PN-AAJ-439

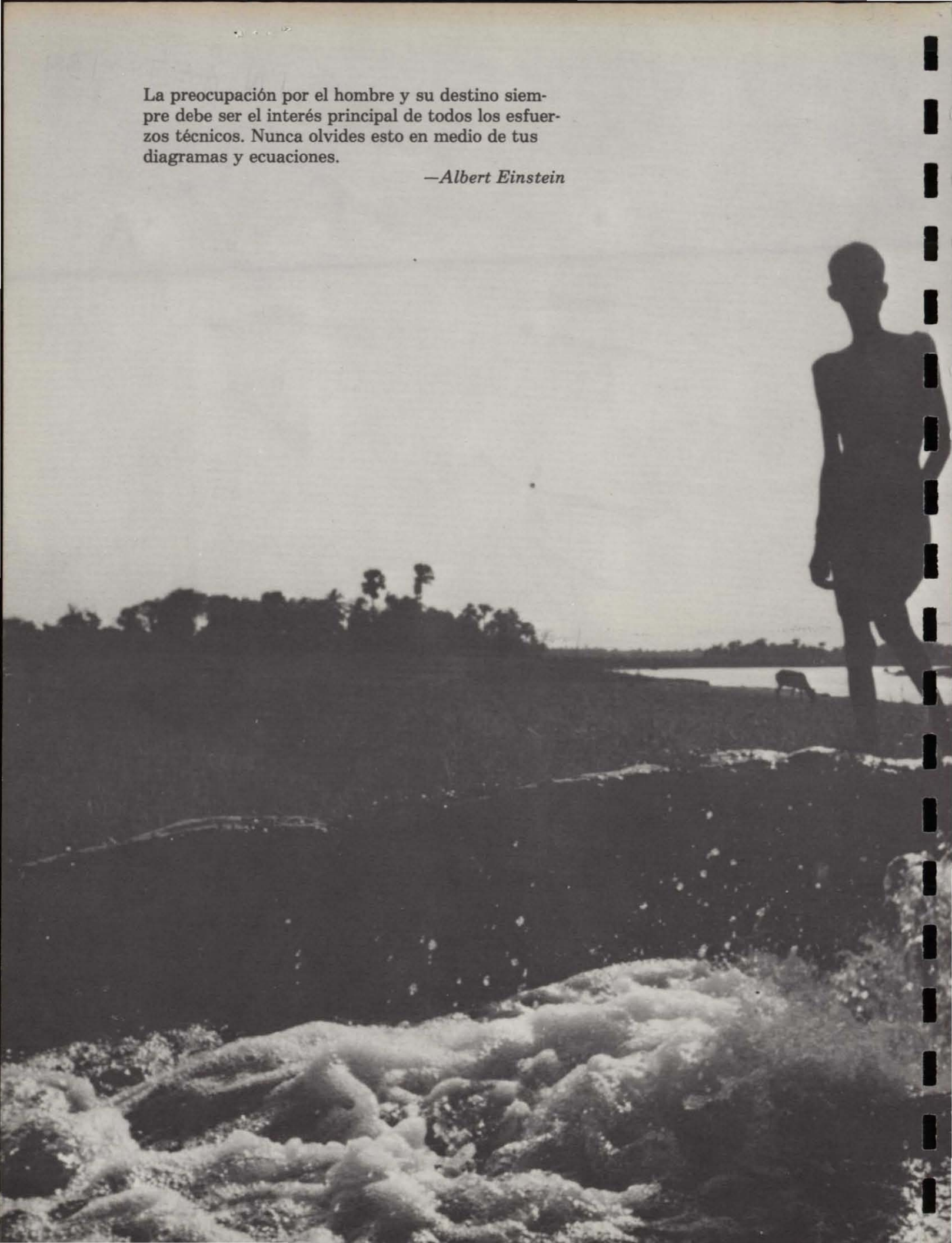
Guía Técnica
de

Manejo de Aguas en Pequeñas Granjas

Provista por la
Agencia de Desarrollo Internacional de los Estados Unidos

La preocupación por el hombre y su destino siempre debe ser el interés principal de todos los esfuerzos técnicos. Nunca olvides esto en medio de tus diagramas y ecuaciones.

—Albert Einstein



Manejo de Aguas en Pequeñas Granjas

Provista por la
Agencia de Desarrollo Internacional de los Estados Unidos

Agradecimientos

Southwest Research Institute agradece a todos aquellos personas y organizaciones que han prestado su tiempo, materiales y conocimientos en forma ilimitada para ayudar a preparar esta guía. En especial agradecemos a las siguientes universades:

Agradecemos en particular los consejos y apoyo continuo de parte de

The University of Arizona
The University of California at Riverside
Colorado State University
Oregon State University
Utah State University

Reconocemos en especial a los consultores técnicos quienes revisaron miles de páginas de material impreso sobre riego y prácticas de manejo de agua; consultores que proporcionaron el beneficio de su experiencia y conocimientos en esos campos:

Howard Haise, Ft. Collins, Colorado
Clyde Houston, Davis, California
Jack Phelan, Arlington, Virginia
Ernest Smerdon, Austin, Texas

Agradecemos en particular los consejos y apollo continuo de parte de Gilbert Corey, Office of Agriculture, y de David L. Rhoad, ambos de la Agency for International Development.

David L. Black, Director del Programa
Escrito por Herbert M. Mason Jr.
Diseño Gráfico por Simon García
Tipografia por M.G. Flake

Esta guía técnica fue preparada bajo el Contrato AID ta/C-1479 por Southwest Research Institute, una organización sin fines lucrativos de desarrollo e investigación, P.O. Box 28510, San Antonio, Texas 78284, EUA.

Los puntos de vista y opiniones presentados en esta publicación son los de los autores y no deben ser atribuídos a la Agency for International Development o a ningún individuo actuando en su nombre.

Tabla de Contenido

Introducción *i*

1 Requerimientos de Agua de los Cultivos 1

2 Nivelación de Tierras para Control del Agua 13

3 Métodos de Riego 25

4 Calidad del Agua y Producción de Cultivos 37

5 Drenaje de Tierras Agrícolas 45

6 Mediciones del Agua y Sistemas de Distribución 53

7 Manejo de los Cursos de Agua 61

8 Abastecimiento de Agua para Riego 69

Sumario 75

Glosario 79

Bibliografía Seleccionada 83

Referencias Seleccionadas 93

Introducción

El hombre ha trabajado en agricultura desde hace 10.000 años, desde que aprendió por primera vez a cultivar la tierra. A partir del año 8.000 A.C. el hombre comenzó a domesticar el trigo salvaje y la cebada y en este proceso se domesticó a si mismo. En números cada vez mayores, familias enteras abandonaron la vida nómada del cazador y comenzaron a doblegar la naturaleza a su voluntad.

La primera labranza comenzó en o cerca del Creciente Fértil, ese arco montañoso de tierra que se curva al norte del desierto Arabe. Unos tres o cuatro mil años más tarde la agricultura fue independientemente desarrollada en el norte de China, Mexico y Perú. El desarrollo de la agricultura en mayor escala es conocido como la Revolución Neolíitica y estableció al hombre como la forma dominante de la vida animal sobre este planeta.

Con el crecimiento de la agricultura, grandes civilizaciones fueron creadas y se levantaron enormes ciudades en lo que una vez fueron paisajes vacios. Sin embargo, la incapacidad de mantener el control sobre las fuentes de agua fue, en muchas ocasiones, la causa de la destrucción de estas ciudades y civilizaciones; la eliminación de la vegetación de las laderas produjo erosión y destruyó la fertilidad del suelo. La historia de la agricultura en las planicies aluviales de la Mesopotamia es la historia de la gente que vivió y creció bajo la amenaza de ataques e invasiones de las tribus del desierto y de las praderas y del fracaso de los canales de riego cuando éstos se llenaban de barro y sedimento. Los hombres de ciencia encuentran que las dificultades que los agricultores encaran hoy en día para utilizar el agua en sus tierras todavía tienen el mismo potencial de desastre.

Lecciones Aprendidas

Al final de 1975 un equipo de especialistas en manejo de agua de la Agencia para el Desarrollo Internacional de los Estados Unidos (AID) se reunió con los agricultores de un país que estaba luchando para aumentar su producción alimenticia para discutir formas de mejorar las filtraciones en el curso de agua que abastecía sus campos. El agricultor-líder del área estaba ansioso para reparar el curso de agua y hacerlo así más eficiente; sin embargo, dió la explicación de que una tercera parte de los usuarios vivían en otro pueblo vecino, negándose a colaborar con los demás en un proyecto diseñado para beneficiar a la comunidad entera. "Mis brazos están abiertos," explicó, "pero mi compañerismo está muriéndose."

Un funcionario local del Servicio de Extensión Agrícola, que entendió que la rivalidad entre los pueblos puede interferir con la implementación de medidas prácticas para el beneficio común, combinó sabiduría con sentido común para así conseguir el final deseado. Primero llevó a todos ellos, menos los más recalcitrantes, a lo largo del curso de agua donde ayudó a sus paisanos a entender cuanta agua se estaba perdiendo. Después eligió al agricultor-líder y a un hombre religioso para visitar los pueblos vecinos, donde se reunieron después de las oraciones de la noche para solucionar sus diferencias. Finalmente todos los agricultores se pusieron de acuerdo en respaldar el proyecto de mejora del curso de agua.

Un equipo especial de entrenamiento fue a trabajar en levantamientos topográficos, mediciones de abastecimiento y pérdidas de agua y otros datos necesarios para reacondicionar el curso de agua a su estado original. Se mantuvo a los agricultores al tanto del progreso que el equipo técnico realizaba. Los resultados fueron lo suficientemente convincentes para que los agricultores se pusieran de acuerdo en mejorar el curso de agua durante la estación santa de Ramadán. Eligieron un día laborable para trabajar desde las 6 A.M. hasta el mediodía, o hasta que cada hombre completara su parte; esta parte, en proporción al tamaño de tierra que el agricultor poseía en el área de influencia del curso de agua.

El trabajo continuó armoniosamente con sólo una interrupción para plantar el trigo. Los contratistas se pusieron de acuerdo en un plan de pago escalonado para construír algunas de las estructuras necesarias del curso de agua y en una ocasión uno de los proveedores de paneles premoldeados les cobró a los agricultores 25% menos de lo que estaba cobrando a las agencias gubernamentales. Los agricultores hicieron ellos mismos la mayoría de las instalaciones y mejoras del canal.

Cuando el proyecto fue terminado los agricultores pudieron ver los resultados de sus esfuerzos con orgullo justificado: casi 3.500 metros de canal grandemente mejorado a un modesto costo. El beneficio palpable fue un 50% de aumento de agua distribuída a los campos.

El Desafio

La agricultura controla directamente la vida económica y social del 70% de la población del mundo. Aunque la situación de la agricultura está mejorando, esta mejora ocurre tan despacio que el progreso económico permanece inhibido, las mejoras en la vida rural siguen siendo frustantes y en grandes cantidades poblaciones antes aferradas a la tierra la abandonan por centros urbanos muchas veces con consecuencias trágicas para ellos y la comunidad.

Se han realizado vigorosos esfuerzos en el pasado para incrementar rápidamente la producción agrícola en regiones del mundo con deficiencias de alimentos, pero en general no se ha alcanzado el resultado esperado. Para incrementar los rendimientos es necesario cuidadosa planificación con competencia técnica y desembolso de grandes sumas de dinero. Aunque el total de la producción está mejorando, el rendimiento per capita se mantiene igual o aún declina si se tiene en cuenta el rápido crecimiento de la población del mundo.

La construccion de nuevas estructuras de riego, por ejemplo, frecuentemente no es la acción que produzca los beneficios más rápidos. Podría resultar más beneficioso si los recursos se aplicaran en mejorar las prácticas de manejo de agua en las mismas fincas, donde el agua puede ser utilizada en for-

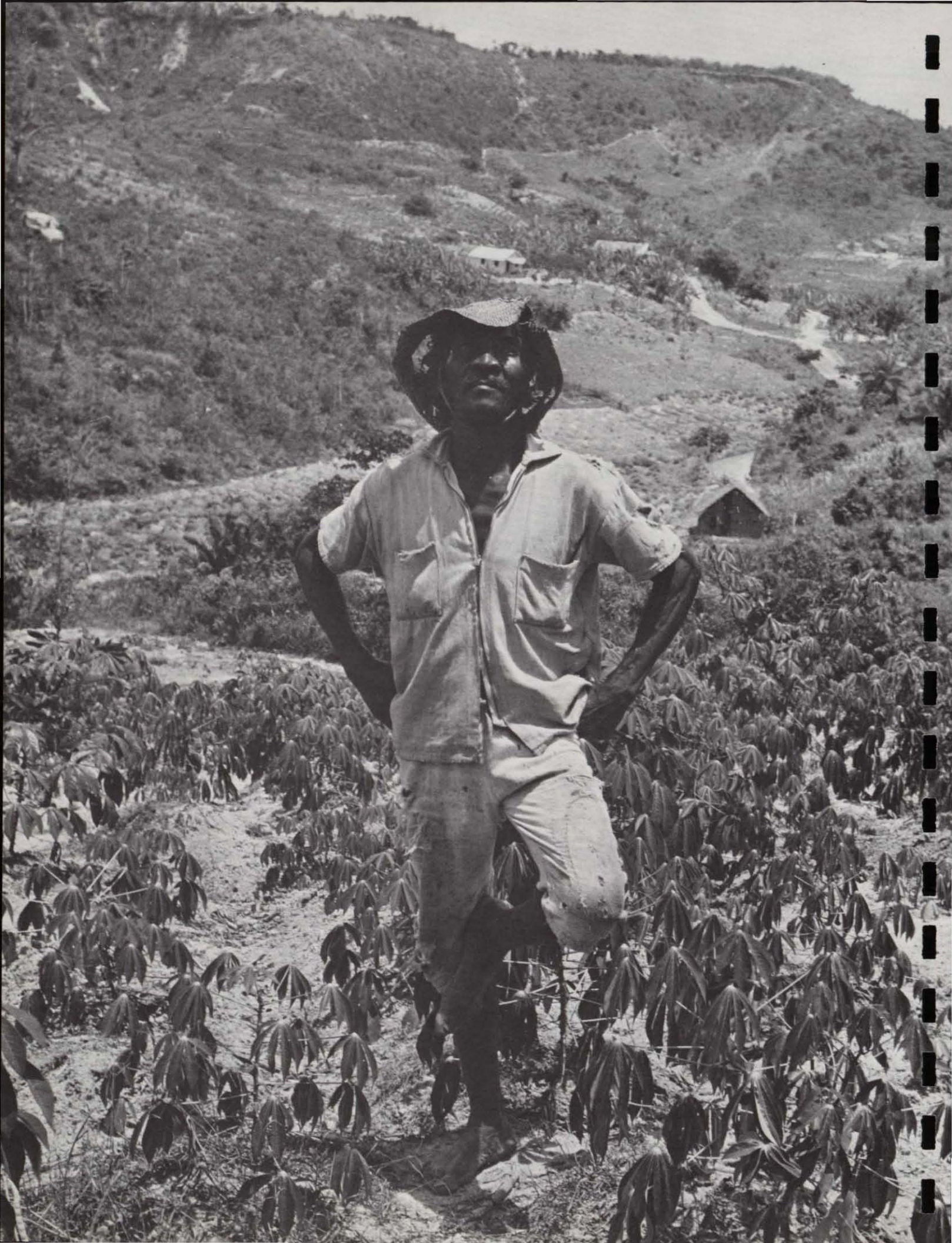
ma más provechosa para la producción de fibras y alimentos.

Se ha aprendido mucho y hay mucho que aprender acerca de como ayudar los agricultores en el campo. Varios aspectos del proceso de transferencia de tecnología se destacan. Deben ser considerados la posición del agricultor en la estructura de su propia sociedad y sus hábitos para trabajar la tierra. Al proponer soluciones a lo que pueda parecer un problema simple, el técnico agrícola o el agente de extensión tiene que entender que las instituciones locales y las relaciones juegan un papel tan importante como la tecnología más sofisticada para alcanzar soluciones viables.

En muchos países los trabajos de campo proporcionan ejemplos de lo que se puede lograr con la participación de los agricultores y con poco capital. Cuando se les enseñó a los agricultores como reparar pérdidas en un curso de agua, la pérdida de agua disminuyó a la mitad. Cuando los agricultores se quejaron, con justificación, que las mangueras hechas en fábrica para los sifones eran de un costo prohibitivo, se fabricaron sifones eficientes utilizando cubiertas de llantas a un costo mínimo. No solamente los agricultores pudieron entonces distribuir el agua donde era necesaria sino también que una nueva industria casera fue creada para fabricar los nuevos sifones. Cuando un agricultor se quejó que su cosecha había sido muy inferior a lo esperado, un examen de sus tierras mostró que la causa principal de este problema era el desnivel del terreno. Una vez que el problema fue identificado y el terreno nivelado los rendimientos subieron 50 porciento sobre los años anteriores. Mejoras como éstas, de bajo costo, son relativamente fáciles de implementar y son altamente palpables para el agricultor.

La premisa filosófica de esta presentación es que el agricultor es la llave para una operación exitosa de cualquier sistema de riego y que él va a reaccionar en forma positiva a las nuevas técnicas que son sólidas, beneficiosas y compatibles con su cultura. Los agricultores quieren soluciones inmediatas y directas a sus problemas una vez que han sido identificados y ellos pondrán en uso una nueva tecnología cuando la ven demostrada en terrenos familiares y cuando estén convencidos que ésta les dará resultado. El empleo de tecnologías en campos donde sus beneficios pueden ser observados, es crucial para el proceso de transferencia.

Los capítulos siguientes sirven como una guía para algunas de las tecnologías que están disponibles para ayudar al agricultor a obtener el máximo rendimiento de producción haciendo el mejor uso de los limitados recursos de agua.



1

Requerimientos de Agua de los Cultivos

En 1975 un grupo técnico de consultores de la AID condujo investigaciònes para poner a prueba el conocimiento de los agricultores sobre la relación entre la tierra, el cultivo y el agua para ayudarlos a mejorar la producción de los cultivos ahorrando al mismo tiempo agua. Los resultados pueden ser aplicados en cualquier pais.

"Cuando el agua está disponible," preguntaron "¿cómo deciden qué cultivo necesita ser irrigado?" Para el 40 por ciento de los agricultores el aspecto de la tierra era el factor más importante para decidir cual cultivo necesitaba más agua; el 31 por ciento respondió que la última fecha de riego era la más importante; para el 26 por ciento la apariencia de las plantas era lo más indicativo y pocos no tenían ninguna idea o lo dejaban a la voluntad de Dios.

Se les preguntó entonces como determinaban cuando regar. El 79 por ciento respondió que lo calculaban por la apariencia del cultivo, mientras que el 16 por ciento basaban sus decisiones en la apariencia de la superficie de la tierra. Ninguno de los agricultores entrevistados sabía que era necesario revisar el contenido de humedad del subsuelo. Además, tenían muy poco conocimiento de la capacidad efectiva de retención de agua del perfil del suelo, o de la profundidad a la cual el agua penetraría con un riego normal. Cuando se les preguntó a que profundidad la tierra estaría húmeda si se regaban 125 milímetros de agua en sus tierras, las respuestas oscilaron entre 12 a 75 milímetros. Más aun, los estudios demonstraron que la mayoría de las tierras en el área se mojarían hasta una profundidad de 750 milímetros con un riego de 125 milímetros. Los agricultores aún tuvieron más dificultad para adivinar la profundidad del sistema radicular para diferentes cultivos.

Se observó que en algunas temporadas los agricultores irrigaban el cultivo dos a tres veces más de lo necesario. Esto era de esperarse debido a la falta de información que los agricultores poseían sobre la humedad de la tierra, o de la habilidad de la planta — con su sistema extenso de raíces de extraer agua de esta reserva de humedad.

Para obtener crescimiento saludable es necesario conocer los requisitos de agua para los diferentes cultivos.

Por más de 100 años se han llevado a cabo estudios sobre los requerimientos de riego, pero en las últimas décadas estas investigaciones han sido más científicas e intensas. En la actualidad se posee una vasta información que ayudará a predecir los requisitos de agua para los cultivos. Esta es una información vital para los técnicos encargados de cooperar con los agricultores a conseguir una economía real en el uso del agua que a su vez incrementará la producción de alimentos.

En la agricultura de riego, el abastecimiento de agua puede ser el factor limitante o la disponibilidad de tierra puede determinar la cantidad de alimentos a producir. Donde el agua es costosa o escasa, los riegos deberán ser programados para máxima productividad de los cultivos por unidad de agua. Por otra parte, cuando la tierra buena es más escasa que el agua, los riegos deberán ser planeados para máxima productividad por unidad de área plantada. En cualquiera de estos casos los agricultores necesitan ser aconsejados sobre la forma más efectiva de utilizar el agua a su disposición.

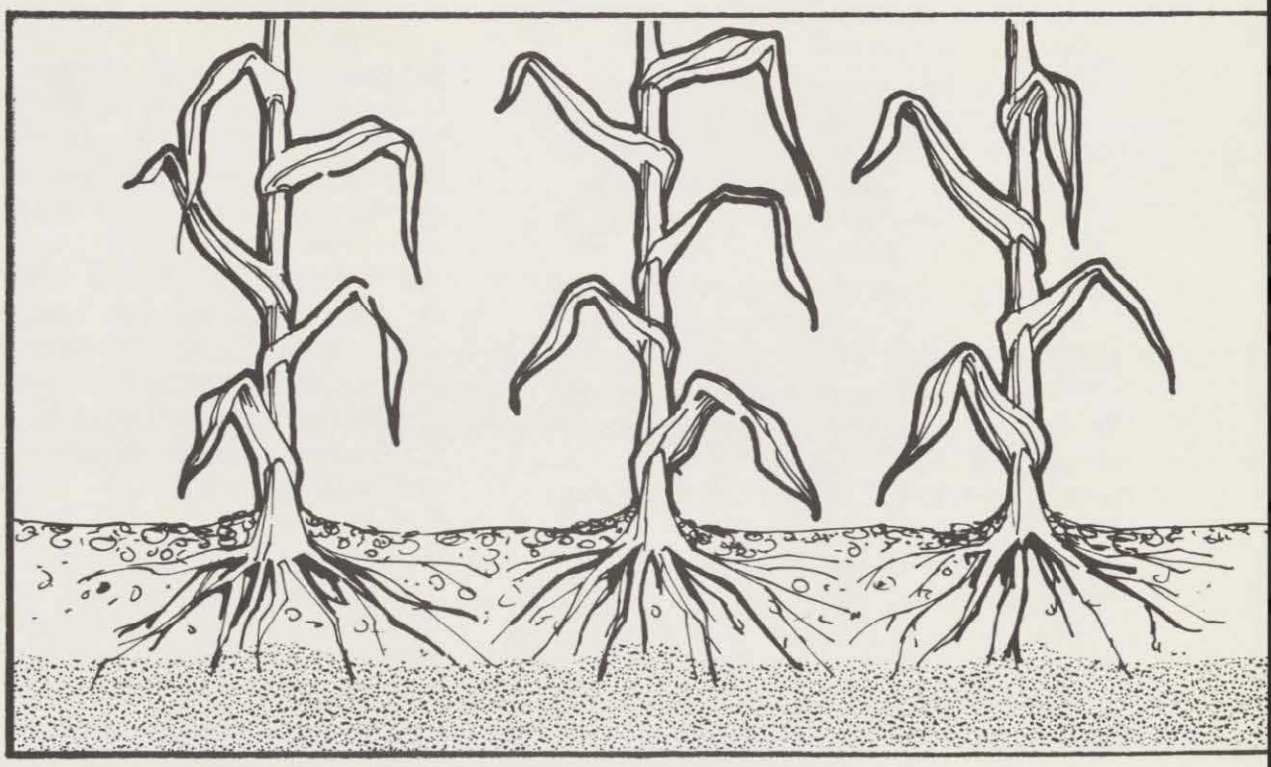
Métodos de Evapotranspiración

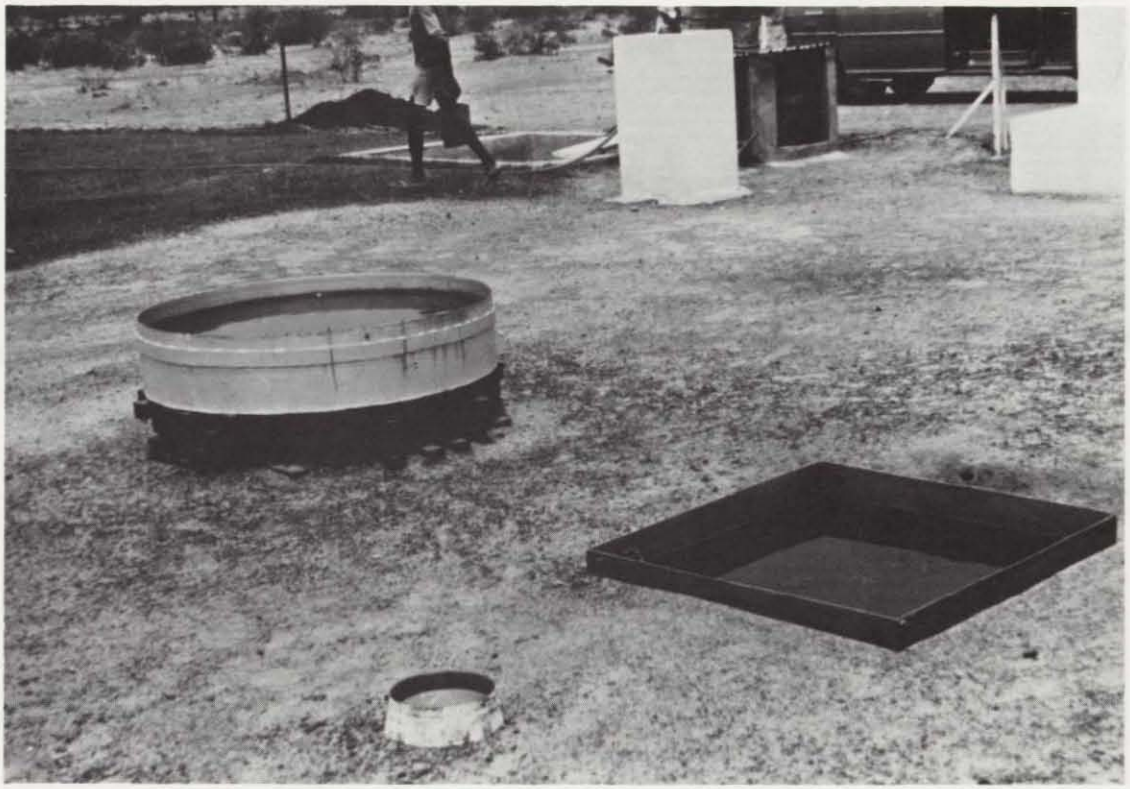
La cantidad de agua absorbida y transpirada por el cultivo en crecimiento vegetativo, más la inevitable evaporación de humedad de la superficie de la tierra, es lo que el cultivo consume. Esto se conoce también como evapotranspiración. La velocidad de la evapotranspiración es muy importante ya que establece la cuota en que un sistema de riego debe proveer agua a los campos que aseguren plantas sanas y cosecha abundante.

El punto inicial para un riego eficiente es saber estimar la evapotranspiración con cierta precisión. Esta precisión es imposible de obtener a menos que las condiciones científicas sean muy exactas y tampoco es imprescindible porque los agricultores no pueden, ni bajo las mejores circunstancias, controlar el agua que llega a sus campos al grado de exactitud y precisión que las cifras de evapotranspiración indiquen. Afortunadamente, la determinación de un cálculo de la evapotranspiración dentro de un ± 10 por ciento de las necesidades verdaderas es suficientemente precisa para las necesidades del agricultor y existen métodos disponibles para que los técnicos obtengan las estimaciones necesarias. Hoy en día los técnicos disponen de métodos más simples para llegar a estas conclusiones.

Hay muchos factores que afectan la evapotranspiración de los cultivos. Entre ellos se encuentran las variaciones de viento, temperatura y radiación solar. El tamaño de los terrenos y la naturaleza de los alrededores, la altura, disponibilidad de tierra y agua, salinidad, los métodos de riego, fertilizantes, enfermedades infecciosas, los insectos y los métodos locales de cultivo son también importantes en varios grados. En vista de esto y de otras variables, los agricultores deben conocer con aproximación la cantidad de agua en milímetros por día

Los agricultores necesitan entender la capacidad efectiva de retención de agua de los suelos y aprender a que profundidad el agua de riego penetrará en la zona radicular.





Las bandejas de evaporación Clase A (izquierda) son de gran utilidad para predecir los requisitos de agua de los cultivos en la mayoría de los climas.

que deben utilizar para cada tipo de cultivo y que cantidad deberá aplicarse en cada riego.

Hay por lo menos treinta técnicas diferentes para calcular estos factores y obtener las soluciones y virtualmente todas ellas implican balance de energía, transferencia de masa y combinaciones de ecuaciones. Todas requieren una compleja instrumentación y personal altamente entrenado para obtener resultados éxactos. Afortunadamente, hay un método más simple para determinar la evapotranspiración que requiere menos datos científicos.

El método de Evapotranspiración de Bandeja es muy recomendado porque suministra una forma directa de medir la evaporación en el campo. Automáticamente integra todos los factores que afectan la evaporación y cuando se estudia cuidadosamente el medio ambiente de la bandeja, la evapotranspiración promedio mensual puede ser estimada hasta $\pm$ 10 por ciento, o con más precisión aún en la mayoría de los climas.

La bandeja de evaporación comúnmente usada es la bandeja Clase A, de la Oficina Meteorológica de los Estados Unidos. Éste es un recipiente de 121 centímetros de diámetro por 25.5 centímetros de profundidad. Las bandejas se fabrican de hierro galvanizado calibre 22 o de metal monel de 8 milímetros. Están pintadas por dentro con una mano de pintura de aluminio que debe ser renovada anualmente. Las bandejas son colocadas en una plataforma de madera con el fondo colocado a 15 centímetros arriba del nivel del suelo. Se coloca en la bandeja 5 centímetros de tierra después de lo cual se le agrega agua hasta que el nivel sea de 5 centímetros por debajo del borde; no se debe permitir que el nivel disminuya de 7.5 centímetros debajo del borde para evitar así el exceso de turbulencia de aire cuando el viento sople por arriba de la bandeja.

Fórmula Aqui

Cuando son adecuadamente instaladas y mantenidas, estas bandejas Clase A proporcionan una medida exacta de los efectos in-

ET(crop) = kc × ETo

tegrados de radiación, viento, temperatura y humedad sobre la evaporación desde una superficie expuesta de agua, reflejando la reacción que los cultivos tienen hacia las mismas variables climáticas. Un técnico con experiencia reconocerá que hay factores que pueden producir diferencias muy grandes en las pérdidas de agua entre las superficies al expuestas y las plantas mismas. Por ejemplo, la reflectividad de radiación desde las superficies de agua raramente exceden el 8 por ciento, pero la mayoría de la vegetación expele tanto como un 25 por ciento de la radiación solar recibida. En su mayor parte, los cultivos pierden alrededor de 95 por ciento de su agua durante las horas del día, mientras que el calor retenido adentro de la bandeja puede producir una distribución de evaporación casi igual durante el día o la noche.

El medio ambiente inmediato de la bandeja tiene una relación directa sobre la tasa de evaporación, pero se han encontrado coeficientes que toman en consideración la mayoría de las variables y unas tablas y fórmulas simples permiten reconciliar las diferencias. Si el sitio es conveniente y la manutención regular, las bandejas Clase A son altamente recomendadas para predecir los requerimientos de agua de los cultivos por períodos de diez o más días.

Cálculos de Evapotranspiración

No importa el método que se use para calcular la evapotranspiración, hay elementos comunes en los pasos finales de cualquier procedimiento. Una vez que el valor normal de referencia de evapotranspiración potencial ha sido determinado se debe multiplicar por un coeficiente del cultivo para conseguir así la cifra real de evapotranspiración. Este valor ETo, ha sido definido como "la tasa de evapotranspiración de una superficie continua de 8 a 15 centímetros de pasto alto, de altura uniforme, creciendo activamente, cubriendo completamente el terreno y sin necesidad de agua."

