IWMI, Serie Latinoamericana: No. 6

ENTENDIENDO EL COMPORTAMIENTO DEL RIEGO: LA DISPONIBILIDAD RELATIVA DEL AGUA COMO VARIABLE EXPLICATIVA

por:
Gilbert Levine

DRA < 1 DRA > 2

INSTITUTO INTERNACIONAL DEL MANEJO DEL AGUA

El autor: Gilbert Levine es Investigador del Instituto Internacional del Manejo del Agua y Profesor Emérito de Ingeniería Agricola en la Universidad de Cornell, Ithaca, N.Y., Estados Unidos de América.

El autor se complace en agradecer la colaboración del Dr. Carlos Garcés, Jefe del Programa Nacional IWMI-México, quien sugirió modificaciones del informe original que representaron un gran aporte para la versión definitiva. Este informe es una versión revisada y actualizada del informe preparado originalmente en 1982: (Levine, G. 1982. Relative water supply: an explanatory variable for irrigation systems, Technical Report No. 6. The Determinants of Developing Country Irrigation Project Problems. Contract No. AID/ta-1412. Cornell University. Ithaca).

Levine, G. 1999. Entendiendo el Comportamiento del Riego: La Disponibilidad Relativa del Agua como Variable Explicativa. IWMI, Serie Latinoamericana No. 6. México, D.F., México: Instituto Internacional del Manejo del Agua.

IWMI, 1999. Todos los derechos reservados.

El Instituto Internacional del Manejo de la Irrigación, uno de los 16 centros apoyados por el Grupo Consultivo para la Investigación Agricola Internacional (CGIAR), fue creado por un Acta del Parlamento de Sri Lanka. El Acta está actualmente siendo revisada para que se lea Instituto Internacional del Manejo del Agua (IWMI, por su sigla en inglés).

EL autor asume toda la responsabilidad por el contenido de esta publicación.

Traductores: Nora Arrarás de Allende y Carlos Garcés-Restrepo

PRESENTACIÓN DE LA SERIE

El Instituto Internacional del Manejo del Agua (IWMI, por su sigla en Inglés) fue establecido en el año de 1984 con sede en Colombo, Sri Lanka.

El IWMI empezó actividades en Latinoamérica cuando en Mayo de 1990 co-patrocinó con la Comisión Internacional de Riego y Drenaje una sesion especial sobre el Manejo del Agua en Latinoamérica en el marco del Dtcimo cuarto Congreso Internacional de la Comision.

Posteriormente, en Noviembre de 1991, el Instituto organizó en compañía del Instituto Nacional de Ciencia y Ttcnicas Hidricas de la Argentina, un Seminario Internacional sobre Sistemas de Riego Manejados por sus Usuarios.

Los 2 eventos anteriores abrieron campo al IWMI para buscar establecer un programa regular en Latinoamérica. Fue así como en el año 94 abrió sus Programa de Mexico, seguido en el 95 por el Programa Regional Andino con sede en Cali, Colombia. Este último culminó en Septiembre del 97.

El programa del IWMI en Mexico continua ininterrumpido hasta la fecha y es asi como tste da origen a la idea de ésta "IWMI, Serie Latinoamericana" que aqui se presenta.

El Instituto aspira, por medio de esta publicación, dar a conocer mas ampliamente en la región, los resultados de los trabajos de investigación ejecutados por nuestros investigadores y/o sus colaboradores.

Aunque la idea inicial es dar cabida únicamente a aquellos trabajos directamente relacionados con el Instituto, no pensarnos descartar. en manera alguna, la posibilidad de dar espacio a otras contribuciones consideradas pertinentes a las metas globales del Instituto.

Como puede esperarse, el futuro de la serie dependerá de la aceptación y retro-alimentación recibida de parte de la comunidad a la cual esta dirìgida: forjadores de politicas relativas al recurso agua, investigadores afines a la problemática del recurso, organizaciones e individuos involucrados. en una u otra forma, en aspectos técnicos, institucionales, económicos y sociales del rnanejo del agua. particularmente a la región latina pero en general a nivel global.

Para sus comentarios, en español o inglés, puede comunicarse a cualquiera de las 2 direcciones que aparecen en el reverso de esta publicación.

Atentamente

Carlos Garcés-Restrepo
Jefe del Programa IWMI-México

ÍNDICE

pág.

GLOSARIO DE ABREVIATURAS XI
PRÓLOGO XIII
RESUMEN XV

1. INTRODUCCIÓN 3
2. DISPONIBILIDAD RELATIVA DEL AGUA (DRA) 3
3. DEFINICIONES 8
   3.1 Disponibilidad Relativa del Agua Teórica (DRAT) 8
   3.2 Disponibilidad Relativa del Agua Planeada (DRAP) 18
   3.3 Disponibilidad Relativa del Agua Real (DRAR) 19
4. IMPLICACIONES DE LOS DISTINTOS NIVELES DE DRA PARA EL MANEJO 21
   4.1 DRAT < 1 22
   4.2 DRAT- 1 23
   4.3 DRAT-1.5 25
   4.4 DRAT-2 26
   4.5 DRAT-2.5 27
5. APLICACIONES DE LA VARIABLE DRA 27
   5.1 En la evaluación de sistemas 27
   5.2 En el diseño de sistemas 47
   5.3 Para facilitar la interpretación 53
6. CONCLUSIONES 54

BIBLIOGRAFÍA 57
ANEXO 1: Datos necesarios y cilculo de la DRAR (arroz inundado) (con datos del ejemplo) 63
ANEXO 2: Datos necesarios del cálculo de la DRAR (cultivo de tierras altas) 65

LISTA DE CVADROS

pág.

Cuadro 1. Datos necesarios para el cálculo de la DRAT (con datos de ejemplos) 16

Cuadro 2. Asignación de superficie a los cultivos en el distrito, número de riegos y política de asignación de una cantidad equivalente de agua 30

Cuadro 3. DRAR en relación con la ubicación y el tipo de *productor* **38**

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Relación esquemática entre DRA y esfuerzo de manejo requerido. 2

Figura 2. Rendimiento vs agua que llega al cultivo **12**

Figura 3. Disponibilidad relativa del agua, Distrito de Riego Alto Río Lerma y Módulos Cortázar y Salvatierra, ciclos de invierno de 1983-1994, México. 31

Figura 4. Valores de la disponibilidad relativa del agua medida, planeada y reportada, Módulo Cortazar, 1983-1994, México. 32

Figura 5. Disponibilidad relativa del agua en cuatro Distritos de Riego en México, 1984-92 34

Figura 6. Disponibilidad relativa del agua a nivel de toma en cuatro Distritos de Riego en México 35

Figura 7. Disponibilidad relativa del agua a nivel de módulo en el Distrito de Riego Bajo Rio San Juan, México . . . 37

Figura 8. Variación de la disponibilidad relativa del agua en cuatro sistemas de riego en Colombia 42

Figura 9. Disponibilidad relativa del agua en diversos países . 43

GLOSARIO DE ABREVIATURAS

CROPWAT	Programa de computadora para la planeación y manejo del riego
DRA:	Disponibilidad Relativa del Agua
DRAP	Disponibilidad Relativa del Agua Planeada
DRAR:	Disponibilidad Relativa del Agua Real
DRAT:	Disponibilidad Relativa del Agua Teórica
ET:	Evapotranspiracih
ETP	Evapotranspiración Potencial
EUA	Eficiencia en **la** Utilización del Agua
F P	Filtración y Percolación
Ha:	Hectárea
IWMI:	Instituto Internacional del Manejo del Agua. por su sigla en inglés
RUT	Distrito de Riego Roldanillo-La Union-Toro. Colombia

PRÓLOGO

Es un verdadero placer presentar esta publicación No.6 del Prof. Gilbert Levine. Para aquellos que llevamos varios años manejando el concepto de la Disponibilidad Relativa del Agua 6 DRA, era una necesidad sentida el tener una publicación, en Español, **que** presentara claramente la definición y múltiples utilidades de la variable.

Introducida por Levine en los años **70,** el concepto ha ido cobrando fuerza y es ahora de uso obligado en el ámbito de la investigación referente al manejo de los sistemas de riego.

A través de sus investigaciones. el IWMI ha utilizado la DRA en paises tan diversos (desde el punto de vista del riego) como las Filipinas. Nepal, Sri Lanka e Indonesia en el Asia; Burkina Faso, Niger y Egipto en el Africa; y México, Colombia, Ecuador y la Argentina en Latinoamerica. En todos los casos, la DRA -- en sus diferentes modalidades -- ha resultado útil para caracterizar y explicar el comportamiento de los sistemas bajo variadas condiciones no solo físicas y geográficas *sino también* organizativas y sociales.

La publicación presenta algunos ejemplos que llevan de la mano al lector en la búsqueda de la variable DRA y. además discute y analiza su utilidad en diferentes contextos del riego: Planeacion, evaluación y seguimiento.

Invitamos a los lectores a utilizar el **DRA** en sus diferentes países y retro-alimentarnos sobre los resultados y su utilidad.

Carlos Garcés
IWMI
Jefe del Programa de México

RESUMEN

Desde su introducción en 1974, han crecido el reconocimiento y el empleo del concepto de Disponibilidad Relativa del Agua (DRA). Se lo usa ampliamente como un instrumento de diagnóstico en los sistemas de riego. que no sólo describe el desempeiio hidráulico del sistema sino también aclara las causas de ese desempeiio. Se ha comprobado su utilidad tanto para evaluar el desempeiio de un sistema como para considerar opciones durante el proceso de diseño de sistemas. Este informe presenta la primera descripción detallada en idioma español de los métodos para calcular las diversas formas de DRA. También se incluyen ejemplos del empleo de esta variable en la evaluación de sistemas. Se examinan tres formas de DRA: la Disponibilidad Relativa del Agua Teórica (DRAT), la Disponibilidad Relativa del Agua Planeada (DRAP) y la Disponibilidad Relativa del Agua Real (DRAR). La primera se refiere a casos potenciales, ya sea en el diseiio o en la evaluación. La segunda por lo general es adecuada para evaluar un sistema ya existente, mientras que la tercera se usa cuando se evalúa el desempeiio real.

Las variables de la DRA se pueden aplicar a nivel de los sistemas, laterales, tomas 6 parcelas, en esencia en todo sitio donde se pueda medir o estimar el suministro de agua y determinar la demanda.

Este informe presenta correlaciones cualitativas entre los diversos niveles de DRA y la infraestructura de manejo tanto física como de organización que se requeriria con el fin de proporcionar un adecuado servicio de riego para la producción plena de los cultivos. Estas correlaciones se basan en una serie de estudíos de campo efectuados en varios países.

1. INTRODUCCIÓN

Es cada vez más frecuente la transferencia a los usuarios de las actividades de operación y mantenimiento que eran realizadas por empleados gubernamentales. Esta transferencia ha sido rápida en México y mas lenta en muchos otros paises, pero la tendencia es muy clara. Quienes promueven esta transferencia piensan que aumentará la eficiencia en la *utilización* de los recursos del sistema, ya *sean naturales*, financieros o humanos. Además, se supone que esta mayor eficiencia será acompafiada de una mayor equidad entre los usuarios. En los últimos años se han efectuado varios estudios para evaluar la validez de esas expectativas (por ejemplo, Plusquellec, **H.** 1989; Palacios, 1994; Centro de Hidrociencias, **1994;** Kloezen, 1998; Levine et al., 1998). La mayoría de los criterios aplicados en estas evaluaciones son "variables dependientes", es decir, **son** el resultado de las medidas adoptadas durante la operación y el mantenimiento de los sistemas y en la utilización del agua de riego. Sin embargo, en general no permiten determinar con claridad las causas del desempeño observado, que comúnmente se consideran el resultado de una combinación de factores fisicos, economicos y sociales. No obstante, una de esas variables, la ***Disponibilidad Relativa del Agua*** (DRA), puede ser usada como una "variable independiente", es decir, un punto de referencia para evaluar el desempeiio observado. Es útil como variable independiente porque ayuda a pronosticar el comportamiento de quienes participan en el manejo del sistema de riego: los operadores del sistema y los agricultores.

Esta variable fue descrita por primera vez en 1974 (Small et al., 1974) y se basó en el descubrimiento de que existía una relación inherente entre el suministro de agua disponible para el riego y el esfuerzo aplicado al manejo de esa agua. En la Figura 1 se presenta en forma esquemática esa relación.

