

## INDICADORES COMPARATIVOS DEL USO DEL AGUA EN LA AGRICULTURA\*

### COMPARATIVE INDEXES OF WATER USE IN AGRICULTURE

Ignacio Sánchez Cohen<sup>1§</sup>, Ernesto Catalán Valencia<sup>1</sup>, Guillermo González Cervantes<sup>1</sup>, Juan Estrada Avalos<sup>1</sup> y David García Arellano<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Centro de Investigación Disciplinaria Relación Agua-Suelo-Planta-Atmósfera, INIFAP. Km. 6.5 Canal Sacramento. 35140. Gómez Palacio, Durango, México. <sup>2</sup>Centro de Investigación Disciplinaria Relación Agua-Suelo-Planta-Atmósfera, hasta julio de 2003. <sup>§</sup>Autor para correspondencia: [sanchez.ignacio@inifap.gob.mx](mailto:sanchez.ignacio@inifap.gob.mx)

#### RESUMEN

La evaluación de la productividad de los recursos naturales es primordial para su uso óptimo y garantizar su sustentabilidad. El objetivo del presente trabajo fue determinar la pertinencia del uso de indicadores de eficiencia de uso del agua para evaluar la vulnerabilidad de los sistemas agrícolas bajo riego. Se evaluó de la productividad de los patrones de cultivo para dos ciclos agrícolas (primavera-verano 2003 y otoño-invierno 2003-2004) de dos Distritos de Riego del Norte Centro de México; así como la operatividad para cuatro Distritos de Riego. En la evaluación se aplicó el índice propuesto por el Instituto Internacional del Manejo del Agua. Se concluye la utilidad del uso de indicadores para la adecuada toma de decisiones para el uso eficiente del agua de riego en la producción agrícola de los Distritos de Riego.

**Palabras clave:** Agricultura de riego, recursos naturales, toma de decisiones.

#### ABSTRACT

The evaluation of productivity of the natural resources is an essential task for promoting its sustainability and optimal use. The overall objective of this study was to expose the relevance of the use of efficiency and vulnerability

indexes for the use of water in agricultural systems under irrigation. A study case is presented regarding the evaluation of crop patterns for the agricultural year 2003 during the spring-summer season and fall-winter 2003-2004 of two irrigation districts in the central-north region of Mexico. Also, the evaluation of the operation of four irrigation districts is presented. In both cases, indexes developed for the International Water Management Institute were used. We concluded on the utility of these indexes for satisfactory decision taking processes and for clasifying farmers according to their capacity to cope with climatic uncertainty.

**Key words:** Decision, rainfed, risk taking, uncertainty, vulnerability.

#### INTRODUCCIÓN

Ante la incertidumbre climática que impacta la disponibilidad o carencia de agua para la producción agropecuaria, productores, legisladores, funcionarios públicos en diferentes órdenes de Gobierno y la sociedad en su conjunto, requieren de métodos para evaluar la productividad de los recursos naturales suelo y agua, a fin de tomar mejores decisiones en cuanto a políticas y estrategias para su utilización de manera sostenible. Los administradores del agua de riego necesitan

\* Recibido: Octubre de 2005  
Aceptado: Septiembre de 2006

identificar tendencias en los patrones de uso y niveles de eficiencia para fijar metas compartidas con los usuarios y mejorar la productividad por unidad de volumen usado y por unidad de superficie de suelo. El objetivo de los productores es transformar el agua disponible en alimentos y materias primas, y ser competitivos en los mercados nacionales e internacionales.

La agricultura es una actividad económica de alto consumo de recursos hídricos (CNA, 2006) por lo que es imprescindible estimar la eficiencia de utilización del agua en el proceso de transformación insumo-producto. Desde este punto de vista, los productores, más que usuarios del agua, se convierten en transformadores del recurso a bienes de consumo. En este proceso se establecen relaciones como insumos-productos primarios, por ejemplo: agua-rendimiento (alfalfa, maíz) o materias primas-productos secundarios con valor agregado, como rendimiento comercial-producto consumible (leche, tortillas). Obviamente, en la relación agua-rendimiento se busca el incremento en la productividad del insumo agua en términos de maximizar el rendimiento del producto por unidad de volumen invertido (Sánchez *et al.*, 2006).