Como ilustración, en el caso del método de evapotranspiración de bandeja el valor ETo es calculado con una simple ecuación con referencia a la evapotranspiración de un cultivo.

$$ETo \times Kp = E \text{ (bandeja)}$$

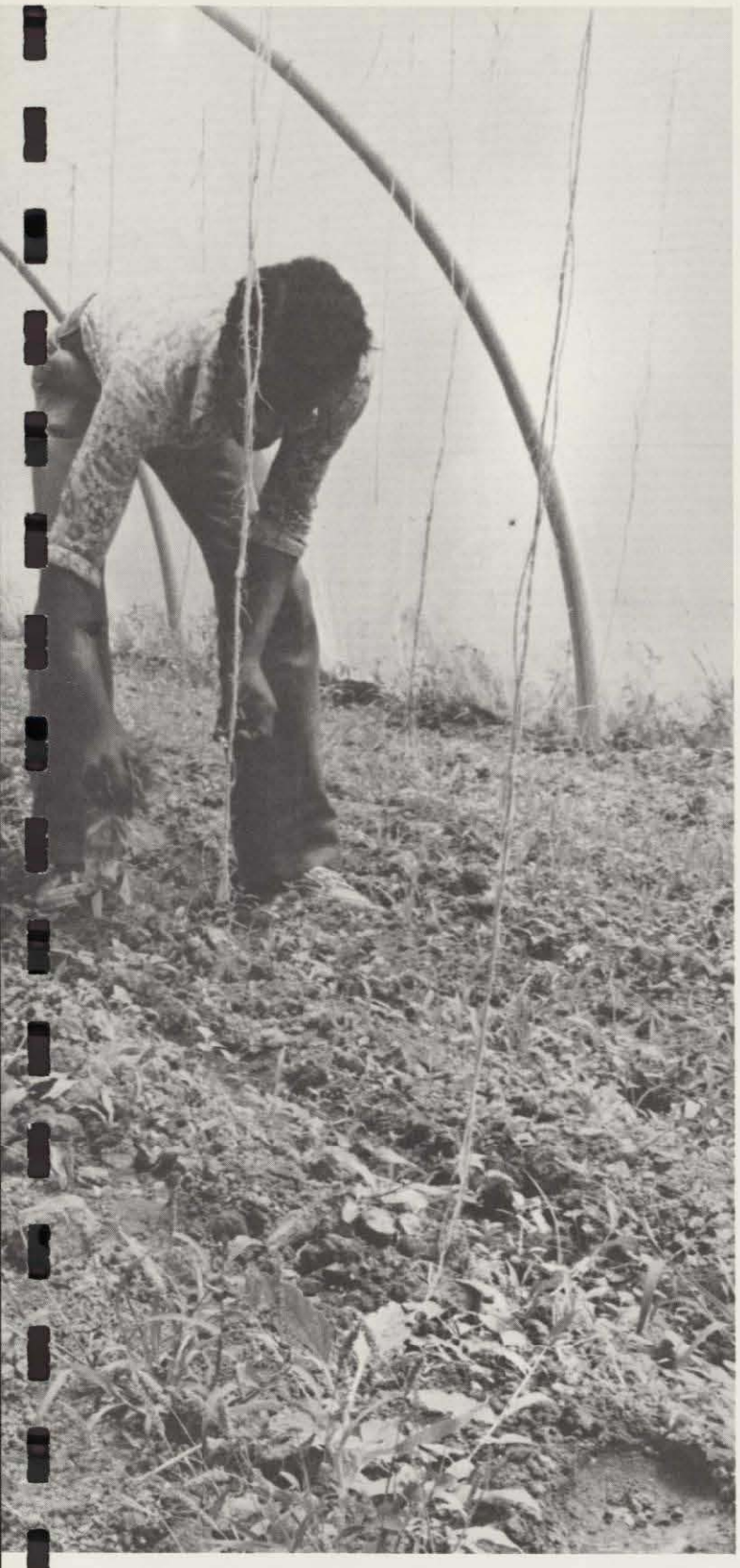
donde Kp es el coeficiente de bandeja empíricamente determinado y E (bandeja) es la evaporación medida de la bandeja en mm/día. Los valores de Kp dependen del viento, humedad y de las condiciones del área que rodea la bandeja. Los valores Kp de 0.7 a 0.8 son comunes, pero pueden oscilar entre 0.4 y 0.85 en condiciones extremas.

La evapotranspiración del cultivo pronosticada diariamente, ET (cultivo), es determinada por otra simple ecuación, empleando el coeficiente del cultivo que sigue:

$$ET \text{ (cultivo)} = kc \times ETo$$

donde kc es el coeficiente del cultivo que depende del cultivo y de su estado de crecimiento en el momento. Típicamente, los valores kc son pequeños durante el crecimiento inicial de las plantas; par ejemplo, 0.35, aumentando cuando el cultivo alcanza

La tasa de evapotranspiración juega un papel muy importante para determinar cuanto riego es necesario para cultivos específicos. La transpiración puede ser reducida cubriendo los cultivos con carpas plásticas, permitiéndo que el agua transpirada se pueda recolectar y usar otra vez.



críticas de floración y frutificación. Los valores típicos máximos de kc para cultivos de grano, tales como maíz serán de 1.0, o un poco más altos.

Los valores de kp para variadas condiciones climáticas y para valores de kc en cultivos seleccionados son dados a conocer en la publicación de 1975, *Crop Water Requirements,* publicada por la Organización para la Alimentación y la Agricultura de las Naciones Unidas (FAO). Otro informe que es muy útil y amplio, *World Water for Agriculture,* fue preparado por la Universidad del Estado de Utah para la AID. Este informe resume los registros climáticos de estaciones meteorológicas a través del mundo, tomados de datos recolectados por la Organización Meteorológica Mundial. Los datos presentados son muy importantes para evaluar la disponibilidad de agua para la producción de alimentos sin el uso de riego, e indican la necesidad de agua para muchas localidades en los noventa y tres países incluídos en el informe. Con estos datos, los técnicos pueden calcular fácilmente los requerimientos de agua en estos lugares.

Un Comentario Final

Ha sido comprobado que las pérdidas de agua a través de la vegetación a lo largo de los canales de riego pueden ser reducidas destruyendo innecesarias freatofitas, plantas con un alto índice de transpiración. La práctica común de destruir estas freatofitas sigue siendo debatida debido a la posible modificación del medio ambiente. La transpiración puede también ser reducida construyendo cortinas rompevientos que disminuyan el movimiento del aire sobre el cultivo y cercando los cultivos dentro de estructuras donde el agua transpirada pueda ser recogida y usada otra vez. Las investigaciones realizadas demostraron que rociando el cultivo con materiales reflectores, en algunas plantas reduce la absorción de energía solar, reduciendo así la temperatura de la hoja con la consecuente disminución de

Demasiado riego es a menudo peor que insuficiente riego.

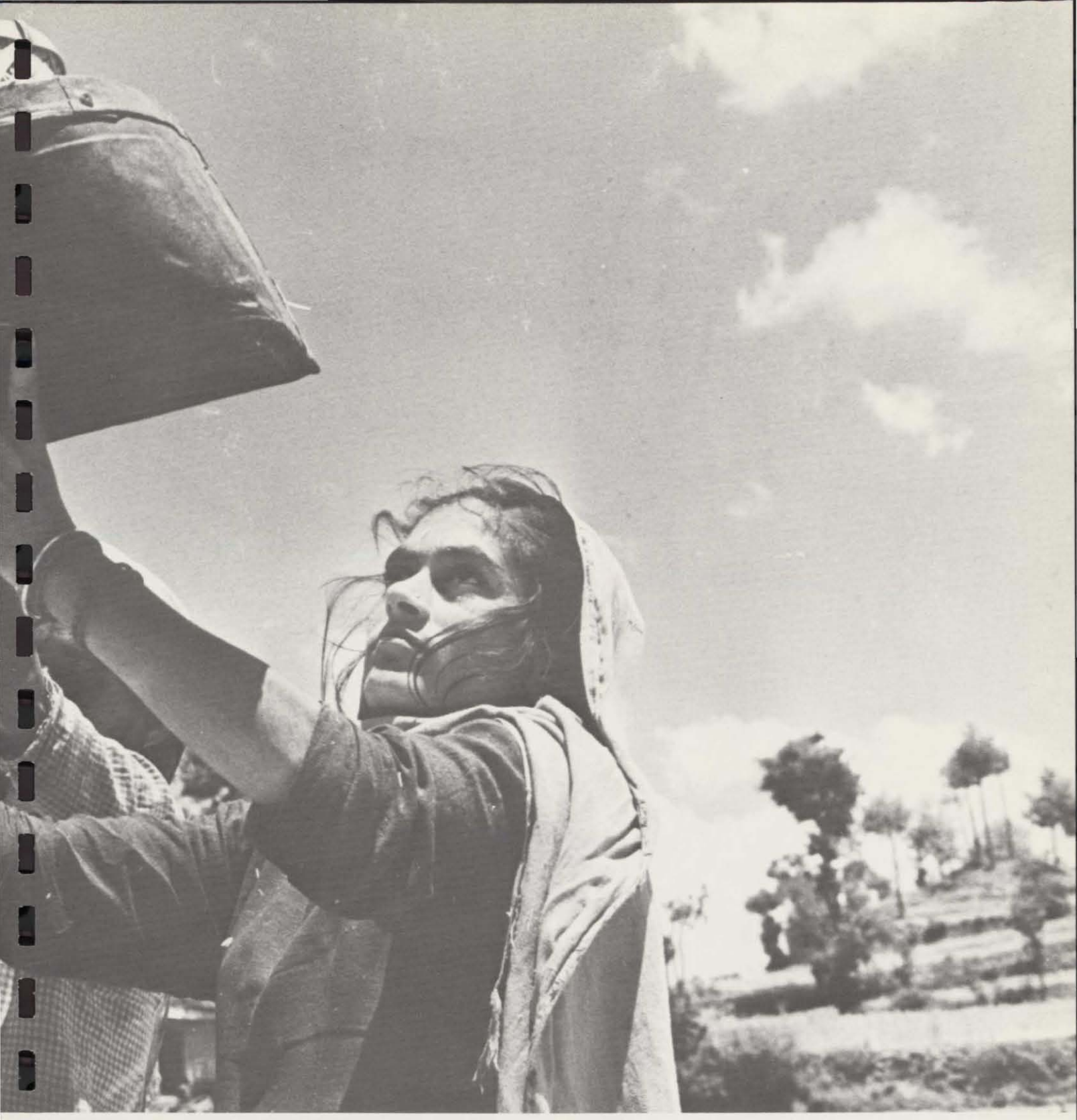
la tasa de transpiración. Los productos químicos antitranspirantes son altamente efectivos en cerrar los estomas de las hojas reduciendo la transpiración, pero esta práctica restringe la absorción esencial de dióxido de carbono, amenazando el crecimiento de las plantas. Estos productos químicos son costosos y poco prácticos para su uso extenso.

El conocimiento de evapotranspiración es una ayuda necesaria para el plan de riego y el ahorro del agua y también para incrementar el rendimiento de los cultivos. Forma parte de un programa más amplio que abarca las investigaciones de manejo de agua y es parte de un esfuerzo para alcanzar un entendimiento de las interacciones locales de cultivo y clima. Sin embargo, hasta que todos los otros problemas relacionados con la aplicación de agua sean resueltos a nivel de finca, conseguir alta precisión en evapotranspiración tiene poco significado. El punto más importante cuando se trata de asignar fondos para investigación tiene que ver con prioridades, de que es lo que se va a investigar, y como estos fondos pueden ser mejor empleados en la identificación de los serios problemas de manejo de agua a nivel de finca.

Otro factor que debe ser considerado es la práctica tan común de distribuir el riego por turnos. Los técnicos pueden aconsejar a los agricultores cuando regar para que el

Los pozos tubulares pueden abastecer el agua necesaria, pero la regulación y la cantidad de agua suministrada es crítica para el cultivo.

riego coincida con las etapas críticas de crecimiento de las plantas — aunque estas etapas probablemente no coincidan con un turno en particular. Los agricultores a menudo intercambian sus turnos; sin embargo, ésto es un método poco satisfactorio de resolver el problema, como tampoco lo es la práctica de comprar agua de dueños de pozos particulares. El problema de la entrega de agua por turnos merece seria atención de los planificadores gubernamentales del riego para evitar la reducción de la producción de alimentos.



Cuando llega el momento de diseñar y operar un nuevo proyecto de riego, es esencial tener información sobre los requerimientar de agua de los cultivos. La habilidad de estimar la evapotranspiración con razonable precisión es imprescindible cuando se trata de proyectar canales de riego para abastecer pequeñas parcelas a ser sembradas con una variedad de cultivos durante períodos de uso máximo de agua.

2

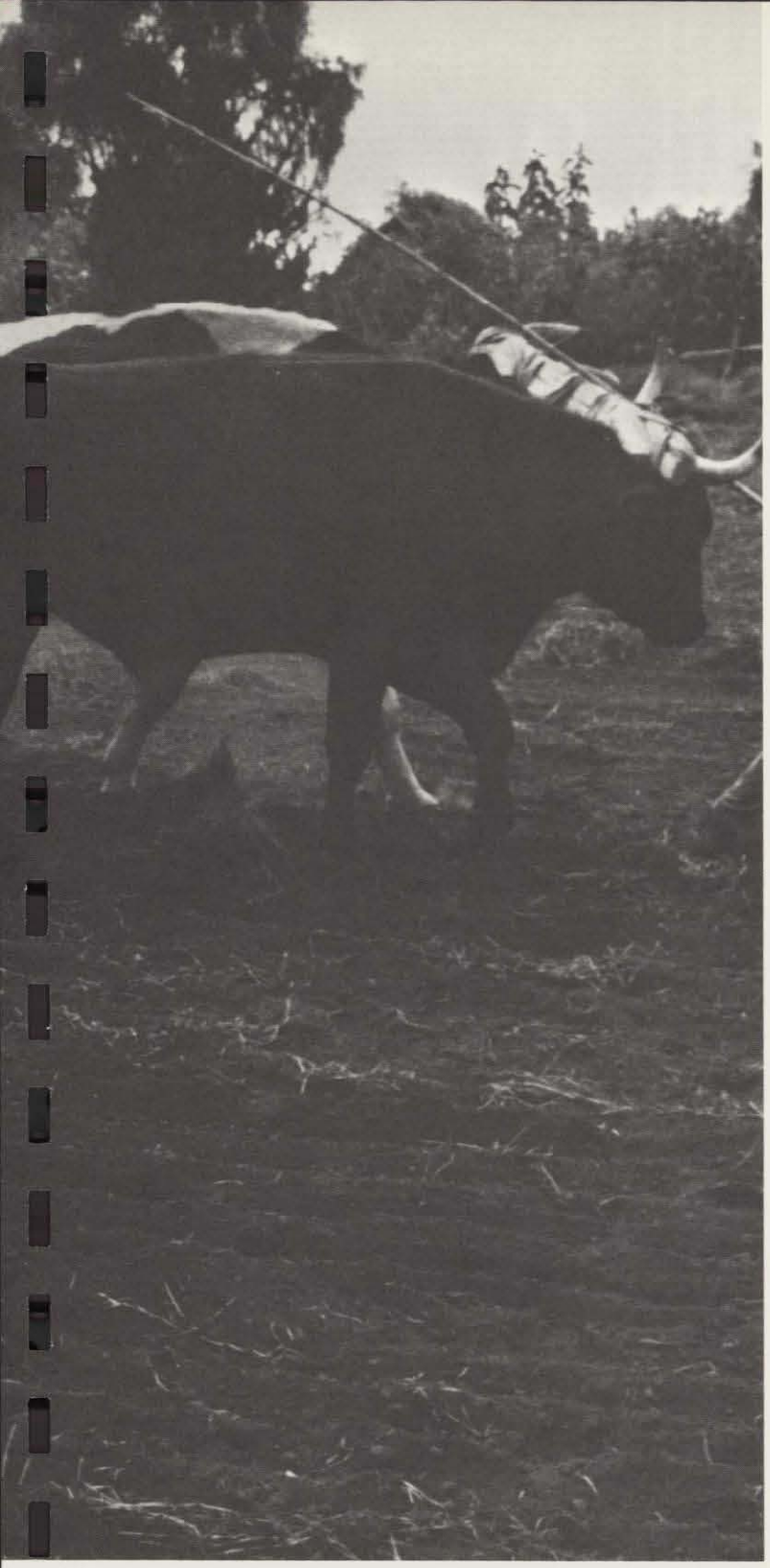
Nivelación de Tierras para Control del Agua

En la mayoría de las fincas bajo riego el agua corre sobre la superficie del terreno donde penetra en la tierra. La superficie de los campos de regadío debe ser pareja y relativamente plana para que el agua se distribuya por igual sobre la porción cultivada del terreno. La naturaleza pocas veces proporciona terrenos con superficies ideales y generalmente los agricultores tienen que nivelar sus tierras.

Una nivelación de tierras de alta precisión, que proporcione las condiciones necesarias para un eficiente riego superficial y subterráneo, puede considerarse como uno de los adelantos más grandes de riego del siglo pasado. Programas serios de nivelación de tierras comenzaron en los años de 1850 con el uso de la traílla tirada por animales, técnica que con el tiempo fue superada. Un ejemplo de esta cresciente sofisticación es la tecnología que emplea rayos laser que indican con precisión las irregularidades de la superficie para removerlas con máquinas niveladoras.

Las investigaciones realizadas en todo el mundo han demostrado que la producción de cultivos es afectada en forma adversa por la aplicación irregular de agua en las tierras mal niveladas; invariablemente, algunas partes del terreno reciben demasiada agua y otras muy poca. Una investigación de este problema, patrocinada por AID, fue realizada en quince parcelas de tierra de 6 × 6 metros cuadrados con diferencias de elevacion de 8 a 27 centímetros entre las partes bajas y altas respectivamente. Los resultados de estas tierras, que fueron sembradas con algodón, demostraron una reducción del 50 por ciento en rendimiento en las secciones bajas que fueron regadas en exceso comparadas con la producción de las partes más elevadas y medias.

Una buena nivelación será útil para cualquier cultivo. Sin embargo, no todos los terrenos permiten la nivelación. Suelos pedregosos, arenosos y orgánicos, generalmente poseen una capacidad de absorción tan grande de agua que el nivelado



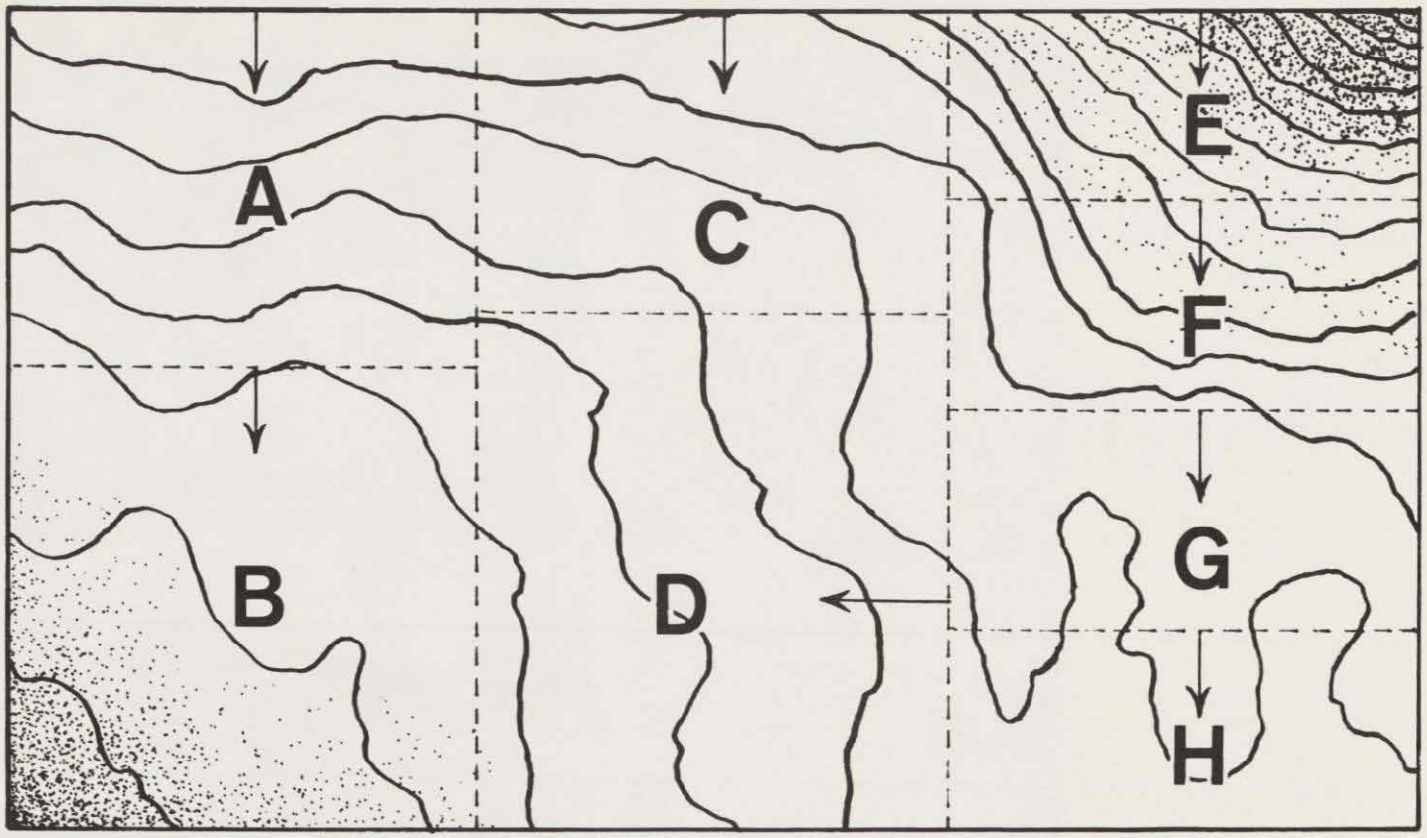
para riego superficial puede resultar de poca utilidad. Si después del riego inicial la tierra absorbe agua a una razón que excede los 75 milímetros por hora, el riego superficial será tan deficiente que no solamente se gastarán enormes cantidades de agua sino que también surgirán problemas de salinidad y drenaje. Se puede utilizar un límite más alto de 100 milímetros por hora si cada una de las parcelas a ser regada es pequeña y el volumen de riego es grande. Además, existen algunos suelos que tienen la calidad justa de absorción pero que no son lo suficientemente profundos para que el nivelado resulte práctico. El riego por aspersión puede ser en estos casos la solución indicada.

Si la absorción de agua y la profundidad del suelo son satisfactorias, los agricultores y los técnicos deberán asegurarse de que

hay suficiente agua disponible para regar una vez que la tierra esté nivelada. Cuando el método de riego elegido es en franjas o algún tipo de inundación, el flujo de agua debe ser suficiente para que el agua pueda distribuirse uniformemente a través del terreno y obtener la justa distribución lateral con un mínimo de infiltracción profunda.

Cuando el método de riego es por hileras o surcos, debe haber suficiente agua disponible para regar varios surcos al mismo tiempo. Si se dispone solamente de una pequeña cantidad de agua, el agricultor puede almacenar agua de noche que sumada a la provisión diaria será suficiente para satisfacer totalmente sus necesidades. De lo contrario, el nivelado no será práctico y los técnicos podrían recomendar el riego por goteo o por aspersión, siempre que estos métodos sean económicamente factibles.

El nivelado de tierras para el cultivo de arroz data de tiempos prehistóricos cuando los labradores primitivos construían diques de poca altura alrededor de sus terrenos y usaban el nivelado de agua para remover las irregularidades de la superficie. Esto era efectuado soltando la superficie del suelo, llenando las parcelas con agua y rastrillando las partes altas. Este sistema todavía está en uso, aunque generalmente se piensa en el "embarrado" como un método de preparación para el semillero y no como un



Un buen nivelado de tierra comienza con un estudio del campo que proporcione un mapa de contorno en el que se vean las diferencias de elevación del terreno del agricultor.

método adecuado de nivelado de tierras. Sin embargo, en algunas áreas que han sido recientemente regadas tres operaciones de "embarrado" comunmente nivelarán el terreno. En todo el mundo, el cultivo del arroz emplea más agua de riego que ningún otro cultivo; millones de hectáreas de tierra han sido tratadas de esta forma para cultivar el alimento básico de Asia. El "embarrado" tiene definidas limitaciones ya que destruye la estructura del suelo e inhibe el crecimiento de ciertas plantas que no se adaptan al medio ambiente húmedo.

Cuando se trata de nivelar tierras áridas, el proceso es bastante sencillo. La vegetación nativa y los residuos de las cosechas anteriores que interfieren con las operaciones de nivelación pueden ser extraídas manualmente o con maquinaria. El terreno es medido, estacado y levantado topográficamente por técnicos, ya sean de agencias gubernamentales o privadas, quienes proporcionarán los cálculos y datos necesarios de corte y relleno. Como paso final, la tierra se afloja antes de que se inicien los trabajos de nivelado.

La nivelación se puede llevar a cabo en diferentes formas. No todas ellas requieren un equipo costoso o sofisticado. La mejor época de llevar a cabo los estudios preliminares de nivelación — y ciertamente el mejor tiempo para ejecutar el trabajo de nivelado — es durante la estación de sequía. Es potencialmente perjudical para el suelo operar equipos pesados durante la estación lluviosa o a través de terrenos lodosos. Aunque el agricultor puede atacar el problema de irregularidades superficiales de su terreno usando herramientas manuales diponibles, estos métodos son ineficientes y pocas veces

efectivos. Esta nivelación manual de pequeños montículos y lomas es lograda más facilmente cuando el campo ha sido regado antes de ser sembrado. En muchas partes del mundo, para mayor eficiencia en la nivelación, se usan traíllas de madera con hojas de acero que son haladas por un par de bueyes o mulas y aunque este método no puede compararse al trabajo realizado con equipo mecanizado, se debe recordar que alguna forma de nivelación es mejor que nada. El ahorro de agua y el incremento de producción están relacionados con el grado de nivelación que pueda llevarse a cabo.

Excepto en las ocasiones ya mencionadas, donde el agricultor puede nivelar pequeñas parcelas de tierra mediante fuerza manual o animal, las operaciones mayores de

Cuando no se dispone de equipo mecanizado, el nivelado de la tierra puede iniciarse con herramientas de mano que eliminen las grandes irregularidades del terreno.

Tractores con palas niveladoras (traílla) son ideales para los terrenos con pocos desniveles.

movimiento de tierra deben ser efectuadas con maquinaria especializada y es entonces cuando el costo se convierte en factor de gran importancia. En los principales valles del mundo bajo riego el nivelado de tierras requiere el movimiento de 1.000 metros cúbicos de tierra por hectárea o un poco menos. Si un estudio indica que para nivelar es necesario mover 2.000 metros cúbicos de tierra por hectárea, el nivelado no será económicamente recomendable; en este caso, el riego por aspersión puede ser una alternativa económica.

Es prácticamente imposible nivelar tierras sin maquinaria. La máquina apropiada es niveladora de suelos, que es capaz de recoger pequeñas tajadas de la superficie del suelo y depositarlas en capas similares en los puntos bajos. Las niveladoras comúnmente son movidas a tractor, aunque también las niveladoras arrastradas por animales han sido empleadas con éxito. Tractores con llantas de caucho están poniéndose más populares que los tractores de oruga para nivelación de tierras agrícolas porque son más rápidos. Se pueden conseguir niveladoras para tractores pequeños de 35 caballos de fuerza que pueden nivelar

Las aplanadoras de madera son fáciles de construir y pueden ser arrastradas a través de los campos por bueyes o mulas.

Las traíllas de metal arrastradas por animales de tiro pueden ser substituidas por maquinaria de nivelación de tierras halada a tractor.

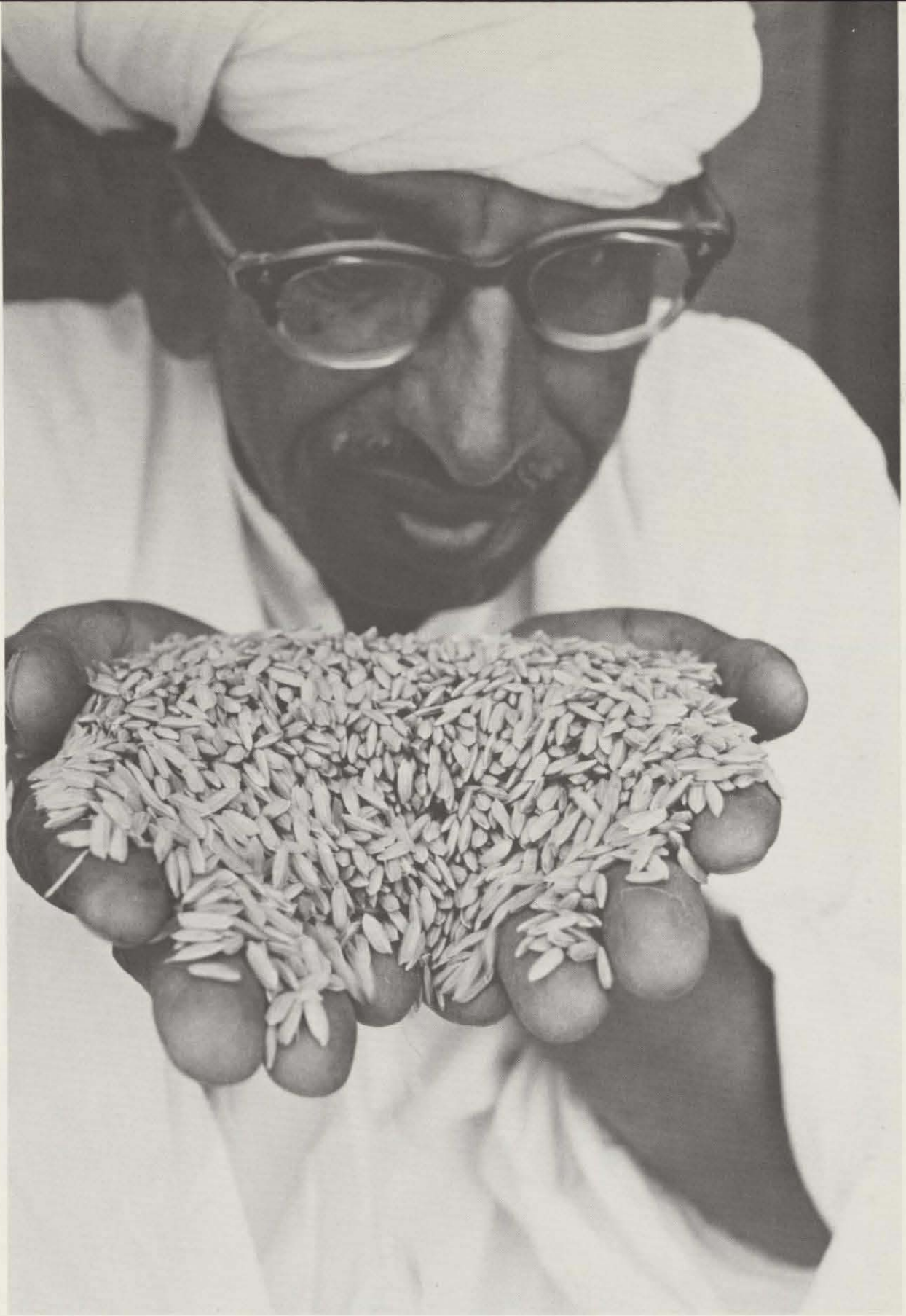
con eficiencia parcelas pequeñas de media a una hectárea. En ningún caso se recomienda el uso de topadoras (bulldozers) para nivelar tierras agrícolas; son totalmente ineficientes para esa clase de trabajo y con ellas es imposible nivelar con precisión.