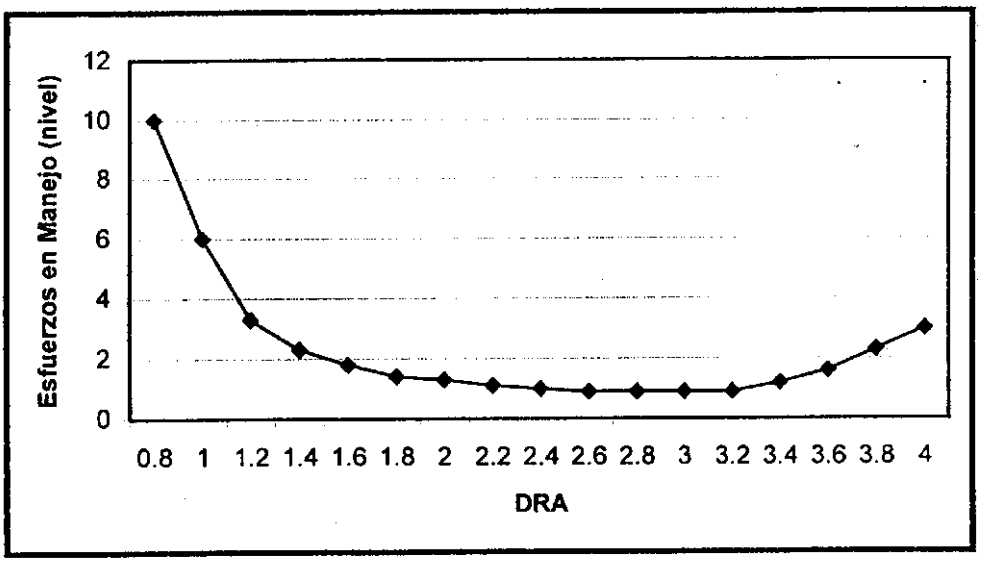

Figura 1. Relación esquemática entre DRA y esfuerzo de manejo requerido

La experiencia ha demostrado que, en muchos sistemas de riego el volumen de agua relacionado con las necesidades de consumo de los cultivos equivalía a sólo el 30-50% del agua realmente suministrada. Si bien se sabía muy bien que la eficiencia en la

reconocimiento de que el "exceso" de agua usada se relacionaba de manera inversa con la inversión en infraestructura de manejo (tanto por el sistema como por los agricultores) y la magnitud del esfuerzo dedicado al manejo del agua (Levine, 1977). Con el fin de definir esta relación, se introdujo el concepto de Disponibilidad Relativa del Agua. Después de que se aplicó el concepto en las investigaciones efectuadas en Asia, se present6 la DRA en detalle en 1982 (Levine, 1982). Posteriormente ha sido usada en una serie de otros estudios (por ejemplo, Vermillion y Garcés-Restrepo, 1998; Levine et al., 1998; Kloezen, 1998). En este trabajo se ofrece una descripción detallada de la variable y su cálculo y se sintetizan algunos de los estudios mas recientes, en particular los realizados en América Latina.

2. DISPONIBILIDAD RELATIVA DEL AGUA (DRA)

Dos elementos individuales -la disponibilidad del agua y la "demanda" del agua- son factores básicos en la planeación, diseño y operación de la irrigación. En forma individual, son difíciles de usar para tratar de interpretar el desempeño del sistema. Combinados, constituyen una variable útil para aplicaciones tanto prácticas como teóricas. Esta variable, la **Disponibilidad Relativa del Agua,** puede en general definirse como la relación entre **el Suministro** y la **Demanda.**

Es evidente que lo inverso de la variable DRA. Demanda/Suministro, es un término tradicional de la "eficiencia técnica" usado en la irrigación, la **Eficiencia en la Utilización del Agua** (EUA). **Por** consiguiente, es ahora pertinente explicar los

fundamentos para usar la **DRA** en lugar de la **EUA,** a pesar de que se hablará de esto con más detalle en las secciones siguientes. La diferencia fundamental entre el concepto de **DRA** y el de **EUA** es la diferencia que se genera en la perspectiva de los planeadores (ó diseñadores, etc.) hacia los sistemas.

En primer lugar. la variable **DRA** presenta una visión neutral de la relación entre la cantidad de agua disponible o suministrada y la cantidad utilizada para la producción de cultivos. No hay ninguna implicación de que un determinado valor de **DRA** sea mejor que cualquier otro. Por el contrario, la **EUA** tiene una connotación de valor inherente en el término "eficiencia". Para casi todos, pero especialmente para los ingenieros y otros técnicos involucrados en la irrigación, se considera que una alta eficiencia en la utilización del agua es "buena"; cuanto más alta sea la eticiencia, mayor será el beneficio. No obstante, por diversas razones una alta eficiencia del agua no es necesariamente mejor que una más baja, y en ciertas situaciones puede ser peor.

En la medida en que la "eficiencia" en el riego sea una caracteristica deseable. debe ser aplicable a una combinación de factores y no sólo a la utilización del agua. Al hacer hincapié en la eficiencia en la utilización del agua se tiende a inhibir la consideración de posibilidades de compensación recíproca entre el agua y otros factores de la producción, así como entre la eficiencia del agua y los costos del manejo (Levine, 1977). A menudo se la usa para identificar el "desperdicio" del agua del sistema. Sin embargo, la mayoría de los sistemas son parte de la trayectoria de un flujo en una cuenca hidrográfica, no unidades independientes y aisladas. y el "desperdicio" en un

sistema a menudo se convierre en la "disponibilidad" para otro uso, ya sea en otro sistema de riego o para otros propbsitos. En consecuencia, en muchas cuencas (y suponiendo que no hay una degradación de la calidad del agua) se obtendrian pocos beneficios con cambios individuales del manejo del sistema con el único fin de aumentar la "eficiencia en la utilización del agua", ya que la reducción del "desperdicio" obligaría **a** encontrar otra "fuente" para los "usuarios" que están aguas abajo. Cuando el "desperdicio" recarga un acuifero, puede producirse un beneficio sustancial que contrarrestaría holgadamente las "pérdidas" asociadas con el manejo de un "exceso" de agua.

Del mismo modo, con frecuencia se obtienen pocos beneficios al "ahorrar" agua si no hay oportunidades de aprovechar el agua ahorrada. **En** muchas zonas caracterizadas por sistemas de derivacibn no regulada, el agua "ahorrada" con "mejores" prácticas de manejo (físicas y operativas) no puede ser almacenada para su empleo durante períodos de menor disponibilidad, ni distribuida a zonas adicionales en forma economica. Cuando existe esta situacibn y cuando no son de importancia otras razones para un mejor control del agua (por ejemplo para reducir el encharcamiento en zonas de escasa elevación o para impedir la salinización), la eficiencia del agua como meta no es importante para la utilidad del sistema.

Lo anterior no pretende sugerir **que** no hay situaciones donde sea apropiada la preocupación por una mayor eficiencia en la utilización del agua. Puede haber un aumento de los costos de mantenimiento, efectos ambientales adversos u otros motivos

para que sea legítima la preocupación por una utilización más adecuada del agua, ademh de oportunidades para hacerlo. Sin embargo, es más fácil identificar esas situaciones y determinar el valor de un mejor control del agua cuando no existe la idea pre-concebida de que entre más se controle el agua mejor.

Además de su carácter neutral, la variable DRA sirve para interpretar y planear mejor el comportamiento de los principales participantes en el proceso del riego: los administradores del riego y los agricultores. Se examinard esto en detalle más adelante, pero el problema merece ser mencionado aquí. Como se señaló antes. casi es un cliche decir que los sistemas de riego son interacciones complejas de factores fisicos. económicos y sociales. No obstante, hay pocos o ningún ejemplo donde exista un reconocimiento explícito de que estas interacciones actúan mediante las acciones de quienes captan el agua, la distribuyen. la usan para propósitos productivos y obtienen los recursos para mantener en marcha todo el proceso. Se ha coniprobado que la variable DRA es útil para explicar los fundamentos de algunas medidas importantes (Oad y Levine, 1981). Básicamente, traslada el énfasis de la preocupación por lo que sucedió a lo que probablemente sucederá.

Puede resultar útil presentar una analogía. En un determinado entorno físico, social y económico, sería factible determinar un ingreso familiar mínimo que fuera considerado suficiente para vivir, es decir, suficiente para las necesidades esenciales de alimentación, vivienda y salud. Si, por ejemplo, fuera de $1000 mensuales y una familia recibiera ingresos de $1000 al mes. su comportamiento muy probablemente llevaría a un

empleo muy "eficiente" de ese ingreso. Los gastos se concentrarian en lo esencial. No obstante, si la familia recibiera $2000 al mes. es probable que una pequeña parte del dinero "adicional" se usara para ahorrar. pero la mayor parte de él se destinaria a "reducir" la tensión de vivir con ingresos limitados y a incorporar ciertos "lujos" en la vida familiar. En un sentido, la familia no "necesita" el dinero adicional. pero la vida es más fácil con él. Si los ingresos familiares se elevaran a $3000 al mes, es probable que se gastara más dinero en cosas no esenciales, sería "desperdiciado". Del mismo modo. si a los usuarios del agua se les suministra sólo el agua suficiente para sus necesidades, en la medida de su capacidad serian eficientes. Si se les suministra una cantidad mayor que la necesaria, tendrán una eficiencia más baja en la utilización del agua. especialmente cuando no hay oportunidades de "ahorrar" agua para otros usos u otros momentos. Por consiguiente. la eficiencia determinada después del hecho es una función de la disponibilidad en relación con la necesidad, y no es una variable independiente. Los datos obtenidos en Mkxico (Kloezen, W., 1998) ilustran esta situación. Cuando es elevada la disponibilidad relativa del agua en la fuente, y cuando se puede solicitar agua, es baja la eficiencia del riego a nivel parcelario. Por el contrario, cuando es baja la DRA en la fuente y no hay oportunidades de solicitar más agua. la eficiencia es relativamente alta (Levine et al.. 1998). Sin embargo. con esto no se pretende sugerir que todos los sistemas deberian proporcionar sólo agua suficiente para las necesidades. A menudo hay un aumento de los costos vinculado con el sistema y el manejo por los usuarios con niveles bajos de DRA y los beneficios aportados por el agua ahorrada tal vez no sean tan grandes como esos costos.

3. DEFINICIONES

Se ha encontrado que son útiles tres formas de la variable DRA: la Disponibilidad Relativa del Agua Teórica (DRAT), la Disponibilidad Relativa del Agua Planeada (DRAP) y la Disponibilidad Relativa del Agua Real (DRAR). Se presentan las definiciones de estas formas y las explicaciones de su cálculo en las secciones siguientes. Se pueden determinar para distintos periodos y para localidades diferentes, según la aplicación deseada. Así, se pueden calcular esas variables para todo el ciclo, mensualmente o en periodos especiales (como el de preparación de la tierra para el arroz). Pueden ser calculadas para el sistema en general o para subzonas, como los laterales, donde quiera que se puedan determinar el suministro y las necesidades.

3.1 *Disponibilidad Relativa del Agua Teórica (DRAT)*

a. Se define la DRAT como la razón entre el suministro del agua en el lugar de interésa la "demanda" asociada con la producción máxima del cultivo o patrón de cultivo óptimo producido con las prácticas de cultivo apropiadas en la superficie irrigable total diseiiada o que se pretende regar desde ese lugar.

Esta variable es útil cuando se intenta estimar la magnitud del esfuerzo de manejo que se requeriría para servir cabalmente el área dominada por el sistema más allá de ese sitio. Sobre la base de los estudios efectuados hasta el momento, seria entonces posible describir la infraestructura de manejo -tanto fisica como

de organización- que se necesitaría para regar adecuadamente esa área. Más adelante se ampliará esto con algunos ejemplos.

b. La frase "lugar de interés" dehe ser explicada. Desde el punto de vista de los cálculos, no hay prohlema en determinar la DRAT en cualquier punto del sistema donde se pueda medir (o estimar razonablemente) el suministro del agua e identificar el area de control. Para ciertos propbsitos, por ejemplo para evaluar la equidad[1] del suministro del agua a las asociaciones de usuarios servidas desde un canal principal, el lugar de interés serian los puntos de control hacia las asociaciones. La DRAT se podría usar entonces para definir el suministro que se proporcionaria en cada punto de control, ***suponiendo que la definición de equidad fuera la igualdad en satisfacer las necesidades de los cultivos.*** Si la hurocracia de irrigación tiene la responsabilidad de servir a grupos más pequeños de agricultores, el lugar de interts seria el último punto de control regulado por la burocracia de riego. En el caso de la asignación de permisos para la utilización del agua subterránea, el lugar de interés estaría en la boca del pozo.

c. Es evidente que la DRAT es en potencia ambigua. Por ejemplo, la especificacion del cultivo o patrón de cultivo bptimo depende del objetivo de la

[1] Equidad no siempre significa "igualdad" en el suministro del agua. Una serie de factores. por ejemplo la prioridad de uso en términos de tiempo o la importancia, podrian influir en la asignación y esto haría que distintos individuos o grupos recibieran cantidades diferentes de agua. pero aún se percibirian los resultados como equitativos. Véase en el trabajo de Levine. 1998, un examen mas completo de este principio.

optimación. En ciertas situaciones el objetivo apropiado podría ser la producción de alimentos básicos; **en** otras. podrian ser las máximas utilidades económicas. No obstante, el proceso de idenrificar el objetivo apropiado en sí mismo ayuda a interpretar el sistema que se considera.

d. Del mismo modo, la identificación y explicación de las prácticas de cultivo apropiadas están sujetas a diversas interpretaciones. También aqui el proceso de abordar *explícitamente* la *cuestión* de *qué* es lo apropiado ayuda a la interpretación.

