadas.

Los canales que se cree fueron construidos durante el reinado de esta reina de Asiria todavía llevan agua. Existen de este modo testimonios y documentos sobre la continuidad del regadío en el Valle del Nilo durante miles de años, y de igual manera y por períodos de tiempo relativamente largos en Siria, Persia, India, Java e Italia.

Egipto se precia de poseer la presa más antigua del mundo, construida hace 5000 años, para almacenar agua para el riego y abastecimiento de la población, y cuyas características son: 108 m de longitud por 12 m de altura. El sistema de riegos implantado en el Nilo hacia el año 3300 a. de C. todavía desempeña un papel importante en la agricultura egipcia.

En China, donde la colonización se inició hace más de 4000 años, se medía el éxito de la gestión de los antiguos monarcas por su sabiduría y el progreso imprimido a las actividades relacionadas con el control de las aguas. El pueblo eligió como rey a Yu, de la dinastía Hsia (2200 a. de C.), a causa de su excepcional labor desarrollada en el campo de la regulación de las aguas. La famosa presa de Tu-Kiang, que en la actualidad desempeña perfectamente su cometido, fue construida por un hombre llamado Li y su hijo, en los tiempos de la dinastía Chin (2000 a. de C.), y riega una extensión de más de 200 000 hectáreas de arrozales.

Parece ser que el cangilón hidráulico, ingenio muy utilizado en China y países limítrofes para el bombeo del agua, fue inventado por aquellas fechas y su inventor venerado como un dios por los carpinteros del país. El Gran Canal, de unos 1200 km de longitud aproximadamente, fue construido durante el Imperio Sui (589-618 de nuestra Era).

La práctica del regadío en la India es anterior a la literatura épica en un período de tiempo difícil de determinar. Existen pantanos en Ceilán que tienen más de 2000 años. Escritos de los años 300 a. de C. dan cuenta de que el país se encontraba completamente regado y su prosperidad era muy grande a causa de las dos cosechas que se podían recolectar al año.

Cuando los españoles pisaron por vez primera Méjico y Perú, descubrieron instalaciones de cierta complejidad que habían sido utilizadas para almacenar y conducir reservas de agua durante muchas generaciones y cuyo origen se había perdido incluso para la tradición oral. En el sudoeste de los Estados Unidos existían también posteriormente obras hidráulicas de cierta extensión, debido a que los primeros misioneros españoles aportaron los conocimientos que sobre la irrigación se tenían en sus países natales, bañados por el Mediterráneo.

El regadío fue practicado también por los tramperos, mineros y colonizadores de tierras fronterizas en amplias zonas del Oeste americano, si bien no se realizó ningún esfuerzo de envergadura para establecer una agricultura de regadío hasta que en julio de 1847 los mormones se asentaron en el Valle del Lago Salado. Para los mormones, el regadío se convirtió en una realización cooperativa, mediante el establecimiento de comunidades al pie de los cursos fluviales que provenían de las montañas. Fueron construidas acequias para regar los campos y los jardines familiares establecidos en las ciudades.

1.2 IMPORTANCIA DEL REGADÍO

La importancia del riego en los tiempos actuales ha sido definida con precisión por N. D. Gulhati (India):

En muchos países el riego es un arte antiguo, tanto como la civilización, pero para la humanidad es una ciencia, la de sobrevivir.

La presión demográfica y las necesidades de cantidades adicionales de alimento imponen el desarrollo rápido del regadío en todo el mundo, que, si bien reviste capital interés para las regiones de más acusada aridez, no hay que olvidar el papel cada vez más importante que desempeña en las regiones húmedas.

1.3 LAS REGIONES ÁRIDAS EN EL MUNDO

Las zonas que necesitan ser regadas son muy extensas y se encuentran en todos los continentes. La franja árida está dividida en dos, la septentrional, que se extiende desde el oeste de los Estados Unidos y México a España, Mediodía francés, Italia y Grecia, penetrando en el Asia Menor hasta comprender la mayor parte de la India y China, y la meridional, que incluye la parte de Sudamérica que se encuentra al este de la cadena de los Andes, el sur del continente americano y la mayor parte de Sudáfrica, uniéndose a la septentrional por la península arábiga y la India, para separarse posteriormente englobando a Australia.

En estas regiones la civilización ha existido y existe en la actualidad gracias exclusivamente al arte y la ciencia del regadío. La superficie regada en el mundo no está limitada a los territorios reseñados. Algunas de las agriculturas de regadío más rentables están localizadas en el Brasil Central, Centroamérica, Indias Occidentales, África Occidental, incluidas el África Occidental portuguesa y partes de Sudáfrica, zonas éstas en las que parece que las precipitaciones sean suficientes por su volumen total anual, pero que durante seis meses del año carecen prácticamente de lluvia. En otras áreas los períodos de sequía varían entre dos y ocho semanas, por lo que es necesario el riego si se quiere practicar una agricultura rentable y con diversidad de cultivos. En consecuencia, puede decirse que la irrigación no se practica exclusivamente en los países áridos, sino que constituye también una piedra fundamental de la agricultura progresiva en todo el mundo. El contar con abundantes disponibilidades de agua para los cultivos, ya

sea en las regiones húmedas como en las áridas, es una garantía para los rendimientos y rentabilidad de la agricultura. Por otra parte, los principios fundamentales del riego permanecen inalterados independientemente del clima en que se pongan en práctica.