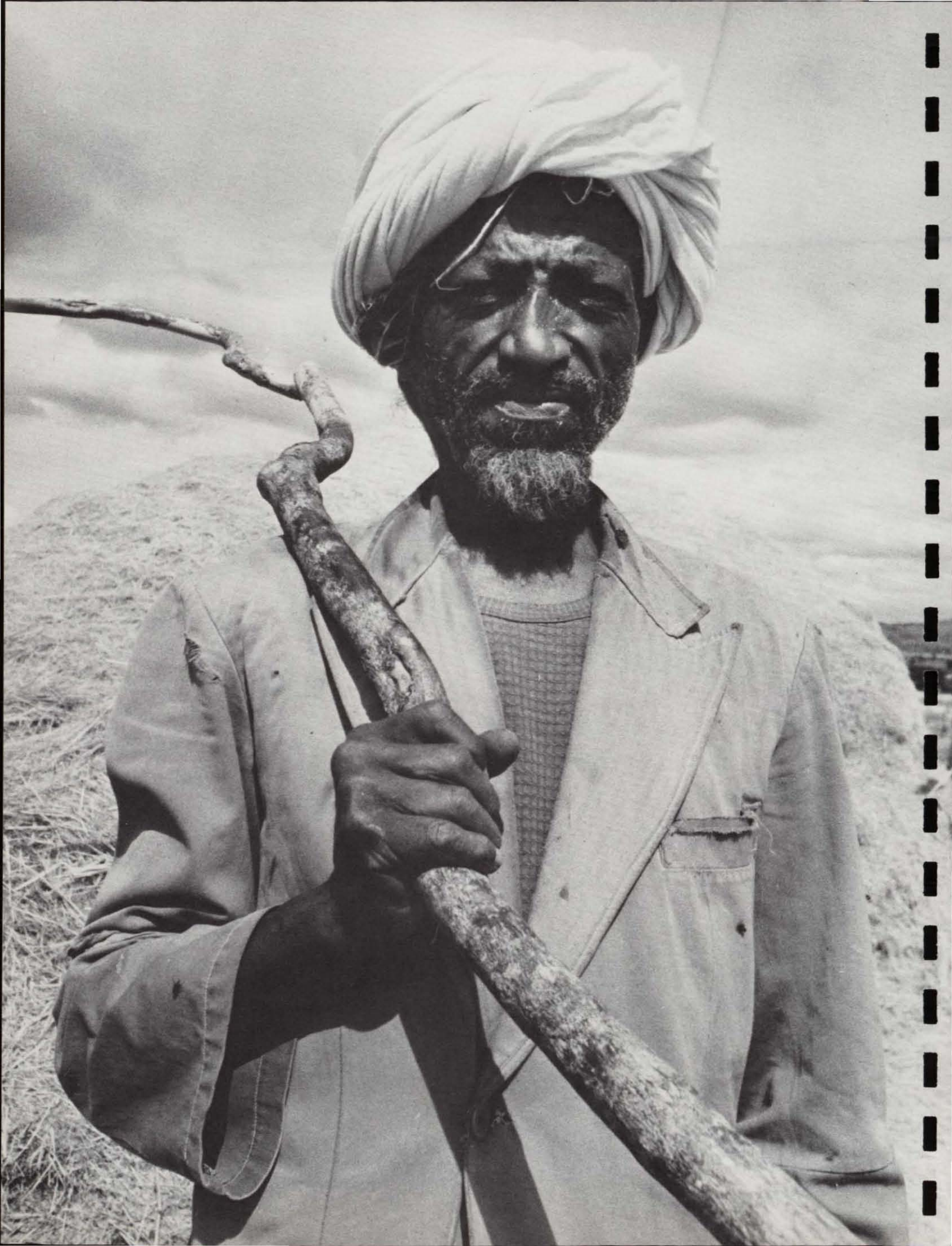
Si fueran disponibles, se deberán usar máquinas niveladoras para igualar la tierra una vez que el nivelado inicial haya sido efectuado. Algunas de estas máquinas niveladoras son gigantescas y pueden medir hasta 30 metros de largo por 5 metros de ancho; sin embargo, existen unidades más pequeñas para pequeños tractores agrícolas. Cuando están en movimiento sobre la tierra, los puntos altos del terreno son removidos y las depresiones rellenadas automáticamente. La operación final de alisamiento con estas máquinas es ejecutada pasando la niveladora en tres direcciones: una vez a lo largo de cada diagonal y una siguiendo la dirección del flujo del riego.

Los agricultores deberán ser alentados a sembrar cultivos anuales en campos recientemente nivelados durante el primer año para que el agua de riego o la lluvia asiente la tierra. Se les debe advertir a los agricultores que se han iniciado la nivelación de tierras, que el trabajo normal de labranza de una estación a la otra distribuirá la superficie de la tierra y que deberán mantener los agricultores que se han iniciado en la nivelación de tierras, que el trabajo normal de labranza de una estación a la otra distribuirá la superficie de la tierra y que deberán mantener los campos siempre nivelados si quieren proteger su inversión inicial de tiempo y equipo. Las máquinas niveladoras son excelentes para este tipo de trabajo.

Las actividades de nivelación de tierras pueden ser coordinadas con las mejoras de los cursos de agua. A veces se puede conseguir asistencia del gobierno para estas importantes actividades y muchas veces la combinación de estos dos trabajos da muy buenos resultados. Puede que sea necesario reubicar el curso de agua para aumentar su eficiencia y agrandar las medidas de los terrenos antes de comenzar los trabajos de nivelación.

Cuando la tierra está nivelada, el riego es más eficaz y la cosecha más abundante.





Métodos de Agua

La piedra fundamental de cualquier sistema agrícola bajo riego es el agricultor mismo porque él es la persona que debe hacer funcionar el sistema. Las dificultades que el agricultor debe enfrentar proporcionan la base para evaluar aquellos problemas que afrontan muchos países donde la producción de alimentos debe ser substancialmente incrementada.

Las dificultades de producción en la agricultura de riego muchas veces están relacionadas a un abastecimiento de agua para riego que no es seguro, al manejo ineficiente del agua, a los insignificantes servicios de extensión para el manejo del agua, y al persistente uso de práticas tradicionales de riego y cultivo que no están de acuerdo con la agricultura moderna. Estas restricciones no pueden ser superadas individualmente o por grupos de agricultores sin alguna clase de ayuda; las autoridades del gobierno deben tomar parte para resolver los problemas de manejo del agua en las fincas. De lo contrario, la agricultura bajo riego continuará siendo ineficiente a pesar de las inversiones nacionales en grandes obras tales como la construcción de grandes represas y otras infraestructuras costosas.

La mayoría de los agricultores están dispuestos a aceptar nuevas tecnologías que están disponibles cuando comprenden en que forma serán beneficiados y cuando estas técnicas les son presentadas con las explicaciones necesarias y se les brinda la oportunidad de tomar parte en su selección. De lo contrario resultará muy difícil obtener la aceptación del agricultor. Se conoce más sobre los aspectos tecnológicos de los problemas de manejo del agua que sobre como superar los problemas que surgen a causa de hábitos arraigados, de prácticas de riego tradicional y costumbres en general que actúan como detrimento para conseguir la necesaria aplicación de la tecnología.

Hay tres métodos principales de riego con variantes. Los agricultores necesitan ser

guiados en forma efectiva para decidir cual de estos métodos es el más conveniente a sus necesidades y capacidades. El riego superficial, aéreo y subterráneo deben por lo menos satisfacer cuatro requisitos:

- Habilidad de mantener un suministro continuo de humedad disponible para el cultivo en crecimiento.
- Habilidad de mantener el medio ambiente del suelo en condiciones sanas para el sistema radicular de las plantas.
- Habilidad para funcionar apropiadamente dadas las características del suelo, su topografía y otras condiciones físicas.
- Habilidad de proporcionar al agricultor una remuneración económica satisfactoria.

Riego Superficial

El riego superficial incluye muchas variantes, pero esencialmente todas ellas implican la aplicación de agua directamente sobre la superficie de la tierra ya sea para correr a través de un terreno nivelado, o para ser aplicada en puntos específicos. Antes de seleccionar el método más conveniente para las necesidades del agricultor, hay que tener en cuenta las variables que afectan la uniformidad de la distribución. Estas incluyen la tasa de infiltración, topografía, textura y estructura del suelo, características de retención del agua, el movimiento de agua en el suelo, y los requisitos de manejo agronómico de los cultivos.

Una de las formas más sencillas de regar es construir una depresión en la que el agua se acumula para luego ser infiltrada en la tierra. El agricultor selecciona un terreno plano que rodea con un dique o corte de tierra para que retenga el agua de riego. El riego por sumersión puede ser aplicado en áreas tan pequeñas como en un metro cuadrado y si se dispone de abundante agua de riego en áreas hasta de cinco hectáreas. El factor del suelo más importante que hay que tener en cuenta en el riego por inundación es la tasa de infiltración. Las tierras con alta tasa de infiltración requieren pequeños compartimientos, de lo contrario el agua será absorbida con rapidez y no se distribuirá por igual a través del terreno. El uso de estos compartimientos no es recomendable para cultivos cuyos tallos son sensibles a tierras húmedas o para los cultivos anuales en tierras que se encostran fácilmente cuando son inundadas.

El riego por inundación, a pesar de la atracción que ofrece por su simplicidad de construcción, tiene los inconvenientes inherentes a este método: los diques pueden interferir con el movimiento de la maquinária y el agua almacenada se estancará en las áreas bajas, reduciendo la aeración del suelo y proporcionando un lugar ideal para la cria de zancudos.

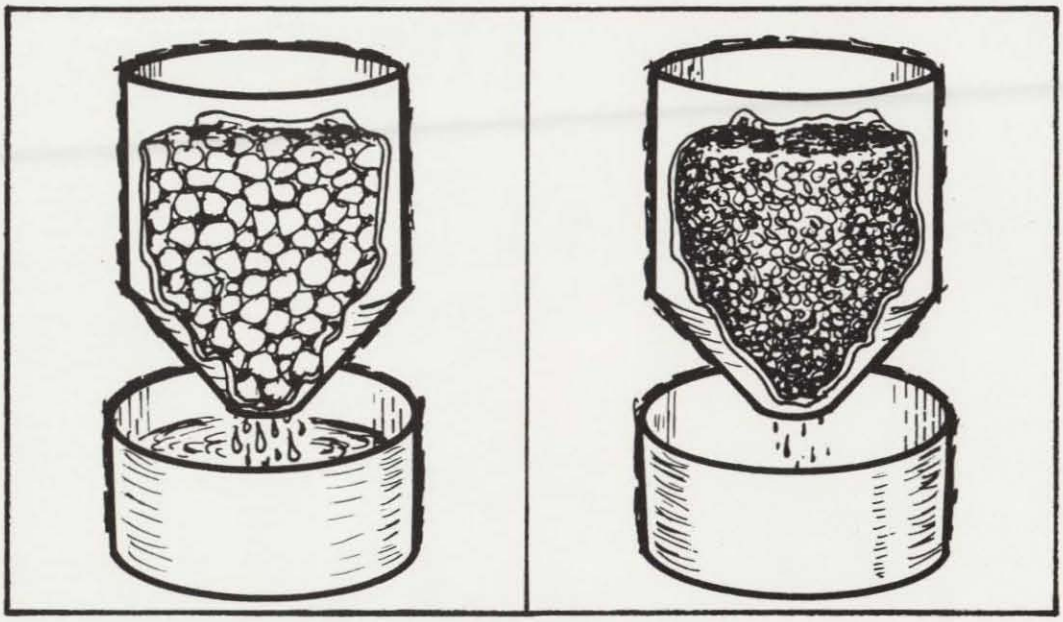
El riego en franjas niveladas requiere la formación de lomos o camellones paralelos con una separación de 3 a 50 metros. El agricultor coloca una franja nivelada entre los lomos, donde siembra el cultivo. El largo de estas franjas varía entre 100 a 1000 metros.

El riego en franjas requiere una gran cantidad de flujo de agua con un declive uniforme y moderado en dirección de la corriente para que el agua se distribuya uniformemente. Las franjas deben ser niveladas perpendicular a la pendiente en la mejor forma posible. Suelos profundos permeables, de textura mediana, son ideales para el riego en franjas para cultivos con raíces profundas o superficiales. La rapidez de infiltración de agua es más crítica en el riego en franjas que lo es en el riego por sumersión y la velocidad con que el agua corre a lo largo de las franjas debe ser regulada de acuerdo a la dimensión de la corriente; en esta forma, el agua cubre cada sección en el tiempo que se requiere para penetrar la profundidad adecuada.

El riego por surco es ideal para los cultivos plantados en hileras, pero es necesario controlar el agua para evitar el derramamiento de un surco a otro.

Existen tablas donde se pueden encontrar sugerencias para el largo y el ancho de las franjas, la profundidad promedio deseada del agua, unidad del flujo de agua por metro, ancho de la franja y pendientes para diferentes texturas de suelo. El riego en franjas niveladas no es apropiado para suelos arenosos que tienen poca capacidad de retención de agua, pero sí para suelos francos con una tasa moderada de absorción y una capacidad de retención de agua promedio, y también para tierras arcillosas de absorción lenta que tienen características de alta retención de agua.

El riego por surco se adapta mejor para los cultivos desarrollados en hileras, tales como algodón, maíz y vegetales, o cuando el cultivo puede ser dañado si el agua cubre el tallo o las partes aéreas de las plantas. Este método implica dejar correr el agua por pequeños cauces entre hileras de cultivo para mojar el fondo y los lados de los surcos.



La tasa de infiltración de agua es mucho mayor en los suelos de textura gruesa (izquierda) que en los suelos de textura fina.

Para obtener un declive uniforme es escencial llevar a cabo un nivelado meticuloso. La distancia entre los surcos depende de la clase de cultivo, del equipo de labranza disponible y de la rapidez con que el agua se mueve lateralmente desde el surco al lecho. Algunos cultivos crecen en hileras simples con una separación de 70 a 100 centímetros, mientras que otros crecen en hileras dobles sobre el lomo con una distancia entre surcos no menor de un metro.

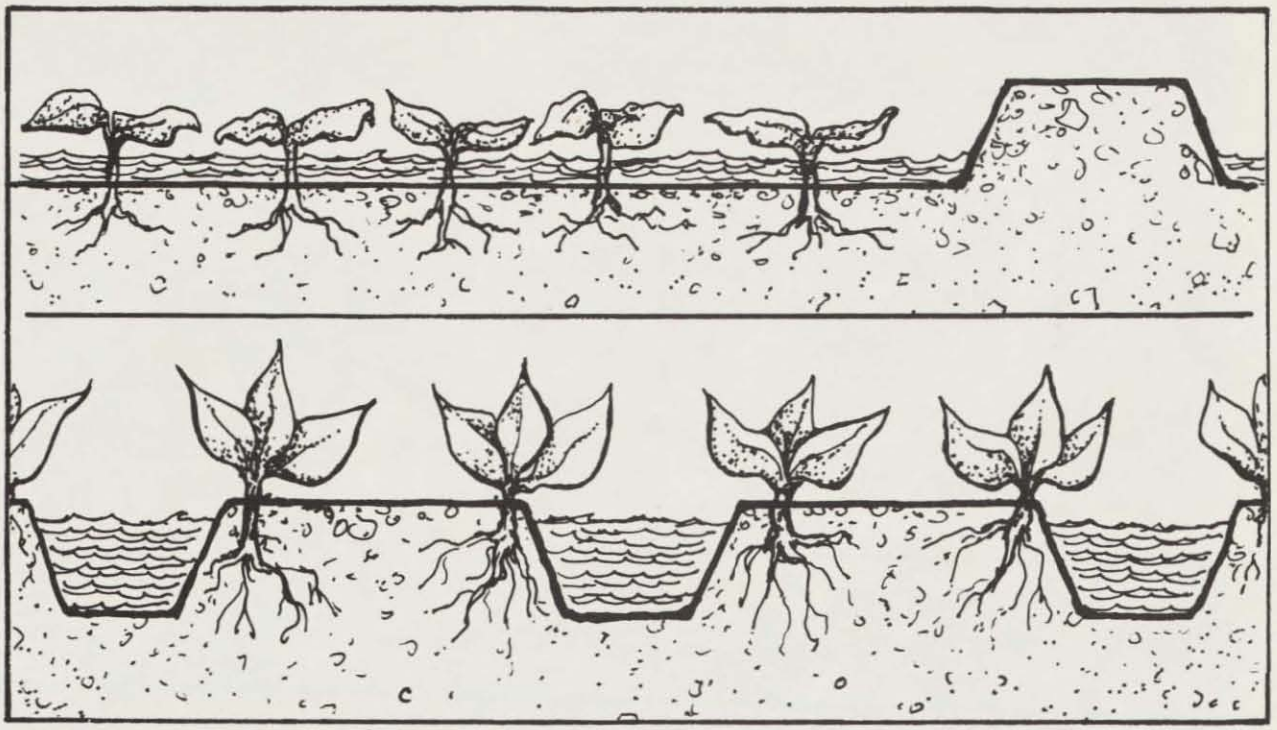
El declive de los surcos debe ser uniforme y si tierras con mucha pendiente deben ser regadas,los surcos deberán construirse en contorno, en tal forma que el declive se aminora para evitar erosión, la sumersión de las plantas y la acumulación de suelo en partes planas.

Se debe mantener un control total del agua; el desborde lateral de agua de un surco al otro causará una seria erosión que será acelerada al moverse cuesta abajo.

Las pérdidas de agua que se producen al final de los campos pueden ser minimizadas construyendo un sistema de retorno que colecte el agua al final del terreno y la transporte a un pequeño embalse donde pueda ser bombeada a través de una tubería y enviada nuevamente a la cabeza del campo, donde va a parar en una zanja u otra tubería junto al agua de riego original.

El riego por corrugación es similar al riego por surco, excepto que las canaletas son más pequeñas, comunmente alrededor de 10 centímetros de profundidad y separadas por una distancia de 40 a 75 centímetros. Por lo general, es rodeado por bordes. La corrugación es preferible para tierras que se encostran fácilmente después de ser inundadas y para terrenos que no han sido nivelados para un riego eficiente. En este caso el sistema de riego por corrugación deberá ser considerado solamente como una medida temporal y no como una solución permanente. Hay tablas disponibles para sugerir el grado del declive, el largo del surco y el promedio de volumen de agua que debe ser aplicada en distintos tipos de suelos.

Donde el agua es abundante y la uniformidad de la distribución no es un factor determinante, la inundación por contorno



El riego por sumersión (arriba) proporciona un medio ambiente para la planta completamente diferente que el que proporciona el riego por surco.

resulta económica para regar cultivos densos plantados en tierras inclinadas. En lo alto del borde del terreno, se excava una zanja de abastecimiento desde donde el agua se descarga suavemente por un contorno nivelado. Cuando el agua tiende a concentrarse se deberán excavar zanjas de detención a intervalos en la pendiente para que el agua se distribuya por igual.

Las zanjas en contorno deben tener una pendiente leve de 0.2 a 0.4 por ciento y las zanjas de detención deben estar situadas a intervalos de 30 a 60 metros, o en los puntos de diferente elevación del terreno, cada 2 o 3 metros. La pendiente debe conducir la corriente de agua lejos de los puntos bajos del terreno y hacia los altos, que de lo contrario permanecerán secos. Comúnmente se proveen salidas cada 2 o 3 metros a lo largo de las zanjas de detención — los mismos intervalos usados para la zanja de abastecimiento en la parte alta del terreno. En campos grandes se necesitará más de una zanja de abastecimiento.

Se requiere considerable experiencia para usar con éxito la inundación por contorno. Posiblemente sea necesario realizar varias pruebas preliminares que determinen los puntos de descarga de agua a lo largo de las zanjas de contorno y de detención para que el agua se distribuya uniformemente sin causar daños de erosión.

Riego Subterráneo

El riego subterráneo se practica manipulando la capa freática, elevándola por arriba de la tabla natural o creando una sobre el estrato relativamente impermeable del suelo. Se adapta mejor para grandes áreas y si el esfuerzo es realizado en forma cooperativa por un grupo de agricultores trabajando en conjunto. La tabla natural de agua, o la capa impermeable, deberá estar a una pequeña profundidad debajo de la zona radicular normal de los cultivos y cuando la capa freática es elevada por debajo del fondo

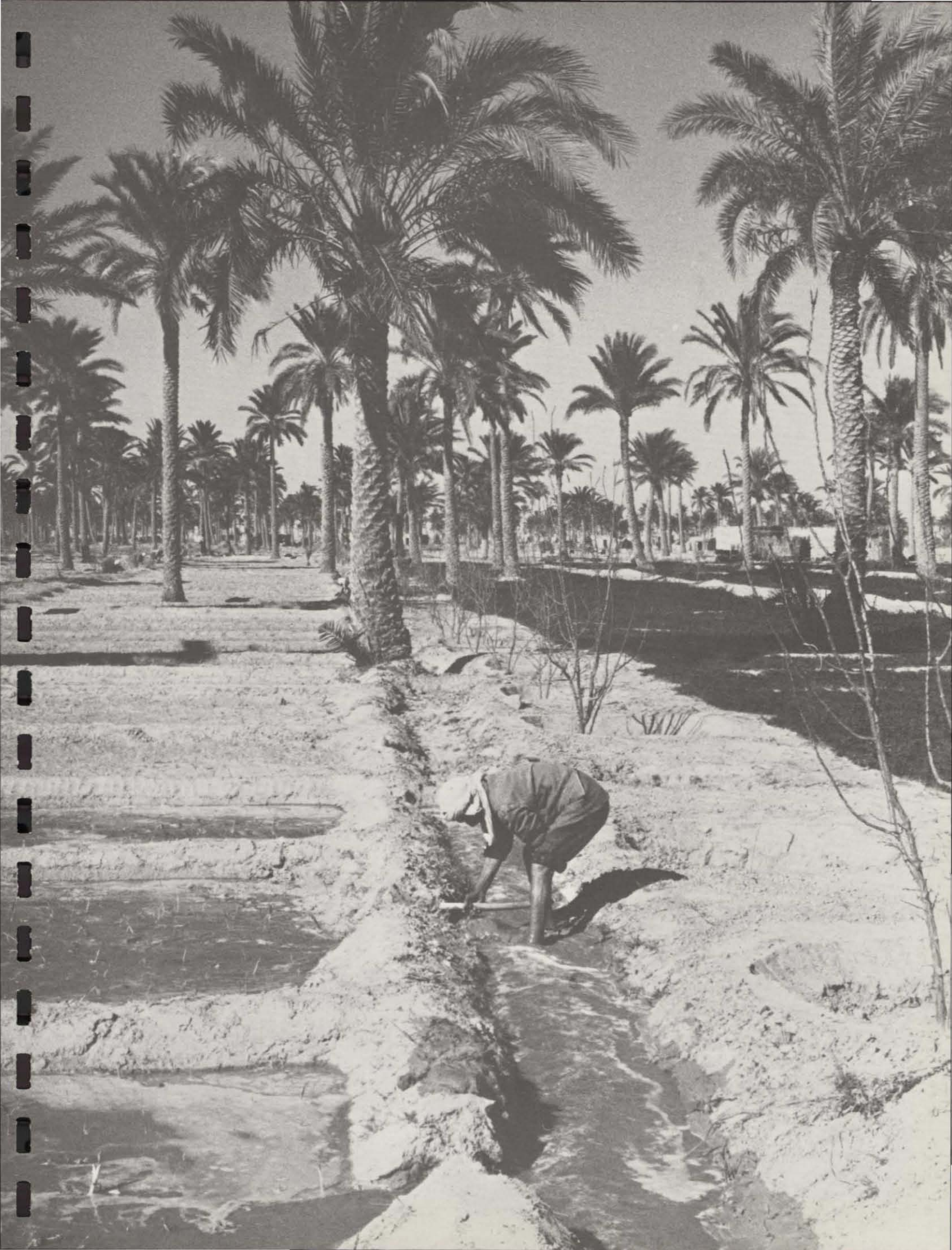
de la raíz, las plantas se mantendrán húmedas, pero no saturadas. Si se permite que el nivel de agua se levante por arriba de las raíces, deberá ser reducido rápidamente, de lo contrario las raíces morirán por falta total de oxígeno.

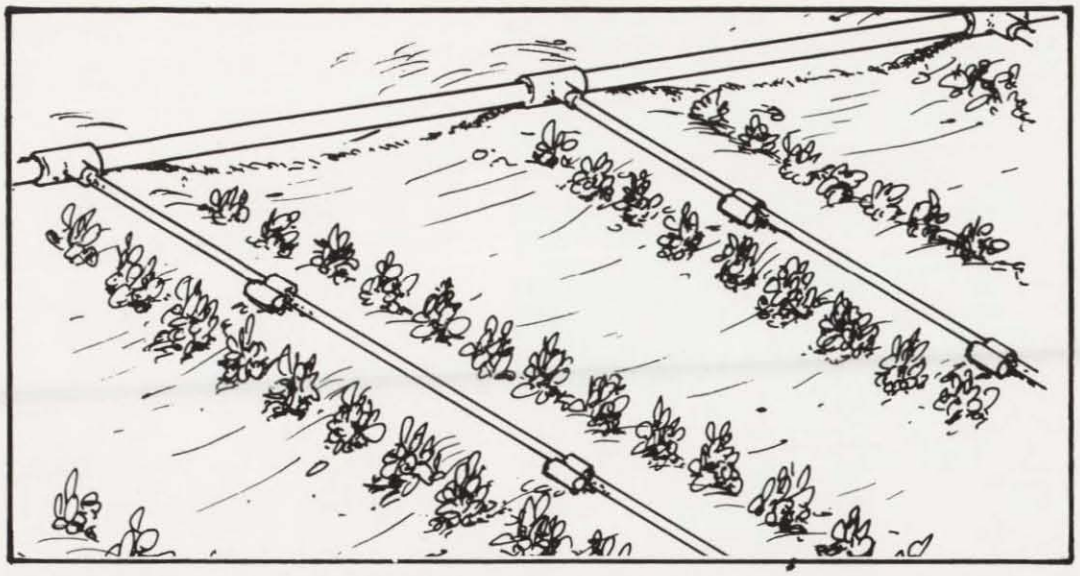
Las tierras en donde se va a efectuar el riego subterráneo deben reunir una rara combinación de características naturales, por este motivo su aplicación es limitada. No se debe llevar a cabo este tipo de regadío subterráneo sin un sistema de drenaje de gran capacidad, que en el caso de una fuerte lluvia evitará que el nivel de agua se eleve por arriba de la zona normal de la raíz. Una serie de pozos de observación deberán ser instalados para vigilar la subida y caída de la capa freática.

El riego superficial es el método más económico de aplicación de agua en el campo y puede incrementar la producción de los cultivos en forma significativa.

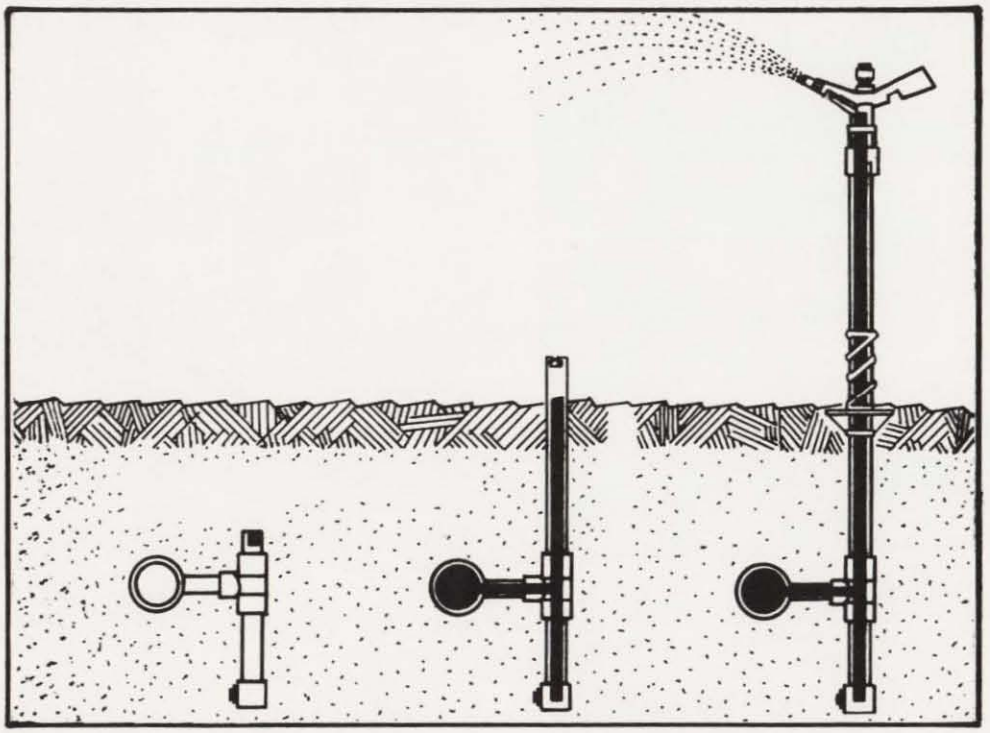
Riego por Aspersión

Los sistemas de riego por aspersión ofrecen una ventaja decisiva en lugares donde la topografía es montañosa e ir-

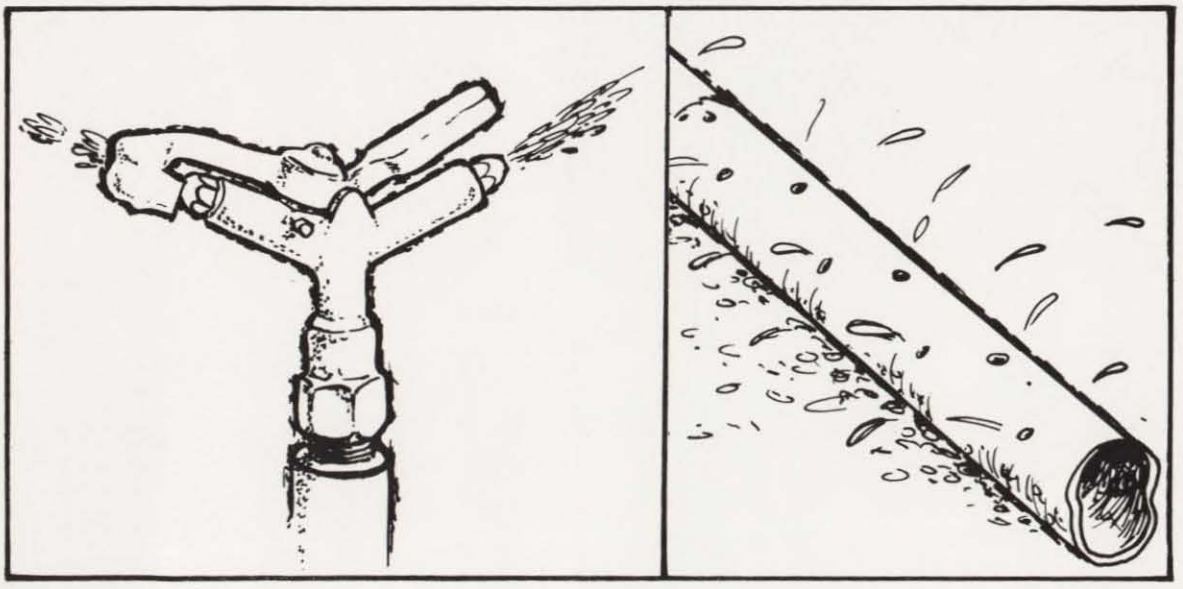




El riego por aspersión (rociadores) ofrece ventajas para los terrenos desnivelados y arenosos.



Algunos sistemas de rociadores son instalados en forma permanente y requieren un mantenimiento constante para obtener eficiencia máxima.



Las tuberías perforadas proporcionan un sistema simple de rocío para los suelos que tienen una tasa alta de infiltración.

regular, donde las tierras son excesivamente arenosas y donde los campos continuos exiben diferentes capacidades de absorción de agua — especialmente donde la tasa de absorción excede los 10 centímetros de agua por hora. Aunque la aplicación de agua nunca es absolutamente uniforme, es el mejor método disponible para muchos campos donde el riego superficial o subterráneo no es factible. Los vientos fuertes afectan el movimiento del rociador con la consiguiente reducción de eficiencia.

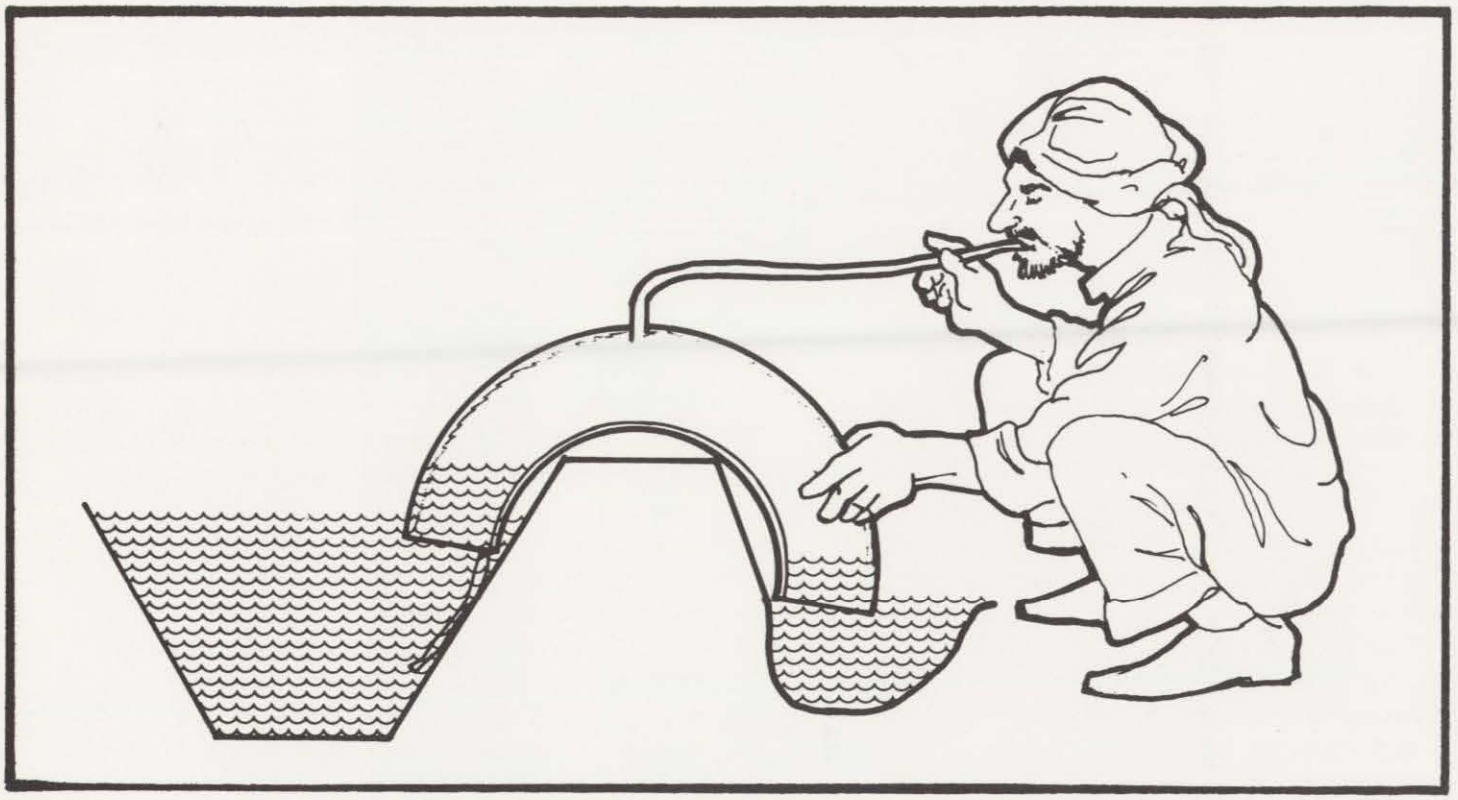
La mayor desventaja de este sistema es el costo. Los artículos necesarios incluyen: bombas, tubos, boquillas rociadoras y todos los accesorios pertinentes. Además, con el precio del petróleo en aumento, el costo de poner en funcionamiento las bombas que proporcionan la presión del rociador puede llegar a niveles no aceptables.