Nuestra experiencia indica que esas ambiguedades no introducen grandes errores. Esto obedece en parte a la especificación de que la producción sea la mixima, **y** en parte a que la mayoria de las prácticas de cultivo no producen grandes efectos en cuanto al agua de uso consuntivo. (La producción del arroz inundado es un caso especial que se analizará mas a fondo en secciones posteriores.)

e. En la mayoría de los cultivos, la producción máxima se obtiene en o cerca de la zona de evapotranspiración potencial (Beckett y Robertson. 1917; Chang. 1961; Jacob, **W.** C. et al.. 1952).

En general se concuerda en que la evapotranspiración potencial (ETP) depende en gran medida de variables climáticas y es relativamente secundaria la

influencia del cultivo, que se produce básicamente por conducto de los cambios en el albedo foliar. (Sin embargo. es evidente que el momento y la duración del ciclo de crecimiento de los cultivos individuales afecta notablemente la ETP total.) Las técnicas para estimar la ETP son muy variadas y están bien desarrolladas (American Society of Agricultural Engineers, 1985; Monteith, J. L., 1965; Ritchie, J. T., 1972; Brutsaert, 1982; Brutsaert y Stricker, 1979; Allen y Pruitt, 1983; Smith, 1992). Muchas han sido evaluadas en una serie de entornos ecológicos y se ha comprobado que dan excelentes resultados al compararlas con la ETP medida (Levine et al., 1998).

La estimación de la ETP en valores que no sean el máximo o el potencial, es mucho más difícil y depende mucho más de las condiciones específicas del suelo y el cultivo en el lugar. Además, la forma de la relación entre el rendimiento y la ET varia en distintos cultivos. o incluso en el mismo cultivo con diferentes regimenes de fertilización, lo cual vuelve difícil especificar comparaciones apropiadas. En la Figura 2 se ilustran en forma esquemática las dificultades.

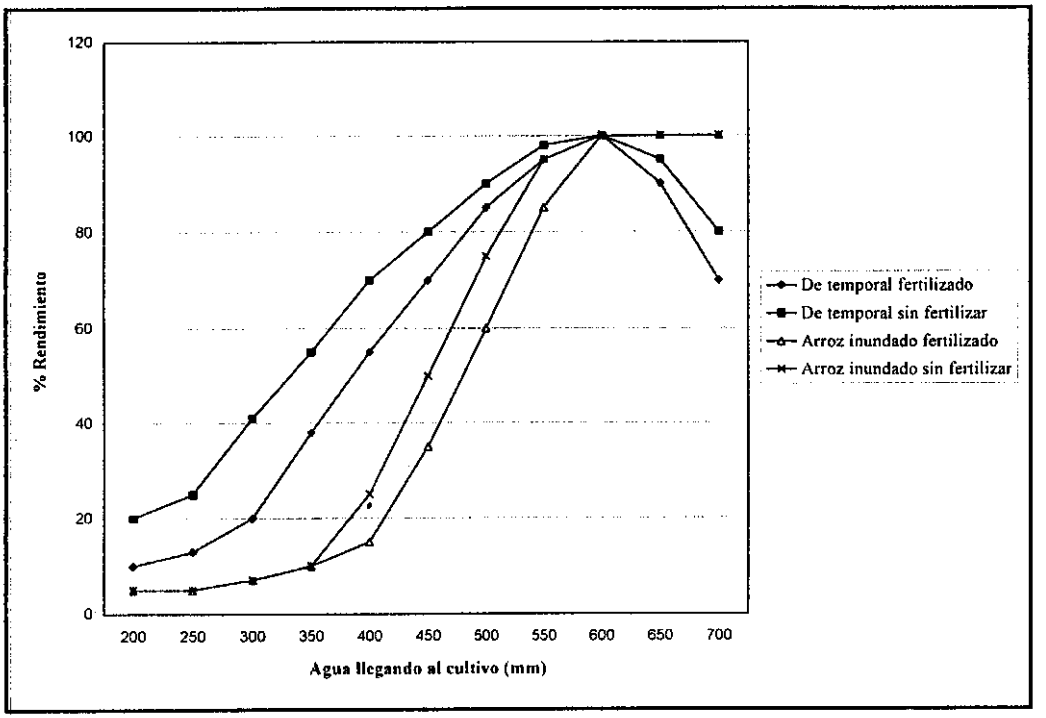

Figura 2. Rendimiento vs Agua que llega al Cultivo

En consecuencia, la especificación de la demanda de agua para obtener la producción máxima constituye un punto de referencia relativamente no ambiguo y realista. Si bien el suministro de agua económicamente óptimo frecuentemente será inferior a la ETP, dadas las incertidumbres del cálculo y la operación del sistema, la desventaja potencial de sobreestimar ligeramente la demanda de agua es contrarrestada holgadamente por la mayor precisión y la facilidad de hacer la

estimación. Es obvio que esta simplificación supone que el riego se aplica conforme a cierto calendario regular que minimiza los extremos en la carencia. Tampoco distingue el agua aplicada en una "etapa crítica del crecimiento" de la aplicada en otra menos critica. Sin embargo, como pocos sistemas son manejados de tal forma que suministren agua en forma diferenciada segun la etapa de crecimiento (tal vez sean una excepción los sistemas pequefios de bombeo), esto no parece una debilidad grave de la metodologia. Es preciso hacer otra advertencia. A pesar de que muchos métodos proporcionan estimaciones razonables de la ET potencial en una serie de condiciones, pocos abordan la situación en la que existen efectos de tipo "oasis" o "ropa en alambre". En estas situaciones, donde la energía de advección es considerable, a menudo se subestíma la ET potencial, a veces de manera sustancial.

f. En cuanto a las prácticas de cultivo, el sefialamiento general de que tienen relativamente pocos efectos sobre la demanda de agua no es válido en el caso del arroz inundado. Contrariamente a lo que sucede con los cultivos no inundados, la "demanda" de agua para el arroz inundado puede incluir una asignación considerable para filtración y percolación (FP), segun las prácticas de cultivo usadas. Por ejemplo, si se ptepara la tierra "en seco", la demanda total de agua asociada con esta etapa equivale a la evaporación prevista más el agua necesaria para la saturación antes de la siembra o el trasplante. Por el contrario, si la práctica "apropiada" es la preparación de la tierra bajo inundación, se puede esperar que se produzca una tasa más alta de evaporación y habrá filtración y

percolación después de la saturación. Por consiguiente, para obtener la demanda teórica asociada con la preparación bajo inundación es necesario especificar cuidadosamente el período adecuado para la preparación de la tierra: cinco, 10 6 15 dias podrian ser adecuados dependiendo de la fuerza de trabajo disponible u otros factores. Tambitn es necesario tener estimaciones confiables de la filtración y la percolación.[2]

Del mismo modo, si la práctica apropiada durante el período de crecimiento del cultivo es la inundación continua, se deben incluir la filtración y la percolación en la demanda. Sin embargo, cuando se recomienda cierto grado de secado (por ejemplo para la oxidación del suelo), entonces se reducirá la demanda para FP, como una funcion del numero de dias secos.

Los factores relacioaados con las prácticas de cultivo también pueden ser importantes para los cultivos no inundados cuando es necesaria la lixiviación para combatir la salinidad. En este caso, el volumen necesario de lixiviación será un componente legítimo de la demanda total de agua. La "necesidad" asociada con irregularidades en la superficie del suelo, ocasionadas por una nivelación inadecuada. probablemente no deba ser incluida en la demanda a menos que haya pocas oportunidades de mejorar la superficie del suelo.

---

[2] En principio, la deterrninacion de la FP es relativamente sencilla. Nu obstante, como este parámetro es específico para el sitio y está vinculado con caracteristicas del suelo y del gradiente hidráulico, la precisión de las estirnaciones para toda el area dependen de la variabilidad de esas características y de la cantidad de datos disponibles.

g. El factor del suministro del agua es menos ambiguo. pero requiere cierta explicación. El suministro total se define incluyendo tanto el suministro de riego como la precipitación total durante el periodo que se considera. El suministro de riego es el suministro medido *o* previsto **(en** el caso de la **DRAT)** usado para el diseño, o como suministro disponible (proveniente de un embalse) en el punto de interes. La precipitacidn es la que se produce (o se preve) en el area de control. Es la precipitación que en potencia podría ser sustituida por el suministro de riego. En **la** mayoría de los diseños se realiza una estimación de la precipitación efectiva (Tsao, **Y-S.,** 1972) y se considera que el suministro total es una combinación del riego y la precipitación efectiva. Hay diversas tecnicas para estimar **la** precipitación efectiva, pero todas, explicita o implicitamente. suponen un patrón de manejo del agua en el sistema. Como uno de los usos potenciales de la variable **DRA** es como instrumento para identificar las implicaciones del manejo, no es conveniente mezclar factores de manejo del agua dentro de la variable. En el examen posterior de las aplicaciones de la variable **DRA** se reforzarán los fundamentos para el empleo de la precipitación total.

h. **A** continuación se presenta un ejemplo de los cálculos en el caso del maíz

Cuadro 1. Datos necesarios y cálculo de la DRAT (con datos de ejemplos)

1. Suministro
   - a. Suministro de riego 200,000,000 de metros cúbicos (20,000 ha-m)
   - b. Precipitación (durante el ciclo de cultivo) 250 mm
2. Cultivo Maíz para grano (160 días)
3. Superficie (irrigable controlada) 12,000 ha
4. Demanda
   - a. Evaporación (tanque clase A) 7 mm/día
   - b. Evapotranspiración potencial 7 mm/día
   - c. Demanda para lixiviación 2 mm/día

El cálculo de la DRAT se efectúa de la siguiente manera:

1. Suministro/ha =

Riego	=	1667 mm (20,000 ha-m/12,000 ha)
Precipitación	=	200 mm
Suministro total	=	1867 mm/ha

(continuación)

2.	Demanda/ha =	
	Evaporación hasta la cobertura vegetal	= 30 días x
	(0.8)[3] x 7 mm/día	= 168 mm
	ETP = (160 - 30) x 7 mm/día	= 910 mm
	Demanda para lixiviación - 160 x 2 mm/día	= 320 mm
	Demanda total	= 1398 mm/ha
3.	DRAT = Suministro/Demanda = 1867/1398	= 1.34

Un valor de la Disponibilidad Relativa del Agua inferior a 1 indica que sería imposible satisfacer el objetivo de producción máxima. Una DRA de 1 implica que no habría pérdidas en el manejo del agua. La DRAT de 1.34 significa que tendría que haber una eficiencia general del agua de riego de 74%, lo que indica que es necesario un grado considerable de manejo del agua, desde la fuente al usuario final, para lograr este nivel de DRAT. En la sección sobre las aplicaciones se investigarán más a fondo las implicaciones para el manejo que tienen los distintos niveles de DRAT.

[3] Coeficiente que relaciona la evaporación en el tanque con la evaporación del suelo.

3.2. Disponibilidad Relativa del Agua Planeada (DRAP)

Por diversas razones pero a menudo a causa de las limitaciones del suministro, se aplican restricciones a la superficie y/o los cultivos que se pueden regar. Se puede calcular la DRAP para esta situación usando el suministro total de agua (el suministro asignado para riego más la precipitación), la superficie planeada, en lugar de la superficie irrigable, y los cultivos planeados. En este caso hay relativamente poca incertidumbre asociada con los componentes de los datos, con la posible excepción de la precipitación.

Por ejemplo, si se considerara que los requerimientos utilizados en el ejemplo anterior son demasiado estrictos para los recursos de manejo disponibles, se podría reducir la superficie regada planeada para aliviar la carga del manejo. Así, con el mismo suministro de agua, 20,000 ha-m, pero con la superficie reducida a 8,000 ha, el cálculo se haría de la siguiente manera:

1. Suministro/ha = (20,000/8,000 = 2500 mm) + 250 mm = 2750 ha-mm/ha
2. Demanda: Si no hubiera ningún cambio en las prácticas de cultivo la demanda seguiría siendo la misma = 1398 ha-mm/ha
3. DRAP = 2750/1398 = 1.97

Esta sería una situación mucho más fácil para el manejo que si se regara la superficie completa.

3.3 Disponibilidad Relativa del Agua Real (DRAR)

Se define la DRAR como la razón entre el suministro real de agua (agua surninistrada + precipitación) y la demanda de agua asociada con los cultivos realmente producidos, con las prácticas de cultivo realmente usadas y para la superficie regada real. Por consiguiente, la DRAR se deriva de observaciones y mediciones efectuadas sobre el terreno.

a. En contraste con el caso de la DRAT, el cálculo de la DRAR para el arroz inundado es más fácil que para los cultivos no inundados. Excepto en circunstancias insólitas, será pequeiia la proporción del ciclo de cultivo del arroz durante la cual la tierra no estará en estado de saturación. En consecuencia, la estimación de la ET siempre se aproximará a la ETP. Del mismo modo, si bien la determinación de la tasa de FP real presenta las mismas incertidumbres señalas para la DRAT, la estimación de la FP continua siendo relativamente sencilla una vez que se conocen los datos basicos sobre la FP en condiciones de inundación. Se puede suponer una situación de sí/no, es decir, cuando el suelo está por debajo de la saturación no se produce FP; cuando está en estado de saturación o por encima de él (agua estancada), se produce la tasa máxima de FP.

b. En el caso de los cultivos no inundados, se puede estimar o medir la ET real conforme a la exactitud y la precision deseadas. Se puede efectuar la medición mediante el empleo de muestras sucesivas para determinar la humedad del suelo, pero ésta es una labor tediosa y expuesta a todas las dificultades del muestreo en un entorno no homogéneo. Además, a menudo es difícil el acceso a las parcelas para tomar las muestras del suelo, en especial cuando se realizan los estudios en los campos de los agricultores. Se cuenta con varios modelos en computadora para estimar la ET (por ejemplo, CROPWAT, Penman-Montieth, Blaney-Criddle, Thornthwaite), pero se debe efectuar la verificación de campo para lograr una precision razonable.

c. En el Anexo 1 se presentan los datos necesarios para el cálculo de la DRAR en el arroz inundado y un ejemplo de cilculo. Con excepción de la determinación de la ET real y el número de dias sin suelo saturado. los datos necesarios son los mismos que en el caso de la DRAT.

d. Los datos que se requieren para el cálculo de la DRAR en cultivos de tierras altas incluyen el número de riegos, estimaciones de la filtración profunda y de la ET real, además de los datos básicos sobre el suministro, el cultivo y la superficie requeridos para el cálculo de la DRAT. En el Anexo 2 se presenta una lista completa de los datos necesarios y un ejemplo de cálculo.