1.4 DEFINICIÓN DEL RIEGO

El riego se define como la aplicación artificial de agua al terreno con el fin de suministrar a las especies vegetales la humedad necesaria para su desarrollo. En sentido más amplio, la irrigación puede definirse como la aplicación de agua al terreno con los siguientes objetivos:

1. Proporcionar la humedad necesaria para que los cultivos puedan desarrollarse.
2. Asegurar las cosechas contra sequías de corta duración.
3. Refrigerar el suelo y la atmósfera para de esta forma mejorar las condiciones ambientales para el desarrollo vegetal.
4. Disolver sales contenidas en el suelo.
5. Reducir la probabilidad de formación de drenajes naturales.
6. Dar tempero a la tierra.

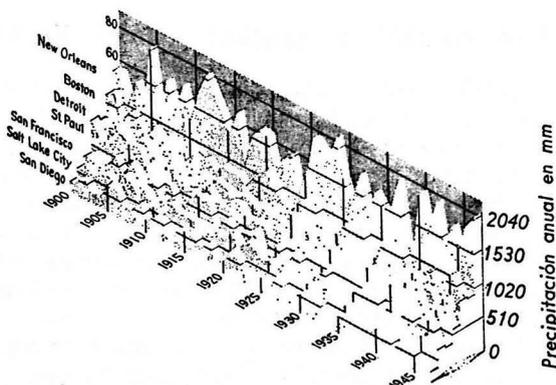


FIG. 1.1. Las precipitaciones varían con los años. Las medias de períodos largos no ayudan gran cosa a la hora de la predicción de la cantidad de lluvia que caerá en un mes o año determinados. Cada zona tiene sus años «secos» y «húmedos». (Reproducido de *Power*, septiembre de 1952.)

El riego puede realizarse de diferentes formas: 1) por inundación o a manta; 2) por surcos o tablares anchos o estrechos; 3) por riego subterráneo, lo que hace que la capa de agua ascienda, y 4) por aspersión.

El agua de riego es un complemento de otras procedentes de las fuentes si-

guientes y cuya importancia y existencia no pueden ser ignoradas a la hora de calcular las dotaciones de agua para riego:

1. Precipitaciones
2. Agua atmosférica no procedente de precipitaciones
3. Aguas superficiales
4. Aguas subterráneas

El olvido de estas cuatro fuentes de agua y de la proporción en que cada una contribuye a las necesidades vegetales repercute en un deficiente planteo del sistema de riego. En algunas zonas, uno de los tipos arriba reseñados puede proporcionar el mayor volumen; en otras, dos, e incluso las cuatro pueden contribuir con cantidades apreciables a las necesidades de las especies vegetales.

Precipitaciones

Para que las lluvias produzcan los máximos beneficios han de cumplir los siguientes requisitos:

1. La cantidad de lluvia ha de ser suficiente para reponer la gastada en la zona radicular.
2. Su frecuencia debe ser tal que suministre humedad al suelo antes de que las especies vegetales padezcan por su falta.
3. Han de ser lo suficientemente intensas para dar tiempo al suelo a absorberlas.

Sólo en contadas localidades y ocasiones las lluvias se ajustan a estos requerimientos, que en caso de producirse conducen a las máximas producciones. Por el contrario, en la medida en que no se dan estos requisitos, los riegos son necesarios tanto en las zonas áridas como en las húmedas.

Cuando se proyectan regadíos se debe prestar particular atención a no interpretar erróneamente las cifras de «precipitaciones medias» mensuales o anuales. Los promedios referidos a períodos largos pueden inducir a error, puesto que cada zona está sometida a alternativas húmedas y secas de meses y años que difieren de las medias. La figura 1.1 muestra las variaciones de las precipitaciones que se dan de un año a otro. La amplitud de estas variaciones es aún mayor para los meses. En consecuencia, las medias de períodos largos carecen de significación a la hora de predecir la humedad que se espera en un mes o año determinado. Los sistemas de riego han de ser calculados contando con las frecuencias esperadas de los períodos de sequía.

Una de las cosas más interesantes de las precipitaciones consiste en su variabilidad, que hace que cambien en el tiempo y en el espacio. No hay uniformidad ni en la naturaleza ni en la magnitud de las precipitaciones, que varían continuamente, de año en año, y de mes en mes, de semana en semana y de día en día. En los estados que tienen un clima húmedo se dan frecuentemente, durante las épocas de cultivo, períodos en los que no se registra ninguna lluvia y que duran dos o más semanas. En un decenio hubo, en el estado de Michigan, un promedio

de siete épocas cada año, de una a dos semanas de duración, en las que no llovió; en Iowa se dieron ocho, en Wisconsin, Minnesota, Illinois e Indiana fueron seis, y en Ohio cinco. Los períodos secos de dos a tres semanas de duración se produjeron unas dos veces al año en Minnesota y una en los restantes estados. Los períodos de sequía de tres o más semanas son relativamente raros en esta región «húmeda».

La necesidad de regar se ha planteado de un modo perentorio a los agricultores de todos los Estados Unidos debido a las pertinaces sequías que han afectado gran parte de su superficie. Aunque las precipitaciones sean suficientes para los cultivos en los años normales, se ha llegado a la penosa conclusión de que los cortos intervalos de sequía han malogrado cosechas que deberían proporcionar pingües beneficios a los agricultores.