En un sistema productivo, algunos insumos se producen en el propio sistema y otros se importan de entidades vecinas cuando las necesidades son mayores a la disponibilidad o por conveniencia, dada la restricción y costos; tal es el caso del agua como insumo para la producción. Para que las cadenas productivas sean permanentes, es necesario establecer el límite ecológico permisible de la variable que restringe al sistema. Acorde a Wackernagel y Rees (1996), por límite ecológico permisible se entiende al estado de recursos (en este caso el agua) en que la capacidad de producir no comprometa al ecosistema; si se rebasa este límite, la sustentabilidad de la cadena productiva está en riesgo.

En las regiones áridas y semiáridas del país, este límite es tan variante como lo sea la disponibilidad del agua, de tal manera que los volúmenes extraídos de los acuíferos no deberían sobrepasar a la recarga, y la cantidad “entregada” a los usuarios de los Distritos de Riego debería ser proporcional a los volúmenes almacenados en embalses para que se garantice la seguridad de la infraestructura hidráulica, así como las reservas (Palacios, 1989). Por lo tanto, la planeación para el desarrollo agrícola nacional deberá realizarse considerando diferentes escenarios de disponibilidad, apegándose a la ley que regula el uso de aguas nacionales (CNA, 2004).

El paradigma del desarrollo agrícola sustentable plantea incrementar su eficiencia de transformación en los procesos de la cadena productiva con la meta de incrementar su eficiencia mediante la identificación de puntos vulnerables en donde la toma de decisiones tendría el mayor impacto. Es claro que el agua es un factor de desarrollo productivo en donde deberían confluir los intereses de los usuarios (transformadores) y de los administradores del recurso, y en donde se requiere encontrar los medios para que este recurso produzca el mayor beneficio social. De lograrse lo antes mencionado, el agua puede convertirse en un instrumento para fomentar y potenciar la actividad productiva, y el bienestar de la población. Con fundamento en lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue presentar un esquema de análisis mediante indicadores de eficiencia del uso de agua en la agricultura de riego, como una herramienta de evaluación del desempeño de estos sistemas y como plataforma para la adecuada toma de decisiones.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La propuesta del uso de indicadores de eficiencia surge de la necesidad de que productores, administradores del recurso, investigadores y técnicos vinculados al uso del agua, cuenten con instrumentos expeditos para la evaluación de sistemas productivos, bajo incertidumbre en la disponibilidad del recurso. Así, la cantidad de variables que integran la agricultura de riego (tecnología de producción, infraestructura, diseño de sistemas, condiciones climáticas, precios de mercado, aspectos sociales, comparación entre sistemas y cadenas productivas) son esenciales para definir esquemas que maximicen la productividad del agua de riego (Molden *et al.*, 1998). Los métodos aquí expuestos vinculan experiencias y desarrollos institucionales en aras de proveer estas herramientas para decisiones de los actores mencionados.

En la evaluación de sistemas productivos con distintos volúmenes disponibles de agua es necesario estandarizar las medidas para hacer “comparables” las localidades, aunque tengan diferentes posibilidades e intereses de producción (Levine, 1982). Existen algunos indicadores para cuantificar y medir el desempeño productivo y económico de los sistemas agrícolas. Cuando los indicadores son usados racionalmente constituyen la pauta para identificar puntos vulnerables del sistema en los que se pueden tomar decisiones con mayor impacto positivo.

## Indicadores de eficiencia en la agricultura de riego

La evaluación del desempeño de los sistemas de riego puede tomar dos perspectivas: una a escala regional y otra a nivel de predio. En ambas se pueden establecer las necesidades de mejoramiento de la infraestructura hidroagrícola, los patrones de cultivo y detectar las necesidades de transferencia de tecnología e investigación para mejorar la operación del riego (Peterson, 1972; Moreno *et al.*, 2000).

Se han generado indicadores básicos para la evaluación del desempeño productivo en la agricultura de riego; éstos relacionan los rendimientos de los cultivos por unidad de superficie con la cantidad de agua utilizada (Molden *et al.*, 1998).