4. IMPLICACIONES DE LOS DISTINTOS NIVELES DE DRA PARA EL MANEJO

Desde la presentación del concepto original en 1974 y con más frecuencia a partir de 1982, se han realizado una serie de estudios de evaluación de la DRA en el contexto de diversos entornos físicos e institucionales. Entre ellos se cuentan los estudios realizados en las Filipinas (Garcés-Restrepo, 1983; Svendsen, 1982), Indonesia (Oad y Levine, 1981). Sri Lanka (Sakthivadivel, 1993), Nepal (Yoder, 1986 y Martin, 1986), Pakistán (Bhatti, Schulze y Levine. 1991), Colombia (Vermillion y Garcés-Restrepo, 1998) y México (Kloezen y Garcés, 1998; Levine et al., 1998; Centro de Hidrociencias, 1994). Sobre la base de estos estudios, es posible asociar un patron de manejo, es decir, la combinación de infraestructura fisica y de organización y normas operativas, con un nivel de DRA que permita lograr la meta de "producción máxima". Si bien se requieren más investigaciones para ser definitivos. es posible establecer una razonable relación cualitativa entre las caracteristicas del sistema y la DRA que probablemente llevará a rendimientos altos. Hasta el momento, la experiencia se basa principalmente en datos del nivel terciario, subareas de control de alrededor de 100 ha. Las relaciones cuantitativas se pueden extender a niveles más altos en el sistema de distribución/conducción cuando se disponga de datos para cuantificar los volúmenes de agua que cubrirían las pérdidas por infiltración que se producen en el sistema.

4.1 DRAT < I

Una DRAT inferior a I indica que no será posible lograr el rendimiento maximo por unidad de superficie. **El** fundamento para operar con este nivel es básicamente un objetivo de equidad, ya que una superficie relativamente más grande y presumiblemente más agricultores serán servidos con el suministro previsto. Se encuentra generalmente **una** DRAT inferior a 1 en los sistemas de riego con agua de superficie de zonas semiáridas del sur de Asia. Los sistemas fueron diseñados para permitir indices de cultivo de **30** 6 40%, que dan como resultado una DRAP superior a 1. El propósito de estos sistemas era proporcionar agua suficiente a las parcelas con el fin de producir alimentos suficientes para la subsistencia e ingresos para pagar los impuestos sobre la tierra. No habia una idea de producción económica óptima en términos de ingresos por unidad de superficie. En estas situaciones, suele haber producciones altas por unidad de agua y relativamente bajas por unidad de superficie.

La DRAR resultante de este nivel de asignación de agua depende de las decisiones que tomen los usuarios individuales acerca de la superficie que siembran. En ciertos casos. los usuarios siembran menos superficie en un intento de reducir sus costos de inversión en la producción y lograr rendimientos más altos por hectárea. En otros casos. en particular cuando hay ciertas probabilidades razonables de precipitación, tal vez siembren una superficie mls grande, corriendo el riesgo adicional pero con el potencial de usar en forma más eficiente la precipitación.

En contraste con el ejemplo del sur de Asia, una serie de sistemas mexicanos con DRAT inferiores a 1 establecen DRAP iguales o superiores a I restringiendo la superficie que se puede regar. Como se señaló anteriormente, éste es el caso del distrito de la Comarca Lagunera. Además, como en México se ejerce control definiendo la superficie, hay menos oportunidades para que los usuarios individuales ejerzan su propia optimacibn al tomar decisiones.

4.2. DRAT– I

Los datos provenientes de Taiwán muestran que los agricultores que trabajan una hectárea dentro de sistemas grandes (algunos de hasta 100,000 ha) pueden producir un cultivo normal[4] de arroz inundado con una DRAT y una DRAR de aproximadamente 1 en el nivel de la toma. Sin embargo, para lograr este desempeiio el sistema tiene:

- un control físico e institucional hasta el nivel de 10 ha;
- una seria escasez de agua, reconocida por los usuarios;
- la sustitución de los derechos consuetudinarios de agua **por** "normas técnicas" en la asignación de los limitados suministros de agua;

[4] En este caso, el rendimiento fue aproximadamente del 95% del obtenido

esfuerzos amplios por aumentar al máximo la captación de agua proveniente de fuentes y drenajes;

- vigilancia y control durante las **24** horas en los puntos de control de 50 ha; esta vigilancia incluye el empleo de aforadores Parshall para medir la descarga;

- la distribución dentro de las unidades de 10 ha (10 agricultores individuales) es realizada por un "regador" contratado en forma conjunta por los agricultores;

- una comunicacicin efectiva entre los agricultores y los operadores del riego;

un alto grado de cooperación entre los agricultores y entre éstos y los operadores del riego;

- la participación activa de los líderes del sistema en el manejo del agua

No tenemos otros ejemplos de este grado de exito al operar con este nivel de **DRA.** No obstante, aun en este caso, operar con este nivel de **DRA** es costoso para la asociación de usuarios y estresante para los agricultores y los operadores del sistema. Por consiguiente, no es el modo ordinario de operación.

4.3. DRAT– 1.5

En la situación de Taiwán, cuando el suministro de agua está dentro de los valores "normales", la DRAT y la DRAP son de aproximadamente 1.5 y se relaja el manejo del sistema.

Se mantiene un control efectivo hasta el nivel de *50* ha, pero el control hasta el nivel de 10 ha se efectua principalmente mediante la rotación programada.

- Existe una vigilancia diurna de las entregas y periódicamente se emplean aforadores Parshall.
- Dentro del nivel de 10 ha, la distribución del riego es efectuada por los agricultores mediante rotación.

- Existe una comunicación y cooperación efectivas entre los agricultores y entre éstos y los operadores del sistema.

Los resultados obtenidos en Indonesia muestran patrones similares de operación en los sistemas de las aldeas, con valores semejantes de la DRAT. En México, el desempeño con éxito con este nivel de DRA presenta elementos similares, si bien hay diferencias resultantes del tamaño más grande de las unidades parcelarias individuales. En esta situación, se efectúan mediciones dos veces al dia a nivel de los laterales, el canalero ejerce control hasta la toma de las parcelas (varía el tamaiio de la superficie

regada) y existe una comunicación y cooperación razonables entre los usuarios del agua y entre éstos y los operadores del sistema.

Los estudios realizados en las Filipinas (con sistemas donde se efectuan mediciones sólo en el canal principal, las entregas están en manos de los canaleros y existe relativamente poca comunicación entre los usuarios y los operadores del sistema) han revelado que operando con una DRAT de alrededor de 1.5 no se puede proporcionar un servicio de riego que genere rendimientos maximos. En esta situación, los rendimientos del arroz equivalen aproximadamente al 40% de los obtenidos en Taiwán e Indonesia.

4.4. DRAT – 2

A medida que aumenta la DRA, disminuyen los requisitos de manejo para la operación con éxito. Sobre la base de estudios efectuados en el campo, hemos encontrado que con una DRAT que se aproxime a 2, los agricultores pueden obtener rendimientos de los cultivos relativamente altos si **la** operación del sistema incluye el control de la asignación del agua a los canales secundarios y la vigilancia durante **el** día, aun cuando exista una comunicación limitada entre los operadores del sistema y los agricultores.

4.5. DRAT– 2.5

En los sistemas con una **DRAT** de **2.5** o más, la carencia de agua en general no será un factor importante que afecte el desernpeiio del riego si **el** sistema mantiene el control del suministro a través del canal principal. Esto no significa que los sistemas con DRA superiores a **2.5** siempre funcionarán bien, ya que otros factores distintos de la DRA afectan el desempeño del sistema. Por ejemplo, cuando hay problemas en la infraestructura física puede resultar afectado el desempeiio del sistema.

5. APLICACIONES DE LA VARIABLE DRA

5.1 En la evaluación de sistemas

La variable DRA ha sido usada como instrumento de evaluación en una serie de estudios efectuados recientemente en Mexico y Colombia como parte del programa del IWMI de estudios de los sistemas de riego gubernamentales en los que las responsabilidades de la operación y el mantenimiento han sido transferidas a los usuarios (Kloezen et al., 1997; Kloezen y Garcés-Restrepo, 1998; Molden et al., 1998; Levine et al., 1998). Para usar apropiadamente la DRA con propósitos de evaluación, es necesario conocer las normas generales que gobiernan la asignación del agua en cada situación. Estas normas pueden ser oficiales o informales, pero para que sean efectivas deben ser percibidas como "justas" por los usuarios.

En muchos distritos de riego del oeste de los Estados Unidos de America, la norma de equidad se basa en el principio de que el primero en el tiempo tiene más derecho. a veces modificada por el requisito del "uso provechoso". Los volúmenes asignados mediante este principio a menudo se fijan por conducto del sistema judicial, lo cual vuelve muy difícil efectuar ajustes. Segun cómo se aplique la norma del uso provechoso, la equidad puede tener muy poco que ver con la eficiencia. En Mexico, en algunos casos, la "norma de equidad" que gobierna la asignación del agua para riego es una **norma proporcional,** basada en la superficie. Cada usuario del agua tiene derecho a una parte proporcional del suministro disponible basada en la parte proporcional del area de control que tiene el usuario. Este tipo de norma es otro ejemplo de una norma de equidad muy sencilla, basada unicamente en la disponibilidad y la superficie que se regará. Se trata de "compartir el recurso", sin considerar la productividad de éste, y generalmente se utiliza esa norma en etapas relativamente tempranas del desarrollo de la irrigación (Coward y Levine, 1989).

En ambas situaciones, para una evaluación de la equidad en el suministro de agua se requeriría sólo conocer el volumen representado por esa participación proporcional y medir las entregas del agua para determinar el acatamiento de la norma. No obstante, generalmente en la practica hay pocas mediciones del suministro del agua, en especial a nivel parcelario. En Mexico, comúnmente la entrega se hace por estimación y el control se efectua restringiendo la superficie a la cual se puede aplicar el agua de riego. Este tipo de restricción elimina todo incentivo para que los usuarios empleen el agua en forma más eficiente. Se puede encontrar un tipo similar de norma de

proporcionalidad, pero con implicaciones diferentes, en los sistemas Warabandi del sur de Asia,' donde la asignacicin del agua es proporcional a la superficie. pero el agua puede ser distribuida sobre una superficie tan extensa como desee el usuario.

En una serie de sistemas la norma de proporcionalidad es modificada de manera informal mediante ajustes efectuados por el canalero, quien frecuentemente tiene autoridad (y también capacidad) para variar las entregas siempre que estas se distribuyan en forma equitativa. En algunos de los sistemas, esta norma estricta de proporcionalidad se modifica de manera oficial mediante el reconocimiento de que diferentes cultivos tienen distintas demandas de agua.[6] Esto refleja una mayor preocupación por la utilidad del recurso, la cual normalmente acompaña a una mayor competencia. En estas últimas situaciones, la cantidad de riegos y la superficie permitida para riego se ajustan de tal modo que esencialmente se proporcione el mismo volumen de agua a cada usuario, con lo cual se mantiene la equidad volumétrica del derecho de agua. No obstante, ya no existe la proporcionalidad basada sólo en la superficie. En cambio, la proporcionalidad se basa en asegurar que cada uno de los usuarios tiene la misma disponibilidad relativa del agua.

[5] El sistema Warabandi se caracteriza por la asignación de cierto tiempo de uso del caudal de un canal a cada usuario. El usuario es libre de aplicar esa agua a una superficie tan grande como desee sembrar. En consecuencia, el usuario establece su propia DRAR. que depende del nivel de inversion en manejo del agua que esté dispuesto a hacer. En principio, esto da oponunidad de usar el agua de manera muy productiva. Vease Malhotra, 1982).

[6] El término "demanda de agua" es una forma conveniente de cxpresar la cantidad de agua requerida para producir un rendimiento óptimo o casi óptimo. Como existe una relación funcional entre el agua suminisrrada y el rendimiento obtenido, la "demanda" tiene que estar relacionada con el rendimiento deseado.