Tomando como base los boletines sobre el riego en Missouri y otras regiones de precipitaciones análogas, Rubey ha deducido que durante el período de 77 años que va desde 1870 al 1947, la cuarta parte de los años han sido muy secos, causando considerables pérdidas. Desde 1870 a 1930 hubo quince años secos, en los cuales la cosecha de maíz en el estado de Missouri fue muy inferior a la media; en tres de estos años los rendimientos fueron inferiores en más de un cincuenta por ciento al promedio, y en diez del mismo período de quince años los rendimientos no llegaron al sesenta y cinco por ciento de la media.

Puesto que los datos de precipitaciones tienen sus limitaciones, hay que tener cuidado en no extrapolar sin un estudio previo de las variaciones posibles. Cuando éstas son de gran amplitud, se detectan inmediatamente porque repercuten sobre el estado vegetativo de los cultivos, y también existe la información de los residentes en la localidad. A pesar de su significación se da el caso de que se producen variaciones sin que su evidencia sea tan clara.

Agua atmosférica no procedente de precipitaciones

En ciertas partes del globo, la humedad proporcionada por el agua atmosférica que no procede de lluvias tiene gran importancia. Así, en algunas zonas del oeste de Australia el rocío contribuye a la producción de pastos excelentes. También en el desierto de Negeb, que se encuentra al sudoeste del mar Muerto, el rocío proporciona la mayor parte de la humedad necesaria en verano para el desarrollo de las uvas, puesto que las escasas precipitaciones, que oscilan entre 100 y 280 mm anuales, se ven complementadas por un número de noches de rocío que varía entre 100 y 250 anualmente.

Los arqueólogos han hallado en el Negeb celosías de piedra dentro de las cuales se plantaban cepas y árboles y que estaban construidas con el propósito de «extraer» de la atmósfera la cantidad de agua suficiente para el riego de las especies plantadas.

Para que esta fuente de agua tenga cierta importancia es necesario que se den las siguientes condiciones atmosféricas: 1) formación de rocío abundante; 2) nieblas y nubes, y 3) alta humedad atmosférica. Estas condiciones hacen que las necesidades de agua de los vegetales decrezca al disminuir la intensidad de la transpiración. El rocío reduce efectivamente la cantidad de agua que circula

por la planta y aun en algunos casos es absorbido por ella. El agua que se evapora del suelo y las hojas reduce, en una magnitud semejante, el volumen de agua que hubiera sido extraído del suelo. La niebla, las condensaciones y el rocío supusieron una cantidad de agua de unos 28 cm en la localidad de Cascade Head, en el estado de Oregón, durante 142 días nublados. En el período de seis años se depositaron unos 23 cm anuales en Coshoton, en Ohio. El límite superior de la cantidad de agua atmosférica que puede condensarse en el transcurso de un año es de 38 cm. No hay que olvidar las aportaciones de otras formas de precipitación a la hora de estudiar las posibles necesidades de agua de las producciones agrícolas.

Aguas superficiales

En muchos aspectos, el agua superficial (que proviene de avalanchas, inundaciones, etc.) se identifica con el agua de riego, con la gran diferencia de que no está suministrada por el hombre. Cuando las inundaciones pasan sobre la superficie del terreno, el suelo absorbe parte del agua y queda almacenada a disposición de las plantas. En algunas regiones la producción agrícola depende enteramente de este tipo de agua.

El agua subterránea

El agua subterránea es aquella que ocupa gran parte de los espacios vacíos del interior del terreno. El movimiento ascensional del agua subterránea por capilaridad desde la superficie del agua hasta la zona radicular puede constituir la fuente más importante de aprovisionamiento para el desarrollo vegetal.

Para que el agua subterránea contribuya plenamente al crecimiento de las especies vegetales, sin obstaculizarlo, es preciso que aquélla se encuentre cerca, pero siempre debajo, de la zona de la cual se espera sea extraída la parte más importante de las necesidades de agua de las plantas. Si el agua subterránea está normalmente a la altura de la zona radicular, el crecimiento vegetativo de la planta es retardado. Si el agua subterránea está demasiado cerca de la superficie, la capacidad del terreno para producir económicamente la mayoría de los cultivos se anula prácticamente. No obstante, una capa de agua que toque a la porción inferior de la zona radicular puede suministrar una considerable cantidad de agua y, en consecuencia, reducir el coste del riego en mayor proporción que la pérdida de producto bruto. La profundidad óptima de la capa de agua es aquella que da el máximo de beneficios.

1.5 EL RIEGO EN LOS CLIMAS HÚMEDOS

Según Powers, el riego en los climas húmedos sirve para: *a)* controlar la humedad del suelo y superar la sequía; *b)* proveer de pastos frescos y forrajes a finales del verano; *c)* hacer posible un corte de trébol en el primer período; *d)* cultivar dos cosechas (las zonas en las que se dan cultivos de ciclo largo pueden

producir la segunda después de una cosecha temprana); e) facilitar las actividades químicas y bacterianas en el terreno; f) mejorar la calidad del producto y ayudar al control de las enfermedades y plagas especialmente en las hortalizas y algunas frutas de huerta; g) aumentar la humedad del suelo cuando el clima es más propicio para el crecimiento; h) facilitar el laboreo temprano o profundo y el cultivo extensivo; i) ablandar los terrones de tierra y disolver los nutrientes vegetales; j) incrementar el beneficio neto y aumentar los rendimientos.

Es muy importante que los cultivadores de tierras de clima húmedo se den cuenta de éstas y otras ventajas del regadío. De la misma manera deberían estar informados de la viabilidad económica del mismo, pues a menudo se preguntan si es rentable.