En las siguientes ecuaciones  $I_{ac}$  es la ganancia por área de riego cultivada ( $A_i$ ).  $R$  es el rendimiento.  $I_{an}$  es la ganancia por área nominal (o área planeada para ser irrigada) ( $A_n$ ).  $I_v$  es la ganancia por volumen de agua proveído ( $A_e$ ).  $I_{Et}$  es la ganancia por unidad de agua consumida ( $Er$ ).

$$I_{ac} = \frac{R}{A_i} \quad 1$$

$$I_{an} = \frac{R}{A_n} \quad 2$$

$$I_v = \frac{R}{A_e} \quad 3$$

$$I_{Et} = \frac{R}{Er} \quad 4$$

Estos cuatro indicadores relacionan el producto por unidad de agua y tierra, y proveen la base para la comparación del desempeño productivo y económico en agricultura de riego. Así, donde el agua es el recurso restringido, el producto por cantidad de agua invertida o consumida es el más importante (indicadores 3 y 4, expresados en pesos por metro cúbico u otra unidad de volumen). Por otro lado, si la tierra es el factor limitante, el rendimiento por unidad de este recurso se convierte en el parámetro indicativo de productividad más relevante (indicadores 1 y 2 expresados en pesos por hectárea).

## Rendimiento relativo de cultivos

La estandarización de la producción en una entidad, Distrito de Riego u otro nivel de organización productiva, consiste en igualar los rendimientos de los cultivos de interés a un rendimiento equivalente al cultivo principal del área en cuestión (Kloezen, 1998; Levine, 1999). Para obtener este resultado se utiliza la siguiente expresión:

$$RE = REC \times \frac{Pc}{Pcb} \quad 5$$

donde:

$RE$  es el rendimiento estandarizado

$REC$  es el rendimiento comercial de un cultivo de interés

$Pc$  es el precio del cultivo a estandarizar

$Pcb$  es el precio del cultivo base. Este último es la especie que más se siembra en la localidad o la de mayor preferencia por los usuarios.

## Valor bruto estandarizado de la producción (VBEP)

Este índice, en su más simple expresión, describe el entorno agro-económico en el que funcionan los Distritos de Riego y constituye la base para el cálculo de otros índices. El VBEP hace posible comparar la operatividad de sistemas productivos sin importar qué tan diferentes son ni dónde se encuentren. También incorpora las preferencias locales y el valor de los cultivos, considerando que algunos de estos pudieran tener valor internacional bajo, pero un valor local alto. El VBEP se calcula con la siguiente ecuación (Kloezen, 1998; Levine, 1999):

$$VBEP = \left( \sum_{i=1}^n A_i REC_i \frac{Pc_i}{Pcb} \right) Pm \quad 6$$

donde:

$\Sigma$  es la sumatoria para los cultivos considerados ( $i= 1, 2, \dots, n$ )

$A_i$  es el área del cultivo  $i$

$REC$  es el rendimiento comercial de un cultivo de interés

$P_c$  es el precio del cultivo a estandarizar

$P_{cb}$  es el precio del cultivo base

$P_m$  es el precio del cultivo base en los mercados internacionales

De la ecuación 6, si el cultivo no se exporta ( $P_m = 1$ ) y el cálculo se desarrolla por hectárea ( $A = 1$ ) de manera individual por cultivo, entonces resulta igual a la ecuación 5.

### **Eficiencia monetaria del uso del agua (EMUA)**

Este índice relaciona el valor monetario del sistema con la cantidad de agua utilizada. Su importancia estriba en que permite conocer qué tan eficiente utiliza los recursos el sistema en términos comparativos. La EMUA se obtiene mediante el desarrollo de la siguiente ecuación:

$$EMUA = \frac{VBEP}{Et} \quad 7$$

donde:

$VBEP$  es el valor bruto estandarizado de la producción

$Et$  es el volumen de agua consumido por el cultivo durante su ciclo vegetativo

### **Eficiencia monetaria del uso del suelo (EMUS)**

La EMUS relaciona el  $VBEP$  con la superficie irrigada en el área considerada ( $AI$ ). Este índice es útil para conocer la productividad del área agrícola de interés; por ejemplo, en un Distrito de Riego.

$$EMUS = \frac{VBEP}{AI} \quad 8$$

### **Disponibilidad relativa de agua (DRA)**

Dos elementos individuales (la disponibilidad del agua y la demanda de ésta) son factores básicos en la planeación, diseño y operación del riego que en su conjunto definen la suficiencia hídrica en los Distritos de Riego. En este contexto, la DRA es una variable que cuantifica la relación entre el suministro del agua y la demanda. Este valor es el inverso del término "tradicional" Eficiencia del uso del Agua

(EUA) que en su justo significado se refiere al uso del agua a nivel parcelario.