El caso del Distrito de la Comarca Lagunera[7] (Distrito de Riego 017) en los Estados de Durango y Coahuila, México, ilustra este último criterio. El Cuadro 2 muestra la asignación planeada según la superficie para cada cultivo, el número de riegos, el volumen de agua por cada derecho de agua, en la toma del sistema de riego (*módulo*). Las diferencias en la DRAP se ubican dentro de la variación que se puede esperar en el suministro del agua.

Cuadro 2 Asignación de superficie a los cultivos en el distrito, número de riegos y política de asignación de una cantidad equivalente de agua

Cultivo	Riegos	Superficie asignada (derecho por ha)	Volumen de agua asignado (1000 m;)	DRAP
Frijoles	1 pre-siembra 2 auxiliares	1.6	14.4	1.80
Maíz (forraje)	1 pre-siembra 3 auxiliares	1.2	14.4	1.89
Maíz (grano)	1 pre-siembra 4 auxiliares	1.0	15.0	1.90
Hortalizas	1 pre-seimbra 4 uxiliares	1.0	15.0	1.90

[7] Los distritos en México son similares a los "sistemas" de otros países porque frecuentemente abarcan una serie de sistemas individuales servidos desde el mismo canal principal. Estos últimos reciben el nombre de *módulos*.

Como se señaló anteriormente. se puede usar la DRAP para evaluar el estado del suministro del agua en una serie de niveles, desde la fuente hasta la parcela. Los datos obtenidos en México ilustran estos diversos sitios. Por ejemplo, la Figura 3 muestra la DRA a nivel del Distrito (sistema), y en la toma de dos módulos.

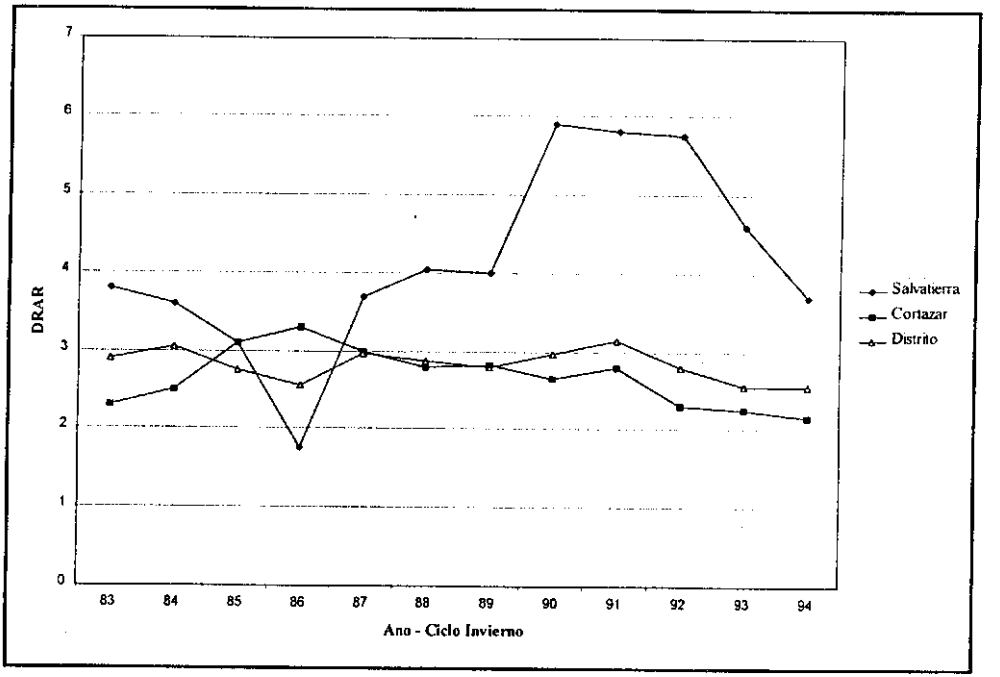

Figura 3. DRAR en Distrito de Riego Alto Río Lerma y Módulos Cortazár y Salvatierra; ciclos de Invierno 1983-1994. México. (Adaptada de Kloezen, 1998; figura 2)

Los datos indican que el distrito opera en forma relativamente homogénea con una DRAR cercana a 2.7, con un patrón similar en el Módulo Cortázar, lo que indica

que hay relativamente pocas pérdidas de agua durante la conducción en el canal principal. Por el contrario, el Módulo Salvatierra presenta valores de la DRAR mucho más altos: casi 6 en 1993/1994 y 1994/1995. Esto indica que la superficie sembrada relativa en Salvatierra es mucho más pequeña que en Cortázar (hecho verificado por la diferencia en la intensidad de cultivo, 42% y 62% respectivamente). El fundamento que se señala para esta DRAR muy alta es la dificultad en servir este sistema a causa del deterioro de la infraestructura física.

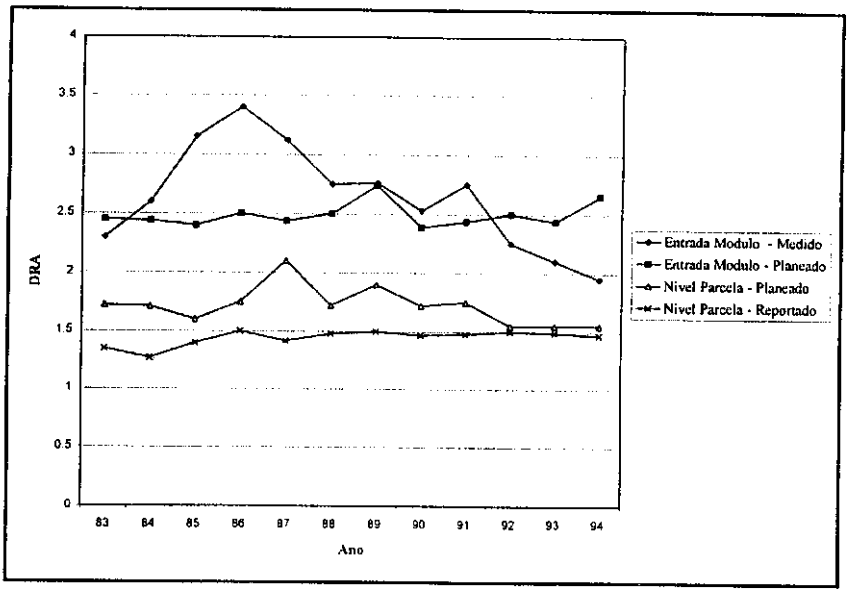

Figura 4. Valores de la DRA Medida, Planeada y Reportada, Módulo Cortazar, 1983-1994. México. (Adaptada de Kloezen, 1998; figura 9)

La Figura 4 compara la **DRA** planeada y la real en la toma del Módulo Cortázar y los valores planeados y reportados a nivel de las parcelas.

La **DRA** planeada a nivel de las parcelas, de aproximadamente 1.4, en comparación con **2.7** en la toma, indica que hay pdrdidas sustanciales en el sistema de distribución dentro del módulo. No se puede determinar sólo a partir de los datos de la **DRAR** si esas pérdidas son por filtración y percolación **y** pueden estar recargando los mantos acuíferos, o si se trata de desviaciones no reportadas. La **DRAR** resultante a nivel de las parcelas implica **que** se requeriría una eficiencia en la aplicación de por lo menos 70% para regar adecuadamente la parcela. *Esto* exigiría ya sea un cuidadoso riego por gravedad con campos razonablemente bien nivelados o cierto tipo de riego por presión. Para mejorar la utilización del agua, el primer paso lógico seria la evaluación de las pérdidas en la distribución.

La Figura **5** muestra la **DRAR** en el canal principal y en el transcurso del tiempo, en otros cuatro distritos de riego de Mdxico, y la Figura 6 muestra la **DRAR** a nivel de las tomas en los mismos distritos.

Existen amplias diferencias entre los distritos y una considerable variación anual. Las grandes diferencias en la **DRA** entre el canal principal y los niveles de las tomas señalan grandes pdrdidas **en la conducción**. Como se indicó anteriormente, puede tratarse de pdrdidas reales debidas a la permeabilidad de los canales de conducción o

pueden ser pérdidas "administrativas". Estas últimas pueden ser resultado de la necesidad de llenar los canales hasta una altura especificada antes de que se pueda efectuar el suministro, o pueden ser consecuencia de desviaciones no autorizadas.

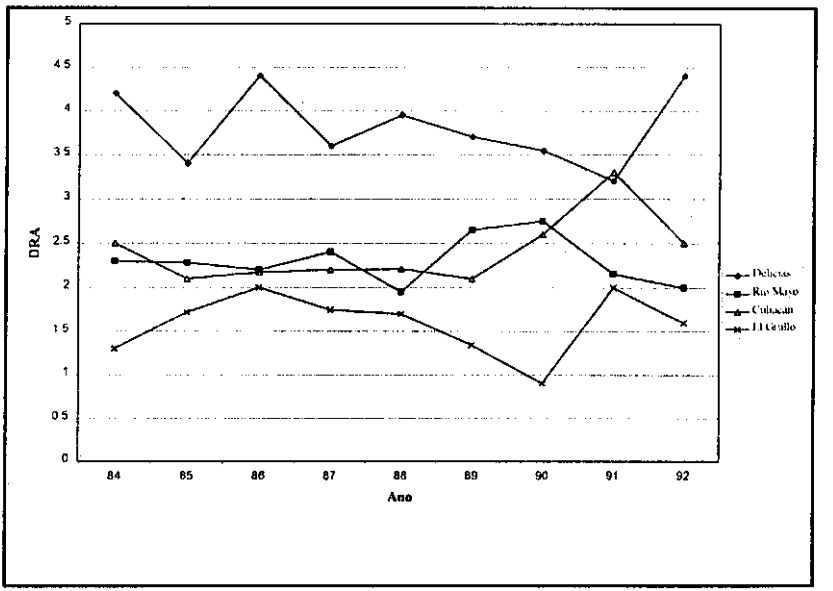

Figura 5. DRAR para 4 Distritos de Riego en México, 1984-92. (Adaptada de Centro de Hidrociencias, 1994; figura 13)

En el sistema Delicias, con una DRA relativamente alta, se pueden esperar niveles relativamente bajos de manejo a pesar de que existe la infraestructura para un manejo más cuidadoso. En Río Mayo, niveles moderados de manejo deben bastar para

obtener la producción máxima. En Culiacán tendría que haber un alto nivel de manejo y en El Grullo se pueden esperar problemas significativos. De hecho, se espera que los agricultores hayan invertido en una capacidad considerable de bombeo del agua subterránea, si existe esta posibilidad.

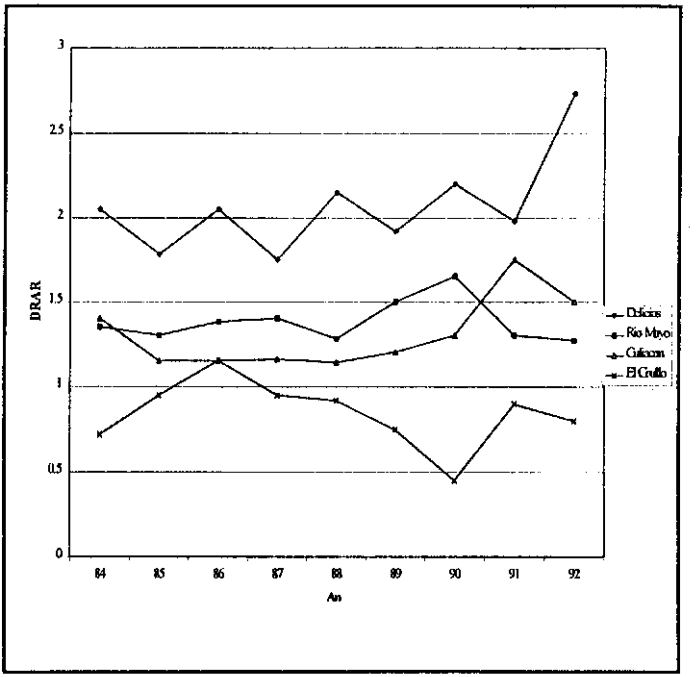

Figura 6. DRAR a nivel de toma en cuatro Distritos de Riego en México, 1984-92. (Adaptada de Centro de Hidrociencias, 1994; figura 14)

Disponibilidad Relativa del **Agua**

En la medida en que exista un desaiuste considerable entre la DRAR y el grado apropiado de manejo. habrá un servicio inadecuado de riego o una inversión excesiva en infraestructura de manejo. Esta última puede ser la "capacidad de reserva del manejo" a la que se recurre en los periodos de carencia del agua, como sucede en Taiwán, o una auténtica inversión excesiva.

Además del potencial para evaluar el manejo general de los sistemas, las variables DRA son útiles al evaluar la equidad relativa del servicio de agua dentro de un sistema.

1. En la forma más sencilla, la DRAT o la DRAP pueden ser determinadas en sitios específicos del sistema que representen los puntos finales de control por la autoridad responsable. Esto revelaria el estrés relativo aplicado a distintas partes del sistema. La Figura 7 presenta la DRAR en las tomas de los diversos módulos dentro del Distrito de Riego Bajo Río San Juan en Mexico.