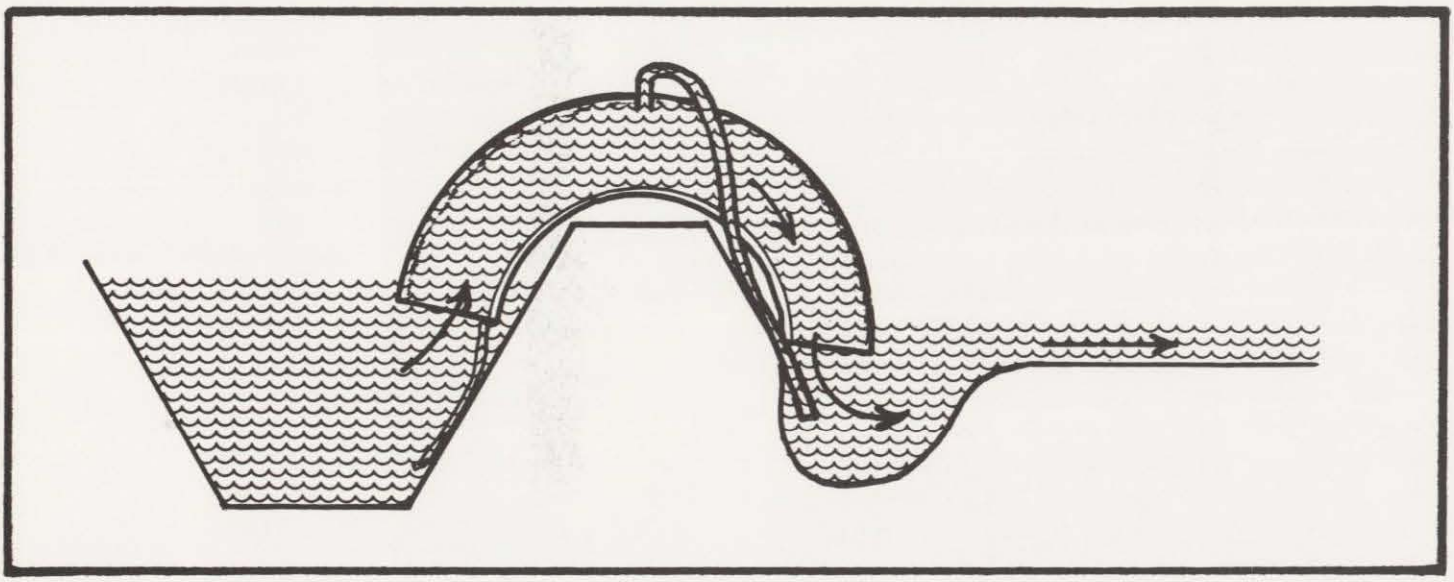
Existen disponibles numerosos tipos de sistemas de aspersión, incluyendo el rociador de cabeza fija, tuberías perforadas, rociadores que giran a reacción y rociadores que giran por impacto. Todos estos, ofrecen alguna clase de ventaja y todos presentan inconveniencias de una clase u otra.

El rociador más simple de poca presión es el de cabeza fija, que no tiene partes movibles y es digno de confianza y fácil de usar. Las desventajas de este rociador son que riega solamente una pequeña área, los orificios se tapan fácilmente y el volumen de aplicación es relativamente alto.

Otro sistema simple es el de tubería perforada que rocía agua por medio de pequeños orificios (alrededor de 1.6 milímetros de diámetro) perforados a lo largo de la parte superior y a los lados de la tubería. El agua rociada desde los agujeros produce una aplicación similar a la de lluvia que sube y cae rompiéndose en pequeñas gotitas que se distribuyen sobre el área de riego por la acción de turbulencia en el aire. El ancho cubierto en esta forma oscila entre 7 a 15 metros y aumenta elevando la presión. Este método de tubería perforada puede ser empleado solamente en suelos de alta capacidad de infiltración porque los niveles de aplicación tienen un promedio de 19 milímetros por hora o mayores. Aún con filtración adecuada, los orificios tienden a obstruirse con partículas recogidas cuando las secciones de tubos son transferidas de un punto a otro del terreno y por los depósitos de minerales alrededor de los agujeros y la corrosión dentro de los tubos. La ventaja de este sistema es que las tuberías pueden ser fabricadas localmente.

Los rociadores rotativos que son impulsados por la acción a chorro cuando el agua sale de la boquilla, o por un dispositivo de impacto, son preferibles por dos razones: ya que todo el chorro de agua está concentrado en una o dos direcciones, en vez de ser dispersado en 360 grados, un círculo más grande es regado cualquiera que sea el volumen de descarga; segundo, el volumen de aplicación disminuye debido al aumento de área que es mojada. Estos rociadores rotativos deben ser mantenidos meticulosamente limpios, porque si un granito de arena se introduce dentro del cuello de rotación la cabeza del rociador dejará de girar.





Se pueden fabricar sifones utilizando cubiertas de neumáticos abandonados y materiales de desecho. Funcionan bien y son además muy económicos.

Riego por Goteo

Otro método de riego superficial que ha atraído la atención en los últimos años es el de goteo o escurrimiento. Este método emplea un sistema de tuberias con emisores o goteros estrechamente espaciados para aplicar el agua directamente en cada planta. Es un método muy conocido para el cultivo en invernadero, pero es una práctica relativamente nueva en los campos donde se cultivan vegetales, hortalizas y otros cultivos que requieren mayor distanciamiento. El riego por goteo es un sistema permanente que puede ser mantenido a costo relativamente bajo y se está popularizando en los Estados Unidos, Australia, Sudafrica e Israel. Como el agua es aplicada al suelo casi en forma continua, existe una porción del suelo en la zona de la raíz que tiene un contenido de agua que oscila entre capacidad de campo y saturación. Esta es una ventaja para muchas plantas cuyo rendimiento máximo depende de mantener en el suelo el contenido óptimo de agua. El nivel de aplicación de agua nunca es superior a la tasa de infiltración; así, se evitará el escurrimiento superficial.

A pesar de la atracción que este sistema ofrece, riego por goteo requiere varios componentes que necesitan supervisión técnica. El equipo completo incluye emisores, una estación de control de agua, medidores, filtros y mallas, inyectores para fertilizantes y productos químicos, reguladores de presión y un mecanismo especial de reloj para regular el flujo del agua.

El costo por hectárea para instalar este sistema de riego es alto y en países en donde el petróleo es importado el uso de este sistema puede resultar prohibitivo solamente por este factor. Este sistema deberá ser recomendado solamente a aquellos agricultores que cultivan productos de alto rendimiento económico.

4

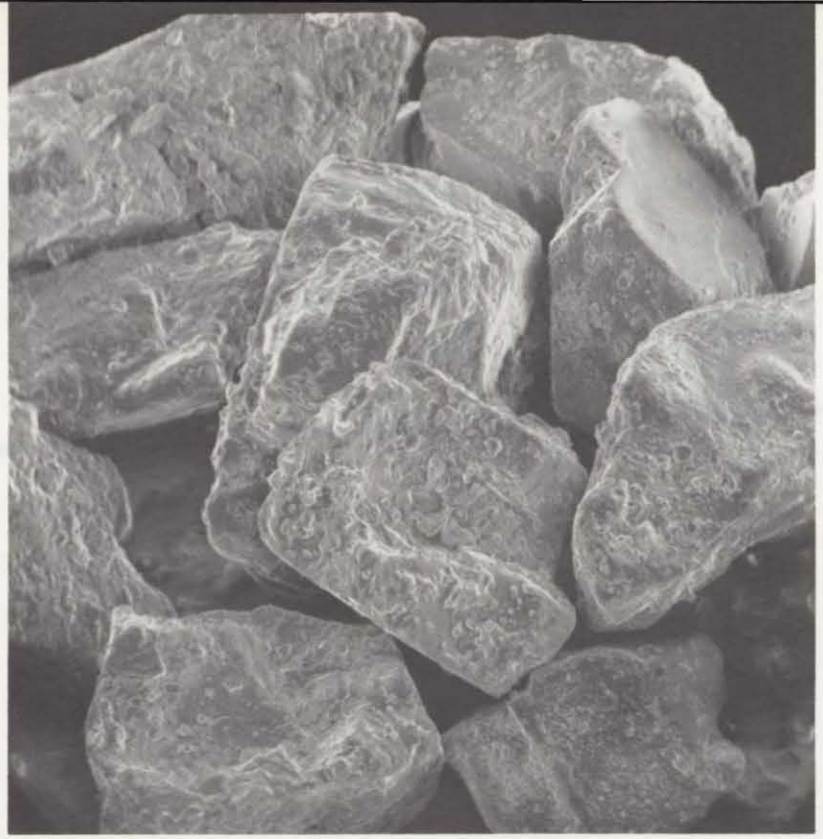
Calidad del Agua y Producción de Cultivos

Los agricultores sin el conocimiento de los procesos químicos que actuan en sus tierras, son incapaces de ver la sal presente en el agua de riego y naturalmente se sorprenden cuando descubren que su tierra, que un tiempo fue fértil, se ha convertido en estéril. Esta dolorosa experiencia es muy común. Sucede en muchas partes del mundo donde las sales se acumulan en la tierra debido al continuo riego con aguas inadecuadas.

La fuente original de las sales en las aguas de riego es la roca que forma parte de la corteza de la tierra, que constantemente sometida a la acción del clima, libera las sales que son transportadas por el agua. Cuando los suelos finalmente llegan a salinizarse, la evidencia visible en la superficie puede ser una costra blanca u manchas oscuras, húmedas y de apariencia aceitosa. Sin embargo, la acumulación de sales comienza a afectar el cultivo mucho antes de que las señales visibles aparezcan. Las hojas podrán mostrar un verde oscuro con un follaje denso y suculento aun cuando están siendo atacadas por la sal; sin embargo, las plantas serán afectadas en su crecimiento y en el rendimiento de frutas y granos.

Hay tres problemas importantes que surgen por causa de la calidad del agua aplicada a los campos. La primera es la salinidad que está directamente relacionada a la cantidad de sal disuelta en el agua de riego. Casi todas las aguas de riego contienen sales potencialmente perjudiciales y ninguna es eliminada por el proceso de la evapotranspiración. El balance de las sales debe ser controlado y mantenido por lixiviación.

El segundo problema es mantener la permeabilidad de la tierra en tal forma que el agua de riego pueda filtrarse y moverse libremente a través de ésta. Esto surge cuando la estructura del suelo es modificada por causa de la dispersión de partículas agregadas del suelo. Comúnmente se descubre que el motivo es el exceso de sodio en relación al contenido de calcio y magnesio en el agua; esta falta de balance es conocida como problema alcalino. Se encuentran casos donde el problema de permeabilidad puede ser el resultado de exceso de pureza en el agua; es decir que, es la ausencia de sal, aunque no es una situación muy común. Se pueden realizar tratamientos químicos para corregir este problema, agregando a la tierra



La sal, vista aquí a través de un microscopio electrónico, es uno de los enemigos más grandes del agricultor cuando se encuentra en grandes cantidades en el agua de riego.

cantidades medidas de sulfato de calcio para enmendar este desequilibrio.

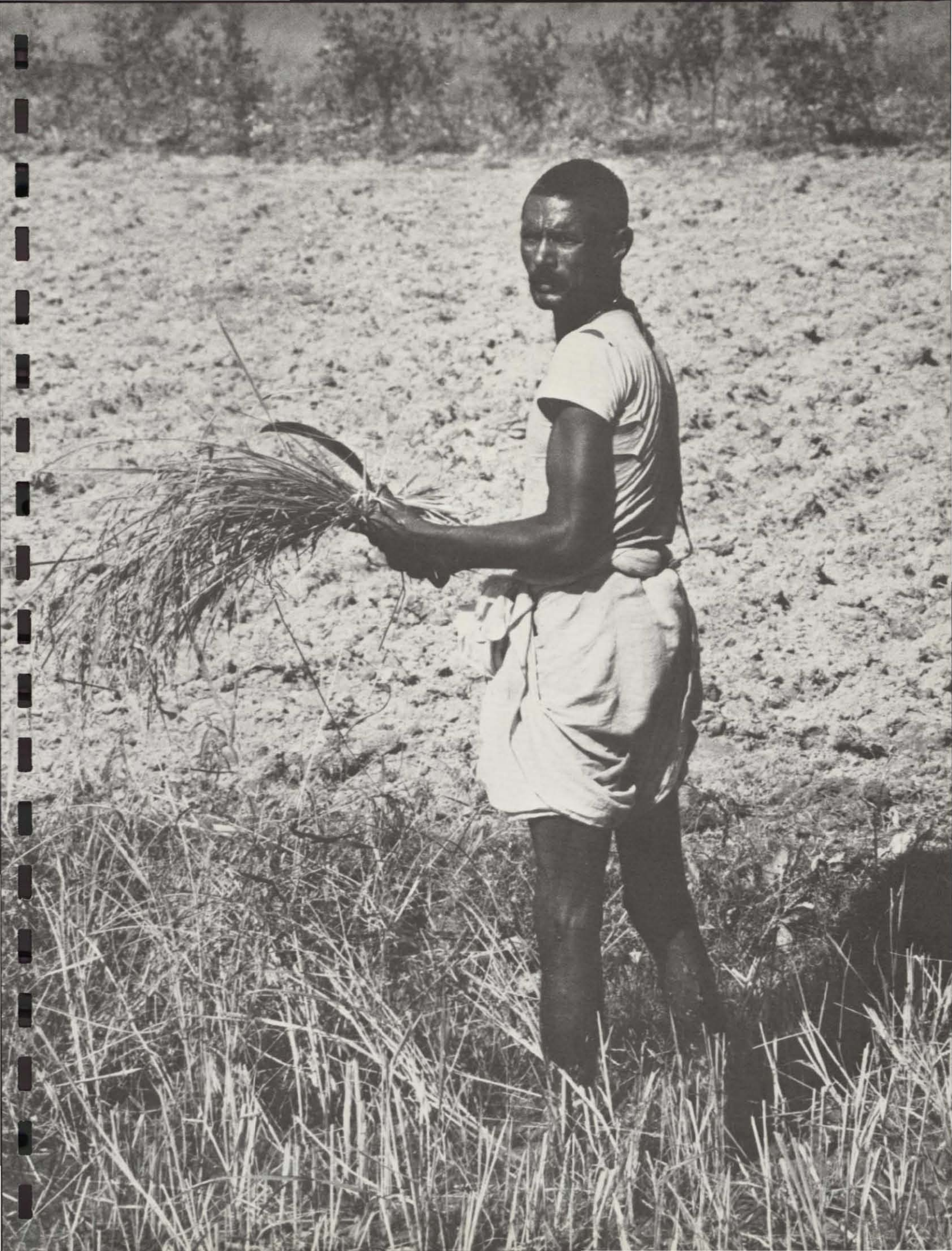
La causa del tercer problema es la existencia de substancias altamente tóxicas en el agua, tales como boro o metales pesados. Aunque el boro es escencial para el crecimiento de las plantas, la concentración debe ser pequeña, caso contrario se convertirá en un agente tóxico para las plantas.

Hay otros factores que pueden afectar la calidad del agua de riego, pero los más importantes son los tres antes mencionados. Comúnmente las aguas de riego son clasificadas de acuerdo a su contenido total de sales y a la cantidad relativa de sodio comparada a la de calcio y magnesio. El contenido de boro es destacado porque es muy importante que permanezca por debajo del nivel tóxico.

El Problema de Salinidad

El nivel de salinidad al cual el cultivo será perjudicado depende de la especie vegetal. Se han establecido valores de tolerancia de sal para los principales cultivos del mundo. Se deben considerar muchos factores cuando se evalua la salinidad: la cantidad de agua aplicada, el cultivo, las características del suelo, y la cantidad de agua lixiviada anualmente a través del perfil del suelo, ya sea de lluvia o del exceso de agua de riego percolada. El agua de lixiviación tiende a arrastrar consigo el exceso de sales y es importante que una cantidad grande de sales sea removida para evitar que los elementos tóxicos se acumulen.

El nivel de salinidad del agua de riego puede ser determinado directamente evaporando una cantidad específica de agua y midiendo el residuo de las sales disueltas que permanecen. Los resultados son expresados en partes de sal por millones de partes de agua (ppm). Un método indirecto y más común para determinar el contenido de sales se obtiene midiendo la conductibilidad eléctrica del agua: cuando más grande la conductibilidad (EC) más grande será el contenido de sales. El valor EC es expresado en miliohms por centímetro. La cantidad total



Examen de los niveles de salinidad en el agua de riego es un paso necesario para resolver los problemas de la calidad del agua y de las pérdidas de las cosechas.

de sales disuelta en ppm es representada satisfactoriamente por el valor EC veces 640.

La salinidad afecta las plantas negativamente reduciendo la tasa de absorción de agua. Esto causará una marcada pérdida de producción mucho antes que la planta muera y las pérdidas pueden llegar al 50 por ciento o más mientras el cultivo está todavía en crecimiento.

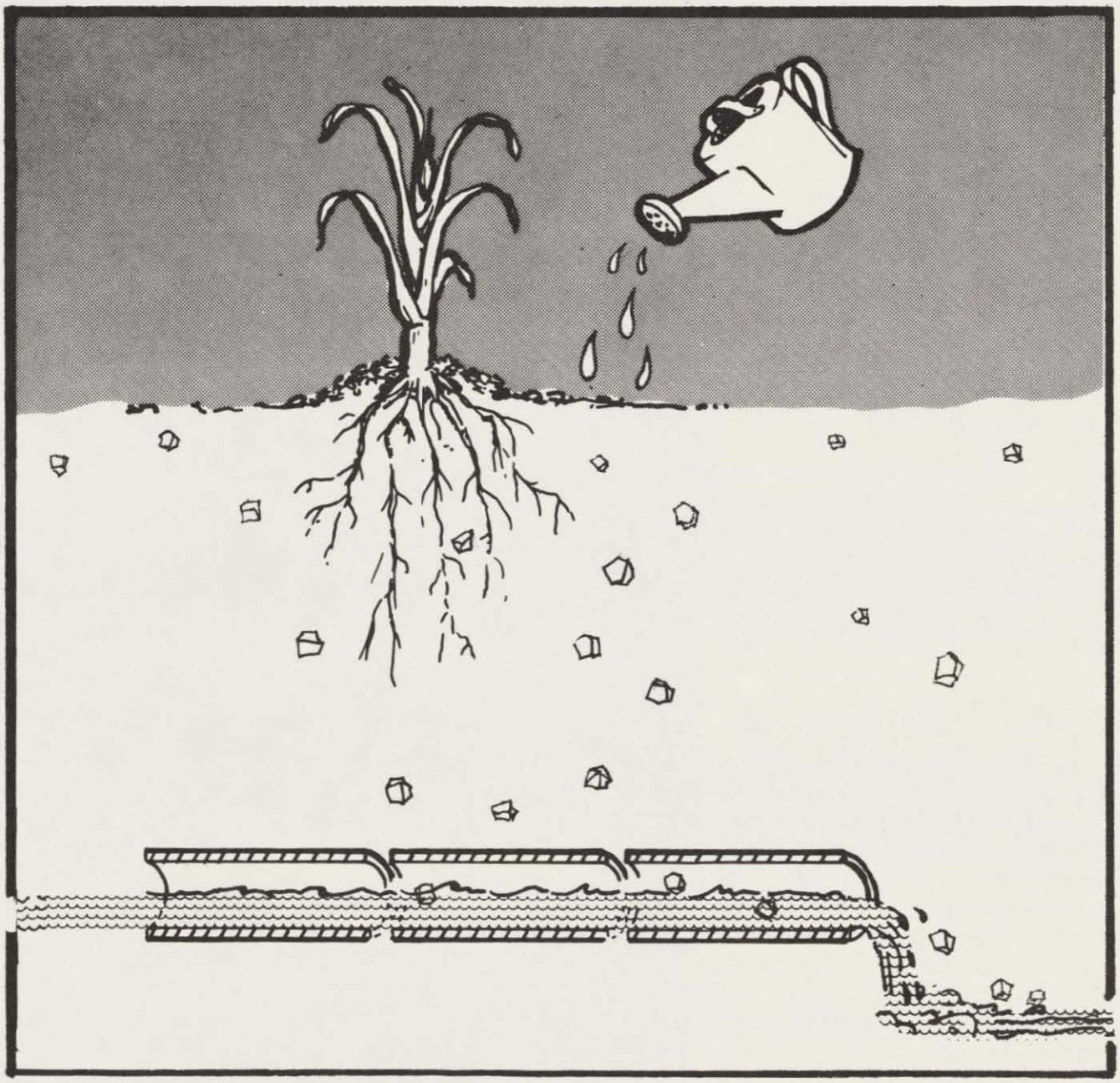
La lixiviación es el único método práctico de remover las sales, aunque solo será efectiva con un sistema de drenaje adecuado, especialmente cuando hay una capa impermeable debajo de la zona de las raíces. Un lavado superficial del suelo no es suficiente, la lixiviación es más efectiva inundando el terreno. El agua debe pasar a través de la tierra para disolver la sal y conducirla durante el proceso de lixiviación, debajo de la zona de las raíces.

El Problema del Sodio (Alcalino)

El exceso de sodio en el agua de riego — especialmente en relación con otros cationes, tales como calcio y magnesio — puede perjudicar los terrenos. Una relación inapropiada de sodio-calcio es el motivo por el cual la tierra pierde su textura granulada, convirtiéndose en consistencia arcillosa a través de la cual el aire y el agua no pueden circular libremente. En la práctica, el problema se ha solucionado aplicando al suelo o al agua de riego un compuesto de azufre; por ejemplo, sulfato de calcio (yeso). El azufre se combina con el sodio y lo hace soluble y por consiguiente lixiviable.

El sulfato de calcio en polvo que se emplea para prevenir altos niveles de sodio en el suelo (alcalinidad) no es económico, pero resulta práctico cuando los agricultores pueden utilizar roca de yeso, que puede costar un tercio o la mitad del peso equivalente en polvo. Un grupo de científicos universitarios que tomaron parte en un proyecto con la AID descubrieron que las rocas de yeso que pesan alrededor de 4 a 7 kilogramos, colocadas en un curso de agua pierden entre 0.10 a 0.15 por ciento de su peso por hora de exposición en la corriente de agua. Se condujeron otros experimentos colocando bloques de yeso en cajas en los pozos tubulares y en los canales revestidos de concreto.

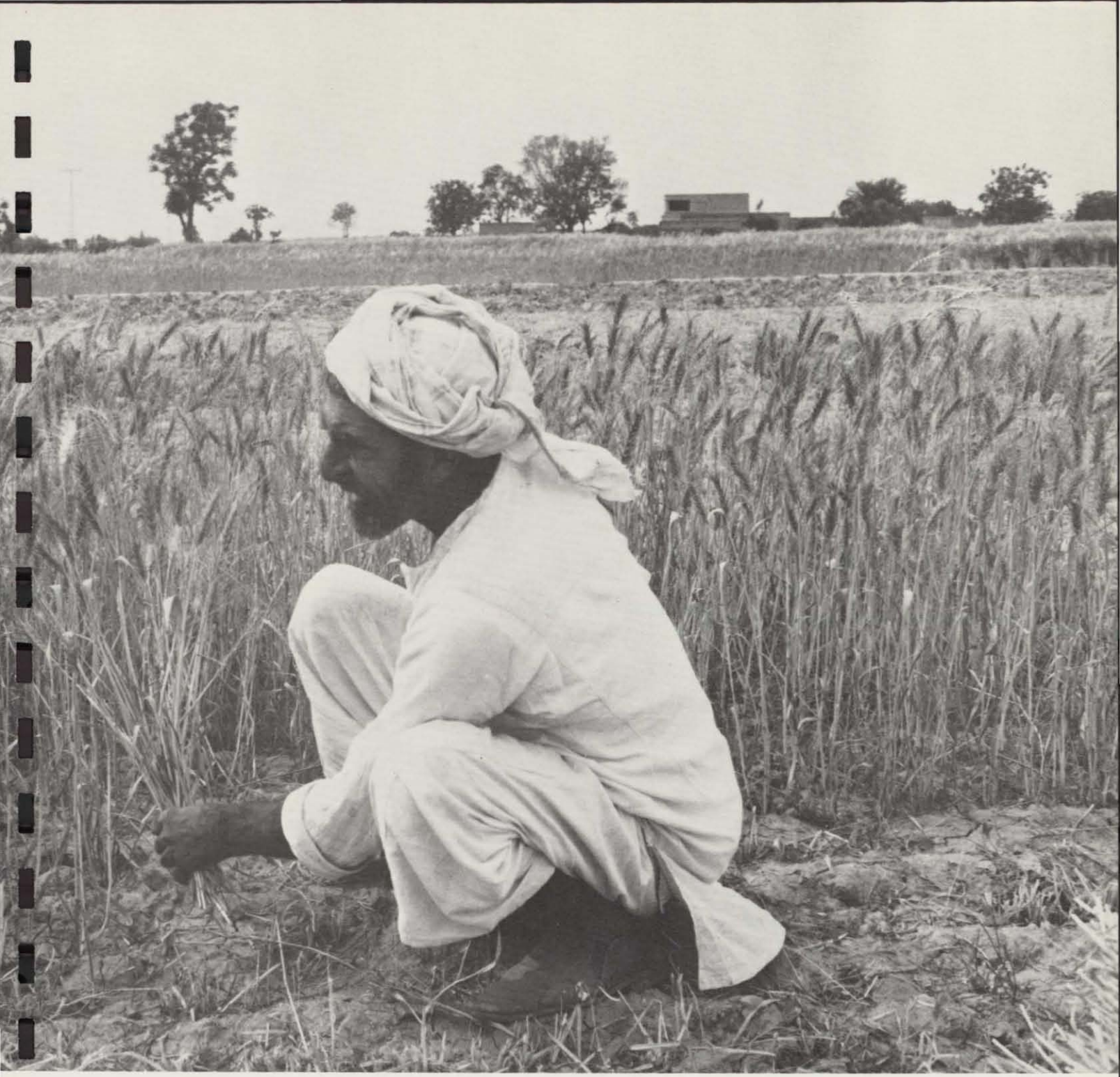
La lixiviación es el único método práctico de remover los depósitos nocivos de sales, pero requiere un sistema de drenaje que elimine los elementos tóxicos.



Los desequilibrios químicos que amenazan las tierras del agricultor pueden ser rectificados, pero solamente si se comprende claramente lo que está sucediendo en el suelo. Los técnicos deben insistir en cuidadosos análisis químicos de la tierra y del agua de riego. Un ejemplo en América Latina ilustra el punto: los agricultores que tomaron parte en un proyecto de riego creían que tenían un problema de salinidad porque sus cultivos no estaban produciendo bien. Sin embargo la lixiviación no produjo ningún resultado. Finalmente un cuidadoso análisis químico de la tierra demostró que el problema principal era un desequilibrio de micro-nutrientes debido a la presencia en exceso de metales pesados en el suelo.

La salinidad y los problemas con sodio son el cáncer de la tierra, insidiosos en el ataque y reconocidos solamente después que el daño es tan grande que el agricultor se encuentra con dos alternativas: abandonar las tierras o gastar igual o más que su valor actual en el mercado para recuperarlas.

El agricultor debe estar conciente de todos estos problemas para poder tomar medidas enseguida y salvar la tierra, el cultivo y sus ingresos.



Los agricultores que comprenden los peligros planteados por los elementos químicos del suelo están mejor preparados para defender sus tierras y para producir máximas cosechas.

5

Drenaje de Tierras Agrícolas

Los técnicos y los planificadores que trabajan con agricultores para mejorar las prácticas de manejo de agua en el campo deben tener en cuenta que ningún sistema de riego deberá ser puesto en operación sin considerar primero los problemas de drenaje que inevitablemente surgirán. En áreas húmedas, donde las tierras se inundan o la capa freática está cerca de la superficie, la necesidad de drenaje se advierte inmediatamente. Esta necesidad es menos aparente en las regiones áridas — incluso en desiertos estériles — pero es de tanta importancia para una agricultura productiva como lo es también en tierras pantanosas.

Cuando el agua de riego transporta sales a los terrenos, las sales eventualmente deberán ser eliminadas, ya que si no se hace se acumularán hasta un punto en que destruirán la productividad de los campos. La única forma en que la sal puede ser removida es en el agua de drenaje que ha pasado a través del perfil del suelo recogiendo el exceso de sales de la zona radicular del cultivo. Esta agua de lixiviación puede provenir de un riego periódico pesado, frecuentemente dado antes de que el cultivo haya sido sembrado, o de las lluvias estacionales que ocurren en casi todas las áreas. Sin embargo, el agua debe pasar a través de la tierra para lavar las sales y debe ser drenada subterraneamente. Si no hay un drenaje subterráneo natural, el hombre deberá proporcionarlo.

A primera vista parece una paradoja que un desierto que escasamente tiene agua, necesite un sistema de drenaje subterráneo cuando se inician los trabajos de riego. Recientemente se invirtieron grandes sumas de dinero en un programa diseñado a incorporar nuevas tierras al cultivo por medio de un buen sistema de ingeniería de bombeo usando agua de un río principal.

La aplicación de agua fue eficiente y el cultivo de algodón parecía prosperar. Sin embargo, el sistema de drenaje abierto de un solo canal resultó ser un desastre. Las sales se acumularon en la tierra hasta que dejó de producir. El sistema fracasó porque el drenaje fue inadecuado.

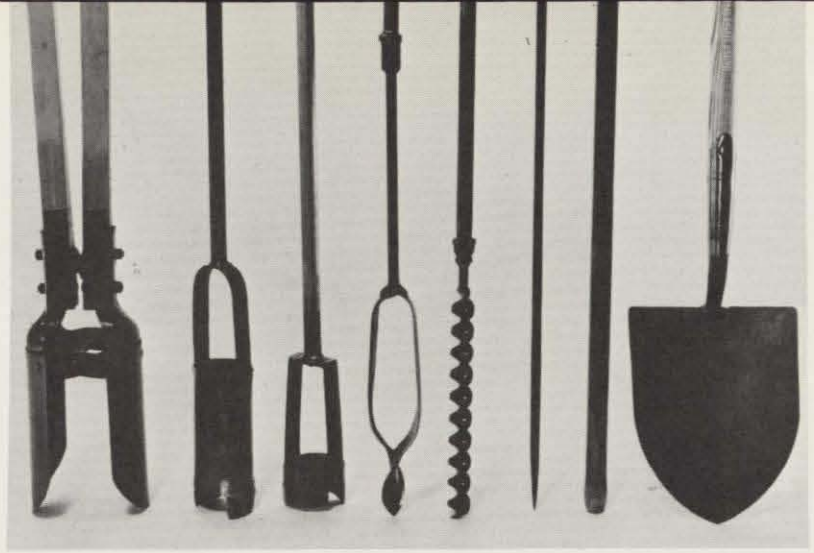
Drenajes deficientes son la causa de una serie de riesgos y calamidades para el agricultor. Los cultivos se queman debido a las aguas estancadas del verano que también permiten la cria y la reproduccion de los zancudos. La tierra se compacta e impide la penetración del agua ahogando las plantas.