Los agricultores de las regiones áridas se plantean sólo excepcionalmente esta cuestión. Estudian los beneficios que van a recibir de los diferentes cultivos de regadío, puesto que en estas localidades casi todas las cosechas tienen que ser regadas, no sólo por razones de economía, sino también de supervivencia, y, en consecuencia, para ellos no existe tal problema.

Es un hecho comprobado que los agricultores cuyas tierras están situadas en zonas donde el clima es húmedo, pueden producir mayores y mejores cosechas de las que obtienen con los recursos naturales de humedad del suelo, mediante el establecimiento de sistemas de riego que les proporcionen agua de un modo seguro y continuado. Pero esta realización no confirma el aumento de beneficios de los agricultores, cosa que puede darse o no, según los casos. Los agricultores de climas húmedos deberían considerar el riego como un medio que puede mejorar su situación económica.

Los costes constituyen el mayor obstáculo a la expansión del regadío en las regiones húmedas. En los estados de clima húmedo, la responsabilidad principal de determinar, mediante el análisis, el coste de los diferentes factores y de ensayar hasta dónde puede desarrollarse económicamente un regadío, recae sobre cada agricultor individual o pequeño grupo de agricultores, vecinos que se encuentren en situación de extraer y utilizar el agua de una fuente común. Las entidades públicas, que tienen la obligación de velar por el bienestar general, deberían ayudar a los agricultores de climas húmedos en el análisis y solución de los problemas relacionados con la rentabilidad del regadío.

Por lo general, las inversiones en planes de regadío, tanto en las regiones húmedas como en las áridas, son a largo plazo. Algunas instalaciones de riego han hecho aumentar tanto los beneficios durante el primer año de utilización que han amortizado la totalidad de los gastos de instalación; no obstante, la gran mayoría de los proyectos requieren varios años para su total amortización. Las condiciones de clima, comercialización y gestión determinan, entre otros, la velocidad de amortización de la inversión inicial. Las especies cultivadas, la profundidad del sistema radicular, la resistencia a la sequía y la rapidez de respuesta al riego, son también importantes. Algunos suelos acusan los efectos de la sequía con más rapidez que otros. En los años húmedos, sin embargo, una gran parte de la inversión en el sistema de riego está paralizada sin que rinda beneficio alguno.

A la hora de decidir sobre la conveniencia de instalar un sistema de riego se

debe tener muy en cuenta la utilización del agua en un año promedio. Incluso en las zonas húmedas el riego ha de ser considerado como una práctica normal de cultivo, pues sólo en contadísimas ocasiones se puede instalar un sistema de riego con la celeridad necesaria para salvar una cosecha que se encuentre en condiciones precarias por falta de humedad.

1.6 DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DEL REGADÍO

La superficie regada en el mundo es de unos 162 millones de hectáreas (400 millones de acres). Los resultados de estudios completos sobre la extensión del regadío, según la Comisión Internacional de Riegos y Drenajes, están expuestos en la tabla 1.1, donde también se detallan la superficie total cultivada y regada en 27 países y los tantos por ciento que las últimas representan de las pri-

TABLA 1.1. SUPERFICIE REGADA EN LOS PAÍSES EN LOS CUALES EL REGADÍO OCUPA MÁS DE MEDIO MILLÓN DE Ha (en miles de Ha)

<i>País</i>	<i>Superficie total</i>	<i>Superficie anual cultivada</i>	<i>Superficie regada</i>	<i>Tanto por ciento regado de la superficie cultivada</i>
Afganistán	64 800	9 018	3 501	39
Argentina	278 044	30 375	1 013	3
Australia	771 011	8 505	648	8
Birmania	67 856	8 100	527	6
Corea del Sur	9 701	1 940	652	34
Chile	74 234	5 516	1 364	25
China	995 752	112 039	53 387	48
Egipto	100 102	2 675	2 675	100
España	50 474	20 831	1 978	9
Francia	55 121	31 679	2 502	8
Filipinas	30 004	6 579	503	8
Formosa	3 599	875	541	62
Holanda	3 331	—	1 024	—
India	316 711	128 790	25 770	20
Indonesia	190 736	14 175	4 502	32
Irán	162 793	—	2 025	—
Irak	44 582	—	3 001	—
Italia	30 164	22 217	2 102	9
Japón	36 985	6 097	3 364	55
Méjico	197 089	23 369	2 159	9
Pakistán	94 540	21 212	10 935	52
Perú	133 244	15 998	1 301	8
Sudán	250 776	7 102	1 418	20
Tailandia	51 878	5 427	1 322	24
Unión Sudafricana ...	122 436	7 706	547	7
U.R.S.S.	2 229 062	—	6 505	—
Estados Unidos	940 416	138 104	13 374	10
Totales	7 305 441	628 329	148 640	23 aprox.

meras. En los citados países, en los que la superficie regada excede del medio millón de hectáreas, la superficie cultivada se estima en 628,3 millones de hectáreas, y la regada, en 148,6 millones, lo que representa un cuarto de la cultivada. Cinco países —China, India, Estados Unidos, Pakistán y la Unión Soviética— poseen grandes superficies de regadío, cuyo total asciende a 110 millones de hectáreas, es decir, más de 68 % del área regada en el mundo.

1.7 EL DESARROLLO DEL REGADÍO

La demanda de alimentos y fibras crece al mismo tiempo que la población, y los expertos en riego serán consultados para resolver los problemas que plantea la mencionada demanda. Más tierras de los desiertos y zonas áridas deben ser regadas, pues el agua elevará enormemente su productividad. De la misma forma, el rendimiento de los terrenos de secano puede aumentar cuando sean transformados. Hay que tener en cuenta que la inversión necesaria para la puesta en riego de nuevos terrenos será muy superior a la realizada para la implantación de los actuales regadíos (tabla 1.1). Los mayores pantanos, los canales más largos, los túneles y los sifones invertidos más costosos, todavía no han sido construidos. En la medida en que la población crece, la demanda de agua para el riego se incrementará.