   Como se puede observar. hay considerables diferencias en la DRAR entre los módulos, con un gradiente desde el inicio a la cola del canal principal. Esto implica la necesidad de un esfuerzo adicional de manejo a lo largo del canal principal si se desea lograr la equidad. Una evidente solución posible de esta situación sería efectuar una rotación entre las secciones situadas a lo largo del canal principal. No obstante, además del manejo adicional que entraiia la rotación podría ser necesario realizar cambios en la estructura física. Por

ejemplo, podría ser preciso instalar reguladores transversales adicionales para proporcionar la carga apropiada en las estructuras de salida.

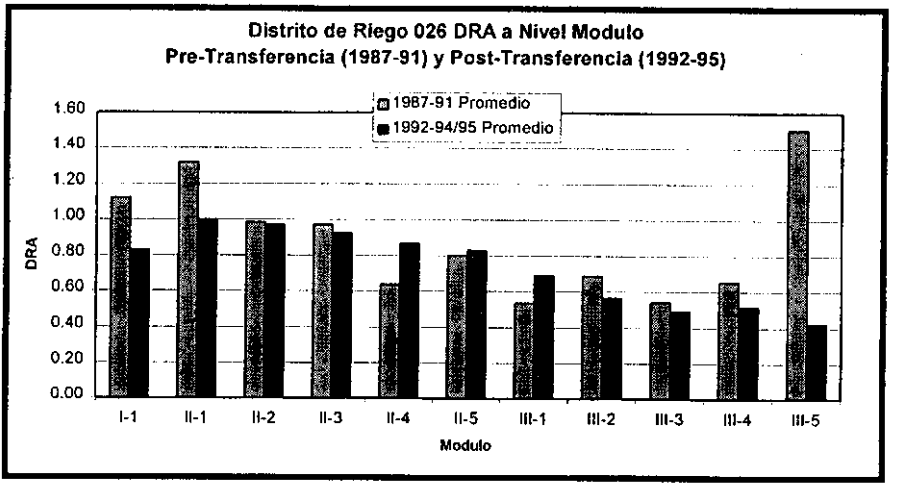

Figura 7. DRA a Nivel Modulo, Distrito de riego Bajo Rio San Juan, México

2. En un análisis algo más complejo, se podría determinar la DRAR con una mayor densidad espacial. Esto aportaría información sobre las capacidades relativas de las diversas partes del sistema de ajustarse a la situación de carencia. Por ejemplo, un estudio de la DRAR a nivel parcelario podría revelar que un módulo puede mantener una DRAR más alta en las parcelas que los otros con DRAR similares o mayores en la toma.

La utilidad de este tipo de análisis se puede ver en los datos de los dos módulos de la Comarca Lagunera. En este estudio, un objetivo era determinar la eficiencia de las recién formadas organizaciones de usuarios del agua al servir a distintas áreas y distintos tipos de clientes. En el Cuadro 3 se sintetizan los valores de la DRAR en relación con la ubicación en el inicio y en la cola y con respecto al servicio recibido por los ejidatarios y los pequeños propietarios.

Cuadro 3. DRAR en relación con la ubicación y el tipo de productor

Módulo V		
Ubicación	Ejido	Pequeños Propietario
Inicio1	1.47	1.48
Cola	1.53	1.63
Módulo XII		
Ubicación	Ejido	Pequeños Propietario
Inicio	1.3	1.5
Cola	1.5	1.7

Los datos indican que los operadores del sistema servían algo mejor a las parcelas ubicadas en la cola y los productores privados, pero las diferencias eran relativamente pequeñas.

Al evaluar sistemáticamente el desempeño del sistema, los operadores de éste pueden determinar la DRAR en la toma del sistema y en diversos puntos a lo

largo de los canales de conduccidn para determinar las causas reales de cualquier diferencia que hubiera. Esto facilitaria un programa de mejoramiento. Por ejemplo, en la Comarca Lagunera, reconociendo los problemas de las pérdidas en la conducción, durante un período de sequia grave se tomó la decisión de "compactar" el área, es decir, limitar la superficie regada de tal modo que se redujera considerahlemente el sistema de conducción. En 1996. se redujo la superficie de un area nominal de control de aproximadamente 90,000 ha a 26,000 ha.

Los estudios realizados en este sistema sugieren que la infraestructura operativa, tanto física como de organización, es adecuada para la **DRAP.** Una pregunta lógica es entonces cuánto se la podría reducir, con lo cual aumentaría la superficie servida, sin afectar en forma adversa el desempeño de los usuarios.

En principio, siempre que la **DRAR** a nivel parcelario sea superior a 1, es posihle una mejora. No obstante, la **DRAR** a nivel parcelario es relativamente baja en la actualidad y una reducción implicaria la necesidad de un manejo más intensivo por los agricultores, incluyendo probablemente el mejoramiento de la conformación del terreno y modificaciones en los métodos de aplicacion del riego. En consecuencia, la primera medida lógica seria evaluar el sistema de conduccidn con más detalle para determinar la naturaleza de las pérdidas y las implicaciones en cuanto a costos y heneficios que tendrian las mejoras potenciales.

3. Los estudios realizados en otros países confirman la utilidad de las evaluaciones de la DRA como parte del diagnóstico del desempeño del sistema. En las Filipinas (Svendsen, 1982), **por** ejemplo, los datos indican que la DRAR es una variable más apropiada que la disponibilidad de agua por sí sola para explicar las respuestas de los agricultores a suministros limitados de agua. Los estudios efectuados en Indonesia (Oad y Levine, 1981) muestran la utilidad de este criterio al distinguir las implicaciones para la equidad que tiene el control por la aldea y los agricultores. En estos estudios se determinaron la DRAT y la DRAR en el nivel más bajo de las tomas bajo control de la aldea. La variabilidad de la DRAT indicó la relativa equidad de los suministros controlados **por** la aldea. En esta situación, se calcularon los valores de la DRAT para tener en cuenta los efectos de las diferencias en los suelos en las distintas partes de la aldea. Más allá de las tomas, se determinó la equidad relativa mediante la variación del agua del suelo y las diferencias de rendimiento, ya que no se obtuvo la distribución del agua (medida en forma volumétrica).

4. En Colombia, en los estudios del IWMI se evaluó la DRAR en cuatro distritos con distintas condiciones en cuanto al origen del agua y con diferentes patrones históricos de operación. La Figura 8 muestra la DRAR a nivel del distrito en el período de 1988-1995.

El Distrito Roldanillo-La Unión-Toro (RUT) es un sistema de riego por bombeo de aguas fluviales, con un canal principal abierto relativamente largo. El Distrito

Rio Recio es un sistema de desviación de aguas fluviales, con un canal principal abierto relativamente corto. El Distrito Samacl tiene un embalse y un canal abierto relativamente corto. **El** Distrito San Rafael es un sistema de riego por bombeo de aguas fluviales, con tubería principal subterránea.

La muy baja DRAR en San Rafael es una respuesta lógica al costo del bombeo y refleja las escasas pérdidas en la conducción como resultado del sistema de conducción por tuberias subterrlneas. Sin embargo, los valores de la DRAR inferiores a 1.0 indican que los cultivos sufren una carencia y seria apropiado evaluar las probables pérdidas de rendimiento en comparación con los costos de bombear una cantidad adicional de agua.

La relativamente alta DRAR (superior a **2)** en el Distrito RUT plantea interrogantes acerca del manejo del distrito. Como el sistema requiere el bombeo del agua, el exceso de agua va acompañado por costos excesivos de bombeo. Esto exigió solicitar al gobierno un sustancial subsídio a la operación. Antes de la transferencia de las responsabilidades de la operación a los usuarios el sistema funcionaba como un sistema por "pedido" y esto continuó despues de la transferencia, lo que da como resultado un alto empleo relativo.

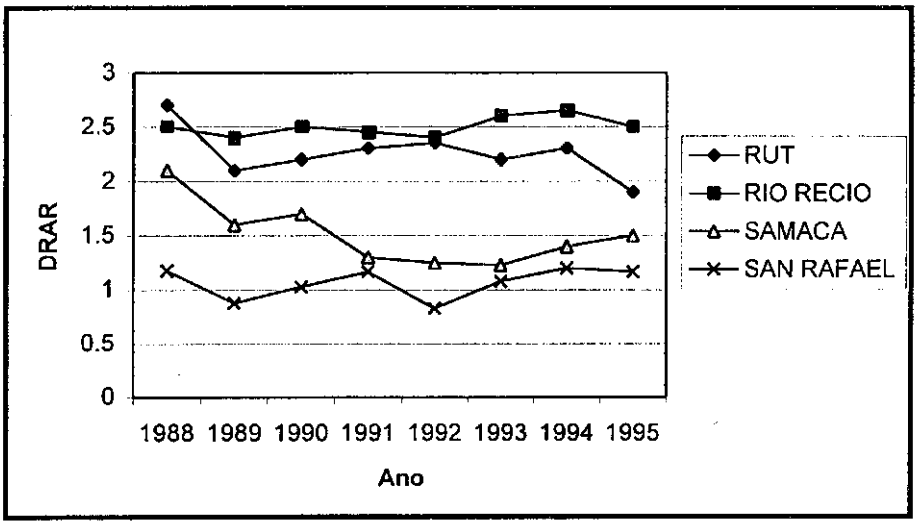

Figura 8. DRAR en 4 Sistemas de Riego en Colombia. (Adaptada de Vermillion y Garcés Restrepo, 1998)

El Distrito Samacá opera con una DRAR aproximada de 1.5, que indica que existe una razonable concordancia entre la capacidad de manejo de la infraestructura física y de organización y las necesidades.

El Distrito Río Recio presenta la DRAR más alta, superior a 2.5, la cual refleja la obtención del agua al municipio por derivación no regulada. No obstante, hay oportunidad de vender el agua para generar energía y esto origina un costo de

oportunidad para el excedente del agua usada por el distrito, que iría en beneficio de la asociación de usuarios.

En la Figura 9 se puede ver otra ilustración del uso potencial del concepto de DRA al evaluar el manejo de los sistemas. Estos datos dan la oportunidad de comparar diversos sistemas y, en ciertos casos, los componentes dentro de los sistemas.

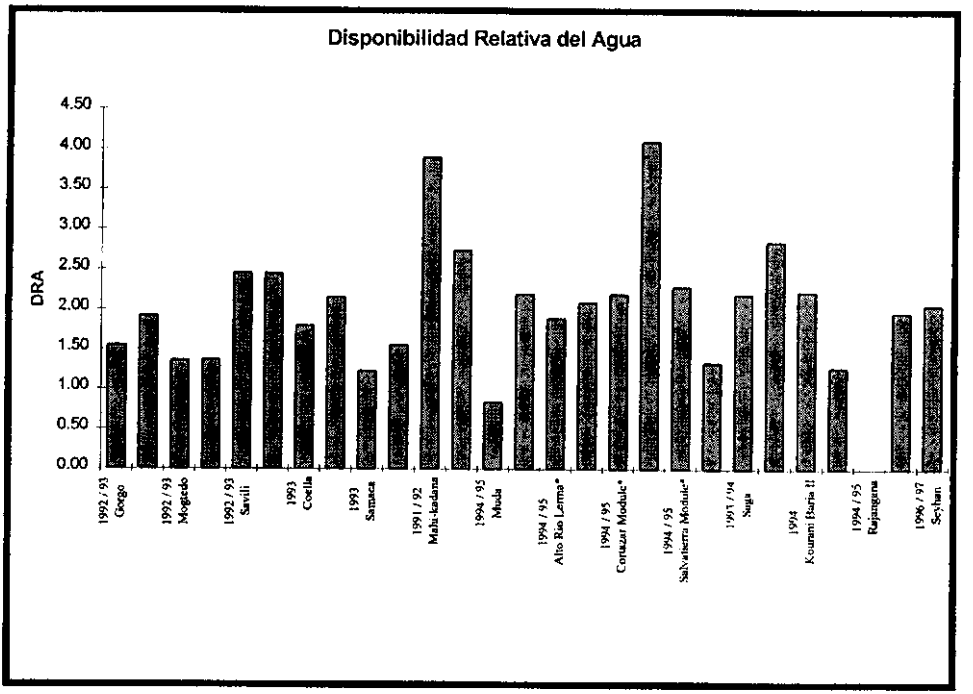

Figura 9 DRA Ejemplos de diversos países. (Adaptada de Molden et al, 1998, figura 5)

La comparación de los pozos particulares y pliblicos del Módulo Cortázar en Mexico revela una diferencia relativamente pequeiia: DRA de **2.2** para los pozos públicos/agua de superficie y **2.3** para los pozos particulares. En contraste, durante **el** mismo periodo **el** Módulo Salvatierra present6 una diferencia grande entre esas fuentes: **2.4** en los pozos particulares y más de **4** en los pozos públicos/agua de superficie. Esta gran diferencia entre los dos módulos en el mismo distrito de riego provoca preocupación a los encargados de manejar el sistema. Recientemente los módulos de este distrito se han unido para formar una Sociedad de Responsabilidad Limitada (SRL). La **SRL** tiene ahora la responsabilidad del manejo de la distribución desde el canal principal a **los** módulos. La **DRA** puede **ser** un instrumento valioso para la **SRL** en la evaluación de su propio desempeño en esa distribución, y también un instrumento de apoyo en los intentos de mejorar el manejo de los mismos módulos.