A diferencia de la EUA, el DRA presenta una visión neutral de la relación entre la cantidad de agua disponible o suministrada y la cantidad utilizada para la producción de los cultivos. Existen tres connotaciones para este indicador: el DRA teórico (DRAT), el DRA planeado (DRAP) y DRA real (DRAR).

El DRAT es el cociente que resulta de dividir el suministro de agua en el lugar de interés entre la demanda asociada a la producción máxima del cultivo, o patrón de cultivos óptimo producido con las prácticas de cultivo apropiadas en la superficie total irrigable.

El DRAP a diferencia de DRAT, considera el suministro total de agua (riego más precipitación) y la superficie planeada en lugar de la irrigable. El DRAP ofrece menor incertidumbre que el DRAT.

El DRAR se define como el cociente entre el suministro real de agua y la demanda de los cultivos producidos realmente.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **Agricultura de riego**

Los índices descritos para agricultura de riego fueron aplicados a los Distritos de Riego 017 en la Comarca Lagunera y 05 en Delicias Chihuahua, para los ciclos agrícolas primavera-verano 2003 y otoño-invierno 2003-2004. Los Cuadros 1, 2, 3 y 4 muestran los resultados.

En los Cuadros 1 y 3 se puede detectar, en la fila de totales, que los Distritos de Riego analizados tienen una EMUT muy similar (36 410 y 35 619) que indica una ganancia parecida por hectárea. Por el contrario, al analizar EMUA, el Distrito de Riego 017 obtiene aproximadamente dos veces más valor de la producción por unidad de agua utilizada (27 376 949 contra 13 354 735). Nótese en éste índice la importancia de la  $Et$ . Así, mientras más eficientes son los métodos de riego, menor será la cantidad de agua aplicada; tal es el caso del algodón en surcos estrechos utilizado en ese ciclo agrícola en la Comarca Lagunera del que se elimina uno o dos riegos de auxilio, o el riego por goteo en alfalfa utilizado en Delicias, Chihuahua.

**Cuadro 1. Índices de eficiencia del uso del agua para el Distrito de Riego 017, Comarca Lagunera. Ciclo agrícola 2003-2004. Datos básicos del Distrito de Riego. Comisión Nacional del Agua.**

Cultivo	A (ha)	REC (t ha <sup>-1</sup> )	V (t)	Pt (\$/t)	VBP	VBEP	Et (cm)	EMUA	EMUT
Algodón	13 590	4.9	66 591	12 343	66 591	821 969 338	55	14 944 897	17 243
Chile	1240	11.4	14 111	12 665	1478	178 718 348	61	2 929 808	3 749
Frijol	272	1.21	329	5250	140	1 727 880	49	35 262	36 248
Jitomate	556	14.2	7884	2115	1351	16 674 829	90	185 275	350
M.F.	15 691	45	70 7193	250	14 323	176 798 342	64	2 762 474	3709
M.G.	445	4.6	2073	2480	416	5 142 776	76	67 668	108
Melón	924	20.4	18 877	896	1370	16 914 078	97	174 371	355
Otras H.	519	12.8	6638	850	457	5 642 308	45	125 384	118
Sandía	495	36.4	18 013	1166	1701	21 003 216	97	216 528	440
Sorgo E.	1836	4.9	8996	1435	1054	13 015 220	55	236 640	273
Sorgo F.	3607	48.2	17 3965	328	4622	57 060 720	41	1 391 724	1197
Alfalfa	4377	44.9	19 6352	808	12 853	15 8652 593	120	13 22 104	3328
Nogal	4057	2.11	8560	30 579	21 206	261 764 496	88	29 74 596	5491
Vid	59	2.0	118	4500	43	531 000	52	10 211	11.14
Total	47 668				140 609	1 735 615 147	990	27 376 949	36 410