1.8 ÁMBITO DE LA CIENCIA DEL RIEGO

La ciencia del riego no se limita a la aplicación del agua al suelo, sino que comprende todo el proceso desde la cuenca hasta la finca y desde ésta al canal de drenaje. A los expertos en regadío incumbe el estudio de las fuentes de agua, de las corrientes que la transportan, su regulación y distribución y los problemas de drenaje que surgen como consecuencia de las prácticas de riego. La consideración de una parte del sistema de riego, sin tener en cuenta los otros componentes, conduce a proyectar deficientemente y sin un plan adecuado.

Las características de los manantiales, entre las que se consideran la naturaleza de la vegetación y la capacidad de retención del suelo y el subsuelo, influyen considerablemente sobre el rendimiento del agua de riego. De la misma manera, las características del curso del agua tienen gran importancia. Con mucha frecuencia la gestión de este curso de agua, las ramificaciones construidas y las medidas encaminadas a remediar las pérdidas por filtración, así como la utilización del agua a lo largo del curso y de los canales, constituyen datos fundamentales para el ingeniero de riegos. En la finca es de capital importancia la distribución, los sistemas de aforo y las acequias. El trazado del sistema de riego en la finca, el método del control y la disposición del agua en exceso tienen también vital interés.

La disposición correcta del agua en exceso tiene la misma importancia que su adquisición, aunque desgraciadamente sucede con demasiada frecuencia que los regadíos se proyectan sin planear adecuadamente la utilización de las aguas residuales. Muy a menudo el agua se pierde durante el transporte y por su apli-

cación en exceso. El agua sobrante, tanto superficial como subterránea, debería ser utilizada en los terrenos de más baja cota del proyecto o bombeada a los terrenos altos para su reemplazo en el caso de que sea apta para el cultivo agrícola. El proyectar sistemas de drenaje, tanto superficiales como subterráneos, es de vital importancia para mantener la alta productividad de los terrenos de regadío.

El equilibrio hidrológico natural de un valle se rompe siempre cuando se le riega. En consecuencia surgen problemas de drenaje, tanto superficial como subterráneo, que hasta entonces no se habían hecho sentir. Es necesario un juicio ponderado a la hora de prever dichos problemas y traducir sus consecuencias a consideraciones económicas.

1.9 ECONOMÍA DEL REGADÍO

Como quiera que la implantación del regadío se realiza en gran parte para aumentar beneficios, la economía tiene un papel importante a la hora de su valoración, y los beneficios mayores que se producen como consecuencia de una mayor eficacia productiva repercuten en los precios más bajos a los consumidores, que a su vez motivan mayor consumo de alimentos y fibras. La mayor disponibilidad de alimentos y fibras se traduce en un nivel de vida más alto de los moradores de la tierra. Factores éstos que deben ser tenidos siempre en cuenta. Los planes de regadío, así como otras obras agronómicas y de ingeniería, tienen por objeto hacer más agradable el mundo en que vivimos. La manera más adecuada de conseguirlo es la creación de fuentes de riqueza.

BIBLIOGRAFÍA

- CHRISTIANSEN, J. E.: «Irrigation in Relation to Food Production», vol. 34, págs. 400-407, *Agr. Eng.*, junio 1953.
- FINCH, J. KIP: «Master Builders of Mesopotamia». *Civil Eng.*, vol. 50, págs. 256-260, abril 1957.
- GULHATI, N. D.: «Worldwide View of Irrigation Developments». *Proc. Am. Soc. Civil Eng.*, núm. 1951, septiembre 1958.
- HARRIS, KARL, y VAUGHN E. HANSEN: «Relative Productive Value of Land». *Eng. Exp. Sta. Bul.*, 6, Utah State University, 1959.
- ISRAELSEN, O. W.: «Irrigation Science. The Foundation of Permanent Agriculture in Arid Regions». Second Annual Faculty Research Lecture, Utah State Agr. College, 1943.
- «The Engineer and Worldwide Conservation of Soil and Water», *Proc. Am. Soc. Civil Eng.*, núm. 1775, septiembre 1958.
- «The Historical Background of Reclamation». Reimpresión de *Agr. Eng.*, vol. 32, 6, págs. 321-324, junio 1951.
- KIMBALL, FRANK: «Soil and Water Conservation in Irrigated Areas». *Agr. Eng.*, vol. 25, pág. 285, 1944.
- MATSON, HOWARD: «More Production from Improved Irrigation Practices». *Agr. Eng.*, vol. 24, pág. 119, 1943.
- POWERS, W. L.: «The New Reclamation Era in Venezuela». *Agr. Eng.*, vol. 24, pág. 345, 1943.
- ROBERTSON, G. SCOTT: «FAO and the World Food Problem». *J. Am. Soc. Agron.*, vol. 40, págs. 2-120, 1948.
- RUBEY, HARRY: «Supplemental Irrigation for Missouri and Regions of Similar Rainfall». *Univ. of Missouri Bull.*, 9, vol. 49, 1947. *Eng. Exp. Sta. Bull.*, 33, 1947 (revisado).
- THOMAS, GEORGE: «Early Irrigation in the Western States». University of Utah, 1948.
- WOLFE, THOMAS F.: Water, Epec. Edit. Report. *Power*, págs. 73-117, septiembre 1952.