El bajisimo valor de 0.8 en el proyecto del **Rio** Muda en Malasia es un reflejo de la severa sequia que se experimentó. Implica que el proyecto estaba dispuesto a realizar esfuerzos importantes por manejar el agua y a renunciar a los rendimientos máximos con el fin de proporcionar una distribución más amplia del agua disponible.

Lo anterior sugiere un procedimiento para **evaluar** el **manejo de** los **sistemas**:

1. Para cada situacion, determinar el valor mínimo de la **DRAT** (basado en una demanda que incluya las pérdidas normales en la conducción) que permitiria una producción "óptima" y que daria un valor igual para la **DRAR.**

2. Si el valor de **la DRAT** es igual o superior al valor crítico mínimo en la situación física y de manejo existente pero no se riega toda la superficie, o no se producen los cultivos preferidos u óptimos, o los rendimientos son considerablemente inferiores a los máximos o son **muy** variables según la ubicación, hay un desajuste entre lo que se logra y lo que el sistema es capaz de producir.

3. Si la **DRAR** es inferior a la **DRAP,** se está extendiendo el suministro más allá del área de control especificada, se están produciendo cultivos no óptimos (los que tienen un mayor uso) o se están empleando prkticas agricolas inadecuadas (por ejemplo, períodos prolongados de preparación de la tierra).

4. Cuando **la DRAR** está por encima del nivel crítico y el sistema produce los cultivos previstos, se trata sencillamente de un refleio de la disponibilidad de suministros de agua relativamente abundantes. En este caso, hay que esperar que la capacidad de manejo del sistema no se use cabalmente. Esta sería una adaptación lógica a la situación de la disponibilidad y la falta de manejo no debe ser considerada un problema.

5. No obstante, si hay otras áreas que pudieran ser regadas económicamente a partir de la misma fuente o se pudiera dar al agua algún otro uso productivo, esta situación daria una oportunidad de desviar o reasignar el "excedente" sin una carga considerable para el sistema existente.

6. Si la DRAT es considerablemente menor que el valor critico. es decir, hay menos agua que la considerada necesaria para cultivar toda la superficie, se puede esperar una producción por unidad de superficie inferior a la optima si se cultiva la totalidad de la superficie. Hay pruebas que indican que la DRAR en general seria superior a la DRAT, acercándose al valor critico. Si el valor critico refleja el grado de manejo que se puede mantener razonablemente durante la temporada de riego, es lógico esperar que los agricultores tratarán de evitar una situación de carencia prolongada. (Esta carencia estaría indicada por una DRAR inferior al valor critico.) Se puede lograr una reducción de la carencia aumentando el suministro o disminuyendo la demanda.

Desde la perspectiva de los agricultores, en general el mecanismo preferido seria aumentar el suministro, pero esto está condicionado por la disponibilidad física del agua, el costo de adquirirla y. en ciertos casos, la situación política (Murray-Rust, H., 1983; Svendsen, M., 1982). En las Filipinas, comúnmente se hacen esfuerzos por incrementar el suministro, a menudo mediante intervenciones politicas. En el caso de Indonesia, donde los costos no oficiales del agua adicional son elevados, los agricultores harán cualquier esfuerzo por reducir la demanda antes de tratar de aumentar el suministro (Oad, 1982). Cuando no es posible un incremento general del suministro, se puede esperar un problema considerable de diferencias entre el inicio y la cola (Murray-Rust, H., 1983). Una posible excepción de la situación en la cual se evita una DRAR inferior a la crítica se presenta cuando se producen cultivos con pocos insumos adquiridos y hay posibilidades de precipitación adicional.

Se podria lograr una reducción en la demanda:

(a) ajustando el riego y/o las prácticas de cultivo para reducir la necesidad de riego; esto podria reducir en forma significativa el impacto adverso en la producción, pero exigiria una utilización más intensiva de la capacidad de manejo en todos los niveles (Levine, G., 1984);

(b) reduciendo la superficie dedicada a los cultivos;

(c) sembrando cultivos con demandas de agua menores que las de los cultivos óptimos.

Se pueden evaluar los costos asociados con cada tecnica, al menos en forma parcial. Si las prlcticas usadas **en** la realidad se apartan de los que parece ser una combinación razonable, la evaluación de las razones podria llevar a mejoras en el sistema.

5.2 En el diseño de sistemas

a. Un parlmetro importante del diseiio es la "demanda de riego" (en sus diversas formas: estacional, máxima, en la preparación de la tierra, etc.). Es un factor fundamental determinante de las decisiones acerca de la superficie que se regará con un

determinado suministro de agua, la capacidad necesaria de canales en todo el sistema y los procedimientos de operación. En general, se determina de la siguiente manera:

1. Estimando la necesidad total de agua, o "demanda" (de manera similar a la descrita anteriormente);

2. restando a esa "demanda" la "precipitación efectiva" prevista, para obtener una demanda "neta" de agua;

3. dividiendo la demanda neta de agua por la "eficiencia" prevista del agua (eficiencia en la aplicación en las parcelas; eficiencia de la distribución más allá de la toma; eficiencia en la conducción, más adelante de la toma) para llegar a la "demanda de riego".

b. Se ilustra este proceso con un ejemplo simplificado:

1. Supongamos que la "demanda" estacional se calcula como se muestra en el ejemplo del Cuadro 1: 980 mm.

2. Supongamos que la estimación de la "precipitación efectiva" (basada en cualquier técnica que sea apropiada para la zona o región) es de 150 mm. En consecuencia, la "demanda neta de agua" es de 830 mm (980-150).

3. Supongamos que la estimación de la eficiencia general (en este caso en la distribución), basada en la experiencia y el juicio, es de 70%.

Por consiguiente, la "demanda de riego" es de 830/0.7 = 1186 mm = 1200 mm.

c. Como se señaló al comienzo de esta sección, se puede usar esa cantidad para diversos propósitos importantes, como la determinación de la superficie que se podría regar con un determinado suministro. Para ilustrar esto, si una disponibilidad relativa del agua (neta para riego) fuera de aproximadamente 1000 ha-m (10,000,000 de metros cúbicos), la superficie que se podría regar sería de *1000/1.2* = 833 ha. La validez de este cálculo obviamente depende de la exactitud de las estimaciones de la "eficiencia" y la "precipitación efectiva" (así como de la exactitud de la determinación de la disponibilidad del agua). El fracaso de muchos sistemas en cuanto a lograr el nivel previsto de eficiencia y utilizar la precipitación prevista indica que se seleccionan eficiencias inapropiadas y/o hay una falla general al establecer las condiciones que permitan y estimulen el comportamiento apropiado de los encargados de la distribución del agua de riego, incluyendo a los agricultores.

d. La variable DRAT da la oportunidad de considerar una gama de opciones con respecto a la superficie que se podría regar, los cultivos que se podrían producir y la infraestructura de manejo (tanto física como de organización), y de explorar las implicaciones para los costos y las probabilidades de éxito asociadas con cada opción.

Ilustraremos esto suponiendo que, como en el anterior ejemplo del arroz, la demanda estacional para el cultivo deseado (el arroz) es de 980 mm, la precipitación total es de 250 mm y el suministro de riego es de 1000 ha-m, y suponiendo que la superficie en potencia regable es de 1500 ha.

1. Una primera aproximación del diseño sería determinar la DRAT que permitiría regar la totalidad de la superficie:

a. suministro/ha = (1000 ha-m/1500 ha) + 0.25 m = 917 mm

b. demanda = 980 mm

c. DRAT = suministro/demanda = 0.94 ~ 0.90

Esto sugiere que no se podrá obtener el rendimiento máximo del arroz. Dada la brusca declinación del rendimiento del arroz cuando se reduce el agua, la lógica indica que no se debe regar la totalidad de la superficie dedicada al arroz. Se podrían considerar otros cultivos, pero para esto se requeriría revisar los fundamentos originales para preferir el arroz.

2. Suponiendo que el arroz siga siendo el cultivo deseado, se podría considerar ahora la infraestructura de manejo. Si el patrón de operación existente en el sistema (o en sistemas similares operados por el mismo organismo de irrigación) muestra un control diurno, mediciones ocasionales del

caudal en los niveles secundarios, una interacción limitada entre los agricultores y la burocracia del sistema y una cooperación modesta entre los agricultores, se puede suponer que el valor crítico de la DRA es de aproximadamente 2. (La naturaleza tentativa de la oración anterior pretende sugerir la incertidumbre acerca del valor, no acerca del procedimiento.) Se puede calcular la superficie que se podría esperar regar en forma adecuada sin cambios en el manejo del sistema:

a. DRAT (crítica) = 2 = Suministro/Demanda

b. Suministro/ha = 1000 ha-m + (0.25 x Superficie)

c. Demanda = 0.980 m x Superficie

$$2 = \frac{1000 + 0.25 \text{ Superficie}}{0.980 \text{ x Superficie}}$$

$$2 \text{ x } 0.980 \text{ x Superficie} - (0.25 \text{ x Superficie}) = 1000 \text{ ha-m}$$

$$(1.96 - 0.25) \text{ x Superficie} = 1000 \text{ ha-m}$$

$$\text{Superficie} = \frac{1000}{1.71} = 585 \text{ ha} \sim 600 \text{ ha}$$

Por consiguiente, en las condiciones de manejo supuestas, se podrían regar sólo 600 ha de arroz con la expectativa de obtener un rendimiento máximo.

3. Si se considera que la superficie mínima necesaria para el proyecto (por razones políticas, económicas o de otro tipo) es de 850 ha, se puede calcular la DRAP resultante:

$$\text{DRAP} = \frac{(1000 \text{ ha-m}/850 + 0.25)}{0.98} = 1.45 \sim 1.5$$

Para lograr una producción plena con este valor de la DRAP se requerirían cambios considerables en el manejo del sistema, incluyendo probablemente cambios en la infraestructura física y las relaciones operativas con los agricultores.

4. Se pueden hacer cálculos similares para otros cultivos, distintas prácticas agrícolas, variaciones de la práctica de riego, etc., con el fin de identificar el diseño más conveniente y viable.

e. Evidentemente, éstos no son los únicos interrogantes que surgen al diseñar el sistema, pero se tiende a descuidar una consideración explícita de las implicaciones para el manejo que tienen las decisiones acerca de la demanda de agua. La disponibilidad de un instrumento útil al evaluar las implicaciones para el manejo estimulará una mayor atención a esta importante área.

5.3. Para facilitar la interpretación

Además de sus funciones en la evaluación del manejo de los sistemas y en el diseño de éstos, la variable DRA ha resultado útil para facilitar la interpretación de los fundamentos que caracterizan la toma de decisiones por el sistema y los agricultores. Por ejemplo, los datos sobre algunos sistemas en Java revelan una correlación muy alta entre la DRAT y las decisiones tomadas acerca de los cultivos. Cuando la DRAT a nivel parcelario en la época de preparación de la tierra es superior a 1, esencialmente toda la superficie cultivable se dedica al arroz inundado. Con valores de la DRAT inferiores a 1, hay una rápida declinación de la superficie cultivada con arroz inundado. Con DRAT menores de 0.8, sólo se siembran cultivos no inundados. A medida que se reduce más la DRAT, se deja en barbecho una proporción creciente de las tierras.

Del mismo modo, en Nepal, en un sistema de riego con tasas muy altas de filtración y percolación, la DRAT durante la estación de lluvias, cuando se cultiva el arroz con cáscara, es lo suficientemente baja para que se apliquen normas de operación relativamente estrictas. Sin embargo, durante la estación seca está prohibida la producción de arroz y el suministro de los canales produce una DRAT lo bastante alta para minimizar las actividades de control (Yoder. 1986; Martin, 1986).

En el caso de México, las estrategias acerca de los cultivos y la superficie en los distritos de riego estudiados reflejan claramente la DRAT existente en cada uno de ellos. Cuando la DRAT es baja, se ejerce más control y se hacen ajustes para tener una DRAR

razonable. En la Comarca Lagunera, esto se logra limitando severamente la superficie que se puede sembrar. En el Distrito Bajo Río Bravo, donde son mayores las probabilidades de precipitación, los usuarios del agua cambian a cultivos mis tolerantes a la sequía y aceptan un riesgo más grande (Rymshaw, 1998).

6. CONCLUSIONES

Ha aumentado en los últimos 10 años el reconocimiento y empleo del concepto de Disponibilidad Relativa del Agua (DRA). Se lo usa ampliamente como un instrumento de diagnbstico en los sistemas de riego, que no sólo describe el desenipeiio hidráulico del sistema sino que tambitn aclara las causas de ese desempeiio. Se ha comprobado su utilidad tanto para evaluar el desempeiio de sistemas como para considerar opciones durante el proceso de los diseños de éstos. Este informe presenta la primera descripción detallada en idioma espaiiol de los métodos para calcular las diversas formas de DRA. También incluye ejemplos del empleo de esta variable en la evaluación de sistemas. Se examinan tres formas de la DRA: la Disponibilidad Relativa del Agua Tebrica (DRAT), la Disponibilidad Retativa del Agua Planeada (DRAP) y la Disponibilidad Relativa del Agua Real (DRAR). La primera se refiere a casos potenciales, ya sea en el diseño o la evaluación. La segunda por lo general es apropiada para evaluar un sistema existente, mientras que la tercera se usa cuando se evalúa el desempeño real.