A= Área sembrada; REC= Rendimiento medio del Distrito; V= Volumen cosechado; Pt= Precio por tonelada; VBP= Valor bruto de la producción; VBEP= Valor bruto estandarizado de la producción tomando como cultivo base el algodón; Et= Evapotranspiración; EMUA= Eficiencia monetaria del uso del agua; EMUT= Eficiencia monetaria del uso de la tierra; M.F.= Maíz forrajero; M.G.= Maíz grano; otras H.= Otras hortalizas; Sorgo E.= Sorgo escobero; Sorgo F.= Sorgo forrajero.

Por otro lado, en los Cuadros 2 y 4 se presenta el RE, el cual es útil en esquemas de reconversión productiva en la agricultura en donde se busca obtener la máxima productividad de los recursos. De esta forma, RE es un indicador de cuántas toneladas habría que obtener de un determinado cultivo para que sea comparable al cultivo base, preferido por los productores locales por diversas circunstancias. Resultó que en la Comarca Lagunera, el nogal compite por ganancias ya que con solo 0.40 t ha<sup>-1</sup> se ganaría lo mismo que una tonelada de algodón. En Delicias, Chihuahua con tan solo 0.04 t ha<sup>-1</sup> de nuez se obtendría la misma ganancia que con una tonelada de alfalfa. Cabe señalar que este valor refleja la diferencia en precios el cual, a su vez, es función de situaciones de mercado e infraestructura post-cosecha, como disponibilidad de cuartos fríos para almacenado de la almendra, entre otros. De esta manera se puede observar que aunque el rendimiento del nogal es menor en Delicias, el precio del producto es mayor debido a la oportunidad del mercado. De manera general, los rendimientos equivalentes en Delicias son más equilibrados que en la Comarca Lagunera con márgenes de ganancia similares para todos los cultivos.

**Cuadro 2. Rendimiento relativo de cultivos en la Comarca Lagunera. Ciclo agrícola 2003-2004.**

Cultivo	Rendimiento (t ha <sup>-1</sup> )	Precio (\$/t)	R.E. (t ha <sup>-1</sup> )
Chile	11.4	12665	0.97
Frijol	1.21	5250	2.35
Jitomate	14.2	2115	5.84
M.F.	45	250	49.37
M.G.	4.6	2480	4.98
Melón	20.4	896	13.78
Otras H.	12.8	850	14.52
Sandía	36.4	1166	10.59
Sorgo E.	4.9	1435	8.60
Sorgo F.	48.2	328	37.63
Alfalfa	44.9	808	15.28
Nogal	2.11	30579	0.40
Vid	2	4500	2.74

R.E.= Rendimiento equivalente se refiere a toneladas del cultivo que corresponden a una tonelada de algodón en pluma con precio= \$12 343.00 por tonelada; M.F.= Maíz Forrajero; M.G.= Maíz Grano; otros H= Otras hortalizas; Sorgo E.= Sorgo escobero; Sorgo F.= Sorgo forrajero.

**Cuadro 3. Índices de eficiencia del uso del agua para el Distrito de Riego 05, Delicias Chihuahua. Ciclo agrícola 2003-2004. Datos básicos del Distrito de Riego. Comisión Nacional del Agua.**

Cultivo	A (ha)	REC (t ha <sup>-1</sup> )	V (t)	Pt (\$/t)	VBP	VBEP	Et (cm)	EMUA	EMUT
Algodón	4801	4.2	20 164	5527	88 426	111 447 533	70	1 592 107	5126
Avena	5	7	35	980	27	34300	48	714	1.57
Cacahuete	1015	2.5	2537	4849	9762	12 304 337	70	175 776	566
Cebolla	596	35.7	21 277	1435	24 225	30 532 782	28	1 090 456	1404
Chile	4477	24.8	111 029	3190	281 021	354 184 424	61	5 806 302	16 291
Frijol	6	2.0	12	3800	36	45 600	49	930	2
Maíz G.	1278	4.6	5878	1400	6530	82 30 320	76	108 293	378
Otros	1570	21.41	33 613	2078	55 420	69 849 268	45	1 552 205	3212
Sorgo G.	36	4.2	151	1150	138	173 880	45	3864	8
Alfalfa	5595	12.0	67 140	1029	54 815	69 087 060	42	16 44 930	3177
Nogal	2179	1.5	3268	35 000	90 766	114 397 500	88	1 299 971	5261
Vid	183	15.0	2745	1500	3266	41 17 500	52	79 182	189
Total	21741				614 437	774 404 505	674	13 354 735	35 619