CAPÍTULO 2

LAS FUENTES Y EL ALMACENAMIENTO DEL AGUA PARA EL RIEGO

La lluvia y la nieve constituyen las fuentes principales del agua de riego. La nieve fundida y las precipitaciones no se utilizan completamente. El volumen que no es utilizado en el punto de caída corre por la superficie o se filtra en el terreno aumentando de esta forma la reserva subterránea de agua. En consecuencia, la nieve, o la lluvia, que no es utilizada se convierte en una fuente potencial, ya sea superficial o subterránea, de agua para el riego. El agua sobrante de la utilizada por la agricultura, la industria y la población urbana se emplea también para regar.

El éxito de todo proyecto de regadío radica en gran parte en la suficiencia y seguridad del suministro de agua. En las zonas de regadío las empresas públicas deberían registrar a largo plazo las precipitaciones, los caudales y las aguas subterráneas, estableciendo así las bases para una completa y racional utilización de los recursos hídricos.

2.1 LAS PRECIPITACIONES EN LOS VALLES Y EN LAS MONTAÑAS

La nieve y las lluvias que caen en los valles regados constituyen una fuente de agua que se almacena directamente sobre el terreno. En algunas cuencas, las precipitaciones invernales suministran agua suficiente para que germinen las semillas y para el crecimiento de las plantas durante varias semanas. En estos valles los cultivos perennes se desarrollan notablemente durante la primavera, porque utilizan el agua almacenada en el suelo que proviene de las lluvias invernales. En otros, situados en las regiones áridas, la cantidad de agua de lluvia recibida en invierno es tan escasa que antes de la siembra los agricultores deben dar un riego para asegurar la germinación de la semilla y para que la plantita disponga en los primeros momentos de su desarrollo vegetativo de la humedad suficiente. Estos valles dependen casi exclusivamente de la lluvia y la nieve, que cae sobre las montañas vecinas, como fuente de abastecimiento del agua que necesitan para regar. Por regla general, en casi todos los valles de regadío las precipitaciones caídas sobre su superficie constituyen una fuente poco importante de suministro de agua. Las precipitaciones en las zonas montañosas, como puede

verse en la figura 2.1, constituyen la principal fuente de agua. El transporte del agua desde los manantiales de las montañas hasta los valles plantea a los habitantes de las zonas áridas problemas muy interesantes y a veces de complicada solución. Constituye una urgente necesidad el estudio concienzudo, anual o estacional, de cada una de las zonas montañosas sobre las cuales se producen preci-



FIG. 2.1. La nieve almacenada en la vertiente constituye un depósito de agua que puede ser utilizada para regar. (Fotografía de Bert V. Allen.)

pitaciones bajo forma de lluvia y de nieve. La utilización económica y total de casi todos los recursos naturales del Oeste está íntimamente relacionada al rendimiento acuífero de cada vertiente, su transporte y los puntos de utilización y su empleo económico ya sea como generador de fuerza para riego o con fines de uso doméstico e industrial. Urge que se reconozca el hecho de que la solución de los problemas relacionados con el aforo de agua de una vertiente y su transporte contribuirán al bienestar general.

2.2 ESTUDIOS SOBRE LAS DISPONIBILIDADES DE AGUA

La recopilación de datos auténticos referentes a las disponibilidades del agua exige un esfuerzo inteligente, laborioso y continuado. Es probable que el suministro inadecuado de agua haya contribuido en gran medida a producir desastres financieros y quiebras en muchos proyectos de puesta en riego. Las conclusiones y el excesivo optimismo basados en el conocimiento imperfecto del aforo de una vertiente han sido los errores más frecuentes y que más caros han costado a las personalidades tanto privadas como políticas. La sobreestimación del volumen de agua en ciertos proyectos tiene como consecuencia las reducidas dimensiones de la zona regada en comparación con la que figuraba como regable en el proyecto original. La existencia de ciclos climáticos que se producen sin que puedan ser predichos con exactitud, unido a la gran variabilidad de las precipitaciones y caudales de un año a otro, complica el problema de utilizar económicamente toda el agua disponible cada año. Sin embargo, las comunidades de regantes de las zonas áridas podrían ajustar más racionalmente, dentro de unos ciertos límites, sus turnos de riego sobre la base de una información verosímil de las existencias hídricas. Con vistas a una ulterior expansión del regadío, es preciso que se lleven a cabo investigaciones para determinar el rendimiento acuífero y la cantidad de agua disponible que suministrará la cuenca.

2.3 AFORO DE LA NIEVE Y VENTAJAS QUE DE ÉL SE DERIVAN

La nieve que permanece sobre la superficie del terreno constituye un volumen de agua almacenada muy superior a la contenida en cualquier pantano. Por ejemplo, 30 cm de nieve contienen aproximadamente 2,5 cm de agua y pueden llegar hasta 10 cm. Por tanto, una precipitación de nieve de 30 cm (considerando que hay 2,5 cm de agua por cada 30 cm de nieve) sobre cuatro kilómetros cuadrados supone un almacenamiento de 10^5 m³ de agua, cantidad que sería suficiente para llenar un embalse que tuviera un metro de altura y una hectárea de superficie. Es muy frecuente que la nieve caída tenga una profundidad de metro y medio y que en primavera el contenido de agua de la nieve sea superior a 1/12 de su volumen. Reviste particular importancia el conocimiento de la época y la velocidad de liberación del agua procedente de la fundición de la nieve, así como cuándo el curso de agua alcanza su caudal de régimen, para hacer las previsiones consiguientes.