Las variables DRA pueden ser aplicadas a nivel de los sistemas, los laterales, las tomas 6 las parcelas esencialmente en todo sitio donde se pueda medir o estimar el suministro del agua y determinar la demanda.

Este informe presenta correlaciones cualitativas entre los diversos niveles de DRA y la infraestructura de manejo tanto física como de organización que se requeriría para proporcionar un servicio adecuado de riego para obtener una producción plena de los cultivos. Estas correlaciones se basan en una serie de estudios sobre el terreno efectuados en varios paises.

Se proporcionan varios ejemplos del empleo de las variables DRA en Amtrica Latina y en otros paises.

Es cada vez mayor **el** reconocimiento de que el empleo del agua para **el** riego es un componente integral del balance de aguas general en los sistemas de aguas de superficie y subterráneas. El concepto de disponibilidad relativa del agua constituye un mecanismo para evaluar las implicaciones de las asignaciones del agua al riego tanto para el posible estrés de manejo en los usuarios y para la hidrologia de la cuenca.

Bibliografía

American Society of Agricultural Engineers, 1985. Advances Evapotranspiration: Proceedings of the National Conference on Advances Evapotranspiration, December 16-17, 1985. Chicag, Illinois.

Allen, R.G. and W.O. Pruitt., 1986. Rational use **of** the FAO I ey-Criddle formula. Journal of Irrigation and Drainage Engineering v. 112 ıy) p. 139-55. New York

Beckett, S.H. and R.D.Robertson,1917. The economical ir tion of Alfalfa in Sacramento Valley. Calif Agr. Exp. Sta. Bul. 280

Bhatti, M.A., F.E. Schulze and G. Levine, 1991. Yield ısures of irrigation performance in Pakistan. Irrigation and Drainage Syst(5:183-190.

Brutsaert, W . and H. Stricker, 1979. An advection-aridity appı h to estimate actual regional evapotranspiration. , Water Resources Research

Brutsaert, W., 1982. Evaporation into the atmosphere; theory, hi y, and applications. Dordrecht, Holland.

Centro de Hidrociencias, 1994. Diagnóstico sobre la Administ ón de los Módulos Operados por las Asociaciones de Usuarios. Editado p Exebio Garcia, A., Mejía Saenz, E., Rubiños Panta, J.E., y Trujano Aguilar Informe Técnico, , Colegio de Postgraduados, Montecillo. Mexico

Chang, K.F. ,1961. Studies on water requirements in Taiw Far East Regional Irrigation Seminar

Coward, E.W. Jr. and G. Levine,. 1989. Equity considerations in the modernization of irrigation systems. ODI/IIMI Irrigation Management Network Paper 89/2b. London.

Garcés-Restrepo, C. 1983. A methodology to evaluate the performance of irrigation systems: application to Philippine national systems. Unpublished Ph.D. Dissertation, Cornell University, Ithaca, NY.

Jacob,W.C., M.B. Russell., A.Klute, G. Levine, and R. Grossman, 1952. The influence of irrigation on the yield and quality of potatoes on Long Island. Amer. Potato Journal

Kloezen, W. H. 1998. Measuring land and water productivity in a Mexican irrigation district. Water Resources Development, Vol. 14, No. 2, pp. 231-247.

Kloezen , W. H. and C. Garces-Restrepo, 1998. Assessing irrigation performance with comparative indicators: the case of the Alto Rio Lerma Irrigation District, Mexico. Research Report 22, Colombo, Sri Lanka. International Water Management Institute.

Kloezen, W.H., C. Garces-Restrepo, and A. Marmolejo.1996. El manejo y la distribución del agua de riego en el módulo Cortszar del distrito de riego del Alto Rio Lerma. En: Memorias del II Seminario Internacional Transferencia de Sistemas de Riego, pp 95-111, ed. Enrique Palacios-Vélez, Jesus Chávez-Morales, Adolfo Exebio-Garcia, Enrique Rubios-Panta, y Enrique Mejía-Saenz. Guanajuato, Mexico. El Colegio de Postgraduados e IIMI. Mexico

Levine, G. 1977. Management components in irrigation system design and operation. Agricultural Administration Vol. 4, No. 1, Jan. 1977. London.

Levine, G., 1982. Relative water supply: an explanatory variable for irrigation systems. Technical Report No. 6. The Determinants of Developing Country Irrigation Project Problems. Contract No. AID/ta-1412. Cornell University. Ithaca.

Levine, G., 1984. Irrigation association response to severe water shortage - the case of the Yun-Lin Irrigation Association, Taiwan. in Uphoff, N.R.

Levine, G., 1998. Consideraciones sobre la equidad en el diseño de sistemas y en la asignación y distrubución de aguas. En: ***Buscando la equidad: concepciones sobre justicia y equidad en el riego campesino.*** Editado por Rutgerd Boelens and Gloria Davila. Van Gorcum & Co. The Netherlands

Levine, G., A.Cruz Galvan, D. Garcia, C. Garces-Restrepo, and S. Johnson. 1998. Performance of two transferred modulos in the Lagunera region: Water relations. Research Report 23. Colombo, Sri Lanka. International Water Management Institute.

Malhotra, S.P. 1982. The Warabandi system and its infrastructure. Publication no. 157, Central Board on Irrigation and Power . New Delhi, India

Martin, E. R., 1986. Resource mobilization. water allocation and farmer organization in hill irrigation systems in Nepal. Unpublished Ph.D. Dissertation. Cornell University, Ithaca, NY

Molden, D. J., R. Sakthivadival. C.J. Perry, C. de Fraiture and **W.** Kloezen, 1998. Indicators for comparing performance of irrigated agricultural systems. Research Report **20.** Colombo, Sri Lanka. International Water Management Institute.

Monteith, J.L., 1965. Evaporation and environment. Symp. Soc. Exper. Biol 19

Murray-Rust, H., 1983. Irrigation water management in Sri Lanka : an evaluation of technical and policy factors affecting operation of the main channel system.Unpublished Ph.D. Dissertation, Cornell University, Ithaca, NY

Oad, R. N. and G. Levine. 1981. Spatial and temporal variation of relative water supply in Indonesian irrigation systems. Agricultural Engineering Vol. 2

Oad, R.N., 1982. Water management and relative water supply in irrigation systems in Indonesia. Unpublished Ph.D. Dissertation. Cornell University. Ithaca, NY

Palacios Velez, E., 1994. La Agricultura de Riego: un diagnostico general. Comisión Nacional de Agua. Mexico D.F. México.

Penman, H.L., 1948. Natural evaporation from open water, bare soil, and grass. Proc. Roy. Soc. Ser. A 193

Plusquellec, H. 1989. Two irrigation systems in Colombia: Their performance and transfer of management *to* users associations. Policy Planning and Research Working Paper. Series No. 264. Washington, D.C. The World Bank.

Ritchie, J.T., 1972. Model of predicting evapotranspiration from a row crop with incomplete cover. Water Resources Research 8(5).

Rymshaw, E., 1998. Análisis del desempeño de la irrigación en los distritos de riego Bajo Río Bravo y Bajo Río San Juan, Tamaulipas, México. IWMI, Serie Latinoamericana No. 1 . México, D.F. Mtxico: lnstituto Internacional del Manejo del Agua.

Sakathivadivel, R., D.J. Merrey and N. Fernando, 1993. Cumulative relative water **supply:** a methodology for assessing irrgation system performance. Irrigation and Drainage Systems 7:43-67.

Small, L., Ingersoll, J. and G. Levine. 1974. Improving the agricultural development projects: part two; systematic considerations of critical variables: an irrigation example. Paper presented at the Mekong Development Seminar of the Southeast Asia Development Advisory Group (SEADAG) of the Asia Society, New **York,** held at Pattaya, Thailand, August 20-24, 1974.

Smith, M., 1992. CROPWAT: a computer program for irrigation planning and management. Irrigation and Drainage Paper 46. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome.

Svendsen, M, 1982. Water distribution and rice production at the tertiary level. PhD Dissertation, Cornell University, Ithaca, ***N.Y***

Tsao, **YII-Soong,** 1972. **A** study of the computation and estimation of effective rainfall of paddy fields by computer programming. International Commission on Irrigation and Drainage Technical Memoir No. 1

Vermillion, D. L. and C. Garces-Restrepo. 1998. Impacts of ColombiaDs current irrigation management transfer program. Research Report 25, Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute.

Yoder, R. 1986. The performance of farmer-managed irrigation systems in the hills of Nepal. Unpublished Ph.D. dissertation, Cornell University, Ithaca, N.Y.

ANEXO 1

Datos necesarios y cálculo de la DRAR (arroz inundado) con datos del ejemplo

A. Datos

1.	Suministro	
	a. Suministro de riego	20 ha-metros
	b. Precipitación	200 mm (por ciclo)
2.	Cultivo	
	a. Tipo	Arroz
	b. Superficie (regada)	8 ha
3.	Demanda	
	a. evaporación (tanque clase A)	5.2 mm/día
	b. demanda para saturación	100 mm
	c. tasa de evapotranspiración real	5.2 mm/día
	d. tasa de filtración y percolación	3.8 mm/día
	e. período de preparación de la tierra	25 días
	f. período de riego (desde el trasplante hasta 15 días antes de la cosecha)	95 días
	g. días con el suelo por debajo de la saturación	15 días

(continuación)

B. Cálculo de la DRAR para el arroz inundado

1. Suministro/ha (*20,000/8*) + 200 = 2,700 ha-mm/ha

2. Demanda/ha

evaporación en la preparación de la tierra =

25 días x 5.2 mm/día = 130 mm

saturación = 100 mm

FP (suponiendo que son 5 días para saturar)

20 días x 3.8 mm/día = 76 mm

Subtotal en la preparación de la tierra = 306 mm

Período de crecimiento

ET = 95 días x 5.2 mm/día = 494 mm

FP = 80 días x 3.8 mm/día = 304 mm

Subtotal en el período de crecimiento = 798 mm

Demanda total = 1104 mm (1100 mm)

3. DRAR = Suministro/Demanda Real = 2700/1100 = 2.45

ANEXO 2

Datos necesarios y cálculo de la DRAR (cultivo de tierras altas)

1.	Suministro	
	a. Suministro de riego	10 ha-mm
	b. Precipitación (en el ciclo)	200 mm
2.	Cultivo	
	a. Tipo: maíz	
	b. Superficie (realmente regada)	8 ha
3.	Demanda	
	a. evaporación (tanque clase A)[4] o datos apropiados para el cálculo de la ET	5.2 mm/día
	b. tasa de evapotranspiración real (derivada de mediciones de la humedad del suelo o el modelo ETP-ET)	4.5 mm/día
	c. filtración profunda =	20 mm/riego
	d. número de riegos	5
	e. período de riego	140 días

(continuación)

4. A continuación se presenta la DRAR para el ejemplo del maíz

a. Suministro = (10,000/8) + 200 = 1450 ha-mm/ha

b. Demanda

evaporación hasta la cubierta vegetal =

30 días x (0.8[8] x 5.2) = 125 mm

ETR = (140 - 30) x 4.5 mm/día = 495 mm

filtración profunda = 4 riegos x 20 mm/riego = 80 mm

Demanda Total = 700 mm

DRAR = Suministro Real/Demanda Real = 1450/700 = 2.1

[8] Coeficiente supuesto que relaciona la evaporación en el tanque con la evaporación desde la superficie del suelo.

Ellen Rymshaw. **1998.** Análisis del Desempeiio de la Irrigación en los Distritos de Riego Bajo Río Bravo y Bajo Rio San Juan, Tamaulipas, Mexico.

Charlotte de Fraiture y Carlos Garcés-Restrepo. **1998.** Evaluación de las Tendencias y los Cambios en el Desempeño de la Irrigación: El Caso del Distrito de Riego de Samach, Colombia.

Alejandro Cruz y Gilbert Levine. **1998.** El Uso de Aguas Subterráneas en el Distrito de Riego 017, Región Lagunera, México.

Jorge Sotomayor, Wim H. Kloezen, Carlos Garcés-Restrepo y Elena Bastidas. **1999.** Manejo del Agua en las Acequias Privadas Garrapatal y el Tambo en la Provincia del Carchi, Ecuador.

Marinus G. Bos y Jorge L. Chambouleyron (editores). **1999.** Parámetros de Desempeiio de la Agricultura de Riego de Mendoza, Argentina.

Gilbert Levine. **1999.** Entendiendo el Comportamiento del Riego: La Disponibilidad Relativa del Agua como Variable Explicativa

INSTITUTO INTERNACIONAL DEL MANEJO DEL AGUA
Programa de México
c/o CIMMYT, Lisboa 27 Col.Juarez
A Postal 6-641. CP 06600. México D.F., México
Telf: (52 5) 7269091 Fax: (52 5) 7267558
E-mail : cgarces@cimmyt.mx

INFORME REGIONAL

INTERNATIONAL WATER MANAGEMENT INSTITUTE
PO Box 2075, Colombo, Sri Lanka
Tel (94-1) 867404. FAX (94-1)866854 .
E-mail IWMI@cgiar.org
Internet Home Page http:www.cgiar.org/iimi