El drenaje adecuado es muy necesario, tanto en tierras secas como en las húmedas.

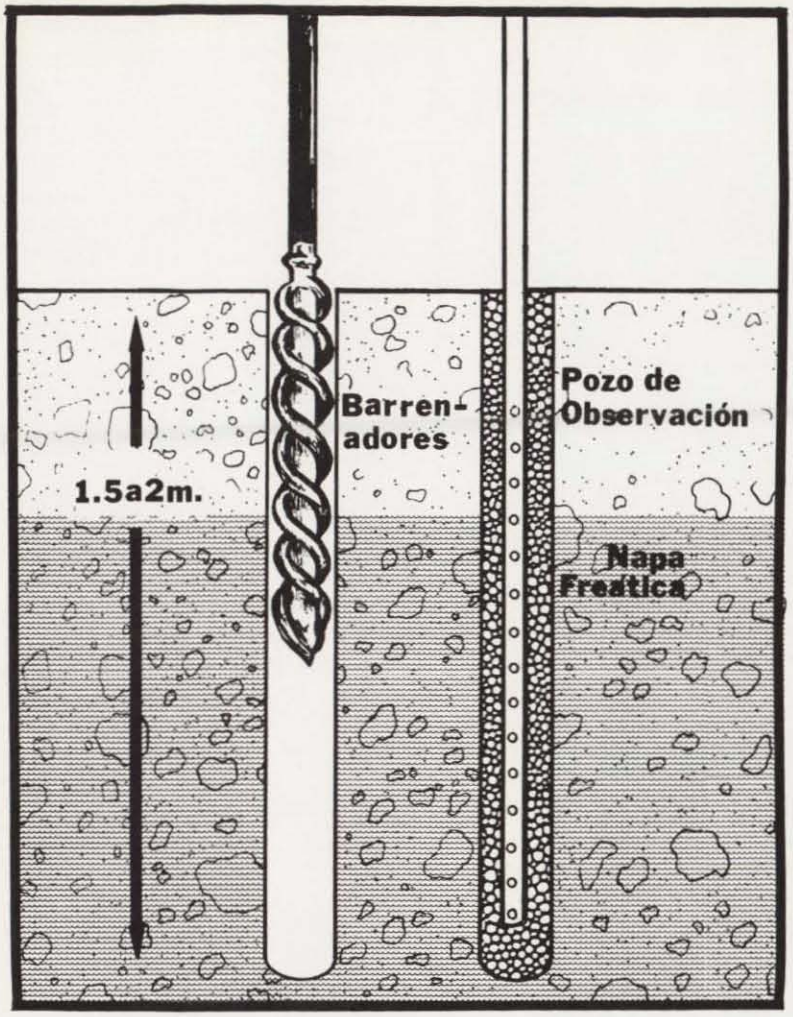
Las sales se acumulan y el medio ambiente radicular de la planta se deteriora, el cultivo es atacado rápidamente por hongos. Las malezas y las gramíneas proliferan y eventualmente invaden las áreas pobremente drenadas.

El siguiente ejemplo ilustra el problema: si se riega trigo con agua que contiene 2500 ppm de sal, el cultivo recibirá 25 toneladas métricas de sal por hectárea con cada metro de agua aplicada. Si se aplican 50 centímetros de agua a los terrenos, la tierra absorberá al menos 12.5 toneladas métricas de sal por hectárea cada año. Por lo menos 5 centímetros de agua deberán percolarse a través del suelo para mantener un balance satisfactorio de sales. Si un drenaje natural no proporciona esta lixiviación, será necesario que el hombre lo proporcione. Si no se toma alguna medida las tierras rapidamente perderán su valor de unidad agrícola productiva.

Pueden surgir problemas locales de drenaje cerca del curso de agua si éste tiene pérdidas, forzando la capa freática hacia la superficie. Esta agua removida por la acción de drenaje puede tener la misma calidad que el agua del canal y puede ser bombeada otra vez para regar los terrenos. La aceptación de esta práctica depende totalmente de la calidad del agua. Conforme el agua corre a través del sistema de riego para ser usada y re-usada, la calidad disminuirá constantemente porque parte del agua se evaporará y las sales que una vez eran transportadas en la solución quedan en el agua que sobra.



Las perforaciones del barreno proporcionan información sobre textura de suelo, estructura, permeabilidad relativa y profundidad del agua.



Las perforaciones de los barrenos se pueden utilizar como pozos de observación rellenando grava alrededor del tubo colocado en el agujero. Estos pozos de observación ayudan a los técnicos a medir las fluctuaciones de la capa freática. Los desagües subterráneos pueden ser usados para evitar que el nivel de agua se acerque demasiado a la superficie de la tierra.

Investigación de Drenaje

El primer paso para resolver un problema de drenaje es determinar el origen, la dirección del movimiento y la cantidad de agua perjudicial. Se deben estudiar los registros pluviométricos y los escurrimientos para determinar la cantidad y la intensidad del agua que contribuye a este problema. Los investigadores deberán usar cartas topográficas y aéreas que revelen los declives del terreno, la ubicación de los cauces y las áreas propensas a inundación, para indicar los lugares propicios para los desagües. Los registros de los pozos de observación revelan la geología local y pueden determinar la presencia de agua artesiana como también identificar las estratificaciones del subsuelo que confinan o aislan el agua. Las mediciones tomadas en los canales de riego indicarán las pérdidas que se producen a causa de las infiltraciones o por causa del exceso de agua. Estos muestreos casi nunca son suficientes para conducir al investigador al fondo del problema, frecuentemente es necesario realizar estudios más detallados a nivel de campo.

Las plantas afectadas y la tierra alrededor deberán ser examinadas. Una herramienta de gran valor es el barrenador de suelo, que oscila entre un diámetro de 5 a 10 centímetros y que se usa para explorar las condiciones subterráneas del suelo y para perforar pozos de observación. Las peforaciones del barreno deben penetrar al menos 1.5 veces la profundidad deseada del drenaje y es recomendable efectuar una mayor cantidad de perforaciones ya que así se reunirá una información más completa. Estas perforaciones suministran información sobre la textura del suelo, estructura, permeabilidad relativa y profundidad de la capa freática. Estas perforaciones también pueden convertirse en pozos de observación si se empaca grava alrededor de una tubería plástica o perforada un poco más pequeña en diámetro que la perforación del barreno. Estos pozos de observación son invaluables para medir

las fluctuaciones de la capa freática y pueden ayudar a determinar si la elevación del nivel es debido al riego o a las lluvias, o por infiltraciones de zanjas o de terrenos adyacentes. Solamente después que la causa y la extensión del problema hayan sido determinados podrán los técnicos aconsejar a los agricultores de la mejor forma de proteger sus cultivos y sus campos.

Métodos de Drenaje

En general, los problemas de drenaje son más graves cuando se usa agua superficial para riego. Estos problemas se pueden resolver, ya sea instalando un drenaje auxiliar o un interceptor; esta elección depende principalmente de las características del flujo del agua excedente, de las condiciones del subsuelo y de las características fisiográficas de las áreas afectadas.

La táctica preferida es interceptar el exceso de agua antes de que alcance la superficie cultivada, que es la función de un drenaje interceptor. Estos drenajes son utilizados para remover el agua superficial y subterránea de la tierra, tales como las pérdidas laterales provenientes de un canal, que invaden un cultivo en un suelo relativamente impermeable. Los desagües interceptores deberán ser instalados tan profundo que sea posible para que se lleven la máxima cantidad del agua que corre debajo de la superficie del suelo y a lo largo de la parte superior de una capa impermeable. Algunos drenajes interceptores son solamente zanjas abiertas, mientras que otros son drenajes tubulares cubiertos. Se debe asegurar que el material de relleno sobre las tuberías de drenaje sea poroso para que proporcione suficiente flujo que garantice que el agua no se desviará del sistema de drenaje.

Cuando no se pueden utilizar desagües interceptores, desagües auxiliares muchas veces resuelven el problema. Estos desagües pueden ser instalados en forma sistemática o al azar dentro del terreno afectado. Comúnmente se instalan drenajes laterales en forma de rejilla, o de espinazo de pez, con cada línea lateral conectada a una tubería mayor que descarga el exceso de agua en un drenaje central, que sirve varias fincas. Sin embargo, ningún sistema de drenaje es mejor que su salida de desagüe. Cuando el agua en el drenaje central está más alta que en las zanjas de drenaje o en las tuberías, el problema puede ser resuelto instalando un sumidero (o pozo colector) y una planta de bombeo que levante el agua hasta donde pueda ser descargada en el drenaje central elevado.

Los agricultores pueden optar por el tipo de drenaje que van a instalar de acuerdo con sus problemas particulares. Esa elección dependerá de varios factores: tipo de tierra, economía y costumbres predominantes.

Para remover grandes cantidades de agua, los drenajes abiertos no han sido superados porque el agua que corre sobre la superficie de la tierra puede entrar al desagüe abierto con más rapidéz que en los drenajes cubiertos. Los desagües abiertos cuestan menos de instalar y son eficientes para interceptar los escurrimientos de las laderas y de otras partes elevadas del terreno que están propensas a inundarse durante las grandes lluvias. El tamaño necesario de las zanjas abiertas para contener determinadas cantidades de agua, depende del declive y de la forma de la sección transversal que a su vez es determinada por la textura del suelo. Los desagües destinados solamente para remover agua superficial o interceptar escurrimientos superficiales pueden también ser diseñados para operar a toda capacidad cuando el escurrimiento es máximo. Cuando el objetivo del drenaje es reducir el nivel de la capa freática del agua, el sistema debe ser diseñado en tal forma que el agua dentro de los drenos esté por debajo de la profundidad deseada de la capa freática. Aunque los drenajes abiertos son relativamente fáciles de construir y de bajo costo, requieren constante mantenimiento todo el año.

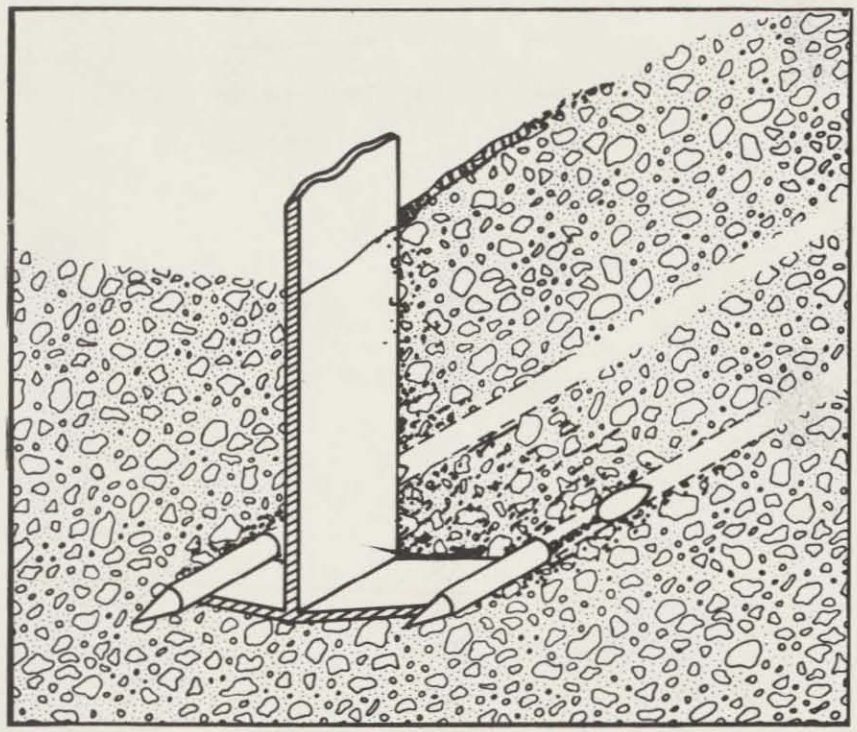
Hay dos clases de tubos de drenaje: tubos de secciones cortas de concreto o cerámica empalmados juntos para formar una línea continua o tubería plástica per-

forada de secciones mayores. Cuando son adecuadamente instaladas tales tuberías requieren muy poco mantenimiento y no interfieren con la rutina diaria de la labranza. Cuando la capa freática es elevada y el índice de salinidad es una amenaza, las tuberías deberán ser colocadas bien profundas en la tierra. El nivel de agua debe ser mantenido lo suficientemente bajo para que la acción capilar no pueda elevar el agua a la superficie, donde se evaporará y liberará la sales disueltas.

El espaciamiento entre las líneas de tubos debe ser tal que permita que el nivel de agua entre estas líneas proporcione la suficiente profundidad no saturada de suelo para que las raíces de las plantas puedan crecer. Cuanto más profundo los tubos estén enterrados más grande será el espaciamiento permitido para mantener la capa freática a su nivel ideal.

Los drenajes no pueden reducir el nivel de agua por debajo del tubo mismo. Los tubos colocados por arriba de la capa freática no podrán interceptar el agua que va hacia abajo y ninguna cantidad de agua entrará en el tubo hasta que la capa se levante por encima del nivel del tubo. Muchas fórmulas han sido elaboradas para espaciar las líneas de drenaje, pero debido a que el movimiento del agua dentro de los tubos depende principalmente de la textura y de la estructura del suelo, estas fórmulas sólo proporcionan estimaciones. En la práctica se deberá tratar de conseguir un espaciamiento amplio. Si la experiencia demuestra que este espaciamiento no da resultado se podrán instalar más líneas laterales. Si un agricultor está trabajando tierras que contienen sedimentos o arena extremadamente fina, descubrirá que la tierra tiende a disolverse cuando está saturada de agua. Si esto sucede se le deberá indicar como revestir los tubos de desagüe con una envoltura de grava de alrededor de 5 a 10 centímetros de espesor. Esta envoltura impedirá que la tierra en solución entre en los tubos y tape las entradas.

Los drenajes topo, de dos torpedos, pueden usarse solamente en ciertos suelos y excavarse en contadas circunstancias.



Los drenajes libres (topo) han sido utilizados en Inglaterra desde el siglo dieciocho y también tuvieron éxito en Australia y en Nueva Zelandia. En 1970, AID comenzó a realizar estudios intensivos para determinar si los drenajes libres podrían ser empleados satisfactoriamente en otros países, teniendo en cuenta que son fáciles de instalar y que el costo inicial es relativamente bajo.

El equipo convencional para abrir este tipo de drenajes consiste en un torpedo de acero con una punta aguda soldada a una hoja vertical de acero (subsolador) que es arrastrado a través de la tierra por un equipo mecanizado. La mayoría de los drenajes en este sistema son construídos entre 45 y 60 centímetros de profundidad. La experiencia ha demostrado que los canales abiertos con un sólo torpedo tienen poca duración. El deterioro es causado por la caída de sedimentos dentro del canal cortado por la hoja vertical, que llenan rápidamente el drenaje mismo.

El problema puede ser atenuado si se utilizan dos torpedos que abren dos canales al mismo tiempo. Debido a que la hoja vertical está colocada entre los dos torpedos, la mayoría del sedimento es atrapada en el canal y muy poco se filtra hacia dentro de los drenajes.

La experiencia demuestra que el subsolador con dos torpedos ha tenido éxito cuando ha sido empleado en arcilla, en arcilla limosa y en suelos orgánicos y fibrosos. Si estos drenajes se instalan en otras clases de suelos su duración será tan corta que no valdrá la pena hacer la excavación. Si estos conductos libres se forran con plástico su duración será lo suficientemente larga como para considerarlos un método de drenaje subterráneo. Pruebas conducidas en conductos libres sin revestimiento demuestran que cuando la cantidad de agua aplicada es muy grande, los drenajes se deterioran más rápidamente.

Si a continuación de la construcción de los conductos libres, se produce una fuerte precipitación, el sistema se derrumbará, especialmente si la tierra ya está saturada. La mejor condición de la tierra para construir los conductos libres es cuando la superficie está suficientemente seca para que proporcione la tracción necesaria de arrastre y cuando el subsuelo está lo suficientemente húmedo y provee plasticidad para moldear las paredes del canal. Si el subsuelo está muy seco causará que el revestimiento de la cavidad se arruine cuando el torpedo está abriendo el canal, dejando el canal lleno de partículas de tierra suelta.

6

Mediciones del Agua y Sistemas de Distribución

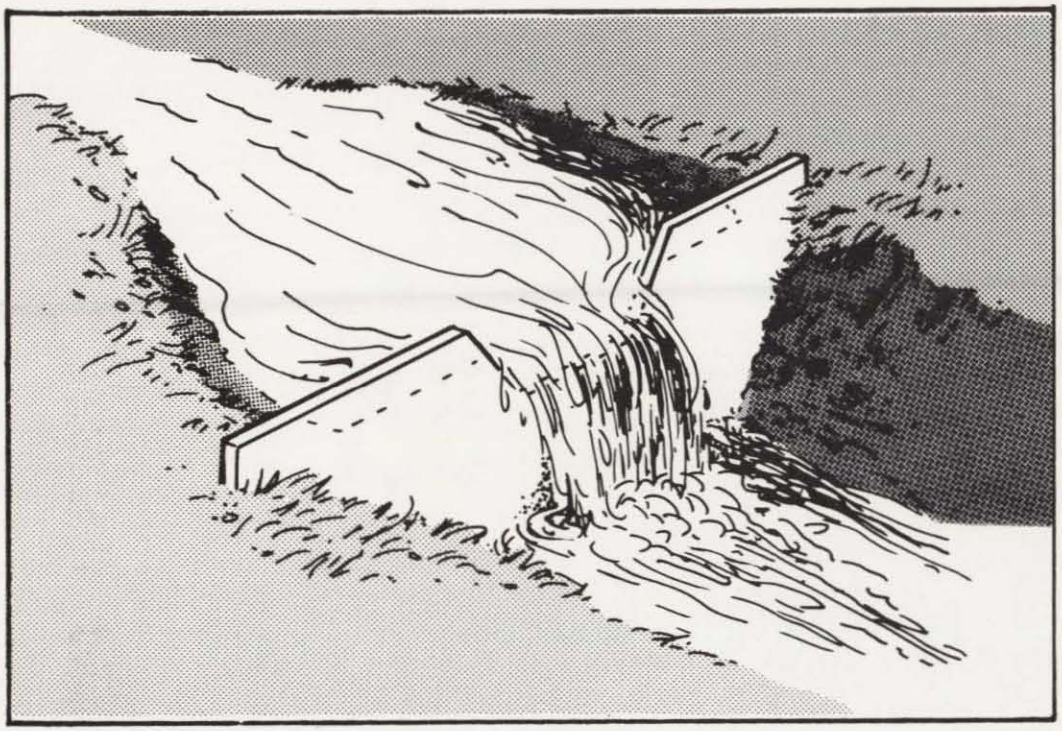
Los asesores técnicos de riego necesitan medir el flujo de agua con exactitud si quieren determinar correctamente la eficiencia de los sistemas de riego y poder aconsejar a los agricultores la forma más apropiada de utilizar el recurso agua que tienen disponible. No se puede determinar la eficiencia del sistema de riego sin medir las pérdidas de agua que se producen después que ésta sale de la cabecera del sistema y antes de que alcance el terreno. También los agricultores deben tener conocimiento si las necesidades de agua del cultivo han sido alcanzadas. El manejo eficiente del agua de riego requiere mediciones del flujo de agua en puntos seleccionados del sistema.

Mediciones de Agua

Es necesario medir el flujo del agua en los canales principales y en los puntos de descarga en el terreno. Se pueden tomar medidas volumétricas de pequeñas corrientes de agua usando un recipiente calibrado y un cronómetro para ver cuanto tiempo lleva la descarga para llenar el recipiente. El flujo en litros por segundos se determina dividiendo el volumen de agua recogido entre el tiempo en segundos que el recipiente requiere para llenarse. Sin embargo, el flujo de agua es medido generalmente con medidores de flujo de canal abierto o en canales aforados.

Uno de los dispositivos más simples para medir el flujo de agua en canales de riego es la compuerta de aforo, que es un muro de contención que se coloca a través de un canal con una abertura de dimensiones específicas. Se hace un corte en el borde superior en forma de -V-, trapezoidal o rectangular. Ecuaciones simples y tablas establecerán rápidamente el flujo a través de la compuerta. Esto se basa en una sola medida: la elevación del nivel del agua sobre el borde superior de la compuerta.

Las compuertas pueden ser de madera, metal o concreto y son fáciles de construir e instalar, aunque ocasionan una caída considerable del nivel del agua (pérdida de carga) cuando el agua pasa a través de la estructura. El nivel del agua corriente abajo no deberá alcanzar la elevación de la cresta



Las compuertas de aforo son recursos sencillos para medir el flujo del agua.

de la compuerta si se quiere obtener medidas exactas.

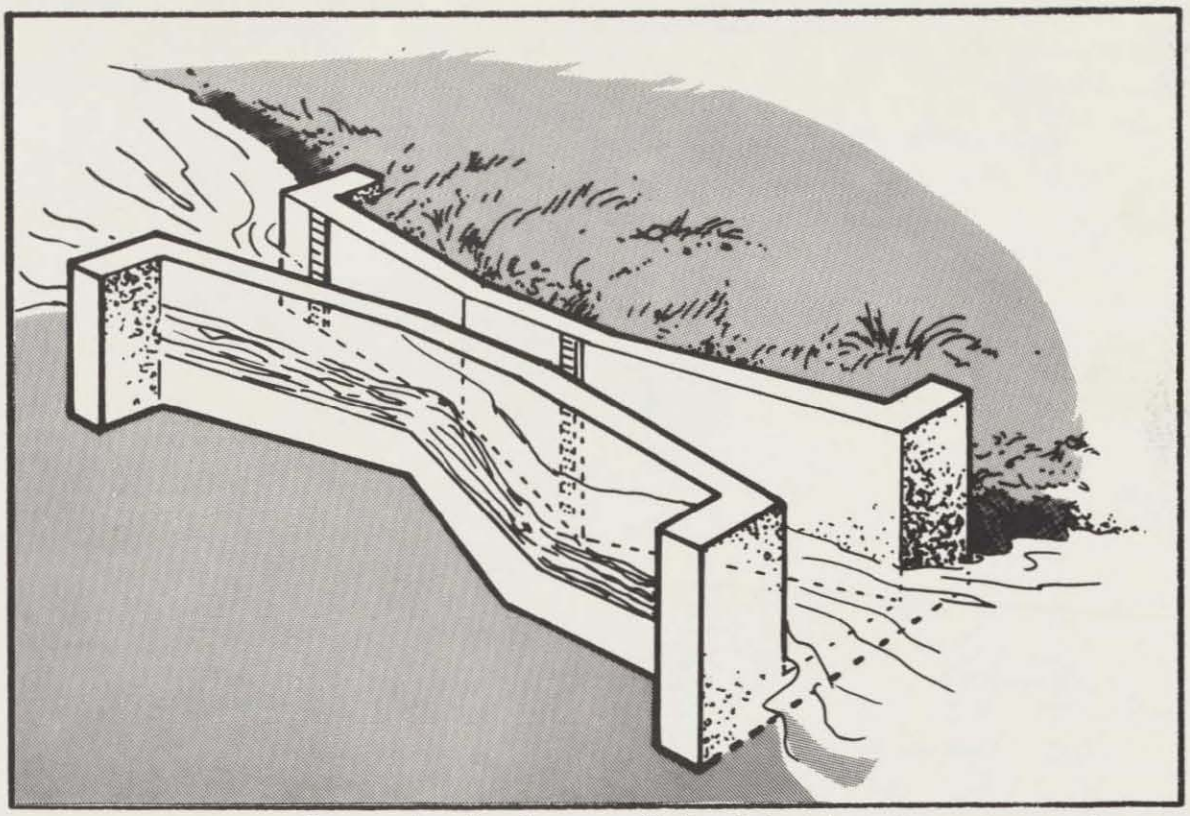
Cuando no se pueden emplear medidores de flujo que requieren pérdida substancial de la carga de agua, se pueden utilizar las canaletas aforadas. El aforador Parshall puede ser fabricado en gran variedad de tamaños y proporciona mediciones exactas en canales de riego pequeños o grandes. El flujo que corre por el aforador es determinado por las dimensiones del mismo y por la medida de la elevación del nivel del agua sobre el piso del aforador. Esta medida es requerida en un solo punto del aforador, excepto cuando la elevación del nivel del agua corriente abajo es bastante alta en relación al nivel del agua corriente arriba. En este caso, las medidas de la elevación del nivel del agua se tomarán en los dos extremos del aforador para medir el volumen de flujo.

Una variante del aforador Parshall es el de garganta cortada, que ha sido probado en laboratorios y a nivel de campo durante los últimos diez años. El aforador de garganta es relativamente económico de fabricar y fácil de instalar. Más aún, la pérdida de carga requerida es mínima, lo cual significa que el aforador puede ser colocado en corrientes de agua sin el peligro de que el flujo sobrepase ninguno de los lados del canal.

La diferencia que existe entre las dos variantes de aforador es que el de garganta tiene el piso plano y sin inclinación, por lo tanto su diseño es más simple y más fácil de construir. El piso plano posibilita la colocación de este aforador directamente sobre el lecho del cauce. El aforador puede operar ya sea como una estructura de flujo libre o sumergida, lo cual aumenta su utilidad en el campo.

El aforador de garganta dará medidas exactas del flujo de agua solamente si está correctamente instalado. Primero, el aforador debe ser colocado en una sección recta del cauce. Si las condiciones de operación prevalecientes requieren cambios frecuentes de la descarga de agua, el aforador puede ser instalado cerca de un punto de desvío o de una compuerta reguladora — aunque no muy cerca de la compuerta, por los posibles efectos de olaje. Tampoco deberá ser colocado corriente abajo e inmediato a una alcantarilla o a cualquier otro tipo de construcción.

Cuando se instala un aforador de garganta en un curso de agua, se debe tener



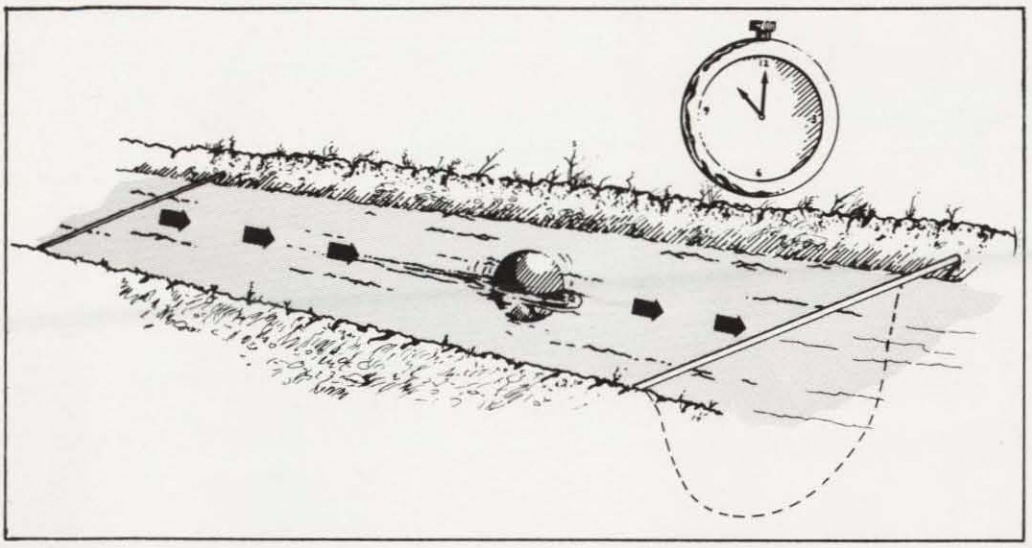
Los canales aforadores son fáciles de instalar y de mantener en las secciones en línea recta de los cursos de agua.

cuidado de alinearlo en forma paralela con los lados del cauce y nivelado en los dos extremos. Con el tiempo estos medidores tienden a cambiar de posición, comúnmente se inclinan hacia abajo en el extremo de salida. Esto sucede porque la acción de chorro del agua en su paso a través del aforador erosiona el cauce en el extremo de salida.

Comúnmente no será necesario instalar una estructura de transición entre el cauce y el aforador de garganta. Las mediciones se pueden efectuar en el aforador de garganta ya sea con sondas calibradas o con pozos de observación, estos últimos proporcionan más exactitud porque los pozos brindan una superficie de agua calma si se compara con las fluctuaciones y los rebotes de la superficie del agua dentro de los aforadores. Si se planea utilizar instrumentos de registro continuo, el pozo de observación es una necesidad. Es siempre preferible que estas estructuras medidoras de flujo funcionen bajo condiciones de flujo libre, porque sólo se necesita medir la profundidad de la corriente superficial para determinar la descarga. Aun cuando la corriente puede ser medida en condiciones de flujo sumergido, dos pozos de observación o sondas calibradas serán necesarias. Los pozos de observación pueden colocarse uno al lado del otro; esto, permitirá usar un duplo instrumento registrador que consiga un registro continuo del flujo corriente arriba y corriente abajo.

El mantenimiento del aforador de gargante es simple y directo. Habrá que cepillar el musgo cuando se acumula en las paredes de la sección de entrada y remover los residuos del piso. Las paredes de acero tienen tendencia a incrustarse después de un período de tiempo, pero pueden ser fácilmente limpiadas usando un cepillo de acero vigorosamente sobre las paredes. Una vez que las paredes están limpias será conveniente pintarlas con pintura asfáltica; esto retardará la formación de incrustaciones en el aforador y prolongará su vida.

Habrán casos en que los técnicos necesiten determinar el flujo del canal y no disponen ni de compuerta ni de aforador. Una simple solución a este problema será emplear el método área-flotador, que re-



Cuando no se dispone de una compuerta o canal aforador, el método de área-flotador puede ser usado para determinar el flujo del canal.

quiere un flotador, un cronómetro y un día sin viento.

Suponer por ejemplo un canal rectangular de un metro de ancho. Medir una longitud de 10 metros a lo largo de la superficie del canal. Colocar el flotador en el centro del canal y tomar el tiempo de recorrido desde el punto de partida hasta que pase la marca de 10 metros. Repetir este proceso varias veces y encontrar el tiempo promedio de recorrido. Si el promedio es de 20 segundos, la velocidad del flujo es de 0.5 metros por segundo. Sin embargo, debe recordarse que la velocidad del flujo en el canal será menor que la velocidad superficial, comúnmente por un factor de 0.8. Por lo tanto: $0.5 \times 0.8 = 0.4$ metros por segundo.

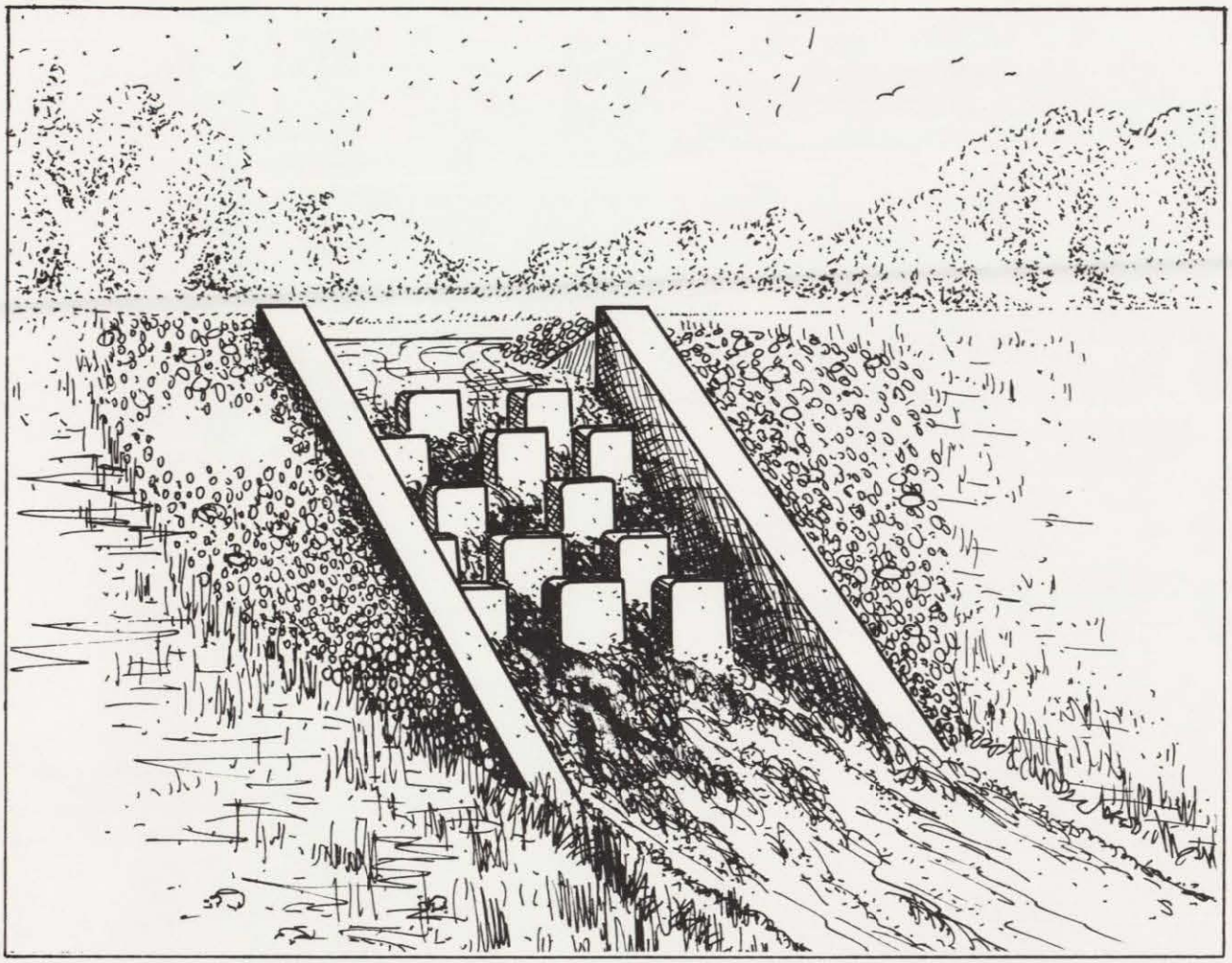
Si el área transversal del canal es de 0.5 metros cuadrados, entonces la cantidad de flujo en este punto será alrededor de $0.4 \times 0.5 = 0.2$ metros cúbicos por segundo. Quiere decir que si el flujo continua a la misma velocidad por una hora, 3600 segundos, el volumen de agua pasando este punto será de $3600 \times 0.2 = 720$ metros cúbicos. Esta cantidad de agua aplicada uniformemente a una hectárea de tierra (10.000 metros cuadrados) suministrará al agricultor suficiente agua para regar con una profundidad promedio de 17.2 centímetros.