También es preciso saber si el agua puede ser utilizada o no y en qué forma se producirá la escorrentía. En los años en que el agua disponible no sea abundante, los planes de siembras y de riegos sufrirán modificaciones, la superficie regada será menor, se sembrarán cultivos que necesiten menos agua y las cosechas tempranas serán sustituidas por otras cuyo período vegetativo sea más largo.

Por el contrario, cuando las disponibilidades de agua sean superiores a la media se pueden regar nuevos terrenos o practicar una agricultura más intensiva.

Debido a las ventajas que se derivan del aforo de la nieve, la red para su control ha experimentado una considerable expansión, lo que permite obtener datos de mayor precisión más rápidamente y con menores inconvenientes.

Se han construido vehículos adecuados para conducir por carreteras enfangadas, por las rocas, la nieve y el hielo, a los agentes de inspección, dentro y fuera de las zonas, puesto que, aun en las más alejadas, las muestras han de ser tomadas una vez al mes. También se ha trabajado intensamente en la fabricación de instrumentos de gran sensibilidad que modulen un circuito eléctrico, transmitiendo por radio la medida de la profundidad de la nieve y su contenido en agua a las centrales locales.

La circunstancia de que las previsiones han de ser elaboradas inmediatamente después de las inspecciones, ha hecho preciso el desarrollo de técnicas analíticas que requieren la utilización de computadores de alta velocidad.

Se han establecido campos piloto de nieve en pequeños prados de montaña donde los vientos influyen menos sobre la capa de nieve. Los campos consisten en diez o quince puntos de observación espaciados entre quince y treinta metros de distancia entre sí. Se determina en cada uno de los puntos el contenido de agua de la nieve y su profundidad.

El muestreo de la nieve se efectúa con un tubo de aluminio sin sutura. La parte inferior del tubo termina en un cortador dentado para penetrar en la nieve endurecida o en las capas heladas. El tubo se introduce en la nieve y después se retira, llevando en su interior un alma de nieve. Con posterioridad se pesa, como indica la figura 2.3. Entre los datos obtenidos y una o varias de las siguientes variables: caudales actual y anterior, temperatura, contenido acuoso de la capa

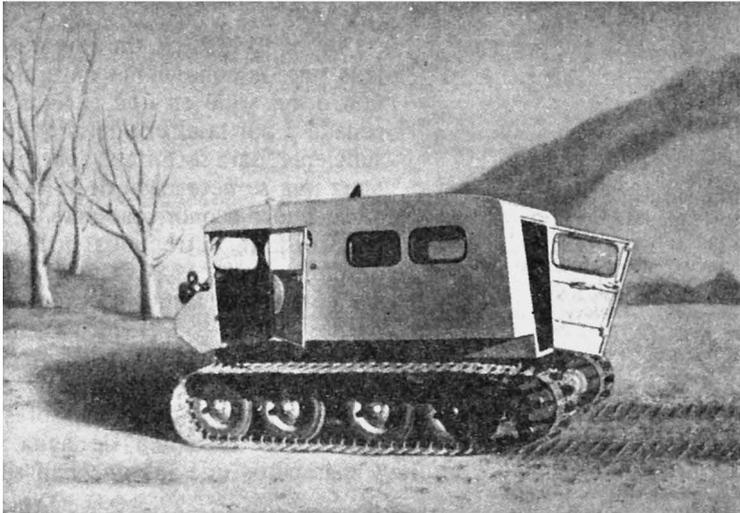


FIG. 2.2. La furgoneta de cadenas realizada por la Utah Scientific Research Foundation para llegar a los campos piloto de nieve por caminos difíciles.



FIG. 2.3. Introducción de un tubo de muestreo en la nieve, medida de profundidad de ésta y peso del tubo y el alma de nieve para determinación del contenido de agua. (Fotografías de Bronstead. Con licencia del Soil Conservation Service, U. S. D. A.)

de suelo y precipitación, se establece una correlación para pronosticar la escorrentía máxima y la total.

2.4 PANTANOS

Cuando los cursos naturales de agua son insuficientes para hacer frente a las necesidades de riegos, se construyen pantanos con el fin de almacenar agua.

El agua que corre en invierno y primavera puede ser retenida en grandes depósitos hasta que se necesite para el cultivo. El almacenamiento se efectúa en los años húmedos para su utilización en los años secos.

Todas las presas deben estar provistas de aliviadores, de dimensiones suficientes para permitir la evacuación de las máximas riadas esperadas. Cuanto más grande sea la estructura y el depósito, mayor será el peligro que correrán las vidas y las propiedades de los posibles afectados, y por ello el aliviadero debe reunir las mayores condiciones de seguridad.

La capacidad de un pantano viene fijada por las condiciones naturales del cañón o del valle en que el agua es almacenada y por la altura del dique, que será suficiente para acumular el volumen de agua que se necesite y de la cual se pueda disponer económicamente. Sus capacidades varían entre unos pocos millones de metros cúbicos para presas de pequeñas corrientes, hasta miles de millones de metros cúbicos. Del mismo modo, los diques construidos para el riego varían

entre aquellos que están construidos económicamente, cuya altura es de pocos metros, hasta las estructuras de más de 200 metros de altura con presupuestos de varios millones de dólares. El aumento de la demanda de agua exige la construcción de diques de mayor altura y más caros que los que han sido construidos hasta la fecha.