A= Área sembrada; REC= Rendimiento medio del Distrito; V= Volumen cosechado; Pt= Precio por tonelada; VBP= Valor bruto de la producción; VBEP= Valor bruto estandarizado de la producción tomando como cultivo base a la alfalfa; Et= Evapotranspiración; EMUA= Eficiencia monetaria del uso del agua; EMUT= Eficiencia monetaria del uso de la tierra; M.F.= Maíz forrajero; Sorgo G.= Sorgo grano.

**Cuadro 4. Rendimiento relativo de cultivos para Delicias, Chihuahua. Ciclo agrícola 2003-2004.**

Cultivo	Rendimiento (t ha <sup>-1</sup> )	Precio (\$/t)	R.E. (t ha <sup>-1</sup> )
Algodón	4.2	5527	0.23
Avena	7.0	980	1.29
Cacahuete	2.5	4849	0.26
Cebolla	35.7	1435	0.88
Chile	24.8	3190	0.40
Frijol	2.0	3800	0.33
Maíz G.	4.6	1400	0.90
Otros	21.41	2078	0.61
Sorgo G	4.2	1150	1.10
Alfalfa achicalada	12.0	1029	1.22
Nogal	1.5	35 000	0.04
Vid	15.0	1500	0.84

R.E.= Rendimiento equivalente se refiere a toneladas del cultivo que corresponden a una tonelada de alfalfa con precio= \$1260.35 por tonelada; M.G.= Maíz grano; Sorgo G.= Sorgo grano.

Con relación a los índices que consideran la disponibilidad de agua, el Cuadro 5 muestra los valores de *DRAP* y *DRAR* para los módulos V y XII el Distrito de Riego 017 de la Comarca Lagunera (Cruz y Levine, 1998; García, 1998).

En términos generales, un valor de *DRAR* inferior a la unidad indica que se tuvieron deficiencias de agua para satisfacer los requerimientos del cultivo, por lo que no se logró el rendimiento máximo por unidad de superficie. Cuando el valor *DRAR* es alrededor de 1.5 se entiende que la operación

del sistema estuvo "relajada". A medida que aumenta el valor *DRAR* disminuyen los requisitos de manejo para la operación con éxito. En sistemas con valores *DRAR* iguales o mayores a 2.5 se asume que la carencia de agua no es factor importante que afecte el desempeño del riego con un adecuado control del suministro de este insumo.

Estos índices se pueden usar para evaluar el estado del suministro de agua en una serie de niveles, desde la fuente hasta la parcela. Por ejemplo, la Figura 3 muestra el valor

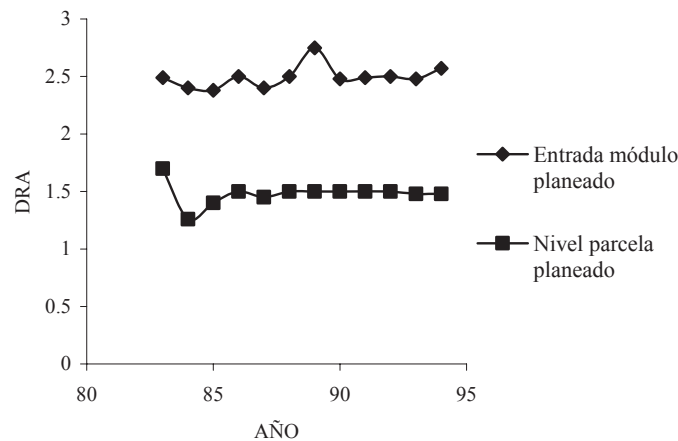
**Cuadro 5. Disponibilidad relativa de agua planeada y real por cultivo para dos módulos del Distrito Riego 017, Comarca Lagunera.**

Módulo	Cultivo	DRAP	DRAR
V	Maíz grano	1.46	1.65
	Maíz forrajero	1.48	1.53
V	Algodón	1.35	1.45
V	Sorgo	1.68	1.53
V	Sorgo industrial	1.98	1.29
XII	Frijol	1.86	1.13
XII	Maíz	1.47	1.48
XII	Sorgo	1.77	1.75
XII	Sorgo industrial	1.35	1.53

DRAP= Disponibilidad relativa de agua planeada; DRAR= Disponibilidad relativa de agua real.