El método área-flotador suministrará una medida bastante precisa del flujo de la corriente de agua, aunque no lo suficiente para determinar las pérdidas a lo largo del curso de agua. Las compuertas y los aforadores son más adecuados para este propósito.

Cuando los técnicos necesitan determinar la cantidad de agua que se pierde de un canal por escapes y filtraciones y no disponen de los medidores de flujo mencionados, la tarea aún se podrá cumplir en la siguiente forma.

Cerrar temporalmente una sección del canal con un dique de tierra y llenarlo a un nivel normal de operación. Sin el flujo normal, las pérdidas se producirán desde la sección represada del canal donde occurirán las filtraciones y los escapes. Las pérdidas de agua se miden instalanado una sonda calibrada de un metro y observando cuanto baja el nivel del agua cada hora.

Si la sección cerrada del canal es de 100 metros de largo y tiene un promedio de 2 metros de ancho en la superficie y si el nivel del agua cae 5 centímetros por hora, entonces: $0.05 \times 2 \times 100 = 10$ metros cúbicos por hora (0.0028 m^3/segundo). Si el canal, a toda su capacidad, normalmente descarga 0.2 metros cúbicos por segundo, quiere decir que alrededor de 1.4 por ciento del flujo del canal se desperdicia cada 100 metros o 14 por ciento del flujo de un curso de agua de 1000 metros.



Estructuras de los Cursos de Agua

En el diseño de cualquier sistema de riego, drenaje o conservación de suelos los técnicos se enfrentan con el problema de controlar la velocidad del flujo para minimizar la erosión. Frecuentemente se puede controlar tal erosión dispersando la fuerza del agua con una bomba hidraúlica.

Un dique es cualquier estructura de contención utilizada para mantener o incrementar el nivel del flujo; esto es, la altura de la superficie del agua en un canal abierto. Estos diques son diseñados en forma tal que el nivel del flujo necesario corriente abajo pueda pasar sobre o a través de la estructura y al mismo tiempo mantener una profundidad constante corriente arriba. Los diques funcionan en forma similar a las presas, vertederos, o a una combinación de ambos.

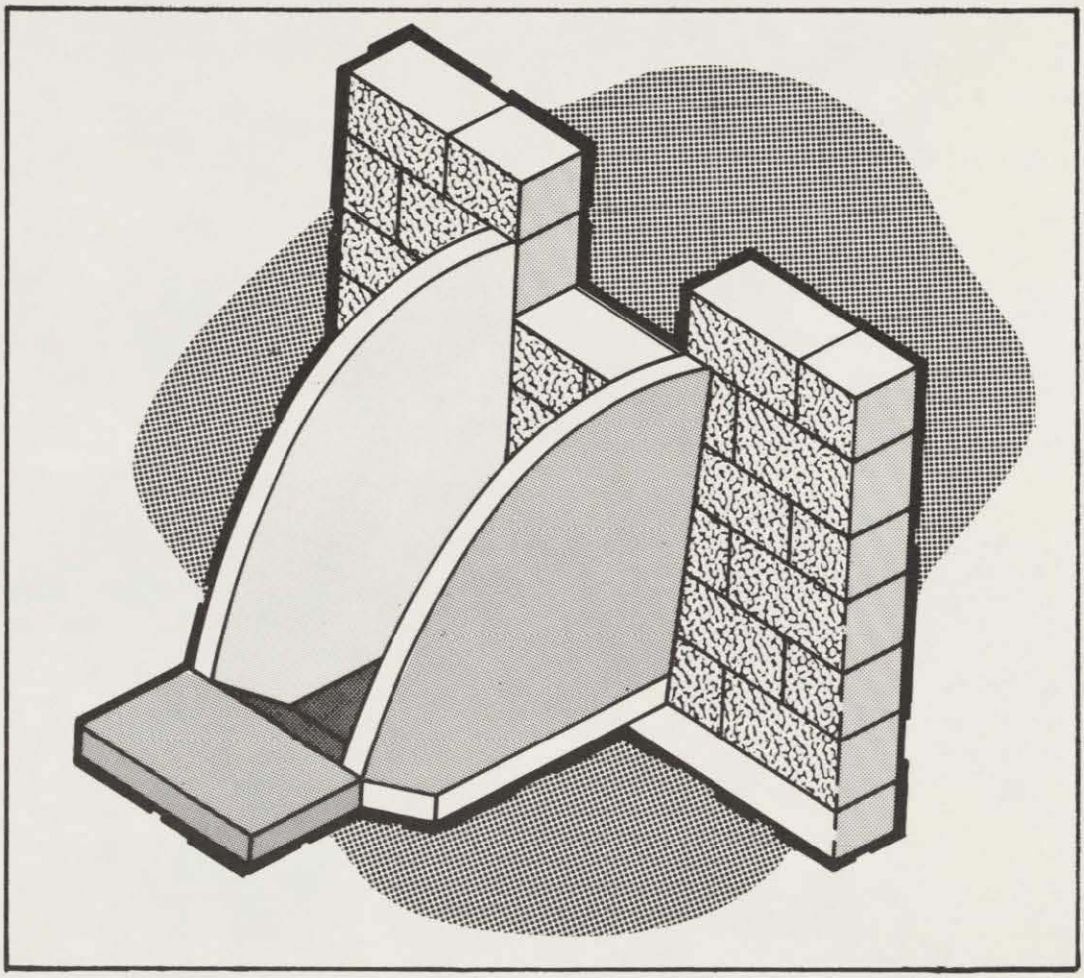
Para canales de tierra (sin revestimiento) es común emplear alguna clase de dique de contención portátil prefabricado de plástico, lona, acero, bloques o placas de concreto. Donde la tierra es susceptible de erosión será necesario colocar corriente abajo una placa, muro de defensa o cascajo. Cuando se trata de canales revestidos de concreto, se podrán utilizar canaletas prevaciadas como guías de las compuertas. Las compuertas de acero portátiles retenidas en su lugar por la presión hidrostática también resultan altamente efectivas como diques de contención.

Los vertederos se emplean para controlar las zanjas y para disminuir los ángulos en declive y prevenir la erosión donde la vegetación natural no crece. Una estructura de caída de agua ayudará a rellenar las zanjas reduciendo la intensidad del flujo y permitiendo que el sedimento se asiente. Los vertederos deben estar situados corriente arriba de las áreas propensas a la erosión; comúnmente, los diques se colocan inmediatamente arriba del salto para que la superficie del agua se eleve lo suficiente para ser distribuída en los campos.

Se pueden presentar dificultades en los canales de desagüe de la estructura debido a la acción de oleaje. Los efectos de la acción de ola pueden ocasionar derrumbamientos del margen y desbordamientos periódicos. Pocas veces se anticipa este problema; frecuentemente, las medidas correctivas se aplican después que las estructuras están construídas. Supresores de oleaje tipo impalisada han probado ser efectivos, ya que proporcionan beneficios adicionales mejorando las condiciones de aproximación del flujo cuando los dispositivos de medición son colocados a corta distancia corriente abajo.

Las ilustraciones que acompañan el texto proporcionan una idea de la gran variedad de estructuras de caída de agua que reducen la fuerza del agua, disponibles a un costo razonable para sistemas de riego en pequeñas propiedades. Los diseños para cada estructura han sido trabajados en detalle y los gráficos, ecuaciones, y tablas necesarias están a la disposición de los técnicos como auxiliares efectivos para mejorar el manejo del agua en la finca.

Las estructuras de los diques de contención y de los vertederos deberán ser construidas de mampostería y concreto para que tengan más durabilidad.



7

Manejo de los Cursos de Agua

Dondequiera que se practique la agricultura es común encontrar que los sistemas de conducción de agua para riego son ineficientes. Un estudio llevado a cabo en los Estados Unidos de 22 proyectos de riego, reveló que sólo el 36 por ciento del proyecto utilizó el agua eficientemente desde la presa hasta el final y que del agua suministrada a las fincas, el 42 por ciento se perdía por falta de eficiencia en su manejo.

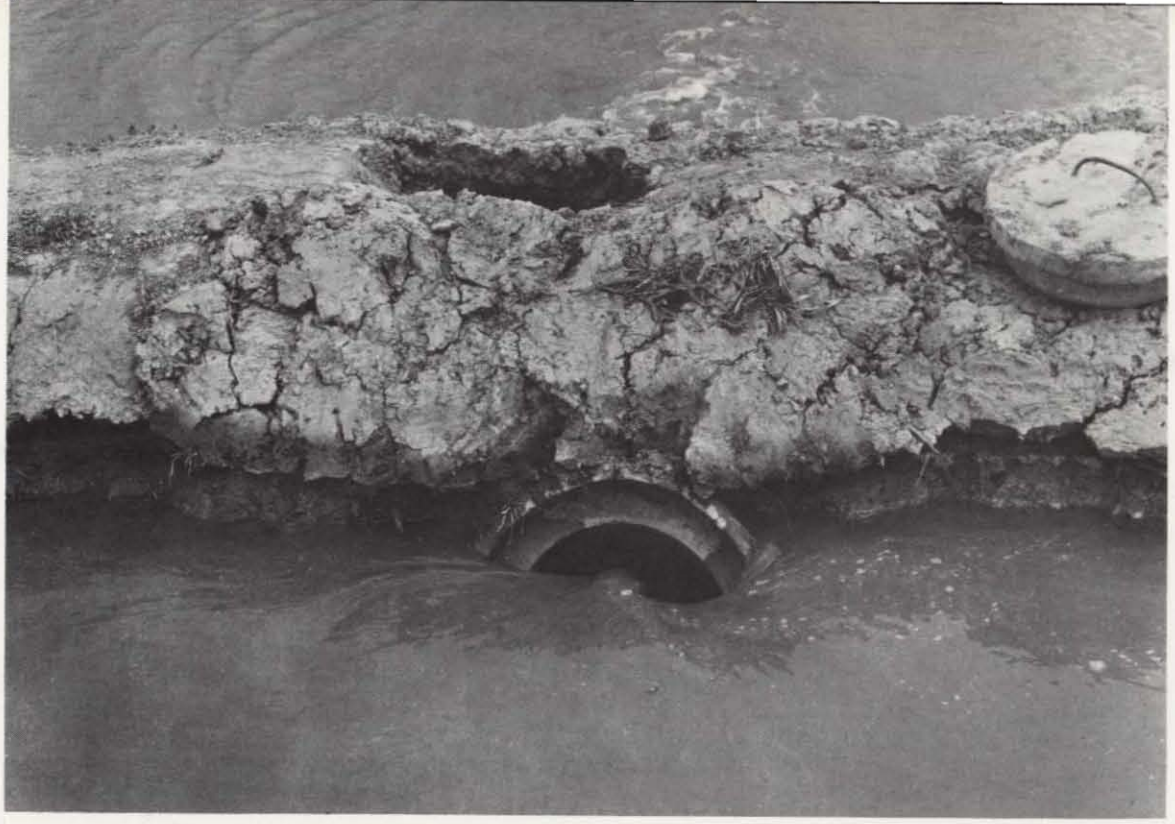
Así, se puede comprender la incredulidad de los agricultores cuando los técnicos que estudian sus sistemas de riego les informan que están desperdiciando enormes cantidades de agua antes de que ésta llegue a las plantas. En uno de los países donde los técnicos de la AID ayudaron en la investigación de un sistema típico de riego, los resultados fueron presentados a quince agricultores reunidos a lo largo de un canal. Uno de ellos comentó que no podía ser cierto que se perdiera el 50 por ciento del agua a lo largo del sistema de conducción. Cuando se le preguntó cuanta tierra podría regar, tuvo que admitir que sólo regaba un acre por hora al comienzo del sistema y sólo medio acre al final. Convencido por su propia respuesta, este agricultor estuvo de acuerdo en participar en un programa de mejoramiento de conducción y distribución de agua.

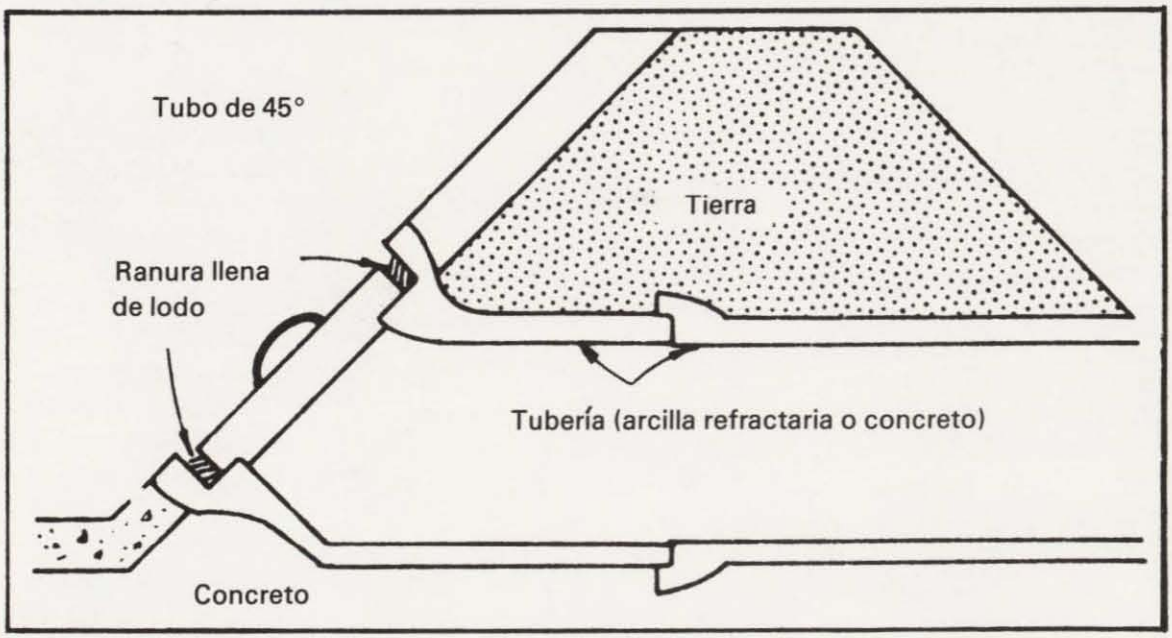
Los tres factores más importantes que ocasionan pérdidas de agua a lo largo de un curso de agua son:

- *El escape* de agua infiltrando desde la sección transversal del canal hacia abajo hasta el perfil del suelo y eventualmente a la capa freática.
- *El derrame* de agua a la superficie del suelo cuando rebalsa, el escape lento por los lados, la ruptura en las tomas y en otras áreas débiles.
- *La evapotranspiración* de agua utilizada por vegetación inútil que crece en y a lo largo de los canales.

En muchos casos el agua que se escapa desde un canal no se pierde del sistema de distribución, sino que va a parar con el agua subterránea donde estará disponible para ser usada nuevamente. Pero sí se perderá para el agricultor que está situado canal abajo y que no dispone de un pozo entubado.

Los árboles, pastos y malezas que crecen en y a lo largo del curso de la corriente utilizan apreciables cantidades de agua. El proceso de evapotranspiración también deja residuos de sal, aumentando el problema de la salinidad. Las raíces penetran la tierra por los lados y por debajo del canal, aumentando la permeabilidad del suelo que a su vez in-



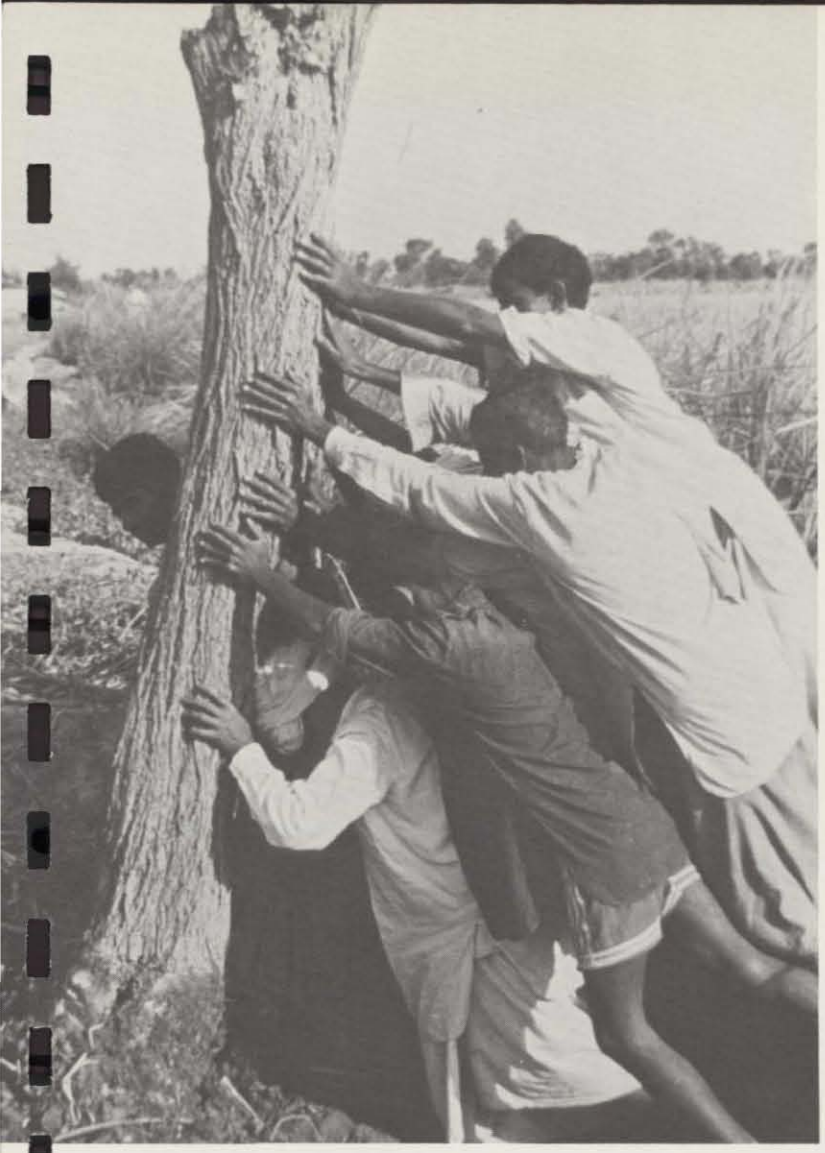


Las compuertas derivadoras (desviaderos) del curso de agua que han sido descuidadas originan grandes pérdidas de costosa agua de riego. El diagrama de arriba muestra una ingeniosa estructura de control construída de concreto.

crementa las infiltraciones y los escapes. Essa vegetación también se combina con los sedimentos, aumentando las irregularidades del canal y reduciendo el volumen de agua que puede transportar.

Otro problema, especialmente con canales viejos, es la pérdida de agua a través de perforaciones que los roedores excavan a los lados del canal. El agua que sale por estos agujeros se escapa por ambos lados del curso causando a menudo el sobre-riego de los terrenos adyacentes. Es virtualmente imposible librarse de los roedores, el agricultor deberá llenar y compactar los agujeros con tierra.

Los sedimentos amenazan constantemente todos los cursos de agua; estas



acumulaciones de sedimentos y arenas finas en el fondo del canal tienen un efecto obstructor que reduce el volumen del flujo. Se presenta otro problema cuando el canal principal se ramifica en pequeños canales; la capacidad agregada de éstos para transportar el sedimento es casi siempre menor que la capacidad de transporte del canal principal.

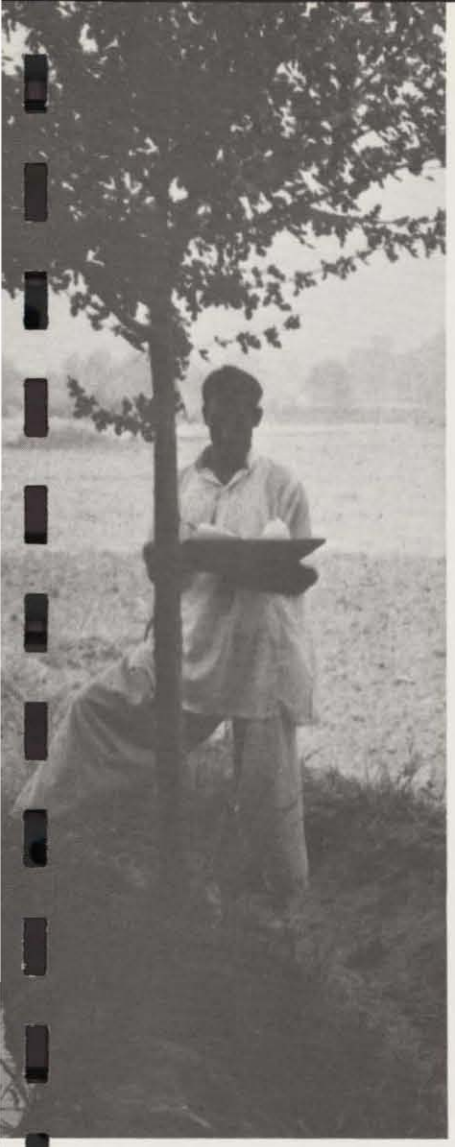
Es obvio que estos sedimentos deben ser removidos; sin embargo, ésto puede extender los márgenes del curso de agua sobre la tierra. El agricultor pierde el aprovechamiento de esa parte de su terreno o puede intentar distribuir los sedimentos sobre el campo, con la subsecuente necesidad de nivelar nuevamente. Se continuan estudios en los laboratorios con modelos hidraúlicos con el propósito de desarrollar un método que permita la remoción de sedimentos. Actualmente la única solución disponible es la construcción de pozos de sedimentación en los cursos de agua que retengan los sedimentos.

Los pozos de sedimentación son secciones del canal donde el área transversal es ampliada, haciéndolo más ancho y profundo. El área de la sección transversal de los pozos de sedimentación debe ser suficientemente grande para que la velocidad del agua se reduzca no más que la mitad de la velocidad normal del canal. Cuando el flujo disminuye, el sedimento se deposita en este lugar de donde puede ser removido.

Los pozos de sedimentación deben ser localizados cerca de la parte superior del curso de agua, que es un lugar conveniente para la remoción del sedimiento.

Bajo la dirección de técnicos de AID, los agricultores construyeron un pozo de este tipo con resultados excelentes. El pozo, que medía 1 × 2 metros, fue construído en los primeros 45 metros del curso de agua y proporcionaba una sección transversal de 1.7 metros cuadrados. Con un flujo de 0.085 metros cúbicos por segundo, la velocidad promedio en el pozo de sedimentación fue de 0.05 metros por segundo; en el resto del curso de agua la velocidad del flujo fue al menos 1.5 metros por segundo, en esta forma la mayor parte del sedimento fue forzada a caer en el pozo. En este curso de agua en particular, se depositaron alrededor de 140 a 200 metros cúbicos de sedimento por año y el pozo tuvo que ser limpiado de seis a ocho veces anualmente.

Antes de comenzar la tarea de recuperación del curso de agua deberán determinarse las pérdidas de agua a través de mediciones exactas del flujo. La mejor forma de llevar a cabo esta operación es mediante la instalación de aforadores Parshall o de garganta, colocados a una distancia de 500 a 2000 metros de separción entre si y midiendo el flujo después de que el agua haya corrido en el canal por varias horas. El porcentaje de eficiencia de distribución es la descarga del aforador corriente abajo dividida por la descarga del aforador corriente arriba multiplicada por 100. La pérdida entre los dos aforadores puede ser expresada como pérdida efectiva de agua



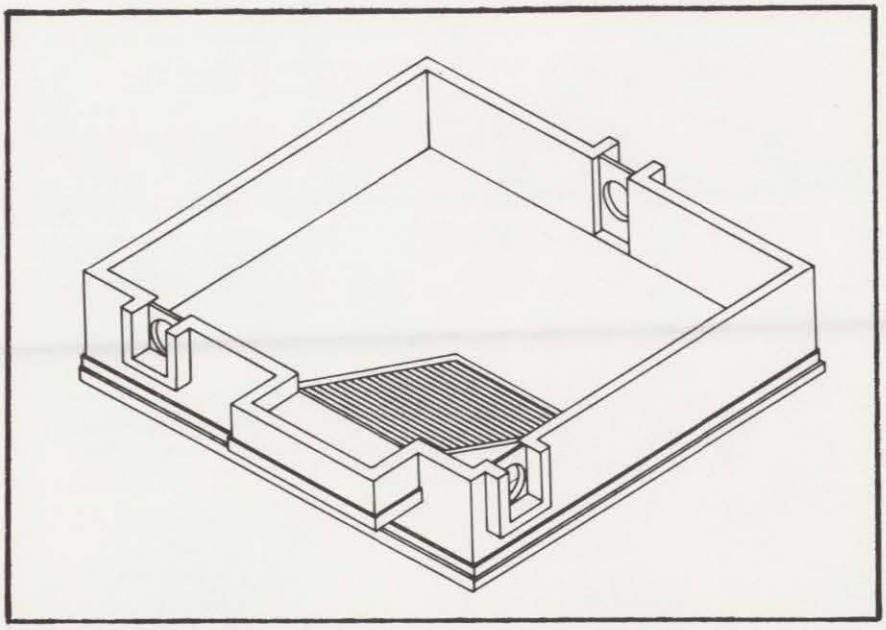
por 1000 metros, o el porcentaje de pérdida por 1000 metros.

Los trabajos de mejoramiento de los cursos de agua requerirán la clausura del abastecimiento de agua todo el tiempo que sea necesario para arrancar las malezas, compactar los lados de la zanja, rellenar los agujeros ocasionados por los roedores e inspeccionar las juntas de las salidas de agua de las compuertas. Todo este trabajo se realiza a mano y con palas. A medida que el trabajo progresa los técnicos deben inspeccionar y revisar las pendientes de los canales para asegurarse que las justas dimensiones y alturas son mantenidas a lo largo del canal.

Si el precio del acero es alto se pueden construír estructuras de control con cemento que son más económicas y prestan tan buen servicio como las de acero. Uno de los diseños incluye tubos de concreto inclinados a un ángulo de 45 grados con cuello y tapa emparejados al margen. Si es difícil conseguir una buena compactación alrededor de las tuberías, un muro interceptor de concreto dentro del curso de agua impedirá derrumbes a lo largo de estas estructuras de control. Cuando se utilizan moldes de madera en la construcción de las tapas de concreto el resultado puede ser un mal ajuste, debido a que la madera en contacto con el agua puede torcerse. Los moldes de acero no presentarán este problema. Estas estructuras son construídas con encajes especiales, diseñados para ser rellenados con barro que actuará como sello. Aunque estos sellos son efectivos deben ser rehechos cada vez que la tapa se abre y cierra.

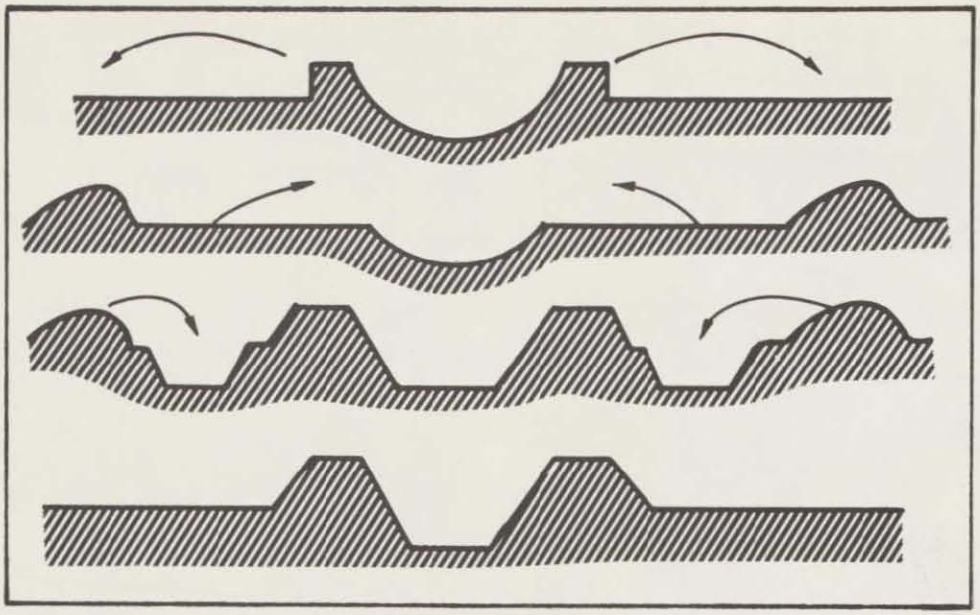
Uno de los proyectos de mejoramiento de los cursos de agua requirió la labor de

Las costumbres tradicionales pueden ser preservadas y la integridad del curso de agua mantenida con la adición de estructuras especiales, en este caso, un baño de concreto para búfalos.
DETON.



treinta y cinco agricultores para trabajar en un curso de agua de 8500 metros encargado de abastecer una área de 900 acres. Los agricultores trabajaron en el canal un total de 48 días, haciendo un promedio de 190 metros de canal cada día y dedicando 8800 horas laborales. Albañiles y obreros especializados contribuyeron otras 4200 horas. El costo de este proyecto piloto fue alrededor de $1.20 (dólares) por metro, pero el curso de agua restaurado condujo 50 por ciento más agua a los terrenos.

Los cursos de agua continuarán pagando la inversión solamente si los agricultores los mantienen adecuadamente. La experiencia ha demostrado que es una buena inversión contratar un vigilante para que se encargue de la supervisión del sistema de distribución de agua a tiempo integral, ya sea que es recompensado en efectivo o con producto. Las obligaciones del vigilante incluyen estas áreas de responsibilidad:



Los diseños de los cursos de agua incluyen una gran variedad de formas. El factor importante es su mantenimiento regular por los propios agricultores.

- *Escapes:* Reducir tapando los agujeros, grietas y cuevas de los roedores. Empacando con barro las juntas de las tomas.
- *Infiltraciones:* Reducir compactando los márgenes del canal
- *Rebalsamientos:* Prevenir asegurándose de que haya un mínimo de 15 centímetros de borde libre.
- *Restricciones del flujo:* Eliminar las malezas, pastos y otros obstáculos en los canales del curso de agua.
- *Vigilancia:* Vigilar las prácticas de riego del agricultor en las porciones del curso de agua que abarcan sus tierras.
- *Aumento de flujo:* Cuando el nivel del agua pasa de los 5 centímetros encima de la marca de capacidad total del canal, el comité local deberá ser informado que ha llegado el momento de otra limpieza completa del curso de agua.

Mejoramiento de los cursos de agua existentes y su cuidadosa manutención posterior son las medidas de mayor importancia que los agricultores pueden tomar y llevar a cabo como un riesgo colectivo que ahorre agua y aumente la producción.