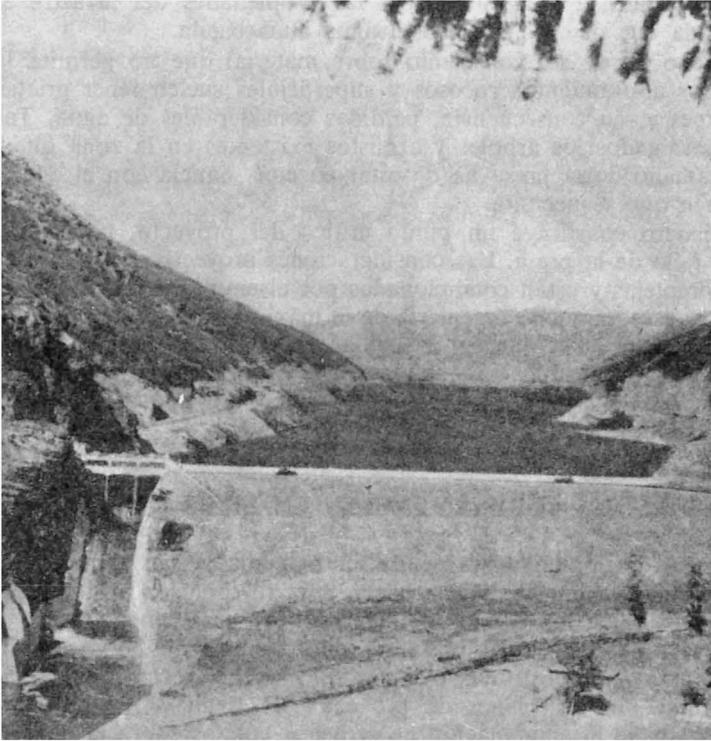


FIG. 2.4. Pantanos construidos por el gobierno, como el que muestra la figura, contribuyen al desarrollo del regadío. (*Por amabilidad del Bureau of Reclamation.*)

2.5 PEQUEÑAS PRESAS DE TIERRA

Las presas pequeñas sirven para retener el agua que proviene de los manantiales y pequeños cursos que de esta forma son utilizados con más eficacia. Los depósitos pequeños construidos para el riego tienen muchas ventajas, puesto que a menudo sirven para criaderos de peces, para almacenar agua y para alimentar y alojar patos y gansos. Igualmente, los estanques artificiales proporcionan carácter y belleza, además de utilidad, a las explotaciones.

A la hora de elegir el emplazamiento es necesario tener en cuenta diversos factores. La presa debe ser lo más corta posible y asentada sobre un suelo firme, seco y desprovisto de matorrales y raíces. El terreno más recomendable para la presa es aquel que tiene una textura intermedia; cuando se utiliza la arcilla, la presa puede desplomarse cuando se deseca, y si se emplea, en cambio, la arena, el agua no será retenida. El paraje debe tener acceso fácil y permitir la construcción de un buen aliviadero y de un depósito. Se deben tener en cuenta las

consecuencias para la vida humana y las propiedades del arrastre de la presa por una riada que deje en libertad el agua almacenada.

El pantano ha de ser construido sobre material que no permita la filtración excesiva. Los afloramientos rocosos y superficiales suelen tener grietas que producen escapes y, en consecuencia, pérdidas considerables de agua. También han de ser desarraigados los árboles y arbustos existentes en la zona que va a inundarse. El tamaño de la presa ha de estar en consonancia con el agua disponible y el volumen que se necesita.

El aliviadero constituye un punto crítico del proyecto, y en muchos casos provoca el fallo de la presa. Las consideraciones proyectivas sobre los aliviaderos son muy complejas y están condicionadas por el emplazamiento. Por ello se debe contar con el asesoramiento ingenieril, de la máxima competencia profesional, para proyectar y construir la presa y el aliviadero de forma que el presupuesto sea lo más económico posible contando con los materiales a disposición, la localización y las avenidas de agua.

2.6 LA SEDIMENTACIÓN EN LOS EMBALSES

La vida útil de los embalses puede ser reducida por la acumulación de sedimentos que, una vez que lo ciegan, hacen nula su capacidad de almacenaje. Pero aún más, puesto que los buenos emplazamientos para embalses son escasos en número, el que se ciegue una presa no sólo produce un perjuicio monetario al propietario, sino que constituye una pérdida grave, a veces irremplazable, de un recurso natural. En los planes de proyectos de riego se ha de tener muy en cuenta el efecto de la acumulación de arrastres sólidos sobre la conservación del embalse, de modo que sean tomadas todas las precauciones para hacer mínima la sedimentación.

2.7 REDUCCIÓN DE PÉRDIDAS POR EVAPORACIÓN

En las regiones áridas, la pérdida de humedad por evaporación constituye un problema muy grave. La carencia de agua en las regiones desérticas ha estimulado la investigación encaminada a descubrir métodos prácticos para reducir la evaporación. Se estima que en diecisiete estados de Norteamérica se evapora agua por valor del 45 % de la que se utiliza para el riego. Por consiguiente, hay un gran incentivo para reducir la evaporación en las regiones áridas, en especial debido a lo que cuesta disponer de agua.

De entre los métodos estudiados, parece ser que dos de ellos son los más adecuados: el primero consiste en extender una película monomolecular sobre la superficie libre del embalse, y el segundo en utilizar cada vez más depósitos de agua subterránea.

Antes de que se utilice la película de plástico monomolecular como método práctico, se han de resolver varios problemas técnicos. Los materiales son costo-