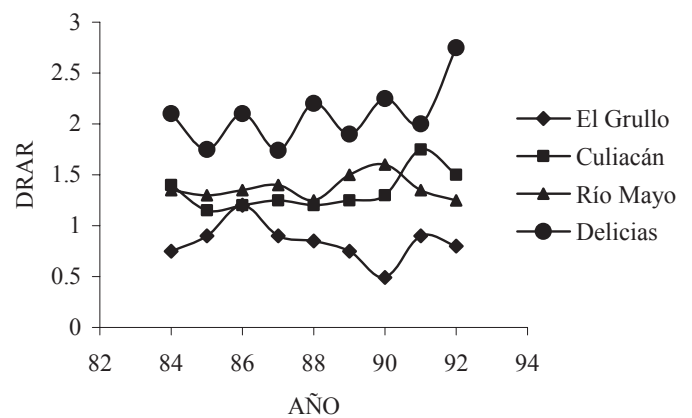
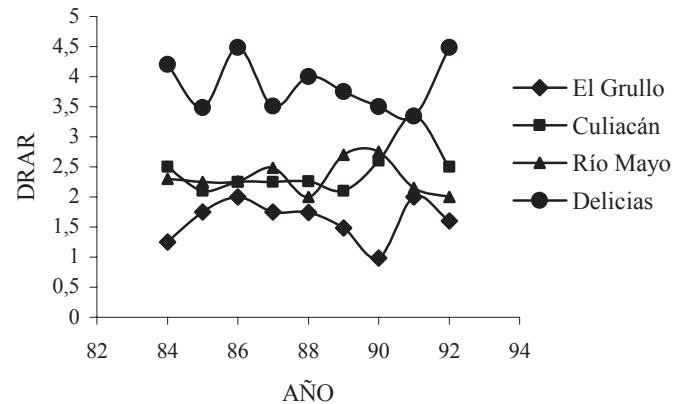
de DRA a nivel de parcela y en la toma para el Módulo Cortázar en el Distrito de Riego 011 Alto Río Lerma para los ciclos de invierno de 1983 a 1994. Según estos datos, hay pérdidas sustanciales en el sistema de distribución dentro del módulo (Rymshaw, 1988). El valor resultante del indicador DRAR sugiere que para regar adecuadamente las parcelas se requiere una eficiencia de aplicación de 70%.

La Figura 4 muestra la variación de DRAR en la red mayor (a) y al nivel de toma (b) en cuatro Distritos de Riego del país. De acuerdo con la Figura 4, las diferencias entre la conducción del agua en el canal principal y los niveles



**Figura 1. Valores de disponibilidad relativa de agua (DRA) planeada, Módulo Cortázar Distrito de Riego 011 Alto Río Lerma. 1983-1994. (Adaptada de Levine, 1999).**

de las tomas se deben a que existen grandes pérdidas en conducción. En el Distrito de Riego El Grullo se pueden esperar problemas considerables debido a los bajos DRAR que sugieren la posibilidad de combinar agua de bombeo para satisfacer el déficit. En el Distrito de Culiacán es necesario conservar altos niveles de manejo y en los Distritos Río Mayo y Delicias, bastaría con niveles moderados de manejo.



**Figura 4. Disponibilidad relativa de agua real (DRAR) para cuatro Distritos de Riego en México, 1984 - 1992. (Adaptada de Levine, 1999).**

**CONCLUSIONES**

En los Distritos de Riego evaluados se constató que la eficiencia de aplicación del agua determina el valor de los índices de desempeño como Eficiencia Monetaria del Uso de la Tierra y Eficiencia Monetaria del Uso del Agua al impactar el valor del uso de agua por los cultivos (Et); de igual modo se pudo comprobar que las condiciones de mercado contribuyen sustancialmente a los cambios de los índices.