Abastecimiento de Agua para Riego

Los cultivos bajo riego dependen de aguas subterráneas o de aguas superficiales. Muchas veces el agua superficial llega en momentos en que los agricultores no tienen necesidad de regar; estas venidas de agua, que son impredecibles en cantidad e intempestivas son demasiado valiosas para ser desperdiciadas. Se han desarrollado distintas formas de apresar esta agua y almacenarla hasta el momento en que sea necesaria.

Agua Superficial: Embalses

Donde el terreno es apropiado, se pueden formar embalses superficiales en los valles donde han sido construídas represas para almacenamiento. Tales estanques varían en tamaño desde aquellos capaces de almacenar la cantidad de agua necesaria para regar miles de hectáreas hasta aquellos que sólo retendrán el agua suficiente para abastecer pequeñas propiedades. Cuando se considera la construcción de tales depósitos habrá que enfrentar unos cuantos problemas.

Frecuentamente los únicos sitios apropiados para la localización de estas represas están a grandes distancias de los campos a ser regados. Esto significa que será necesario invertir una gran cantidad de tiempo y trabajo para hacer la coneción entre los campos y los depósitos vía largos cursos de agua que requerirán un mantenimiento permanente para que resulten eficientes. Nunca se deberá construír estas represas en valles donde no se han realizado previamente cuidadosas investigaciones hidrológicas y geológicas. Aunque se puedan construír pequeños diques cerca de los terrenos regados, es necesario obtener supervisión técnica profesional.

En muchos lugares donde la topografía es plana los diques no resultan prácticos. Aun así, se pueden excavar pequeños

depósitos sobre la superficie con defensas construídas en tres o cuatro lados. Estas pueden ser construídas con la tierra excavada del embalse. Estas obras son factibles solamente en pequeña escala.

Los embalses pequeños de este tipo pueden ser utilizados para el almacenaje de agua de los pozos cuya capacidad no es suficiente para suministrar la corriente adecuada para riego superficial. En la mayoría de los casos se puede acumular durante la noche el volumen de agua suficiente para un riego superficial limitado.

Agua Subterránea: Pozos Superficiales

Investigaciones patrocinadas por AID han demostrado que es posible aprovechar el agua subterránea en situaciones donde el agua dulce, que es apropiada para riego y consumo doméstico, yace sobre una capa de agua salina. Esta condición se encuentra más a menudo en islas pero también occure en el continente.

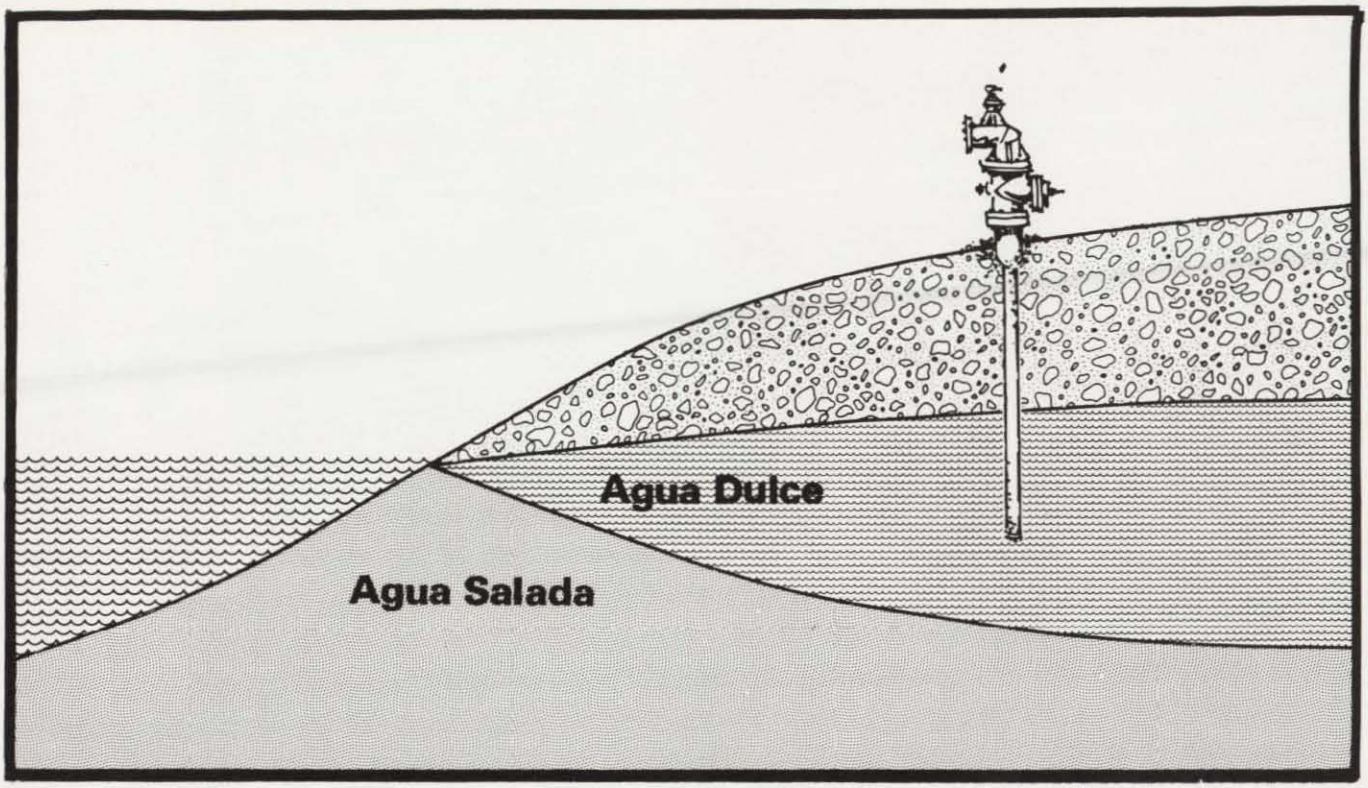
Se han desarrollado métodos para extraer el agua dulce de la parte superior del

El bombeo tradicional de agua de pozo que emplea fuerza animal, es a veces más costoso que las bombas movidas a motor.

terreno utilizando pozos superficiales en tal forma que la mezcla en el acuífero de agua fresca y salina es minimizada. Si se permite que esta agua altamente mineralizada se mezcle con la dulce durante el proceso de bombeo, el agua que se produzca será inútil para el riego.

Los agricultores que emplean estos pozos superficiales por primera vez, se sorprenden cuando, después de un largo período en el que se ha extraído agua de alta calidad, ésta comienza a deteriorarse y los cultivos a marchitarse debido al exceso de salinidad. La explicación más común no es siempre fácil de entender: el pozo se ha convertido en víctima del ascenso cónico (cono de depresión), un fenómeno poco entendido.

Lo que occure es que cuando el bombeo se inicia, el agua salina sube en forma cónica en respuesta a la acción del bombeo. El ápice del cono se levanta hasta un punto directamente debajo del pozo. En condiciones estables el cono seguirá elevándose hasta cierta altura que depende de la succión del pozo hacia abajo. Si la succión excede un valor crítico, el cono se elevará hasta que el pozo bombee agua salada, a pesar del hecho de que la capa de agua dulce está muy lejos de ser agotada. No se debe permitir que la



Esta sección transversal de un pozo superficial muestra como puede extraerse agua dulce por encima de una capa de agua salada.

interfaz del agua salada se levante por arriba de la mitad de la distancia entre la posición original de la interfaz y el fondo del pozo. Si esta distancia es regulada y controlada dentro los límites correctos, el peligro del ascenso cónico será minimizado.

En los lugares donde se han perforado pozos tan profundos que comienza a bombear agua salada, el problema puede a veces ser corregido taponando el fondo del pozo con concreto. En realidad, esto levantará el fondo del pozo por arriba de la zona donde el ascenso cónico se produce. En otros casos, la descarga de los pozos superficiales puede reducirse, lo que a su vez disminuirá el nivel de ascenso cónico a un nivel menos peligroso. Esto se explica por el hecho de que la reducción del bombeo reduce la succión de agua dulce que a su vez disminuye el ascenso cónico de agua salada.

Trabajos de campo patrocinados por AID en una pequeña finca, ponen de relieve los procedimientos que pueden ser usados para resolver los problemas de los pozos superficiales. Un pequeño pozo tubular, perforado a una profundidad de 35 metros, comenzó a bombear agua con un contenido inaceptable de salinidad de 2300 ppm, forzando su clausura como fuente de agua. Los técnicos que midieron el contenido de sal del agua que entraba en el pozo a cada nivel del acuífero, encontraron un rápido aumento en el contenido de sal entre los 28 metros de profundidad y el fondo, pasando de una concentración de 1200 ppm a 3750.

Partiendo de la base de estas investigaciones de campo, los técnicos rellenaron los 15 metros del fondo del pozo con arena y un tapón de concreto. El ritmo de bombeo fue reducido de aproximadamente 25 litros por segundo a 8.5 y la calidad del agua bombeada indicó una mejora inmediata a 770 ppm, permitiendo que el agua del pozo se utilizara una vez más para mantener los cultivos.

Sumario

Uno de los aspectos más beneficiosos y deseables de la agricultura de riego es la posibilidad de llegar a ejercer un control total sobre el agua y suplir a las plantas con el agua necesaria en el momento oportuno. En los últimos años se han empleado sistemas de riego suplementarios en áreas agrícolas donde la caída de lluvia es deficiente. Si se dispone de una fuente segura de agua de la tierra, esta práctica resultará económica ya que la producción aumentará. Así, aunque la superficie de tierra bajo riego es menos del 15 por ciento del total de la tierra cultivada en el mundo, la producción de estas tierras de regadío — especialmente si ha sido provista con sistemas suplementarios de riego — representa un potencial significante para la producción alimenticia.

La cantidad de agua que realmente llega al cultivo en una área determinada es comúnmente sólo una pequeña porción del agua distribuída por el sistema de riego. Las razones son muchas: escapes, pérdidas por evaporación, pérdidas durante la operación del riego, derrames producidos en las zanjas mal conservadas, vegetación inútil que crece en y a lo largo del sistema de distribución de canales, campos agrícolas que no han sido bien diseñados y construídos. Cada uno de estos errores probará ser costoso. Las normas y reglamentaciones bajo las cuales los agricultores operan, contribuyen a este desperdicio si el agua no es disponible para el agricultor cuando la necesita.

El sistema físico de riego comprende un punto de almacenamiento de agua (en algunos casos un embalse), un sistema de conducción y distribución de agua para llevarla desde la fuente a los terrenos y un método de aplicación del agua a los cultivos. La complejidad del sistema varía de acuerdo al número de usuarios y a la estructura administrativa que maneja el sistema. La construcción y mantenimiento de embalses, presas, canales principales y estructuras de distribución son comúnmente manejados por agencias gubernamentales y no dan problemas técnicos.

En la mayoría de los sistemas de riego en canales, especialmente aquellos en los países en desarrollo, donde las fincas no son grandes, el agua es transportada a lo largo de pequeños canales desde el canal principal a las fincas individuales. Este sistema subsidiario es la porción con que el agricultor trabaja y donde ejerce control.

Si el cultivo crece y produce beneficios económicos significa que el sistema de riego ha cumplido su cometido; sin embargo, es esta parte del sistema que los planificadores y constructores de estos proyectos a menudo descuidan. La falta de mantenimiento apropiado es la causa del desperdicio con-

tinuo de agua a través de infiltraciones y desbordamientos.

Una vez que el agua de riego llega a la finca, los sistemas de zanjas adicionales conducen el agua a las parcelas individuales. Este sistema puede ser extenso ya que, aún en las pequeñas fincas, los campos individuales tienden a ser bastante pequeños. La propia parcela se convierte en la última porción del sistema de distribución que recibe agua desde la fuente hasta la zona radicular del cultivo. Aquí se producen más pérdidas a causa de la falta de precisión en el nivelado de los terrenos, el sobre-riego y el plan incorrecto de aplicación de agua.

La pérdida de agua de riego desde el canal principal hasta la zona de las raíces comúnmente excede aquellas pérdidas en el canal principal mismo. Esto es cierto en casi todos los sistemas que están en uso en el mundo entero. No es raro que más de la mitad del agua suministrada por el canal se pierda en el recorrido hacia los terrenos de los agricultores, agua que no será disponible para el crecimiento de las plantas.

Por muy pura que sea el agua que se aplica a la tierra, contendrá sales en solución. A menos de que se tomen las medidas adecuadas en el manejo del agua, la aplicación continua del riego sobre un período de tiempo prolongado resultará en una significante acumulación de sales en la tierra. La práctica preferida es aplicar alrededor del 10 por ciento más de agua que lo necesario para el crecimiento de las plantas para que las sales sean lixiviadas y pasen hacia el perfil del suelo debajo de la zona radicular. Sin embargo, en la mayoria de los casos la aplicación de agua es tan grande que surgen otros problemas que requieren la construcción de obras de drenaje que puedan llevarse el exceso de agua subterránea. La topografía plana requiere extensas obras de drenaje que abarquen la mayor parte de la tierra bajo regadío. La salinidad, alcalinidad y las tierras anegadas son problemas peculiares que afectan a los proyectos de riego y la severidad de estos problemas está directamente relacionada a la forma en que el agua es administrada. La mayoría del agua que se desperdicia va a juntarse con el agua subterránea, causando su ascenso y acelerando el día en que la anegación y la salinidad ocasionarán el abandono de la tierra.

Hay necesidad de personal adecuadamente entrenado para manejar los sistemas de riego. No sólo será necesario entrenar ingenieros y técnicos sino también aquellos que trabajan directa o indirectamente con el agricultor. Aunque existen estaciones experimentales agrícolas, el progreso a nivel de finca es comúnmente limitado porque faltan asesores entrenados a esse nivel que sean capaces de transmitir los resultados de las investigaciones directamente a los agricultores. En muchos países nunca se ha tratado de reunir en una relación cuidadosamente planeada, al grupo componente de los servicios de investigación y asesoría.

Los siguientes son algunos de los mayores beneficios que se pueden obtener a través de la implementación satisfactoria de practicas mejoradas de manejo de agua de riego:

- El agua de riego que se ahorra con un buen manejo es quizás la fuente más valiosa disponible para la agricultura — ya está en el canal lista para ser usada.

- El manejo adecuado incrementa la producción de la tierra de regadío, pero aun más importante, proporciona más agua para regar más tierras.
- Si pequeños agricultores trabajando en conjunto pueden llevar a cabo y con éxito un manejo de agua adecuado, esto creará una atmósfera de cooperación entre ellos mismos y entre ellos y el gobierno. Esto beneficiará también a otras áreas donde la cooperación y coordinación son vitales. Un programa con éxito puede además acelerar la difusión de nuevas tecnologías hacia una agricultura de mayor escala.
- Se puede obtener una distribución equitativa del agua de riego asegurándose que cada agricultor obtenga su cuota de agua.

Nota

Esta Guía ha sido preparada con el objeto de llamar la atención sobre algunas de las experiencias que han resultado de investigaciones patrocinadas por la Agencia de Desarrollo Internacional de los Estados Unidos y conducidas por científicos del sector agrícola que han trabajado en colaboración con agricultores y agentes del Servicio de Extensión Agrícola en los canales de riego y en los campos de pequeñas fincas. La información que se proporciona en la Guía está lejos de ser completa: un número de importantes asuntos relacionados con la agricultura de riego han sido omitidos, tales como el control o prevención de enfermedades transmitidas por el agua, la factibilidad económica de los programas de riego o las necesidades de fortalecimiento institucional y de entrenamiento asociadas con la planificación y supervisión eficiente de los sistemas de riego. El tema de la agricultura de seca no ha sido expresamente omitido en la Guía porque el manejo del agua en las pequeñas fincas, bajo estas circunstancias, requiere un estudio mucho más extensivo que las posibilidades en esta publicación. Los editores y los colaboradores de esta Guía opinan que resultará muy valiosa si se utiliza en combinación con los servicios profesionales de los ingenieros de riego, científicos agrícolas y aquellos que pueden trabajar directamente con los agricultores para ayudarlos a identificar sus problemas claves y a desarrollar soluciones apropiadas. Algunas de estas soluciones son sugeridas en esta Guía.

PREVIOUS PAGE BLANK

Glosario

BANDEJA CLASE A: la bandeja de evaporación del Servicio Meteorológico de los Estados Unidos (U.S. Weather Bureau) es un recipiente cilíndrico fabricado de hierro galvanizado o metal Monel de una profundidad de 25.4 cm y un diámetro de 122 cm.

BARRENO PARA SUELOS: un instrumento para muestrear suelos hasta varios metros de profundidad.

CABEZA: el total de la presión del flujo en la cabecera y la elevación con respecto a un dato específico — una medida de la energía del agua con respecto a dicho dato (base).

CAJA DE DISTRIBUCION (DERIVACION): una estructura para dividir agua en un curso de agua que permita su distribución en dos o más canales.

CANAL AFORADOR (FLUME): generalmente un dispositivo para medir el flujo de agua en un canal abierto. Algunas veces una estructura elevada de canal abierto para llevar agua a través de lugares bajos.

CATIONES: los iones en compuestos químicos con carga positiva que se disocian en el agua.

COEFICIENTE DE BANDEJA, kp: relación entre evapotranspiración del cultivo ET (cultivo) y la pérdida de agua por evaporación de una superficie de agua abierta de una bandeja.

COEFICIENTE DE CULTIVO, kc: relación entre la evapotranspiración del cultivo ET (cultivo) y evapotranspiración de referencia ETo, cuando ambas se encuentran en campos grandes, bajo condiciones óptimas de crecimiento.

COMPUERTA O ESCLUSA: el mecanismo de control a la entrada de las obras de abastecimiento de agua.

CONDUCTIBILIDAD ELECTRICA: medición del contenido de sal en el agua de riego generalmente dado en miliohms por centímetro (el miliohm es una unidad de conductibilidad eléctrica).

CURSO DE AGUA: el sistema de conducción de agua que la lleva de la fuente principal de abastecimiento o de los canales principales a las fincas.

DRENAJES INTERCEPTORES: drenos abiertos o cerrados que interceptan el exceso de agua que pudiera crear problemas de producción en los campos.

DRENAJE TOPO (LIBRE): un dreno cerrado moldeado dentro de un conducto sin revestimiento y que se construye mediante un cilindro en forma de bala arrastrado por debajo de la superficie de la tierra.

DESVIADERO: una estructura para desviar agua de un curso de agua a las zanjas o campos de los agricultores.

DRENAJE: remoción del exceso de agua superficial o subterránea del suelo.

DRENAJE AUXILIARES: drenos que escurran el exceso de agua de los campos que podría inhibir la producción.

TASA DE ABSORCION (INFILTRACION) DEL SUELO: velocidad a la cual el agua entrará en el suelo bajo condiciones específicas, incluyendo el contenido de agua en el suelo, generalmente en mm/por hora.

VERTEDERO: una estructura que permita bajar el nivel del agua en los canales y disipar el exceso de energía (disminuir la fuerza del agua).

ESTRUCTURA DEL SUELO: arreglos de las partículas individuales del suelo sobre agregados secundarios.

EVAPORACION DE BANDEJA, E (bandeja): relación de la pérdida de agua por evaporación de una superficie descubierta de agua de una bandeja de evaporación, generalmente en mm/dia.

EVAPOTRANSPIRACION, ET: tasa de transpiración de una cubierta vegetal más la evaporación del suelo y de la superficie húmeda de la vegetación, generalmente en mm/dia.

FREATOFITAS: plantas que utilizan grandes cantidades de agua, generalmente a lo largo de fuentes de agua o donde el agua es fácil de obtener.

RIEGO: aplicación de agua a los campos por medios artificiales.

RIEGO EN FRANJAS: la aplicación de agua a franjas de tierras niveladas rodeadas de pequeños diques para la retención del agua.

RIEGO POR CORRUGACION: un método modificado de irrigación por surco, donde los surcos en el campo son muy pequeños — generalmente de sólo 6 a 10 centímetros de profundidad y espaciados entre si por una distancia de medio a un metro.

RIEGO POR SURCO: un método de aplicar agua de riego a los campos mediante pequeños surcos o zanjas que atraviesan los campos, generalmente entre hileras de cultivos.

LIXIVIACION: remoción de sales solubles pasando agua a través del suelo.

MILIOHMS: una unidad de medición de la conductibilidad eléctrica en el agua de riego, proporcional a las sales disueltas en el agua.

CAPA (NAPA) FREATICA: el limite superior del agua subterránea donde la presión del agua es igual a la presión atmosférica; esto es, profundidad del nivel del agua en el hueco del barreno cuando las aguas subterráneas pueden entrar libremente en él.

PERFIL DEL SUELO: una sección vertical del suelo desde la superficie a través de todas sus secciones (horizonte) hasta el material madre inferior.

PERMEABILIDAD: facilidad con que el agua puede fluir a través de la tierra, generalmente la velocidad del flujo de agua a través de una unidad de sección transversal del suelo bajo una unidad de disnivel hidráulico.

POZOS TUBULARES: pozos para abastecimiento de agua de riego perforados en la tierra a suficiente profundidad para penetrar a las aguas subterráneas.

COMPUERTA DE AFORO (WEIR): un dispositivo para medir el flujo del agua en un canal abierto.

TASA DE ABSORCION: tasa a la cual el agua entrará en el suelo cuando se aplica el agua, generalmente en mm/hora (ver tasa de infiltración).

TASA DE ABSORCION DEL SODIO: una medida de la cantidad de sodio en el agua de riego en relación a la cantidad de calcio y magnesio.

TASA DE INFILTRACION: tasa a la cual el agua entrará al suelo cuando se aplica el agua, generalmente en mm/hora (ver tasa de absorción).

RIEGO POR SUMERSION O INUNDACION: la aplicación de agua a pequeñas áreas, generalmente niveladas, rodeadas de pequeños diques.

EVAPOTRANSPIRACION DE REFERENCIA, ETo: el potencial de evapotranspiración tomado, por ejemplo, de una superficie continua de 8 a 15 cm cubierta por altos pastos verdes de uniforme altura, de crecimiento activo, que sombreen completamente el suelo, y al cual no le falte el agua, generalmente en mm/día.

SALINIDAD: la cantidad de sales en el suelo o en el agua, a menudo expresada en partes por millón.

SIFON: un tubo curvo para pasar agua de riego de un curso de agua o de zanjas por sobre el terraplén, utilizando la acción de sifón.

SODICIDAD (sódico): la medida de sodio en el suelo — cuando en exceso interfiere con la penetración del agua y el crecimiento del cultivo.

SUBSUELO: aquella porción del suelo bajo la capa superficial expuesta a la acción del tiempo.

SUELO ALCALINO: un suelo que contiene suficiente sodio para interferir con la penetración del agua y el crecimiento de los cultivos.

VOLUMEN DE LA CORRIENTE: flujo disponible para entrega a la entrada del campo o al área de riego.

TEXTURA DEL SUELO: caracterización del suelo con relación al tamaño de sus partículas y su distribución.

TRANSPIRACION: velocidad de la pérdida de agua de la planta por la formación de vapor de agua en células vivientes, la cual es regulada por procesos físicos y fisiológicos, generalmente en mm/dia.

CONSUMO POR USO: tasa a la cual el agua es transpirada de una cubierta vegetal más la evaporación del suelo y de las superficies húmedas de la vegetación, generalmente en mm/día.

ZONA RADICULAR: profundidad del suelo de donde las raíces obtienen la mayor parte del agua necesaria para la evapotranspiración, generalmente en cm.

PREVIOUS PAGE BLANK

Bibliografía seleccionada anotada de investigaciones patrocinadas por AID*

Durability of Double Mole Drains por Anan Sukwiwat. Informe bajo Contrato AID No. AID/csd-2167, 1970, Utah State University, 58 páginas. Símbolo de identificación del documento AID: PN-RAA-045.

Puede resultar muy efectivo bajo ciertas circunstancias el drenaje subterráneo usando drenajes topo. El costo de estos drenajes es bàjo, pero su mayor desventaja es que los canales individuales duran muy poco, debido al derrumbe de los drenes y a la caída de sedimentos en los canales. Se experimentó con drenaje de topo doble en condiciones de laboratorio, formando un canal en cada lado de la ranura vertical producida por la hoja que sostiene los dispositivos que forman el canal. Los canales de topo doble resultantes no tienen la ranura vertical sobre ellos, a través de la cual se infiltraría y caería el sedimento en el canal. Las pruebas de durabilidad de los canales dobles bajo condiciones de cuatro aplicaciones de flujo de agua indicaron que los canales de dos drenos duran mucho más que los canales de un solo dreno.

Evaluating the Effects of Water Yield Management por Martin M. Fogel. Proceedings, Third International Seminar for Hydrology Professors on the Subject of Biological Effects in the Hydrological Cycle, julio 18-30, 1971, páginas 303-314. Preparado por la University of Arizona bajo contrato AID No. AID/csd-2457. Simbolo de identificación del documento AID: PN-RAA-094.

Este informe presenta un análisis de los efectos del manejo de las cuencas hidrográficas sobre el rendimiento de agua procedente de una cuenca. El estudio abarca los efectos resultantes de la manipulación de la vegetación de las cuencas en el rendimiento. Los datos han sido tomados de investigaciones hechas en Arizona. Los resultados obtenidos indican que la predicción de los efectos de un tratamiento vegetativo dado es un proceso incierto debido a la falta de precisión en la ciencia o en la hidrología de superficie. Existen posibilidades de aumento en el rendimiento de las cuencas hidrográficas mediante el manejo de la vegetación, pero deben considerarse cuidadosamente tanto las ventajas como las desventajas. Una conclusión es que se necesitan más modelos confiables de ordenación de cuencas hidrográficas antes de poner en prática, con entera confianza, procedimientos de manipulación vegetativa.

Installation and Field Use of Cutthroat Flumes for Water Management por Gaylord V. Skogerboe, Ray S. Bennett y Wynn R. Walter. Water Management Technical Report No. 19, preparado bajo Contrato AID No. AID/csd-2460, Colorado State University, marzo 1972, 131 páginas. Símbolo de identificación del documento AID: PN-AAA-174.

El aforador de garganta es un dispositivo de fabricación fácil y económica que puede usarse para medir el flujo en los canales de riego. Se presentan datos sobre el uso de los aforadores de garganta destinados a efectuar mediciones en los canales de riego en condiciones de flujo libre y

*Un símbolo de identificación del documento AID es dado para cada referencia incluída en esta bibliografía. Estos símbolos se usan en el *Catálogo de Literatura de Investigación para el Desarrollo* (Catalog of Research Literature for Development) de la Agencia para el Desarrollo Internacional y en la revista trimestral de abstractos, "A.I.D. Research and Development Abstract" (ARDA). Se pueden comprar copias en microficha o en papel de los documentos anotados en estas publicaciones escribiendo a la dirección abajo mencionada solicitando formularios de pedido e información sobre precios actuales. Las instituciones de países en desarrollo tienen derecho a recibir títulos de ARDA sin costo alguno. Para subscribirse en la lista de distribución y recibir ARDA, las instituciones interesadas deben pedir el "Cuestionario ARDA" de:

Editor de ARDA, DS/DIU/DI
Agencia para el Desarrollo Internacional
Washington, D.C. 20523

sumergido. El informe presenta también las tablas para calcular las diferencias existentes entre las condiciones de estos dos tipos de flujos. Se dan ejemplos para ilustrar el procedimiento de diseño para determinar las medidas de los aforadores de garganta así como para obtener la velocidad de los flujos libres o sumergidos. Se describen los procedimientos de instalación y mantenimiento de estos aforadores y se da, en extensos apéndices, la capacidad de descarga de los aforadores de garganta de distintos tamaños, tanto en unidades inglesas como métricas.

Irrigation Water Quality Evaluation por J.E. Christainsen, E.C. Olsen y Lymon S. Willardson. Informe bajo Contrato AID No. AID/ta-c-1103, Utah State University, agosto 1975, 46 páginas. Símbolo de identificación del documento AID: PN-AAB-389.

Frecuentemente existe bastante confusión con relación al significado del término calidad del agua de riego. Algunas veces se refiere sólamente al total de sólidos disueltos, muchas veces expresados cuantitativamente como miligramos por litro. Algunas veces, la cantidad de sólidos (sales) en el agua es determinada indirectamente midiendo la conductividad eléctrica y es expresada en miliohms por centímetro. Tales determinaciones presentan una imagen incompleta del riego y de la calidad del agua usada en el mismo. Este trabajo discute la calidad del agua, los componentes químicos que juegan papel importante en la calidad del agua de riego, así como otras condiciones que determinan la idoneidad y conveniencia de una agua dada para usarse en riegos. Los parámetros discutidos incluyen factores del suelo y de las plantas. Se bosquejan esquemas de clasificación de las aguas teniendo en cuenta su contenido total de sales, cantidades relativas de sodio comparadas a otros cationes y la existenica de substancias tóxicas, tales como el boro. También se presentan algunas tablas con análisis ilustrativos de aguas de distintas calidades.

Water Requirements Manual for Irrigated Crops and Rainfed Agriculture por George H. Hargreaves. Informe bajo Contrato AID No. AID/ta-c-1103, Colorado State University, octubre 1975, 40 páginas. Símbolo de identificación del documento AID: PN-AAB-676.

Este trabajo presenta una revisión de los métodos usados para evaluar la evapotranspiración de los cultivos, juntamente con una discusión general de los requisitos de lixiviación, condiciones del suelo para el crecimiento de las plantas y el efecto de los factores climatológicos. Se provee también información general concerniente a la eficiencia del riego, requisitos de lixiviación, condiciones del suelo y los efectos de los deficits de humedad del suelo en el rendimiento de las cosechas. Se proporciona un enfoque generalizado sobre la programación del riego. La información dada en este trabajo será más útil para las autoridades responsables de los programas de riego o para los servicios de extensión que para los agricultores particulares.

Physical and Socio-Economic Dynamics of a Watercourse in Pakistan's Punjab: System Constraints and Farmer's Responses por Max Lowdermilk, Wayne Clyma y Alan C. Early. Water Management Technical Report No. 42, preparado bajo Contrato AID No. AID/ta-c-1100, Colorado State University, diciembre 1975, 106 páginas. Símbolo de identificación del documento AID: PN-AAB-672.

Se trata de un levantamiento detallado de la mayoria de los agricultores a lo largo de un curso de agua seleccionado, el cual da una idea de los factores que motivan los procesos de decision de los labradores en el trabajo y operación de sus tierras. Los factores sociológicos que juegan papel importante en tales decisiones dejan al descubierto la necesidad de mejores servicios de información (extensión), de modo que tales decisiones se basen en los conocimientos más recientes de la técnica y de la ciencia, y no en creencias tradicionales. Generalmente, los labradores no reconocen los problemas que tienen mayor importancia, tales como la existencia de gran cantidad de sedimentos en los cursos de agua, altas pérdidas en los mismos y los efectos perniciosos del riego excesivo o deficiente. Los resultados de este estudio detallado concuerdan con la observación que indica que los problemas señalados pueden aplicarse a muchas áreas diferentes de los países en desarrollo.

Water User Organizations for Improving Irrigated Agriculture: Applicability to Pakistan por George E. Radosevich. Water Management Technical Report No. 44, preparado bajo Contrato AID No. AID/ta-c-1100, Colorado State University, diciembre 1975, 34 páginas. Símbolo de identificación del documento AID: PN-AAB-584.

Este informe presenta un breve análisis de las leyes de aguas y el valor de las mismas aplicadas a las asociaciones usarias del agua. Se dan recomendaciones específicas para Pakistán concernientes al desarrollo e institucionalización de las asociaciones usuarias del agua en Pakistán. Se dan los principios de tales asociaciones. Este informe es una versión condensada del Informe Técnico sobre Manejo de Agua No. 36, de la Universidad del Estado de Colorado (PN-AAB-671), con la excepción de que aquí se omiten los análisis de las leyes de aguas en otros países y los extensos apéndices.

Organizational Alternatives to Improve On-Farm Water Management in Pakistan por George E. Radosevich y Graig Kirkwood. Water Management Technical Report No. 36, preparado bajo Contrato AID No. AID/ta-c-1100, Colorado State University, junio 1975, 258 páginas. Símbolo de identificación del documento AID: PN-AAB-671.

El trabajo describe las leyes de aguas enPakistán y sus diversas regulaciones para las organizaciones que usan el agua. Además, se discutan también algunas otras leyes de aguas seleccionadas. Se resalta el valor de las organizaciones que usan el agua, haciendo especial referencia a Pakistán, notando las limitaciones existentes en las leyes actuales. Se recomienda un conjunto de principios para Pakistán, basándose en informaciones derivadas de los análisis de las leyes de aguas de otros países. Se proporcionan también extensos apéndices con ejemplos de leyes de aguas, tomados de los distintos países estudiados.

Water Management Alternatives: A Tentative Appraisal por Jerry Eckert, Niel Dimick y Wayne Clyma. Water Management Technical Report No. 43, preparado bajo Contrato AID No. AID/ta-c-1100, Colorado State University, junio 1975, 61 páginas. Símbolo de identificación del documento AID: PN-AAB-673.

Este informe estudia diversas prácticas de manejo de agua que pueden usarse para mejorar los beneficios potenciales del riego. Se presentan cálculos sobre los beneficios potenciales obtenidos por el mejoramiento del manejo del agua mediante el revestimiento de los cursos de agua, reconstrucción de los cursos de agua sin revestimiento, nivelación precisa de las tierras y puesta en práctica de un efectivo servicio de extensión en riego. Finalmente, se presenta un procedimiento para escoger los elementos de un programa de mejoramiento de manejo de agua, que sean económicamente factibles y que tengan el mayor potencial de beneficio-costo. Los casos hipotéticos son representativos de las condiciones existentes en Pakistán.

Reference Climate Sites for Agricultural Technology Transfer por R.H. Shaw y R.W. Hill. Informe bajo Contrato AID No. AID/csd-2459, Utah State University, julio 1975, 15 páginas. Símbolo de identificación del documento AID: PN-AAB-363.

Este informe presenta un procedimiento para identificar climas de referencia atendiendo a sus características esenciales para la producción de alimentos. Asimismo, presenta el potencial para la transferencia de tecnología agrícola, de acuerdo con los distintos climas. Se propone la hipótesis de que si se tienen disponibles suficientes detalles relativos al clima, suelos y los cultivos y contando que sean adecuados los modelos físicos y biológicos desarrollados, entonces puede efectuarse la transferencia de la mayoría de los componentes de la tecnología agrícola. Se presenta también el tema de una identificación sistemática de la mayoría de las zonas climáticas agrícolas del mundo. Finalmente, se da un análisis de como eliminar la falta de datos climatológicos en el mundo, que pueden ser usados para la transferencia de tecnología agrícola, con un mínimo de gastos y en la mayor brevedad.

World Water for Agriculture por George H. Hargreaves. Informe bajo Contrato AID No. AID/ta-c-1103, Utah State University, enero 1977, 177 páginas. Símbolo de identificación del documento AID: PN-AAF-056.

Los 30 años de registros de datos climatológicos (1931-1960) de 644 estaciones que los registran, publicados por la Organización Metereológica Mundial, son usados en la elaboración de tablas de probabilidades de precipitación, temperatura, humedad, porcentajes de días de sol, evapotranspiración potencial y déficits de evapotranspiración potencial basados en la probabilidad de precipitación en dichos lugares durante la temporada de cultivo. Se propone una clasificación del clima para la agricultura, basándose en la producción agrícola y las necesidades relativas de riego y drenaje. Los datos provistos consideran el clima, las probabilidades de precipitación y las condiciones de la agrícultura de secano en estaciones en 85 países del mundo entero.

A Research-Development Process for Improvement of On-Farm Water Management por Wayne Clyma, Max K. Lowdermilk y Gilbert L. Corey. Water Management Technical Report No. 47, preparado bajo Contrato AID No. AID/ta-c-1411, Colorado State University, junio 1977, 58 páginas. Símbolo de identificación del documento AID: PN-AAF-544.

Este trabajo presenta un proceso sistemático para enfocar cuidadosamente investigación-desarrollo en los países en desarrollo para el mejoramiento del manejo de agua y su uso en la finca. Las cuatro fases que están interrelacionadas en el proceso de transferencia de tecnología quedan identificadas de la forma siguiente: identificación del problema prioritario, investigación para encontrar una solución adecuada, evaluación de las soluciones posibles y finalmente, ejecución del programa. La identificación del problema incluye la participación de los labradores, hecho que les sirve para mejor entender como se opera el sistema de manejo de agua y para asegurarse de que los problemas prioritarios identificados son aquellos que pueden resolverse dentro de las limitaciones que tienen que enfrentar los labradores. Se identifican algunas fases para la ejecución de los procesos, juntamente con algunos pasos que son necesarios para lograrla con éxito. Los procesos exigen estrecha cooperación entre los técnicos encargados de supervisarlos y los labradores que deben entender a la perfección todos los factores que participan en el proceso, si se quiere que éste resulte satisfactorio.

Farm Irrigation Constraints and Farmers' Responses: Comprehensive Field Survey in Pakistan por Max K. Lowdermilk, Alan C. Early y David M. Freeman. Water Management Technical Report No. 48-A, preparado bajo Contrato AID Números AID/ta-c-1100 y AID/ta-c-1411, Colorado State University, 6 volúmenes, volumen de resumen 148 páginas, septiembre 1978. Símbolo de identificación del documento AID: PN-AAG-347.

Los seis volúmenes del estudio, resumidos en el primer volumen, presentan los resultados obtenidos de estudios de campo para determinar los obstáculos que impedían a los labradores de Pakistán mejorar sus prácticas de riego y alcanzar cosechas más abundantes. El estudio incluye 287 labradores en 16 poblaciones que usan 40 cursos de agua de riego. Los desperdicios de agua a lo largo de dichos cursos eran abundantes y se perdían desde un tercio a dos tercios del agua en los tramos entre los canales de abastecimiento y las salidas a los campos de los agricultores. En promedio, alrededor la mitad del agua se perdía en los cursos de agua. El informe estudia detalladamente las cosas que deben lograrse para mejorar la manejo de agua, así como los obstáculos que deben vencerse. Entre los factores más importantes señalados se incluyen: falta de una buena y efectiva organización local encargada del mantenimiento de los cursos de agua, que ayude y corrija debidamente a los labradores que no cumplan como deben en la parte que les corresponde,falta de conocimiento del labrador en lo que se refiere a la magnitud de las perdidas de agua, y falta de conocimiento técnico necesario para mejorar los cursos de agua.

Farm Irrigation System Evaluation: A Guide for Management (Tercera Edición) por John L. Merriam y Jack Keller. Informe bajo Contrato AID No. AID/csd-2459, Utah State University, 1978, 271 páginas. Símbolo de identificación del documento AID: PN-AAG-745.

Este manual describe y explica detalladamente los procedimientos usados en la evaluación en el campo de los resultados de distintos tipos de sistemas de riego: de aspersión, superficial, y de goteo, así como las prácticas usadas en el manejo del agua. Casi todos los capítulos incluyen listas de equipo que se requiere para efectuar estas evaluaciones, con instrucciones muy detalladas para recolectar datos en el campo, ejemplos de formularios para registrar y organizar los datos obtenidos y da ejemplos para demostrar todo el proceso. El manual incluye también análisis y recomendaciones de algunos casos concretos estudiados. Se explican los conceptos generales de uniformidad, eficiencia y manejo usados en la evaluación de cada sistema. Finalmente, se describen los procedimientos para evaluaciones completas y sencillas de los resultados de los sistemas de riego.

Optimum Control of Irrigation Water Application por Martin M. Fogel, Lucien Duckstein y Chester C. Kisiel. *Automática,* Volumen 10, páginas 579-586, 1974. Preparado por University of Arizona bajo Contrato AID No. AID/csd-247. Símbolo de identificación del documento AID: PN-AAA-793.

Se examina el problema de controlar el agua del suelo en la zona radicular de los cultivos bajo riego con el fin de reducir al mínimo las pérdidas esperadas. Se logra tal control mediante programación de la cantidad y del tiempo de riego para reabastecer los embalses de agua del suelo agotados por el consumo de agua de los cultivos. Las tasas reales de evapotranspiración son una función del nivel de agua que prevalece en el suelo y de la demanda evaporativa, que puede considerarse o determinista o probabilista. Para cultivos creciendo en un determinado suelo, se define un nivel óptimo del agua del suelo como el nivel de agua más bajo del suelo encima del cual los cultivos no son afectados. La reducción en la producción de un cultivo está relacionada a su etapa de crecimiento así como a la cantidad y duración en que el contenido de agua en el suelo está por debajo del valor óptimo. Este informe está basado en consideraciones teóricas.

The Importance of Farm Water Management in Pakistan por Wayne Clyma y Gilbert L. Corey. Water Management Technical Report No. 38, preparado bajo Contrato AID No. AID/ta-c-1100, Colorado State University, marzo 1975, 28 páginas. Símbolo de identificación del documento AID: PN-AAA-806.

Este trabajo revisa la historia de recientes estudios realizados en Pakistán, los cuales precedieron a los proyectos de Control de Salinidad y Recuperación en Pakistán. Estos análisis generalmente suponían una eficiencia mucho más elevada del riego a nivel de fina que la indicada por las mediciones actuales. Las eficiencias de las aplicaciones en el campo de cerca de un 20% parecen ser más comunes que los valores que se asumían anteriormente de un 50 a 85%. La conclusión es que al mejorar el manejo del agua a nivel de finca se logrará más agua disponible para producir alimentos que lo que se puede obtener con otras inversiones similares y se reducirá el anegamiento y la salinidad. Se presenta un plan que incluye métodos utilizados en la nivelación y reorganización de los campos, rehabilitación de los cursos de agua (considerada de gran importancia en Pakistán), programas de riego, aumento del abastecimiento mediante pozos entubados, almacenamiento del agua en los cursos de agua, regulación de los canales según las necesidades de las cosechas, manejo del suelo para control de humedad, siembras efectuadas con precisión, prácticas culturales y mantenimiento de los sistemas de riego. La ejecución del plan debe considerar el sistema físico, las prácticas de manejo del agua y del suelo y la estructura institucional para la toma de decisiones socio-económicas.

Irrigation Practices and Application Efficiencies in Pakistan por Wayne Clyma, Arshad Ali y Mein Mohammad Ashraf. Water Management Technical Report No. 39, preparado bajo Contrato AID, No. AID/ta-c-1100, Colorado State University, marzo 1975, 36 páginas. Símbolo de identificación del documento AID: PN-AAB-720.

Estudios de campo de las prácticas de manejo del agua a nivel de finca en Pakistán indican que el riego excesivo ocurre frequentemente. Las razones dadas son campos mal nivelados y diseñados impropiamente, incapcidad de controlar el agua de acuerdo con las necesdiades de los cultivos y falta de medios adecuados para medir la cantidad de agua aplicada. Más del 80 por ciento de los campos estudiados tenían eficiencias de aplicación del riego por debajo del 40 por ciento, siendo alrededor de un 20 por ciento la eficiencia de aplicación más común. Estas son cifras que están bien por debajo de las que pensaban los oficiales encargados del riego antes de que se efectuaran las mediciones indicando la importancia de las mediciones de campo para determinar la eficiencia en la aplicación del agua.

Village Organizational Factors Affecting Water Management Decision-Making among Punjabi Farmers por Ashfaq H. Mirza, David M. Freeman y Jerry B. Eckert. Water Management Technical Report No. 35, preparado bajo Contrato AID No. AID/ta-c-1100, Colorado State University, marzo 1975, 62 páginas. Símbolo de identificación del documento AID: PN-AAB-097.

Se presentan los resultados de un estudio de quince villas Punjabi escogidas al azar considerando los factores sociológicos que conducen a tomar ciertas decisiones acerca de las prácticas de manejo de agua a nivel de finca. Se da especial énfasis a la toma de decisiones relativas a: 1) limpieza y mantenimiento de los cursos de agua, 2) cambios en el sistema de rotación de los turnos de riego practicados y 3) interacción con las autoridades encargadas del riego. Los factores encontrados que se consideran de importancia incluyen castas en la población, el grado de parentesco de los habitantes del pueblo, modelos de tenencia de la tierra, características de la lideranza en las comunidades y naturaleza de la burocracia. Los autores presentan diversas conclusiones e hipótesis como producto de su estudio, indicando los factores que parecen jugar papel importante en el proceso de toma de decisión.

Improving Farm Water Management in Pakistan por Gilbert L. Corey y Wayne Clyma. Water Management Technical Report, No. 37, preparado bajo Contrato AID No. AID/ta-c-1100, Colorado State University, marzo 1975, 32 páginas. Símbolo de identificación del documento AID: PN-AAB-721.

Este informe expone el desarrollo histórico del extenso sistema nacional de riego de Pakistán, evaluando los componentes de los projectos individuales donde ocurren las mayores pérdidas de agua. Se resalta la necesidad de prestar más atención al mejoramiento del manejo de agua en los ramales de los cursos de agua y en los campos de los agricultores, presentando datos sobre las enormes cantidades de agua desperdiciada. Asimismo, se enfatiza la necesidad que tienen los gobiernos de considerar la producción de alimentos por unidad de agua en vez de, simplemente, la cantidad de agua suministrada a los canales. Se dan recomendaciones para mejorar la producción por unidad de agua, incluyendo:

(1) Investigación sobre el manejo de agua a nivel de finca.
(2) Uso conjunto de aguas subterráneas y superficiales.
(3) Un programa nacional de nivelación de tierras.
(4) Rehabilitación de cursos de agua; y
(5) Revisión de los regulamentos y procedimientos de entrega de agua a los agricultores.

Design of Irrigation Drop Structures por Soon-Kuk Kwun. Water Management Technical Report No. 33, preparado bajo Contrato AID No. AID/ta-c-1100, Colorado State University, marzo 1975, 123 páginas. Símbolo de identificación del documento AID: PN-AAB-272.

Este trabajo presenta información sobre los diseños hidráulicos de las estructuras de caída para canales de riego u otros cursos de agua. Estas estructuras son necesarias cuando la pendiente en el canal es tan grande que si no se proveen dichas estructuras de caída ocurrirá erosión por la fuerza del agua. El informe presenta secciones sobre hidráulica de las estructuras de caída y diseños de vertedoros verticales e inclindados. Dado que el informe se concentra sólamente en factores hidráulicos de los diseños de estructuras de caída y no se ocupa de los factores de diseños estructurales, se incluye una bibliografía extensa de esta materia.

Irrigation Fundamentals por Glen E. Stringham. Informe bajo Contrato AID No. AID/csd-2459, 1972, Utah State University, 52 páginas. Símbolo de identificación del documento de AID: PN-RAA-070.

Este informe presenta en un texto sencillo los fundamentos del riego desarrollados para usarse en programas de entrenamiento de riego en Sudamérica. Da énfasis a la explicación de las características del suelo, particularmente el de los embalses que almacenan el agua usada para los cultivos. Se da información de como manejar estos embalses en relación con las prácticas de riego, teniendo en cuenta las diferentes características del suelo. En extensos apéndices se presentan ocho demostraciones diversas que son valiosas para capacitar personal en los distintos principios fundamentales relativos al suelo y al papel que juega como un embalse para almacenar agua distinada al crecimiento de las plantas.

Irrigation Requirements in Latin American Countries por Jerald F. Christiansen y George Hargreaves. Informe bajo Contrato AID No. AID/csd-2167, Utah State University, 1972, 11 páginas. Símbolo de identificación del documento AID: PN-RAA-003.

Los registros climatológicos disponibles en muchas localidades en América Latina no ofrecen todos los datos que fueran de desear para hacer una estimación sobre los requisitos del riego. Los datos que se precisan deben incluir buena información sobre la precipitación a través de un período lo suficientemente largo de modo que se pueda saber, en un mes determinado, cuál es la precipitación probable. Se necesitan los datos de evaporación de bandeja, pero muchas veces no se tienen buenas mediciones confiables estandarizadas. Se dan ecuaciones para calcular la evapotranspiración potencial cuando faltan datos de evaporación de bandeja y están disponibles datos de temperatura, porcentaje de iluminación, viento y humedad. Usando las ecuaciones y los datos tomados en Venezuela, Ecuador, Colombia y El Salvador, se emplean los procedimientos para elaborar tablas que dan los deficit de evapotranspiración mensual en dos lugares de Venezuela, típicos para regiones de baja y alta precipitación. Para determinar los requisitos de agua de riego, el prognóstico de precipitación, basado en las probabilidades de precipitación en cualquiera de los meses, es un factor de máxima importancia.

Irrigation System Evaluation and Improvement por John L. Merriam, Jack Keller y Jose F. Alfaro. Informe bajo Contrato AID No. AID/csd-2459, Utah State University, septiembre 1973, 176 páginas. Símbolo de identificación del documento AID: PN-AAA-439.

Este manual sobre evaluación de sistemas de riego presenta en detalle los procedimientos usados para la evaluación de campo de las prácticas de operación y manejo del riego por aspersión, superficial y por goteo. Se presenta también información sobre el equipo requerido para hacer la evaluación de los sistemas de riego y las instrucciones, paso a paso, para ejecutar el trabajo en el campo. Ofrece también estudios de casos y un análisis y recomendaciones sobre los casos reales considerados. Las secciones dedicadas a evaluar el riego por surco y por inundación ofrecen un procedimiento simple de evaluación, así como también, un juego completo de instrucciones necesarias para hacer evaluaciones exhaustivas. Se incluyen también varios apéndices ilustrando los procedimientos seguidos y un glosario de los términos usados.

Practical Skimming Well Design por Farid-Uddin A. Zuberi y David B. McWhorter. Water Management Technical Report, No. 27, preparado bajo Contrato AID No. AID/csd-2162, Colorado State University, noviembre 1973, 61 páginas. Símbolo de identificación del documento AID: PN-AAA-535.

En algunas regiones del mundo, tales como las zonas costeras y cuencas con aguas saladas a gran profundidad, sujetas a una filtración periódica de agua dulce proviniente de lluvias, existe una capa delgada de agua dulce que « flota » encima del agua salada subterránea. Tal condición existe en algunas áreas de las planicies Indo del Pakistán. Comunmente, los pozos perforados a gran profundidad con gran capacidad de bombeo, extraen agua salada y pueden arruinar todo el estrato acuífero, en terminos de la calidad del agua. Pueden diseñarse pozos superficiales en los cuales la profundidad del pozo y la velocidad de bombeo pueden ser cuidadosamente controlados, con el fin de lograr la extracción del agua dulce de la superficie evitando que el agua salada entre a pozo. Se presentan procedimientos para diseñar estos pozos superficiales basándose en fórmulas teóricas. En aquellos casos, cuando el rendimiento de un solo pozo no es adecuado, pueden usarse una serie de pozos conectados entre si; se exponen los procemientos para su construcción. Este informe incluye también datos sobre los costos de los pozos superficiales, basándose en las condiciones existentes en Pakistán. Las ecuaciones teóricas presentadas son matemáticamente muy complejas.

Groundwater Extraction and Water Balance por George H. Hargreaves. Informe bajo Contrato AID No. AID/csd-2167, 1973, Utah State University, 23 páginas. Símbolo de identificación del documento AID: PN-RAA-015.

La extracción de agua subterránea y su uso neto están relacionadas al agotamiento del agua subterránea y al balance del agua. Se definan los índices de evapotranspiración potencial, evapotranspiración de los cultivos y vegetativa, precipitación esperada, deficits de humedad y humedad disponible. Se presenta un método para calcular la evapotranspiración potencial y la evapotranspiración de los cultivos basándose en datos climatológicos mínimos. Para la mayoría de los climas, los únicos datos climatológicos requeridos son: temperatura media y humedad media, mientras que para regiones áridas basta temperatura. Se presentan los factores de producción para numersos cultivos. Se describe un estudio de balance de agua de una cuenca cerrada de Nicaragua para ilustrar la relación propuesta.

Drainage and Salinity Problems in Irrigated Areas, How to Avoid or Minimize Them por J.E. Christiansen y E.C. Olsen. Informe bajo Contrato AID No. AID/ta-c-1103. Utah State University, abril 1974, 64 páginas. Símbolo de identificación del documento AID: PN-RAB-202.

Este trabajo proporciona una descripción general de los problemas de drenaje muchas veces asociados con la agricultura de riego. El informe discute la importancia de la calidad de agua para determinar los requisitos de drenaje asociado con riego Se examinan las características del suelo y de la calidad del agua. Se presentan diversos métodos de drenaje apropiados para agricultura bajo riego, juntamente con métodos de recuperación de tierras que se han deteriorado debido a la acumulación de sales o al exceso de sodio. También se estudia la importancia de evaluar las necesidades de drenaje al planificar nuevos proyectos de riego. El trabajo incluye un extenso glosario de términos relativos al drenaje y al manejo de aguas de riego. También presenta una guía general valiosa para aquellos interesados en elaborar proyectos de riego.

Irrigated Corn Production in Chile: Increasing Yields Through Intensive Irrigation Management por R. Kern Sutler, Don C. Kidman, Juan Tossa y Norbert Fritsch. Informe bajo Contrato AID No. AID/csd-2167, Utah State University, diciembre 1974, 27 páginas. Símbolo de identificación del documento AID: PN-AAB-090.

Este informe abarca resultados obtenidos durante un programa de tres años de investigación y demostración sobre conceptos modernos de la manejo del riego para maíz, llevado a cabo en la provincia de Aconcagua, en Chile. Se da énfasis al riego, manejo de tierras, fertilidad, variedades del maíz y densidad de la población. Los resultados demuestran que el potencial de producción del maíz es mucho mayor que el que existe en la actualidad. Al adoptar las prácticas señaladas en este informe, los productores de maíz pueden aumentar las cosechas, por lo menos en un 150% con los recursos que ellos tienen actualmente disponibles. Aunque todo el estudio fue llevado a cabo en la provincia de Aconcagua, la tecnología puede usarse también en otras provincias de las regiones productoras de maíz con pequeñas adaptaciones y modificaciones.

Energy Inputs to Irrigation por J.C. Batty, Safa N. Hamad y Jack Keller. Informe bajo Contrato AID No. AID/csd-2459, Utah State University, diciembre 1974, 25 páginas. Símbolo de identificación del documento AID: PN-AAA-948.

Este informe analiza la energía requerida para suministrar agua para riego usando nueve diferentes tipos de sistemas de riego. Los sistemas ilustrados incluyen un sistema de riego superficial con zanja abierta sin sistema de recuperación del escurrimiento, un sistema de riego superficial suministrado con tubería de compuerta con sistema de recuperación del escurrimiento del riego, distintos tipos de sistemas de aspersión y un sistema de goteo. Muchos de los sistemas ilustrados resultan tan caros que son de dudosa utilidad en muchos países en desarrollo. El análisis incluye el consumo de energía usada en la fabricación de los componentes de los sistemas y en su instalación, así como en su mantenimiento y funcionamiento. Los sistemas de riego superficiales son los más económicos en términos de costos y de energía requerida para su funcionamiento.

The Evaluation of Water Deficiencies por George H. Hargreaves. Informe bajo Contrato AID No. AID/csd-2167, Utah State University, 1972, 19 páginas. Símbolo de identificación del documento AID: PN-RAA-013.

Este trabajo propone conceptos que definen más ampliamente las necesidades de los cultivos por humedad y su disponibilidad. Se usa la evapotranspiración potencial como un índice de la necesidad de humedad. Un pronóstico de precipitación confiable, que iguala o excede 75% de las veces, provee un índice de abastecimiento de humedad considerada confiable. Un índice de disponibilidad de humedad es propuesto como un índice de suficiencia o deficiencia. El porcentaje de veces que sucede en relación al tiempo es llamado porcentaje de suficiencia, y es propuesto para determinar más exhaustivamente la suficiencia de precipitación destinada a la producción de cultivos. Los datos climáticos requeridos para calcular los índices mencionados son: precipitación, temperatura, humedad relativa, velocidad del viento y altura. Basándose en una amplia gama de condiciones climatológicas, incluyendo las que se registran en distantas regiones áridas y semiáridas del mundo, se han desarrollado ecuaciones a partir de estos parámetros.

A Suggested Program of Irrigation Research and Knowledge Transfer in Arid and Sub-Humid Areas por Allan D. LeBaron. Informe bajo Contrato AID No. AID/csd-2167, junio 1973, Utah State University, 21 páginas. Símbolo de identificación del documento AID: PN-RAA-057.

Este trabajo presenta un procedimiento sencillo para organizar la investigación en los países en desarrollo. La primera etapa sugerida tiene por fin obtener una respuesta en la producción de la cosecha, considerando las interacciones humedad y fertilidad bajo condiciones locales. La investigación debería incluir pruebas de métodos de riego. Deberían identificarse lugares donde investigar en regiones escogidas en los países y conducir pruebas para determinar a nivel de finca, datos sobre los costos del riego basados en evaluaciones económicas de las prácticas del riego bajo condiciones locales. Finalmente, se deben identificar procedimientos para transferir el conocimiento obtenido mediante modelos de transferencia de tecnología. Se presenta un modelo conceptual basado en la experiencia de varias personas, y otros datos generales relacionados con los costos de investigación.

Irrigation Design and Management Related to Economics por Jack Keller, J. Paul Riley y R. John Hawks. Informe bajo Contrato AID No. AID/csd-2459, Utah State University, septiembre 1972, 17 páginas. Símbolo de identificación del documento AID: PN-RAA-069.

Este informe estudia las relaciones existentes entre los sistemas económicos e hidrológicos en la producción económica de cultivos bajo de riego. Los factores económicos en el sistema de riego incluyen los costos fijos y operativos de todo tipo. Se consideran los costos del agua y los factores físicos que influyen en la producción de los cultivos bajo condiciones de riego. Basándose en las relaciones existentes entre los distintos factores, se propone un método para combinarlos dentro de un mismo procedimiento, con el fin de obtener el máximo en el diseño y manejo de los sistemas de riego.

A Strategy for Optimizing Research on Agricultural Systems Involving Water Management por Jack Keller, Dean F. Peterson y H.B. Peterson. Informe bajo Contrato AID No. AID/csd-2459, Utah State University, julio, 1973, 20 páginas. Símbolo de identificación del documento AID: PN-AAA-336.

Se presenta y elabora el análisis de un modelo para optimizar los sistemas agrícolas a través de la transferencia de conocimientos. Este modelo conceptual trata de separar el medio ambiente en distintos componentes que pueden ser medidos. Usa la producción como el integrador global de la respuesta del sistema agrícola al programa de ganadería impuesto en un lugar específico. El modelo debe servir de ayuda para organizar datos disponibles de cosechas e investigaciones y da un esquema para guiar los procesos mentales que participan en el desarrollo de programas de investigación y análisis de proyectos y provee un marco de referencia para un sistema de recuperación de información. Este trabajo presenta un concepto y no incluye datos relativos al uso real del modelo.

The Effect of Agricultural Use on Water Quality for Downstream Use for Irrigation por J.E. Christiansen. Informe bajo Contrato AID No. AID/csd-2167, Utah State University, julio 1973, 35 páginas. Símbolo de identificación del documento AID: PN-RAA-002.

Este trabajo ofrece un análisis del efecto del reflujo del riego a las corrientes sobre la calidad del agua para uso nuevamente en riego aguas abajo. Son factores de importancia al analizar la calidad del agua de reflujo: el contenido total de sales, conductibilidad eléctrica, concentración de iones mayores en el agua, porcentaje de sodio, tasa de absorción de sodio, carbonato de sodio residual y varios otros. Se sugiere una clasificación de la calidad del agua de riego que tenga en cuenta todos estos parámetros. Para ilustrar el procedimiento, se presentan los cambios que ocurren en la calidad del agua usada para riego en tres ríos de los Estados Unidos.

Referencias Seleccionadas

Consumptive Use of Water and Irrigation Water Requirements editado por M.E. Jensen. Technical Report, American Society of Civil Engineers, New York, N.Y. 1973.

Conquest of the Land Through 7000 Years por W.C. Lowdermilk. Agricultural Information Bulletin No. 99, U.S. Department of Agriculture, Washington, D.C., 1953.

Crop Salt Tolerance—Current Assessment por E.V. Maas y G.J. Hoffman. Journal of the Irrigation and Drainage Division, Volume 103, IR2, American Society of Civil Engineers, New York, N.Y., 1977.

Distribution, Control and Measurement of Irrigation Water on the Farm por A.R. Robinson, C.W. Lauritzen, D.C. Muckel y J.T. Phelan. Miscellaneous Publication No. 926, U.S. Department of Agriculture, Washington, D.C., julio 1963.

Engineering Field Manual—Irrigation. Section 15 of Field Manual, Soil Conservation Service, U.S. Department of Agriculture, Washington, D.C., Publicado en capítulos en diferentes fechas.

Irrigation Water Quality Evaluation por J.E. Christanson, E.C. Olsen y L.S. Willardson. Journal of the Irrigation and Drainage Division, Volume 103, IR2, Society of Civil Engineers, New York, N.Y., junio 1977.

More Water for Arid Lands por D.F. Peterson y otros. National Academy of Sciences, Washington, D.C., 1974.

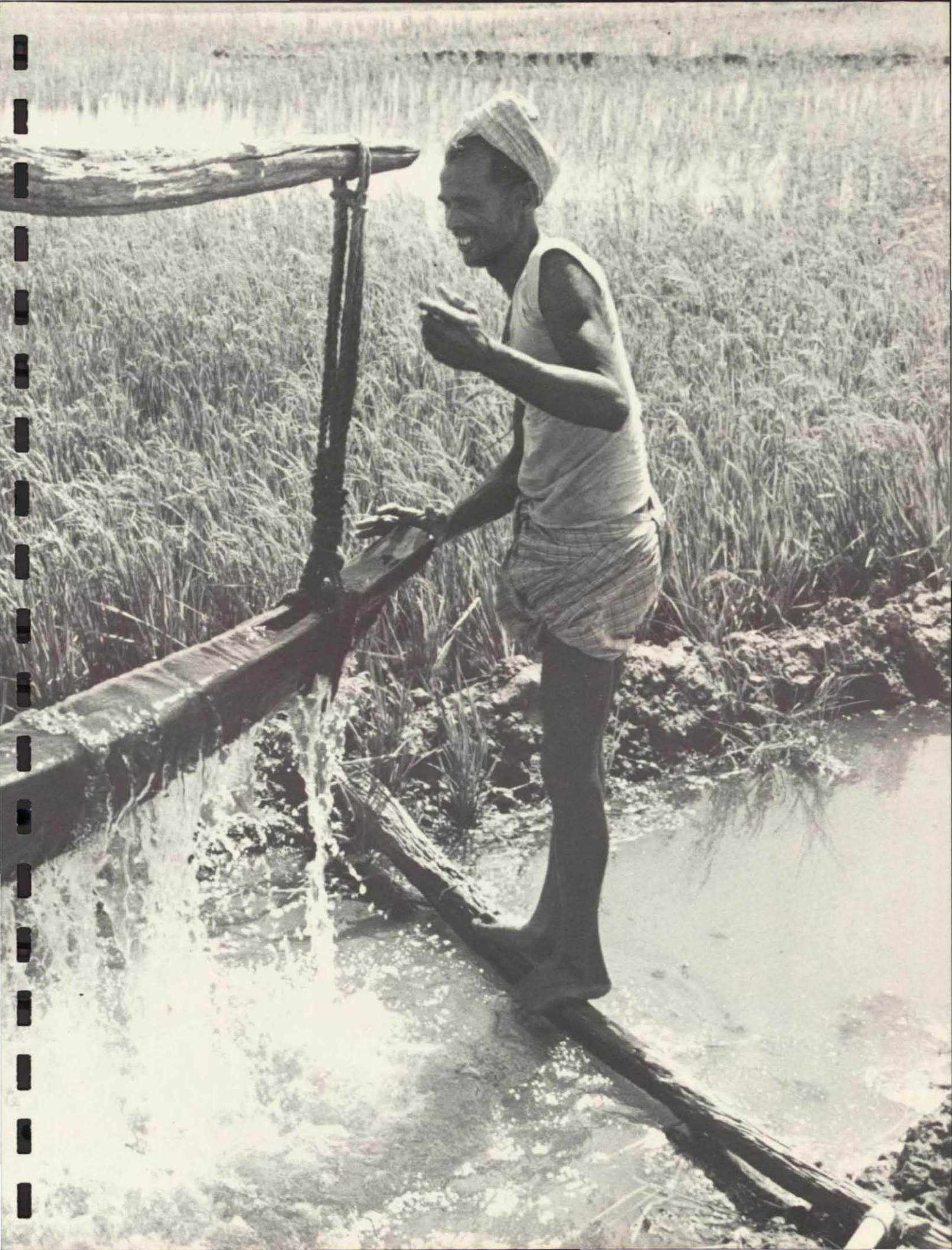
Quality of Water for Irrigation por Robert S. Ayers. Journal of the Irrigation and Drainage Division, Volume 103, IR2, Society of Civil Engineers, New York, N.Y., junio 1977.

Regional Workshop on Irrigation Water Management. Asian Development Bank, Manila, Philippines, 1973.

Resarch Needs for On-Farm Water Management editado por D.F. Peterson. Proceedings of an International Symposium, Utah State University, Logan, Utah, 1974.

World Water for Agriculture por George H. Hargreaves. Utah State University, Logan, Utah, enero 1977.

Methods of Estimating Evapotranspiration. Proceedings, 1966, Irrigation and Drainage Specialty Conference, American Society of Civil Engineers, Las Vegas, Nevada, noviembre 2-4, 1966.



Preparada para la
Agencia de Desarrollo Internacional de los Estados Unidos
Washington, D.C. 20523, EE.UU.