El índice Disponibilidad Relativa de Agua Real (DRAR), sirve para detectar fallas en sistemas donde se tiene el control del recurso en todo el gradiente hidrológico, como en la red de canales de un Distrito de Riego; de esta forma, la inversión puede ser dirigida para mejorar en la eficiencia de aplicación de los recursos. Para el caso de los Distritos de Riego evaluados, esta inversión deberá orientarse al nivel de toma, principalmente de la red mayor, con la aclaración de que no son excluyentes y que la eficiencia global es el producto de las eficiencias parciales.

El uso de los índices empleados en esta investigación permite una apreciación y entendimiento de la productividad de los recursos naturales agua y suelo.

## LITERATURA CITADA

- Comisión Nacional del Agua (CNA). 2004. Ley de aguas nacionales y su reglamento. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. México, D. F. 174 p.
- Comisión Nacional del Agua (CNA). 2006. El Agua en México. México, D. F. 35 p.
- Cruz, A. J. y Levine, G. 1998. El uso de aguas subterráneas en el Distrito de Riego 017, Región Lagunera. IWMI. México, D. F. 35 p. (Serie Latinoamericana No. 3).
- García A., D. 1998. Evaluación del riego por superficie. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Centro de Investigación Disciplinaria Relación Agua, Suelo, Planta, Atmósfera. Gómez Palacio, Durango, México. 54 p. (Memorias del Curso de Capacitación. XXV Aniversario del CENID-RASPA).
- Kloezen, W. H. 1998. Measuring land and water productivity in a Mexican irrigation District. *Water Resour. Dev.* 14(2):231-247.
- Levine, G. 1982. Relative Water Supply: An explanatory variable for irrigation systems. The determinants of developing country irrigation project problems. United States Agency for International Development and Cornell University. 28 p. (Technical report No. 6).
- Levine, G. 1999. Entendiendo el comportamiento del riego: La disponibilidad relativa del agua como variable explicativa. International Water Management Institute IWMI. México, D. F. 28 p. (Serie Latinoamericana No. 6).
- Molden, D. J.; Sakthivadivel, R.; Christopher, J.; Perry, Ch. F. and Kloezen, W. H. 1998. Indicators for comparing performance of irrigated agricultural systems. International Water Management Institute. Colombo, Sri Lanka: (Research Report 20).
- Moreno D., L.; García A., D. y Faz C., R. 2000. Manejo del riego en la alfalfa. *In: Producción y utilización de la alfalfa en la zona norte de México.* Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Centro de Investigación Norte Centro, Campo Experimental La Laguna. Matamoros, Coahuila, México. p. 109-132. (Libro Técnico No. 2).
- Palacios V., E. 1989. Introducción a la teoría de la operación de distritos y sistemas de riego. Colegio de Postgraduados, Centro de Hidrociencias. Montecillo, Estado de México, México. 482 p.
- Peterson, H. B. 1972. Water Relationship and irrigation. Alfalfa science and technology. *In: Hanson, C. H. (ed.). American Society of Agronomy.* Madison Wisconsin, USA. 250 p. (Series Agronomy).
- Rymshaw, E. 1988. Análisis del desempeño de la irrigación en los Distritos de Riego Bajo Río Bravo y Bajo Río San Juan, Tamaulipas, México. IWMI, Instituto Internacional del Manejo del Agua. México, D. F. 32 p. (Serie Latinoamericana No. 1).
- Sánchez C., I.; Lopez, V. L.; Slack, D. C. and Fogel, M. M. 1977. Water balance model for small-scale water harvesting systems. *J. Irrig. Drain. Div. Am. Soc. Civ. Eng.* 123(2):123-128.
- Sánchez C., I.; Macías R., H.; Heilman, P.; González C., G.; Mendoza M., S. F.; Inzunza I., M. A. y Estrada A., J. 2006. Planeación multi objetivo en los distritos de riego de México. Aplicación de un sistema de auxilio para la toma de decisiones. *Ingeniería Hidráulica en México.* 21(3):101-111.
- Wackernagel, M. and Rees, W. 1996. Our ecological footprint. Reducing human impact on the earth. New Society Publishers. Canada. 160 p.