



**INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES
FORESTALES, AGRÍCOLAS Y PECUARIAS
CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN DISCIPLINARIA
EN RELACIÓN AGUA-SUELO-PLANTA-ATMÓSFERA**

**SISTEMA PARA OPTIMIZACIÓN DE
PATRONES DE CULTIVO EN DISTRITOS
DE RIEGO
DEL NORTE DEL PAÍS**

CENID-RASPA

**Dr. Ignacio Sánchez Cohen
Dr. Ernesto Alonso Catalán Valencia**

ISBN: 970-43-0029-8

Incluye Software

Folleto Técnico 5

Gómez Palacio, Durango

Junio del 2006

Aplicación computacional del proyecto:

**Incremento en la Eficiencia Global
de la Disponibilidad de Agua
en los Distritos de Riego
del Norte del País**

SAGARPA-COFUPRO-CONACYT

**CENID-RASPA
2006**

Centro Nacional de Investigación Disciplinaria
en Relación Agua-Suelo-Planta-Atmósfera.

Km 6.5 margen derecha Canal Sacramento
Gómez Palacio, Durango. MÉXICO.
Apdo. Postal 41
35150 Cd. Lerdo, Dgo.
Teléfonos y Fax: 01 (871) 719-10-76, 719-10-77 y 719-11-34
e-mail: cenid.raspa@inifap.gob.mx

El contenido de esta publicación podrá reproducirse total o parcialmente con fines
específicos de divulgación, siempre y cuando se dé el crédito correspondiente a los
autores, al CENID-RASPA y al INIFAP.

ISBN: 970-43-0029-8

Presentación

Ante la incertidumbre climática que caracteriza a los distritos de riego, los tomadores de decisiones deben considerar cambios en los sistemas productivos que tiendan a hacer un uso racional de las cantidades limitadas de agua. Sin embargo, está documentado que las acciones tendientes a incrementar la eficiencia en el uso del agua de riego deben formar parte de un proceso incluyente y consensuado en aras de garantizar el impacto deseado.

En este contexto, la operación de los distritos de riego debe circunscribirse a los volúmenes reales disponibles considerando la composición del patrón de cultivos que maximice el ingreso neto de los productores a la vez que incremente la productividad del agua de riego.

Este proceso debe de ser de carácter integral al considerar ciertas recomendaciones de manejo del agua a nivel distrito y parcelario que incrementen las eficiencias de conducción y aplicación del agua de tal manera que se potencie el mejoramiento global. En este sentido es imperante observar las características distintivas de cada distrito con estricto apego a los acuerdos de los comités hidráulicos respectivos.

El objetivo del presente documento es proporcionar una aplicación computacional que sistematiza un método de análisis para obtener el patrón de cultivos que maximice el ingreso neto sin menoscabo de las cantidades de agua autorizadas para la operación de los distritos de riego del país.

Se tiene la certeza de que la aplicación coadyuvará a la obtención del patrón óptimo de cultivos en los diferentes distritos de riego proveyendo de una plataforma de análisis y toma de decisiones consensuadas en pro de la adecuada y eficiente operación de los distritos.

Dr. José Antonio Cueto Wong
Director del CENID-RASPA

Contenido

ANTECEDENTES	1
OBJETIVOS	2
MÉTODO PARA EL ANÁLISIS	2
Programación Lineal y Método Simplex	2
Aplicación a Distritos de Riego	4
Variables de Decisión	5
Planteamiento del Modelo	6
Función Objetivo	6
Restricciones	7
Planteamiento del Problema	8
Solución Óptima	12
OPERACIÓN DEL RROGRAMA QOSYSTEM	16
SUPUESTOS Y CONSIDERACIONES GENERALES	24
EJEMPLOS DE OPTIMIZACIÓN DE PATRONES DE CULTIVOS EN LOS DISTRITOS DE RIEGO DEL NOROESTE DEL PAÍS	27
DISTRITOS DE RIEGO DEL ESTADO DE SINALOA.	29
DISTRITOS DE RIEGO DEL ESTADO DE SONORA.	37
DISTRITOS DE RIEGO DEL ESTADO DE BAJA CALIFORNIA.	45
DISTRITOS DE RIEGO DEL ESTADO DE BAJA CALIFORNIA SUR	49
DISTRITOS DE RIEGO DEL ESTADO DE CHIHUAHUA	53
ANEXO	61
Recomendaciones generales para el manejo del agua en los distritos de riego en condiciones de baja disponibilidad.	63
BIBLIOGRAFÍA	69

ANTECEDENTES

La enorme variabilidad en espacio y tiempo de la disponibilidad de agua para las actividades agrícolas y pecuarias en los embalses de los distritos de riego del país, ha puesto de manifiesto la vulnerabilidad de estas actividades económicas e impulsa a los tomadores de decisiones a considerar cambios en los sistemas productivos que tiendan a hacer un uso racional de las cantidades limitadas de agua (Sánchez, 2005). Esta situación ha repercutido sensiblemente en la economía regional donde se ubican los distritos de riego, lo que clama por una estrategia integrada que conlleve al uso racional del recurso (Sánchez *et al.*, 2002).

En este contexto, la operación de los distritos de riego debe circunscribirse a los volúmenes reales disponibles considerando la composición del patrón de cultivos que maximice el ingreso de los productores, a la vez que incremente la productividad del agua de riego en concordancia de los artículos del Capítulo III de la Ley de Aguas Nacionales (Comisión Nacional del Agua, 1992 y 2004). Esta aproximación debe de ser de carácter integral al considerar ciertas recomendaciones de manejo del agua a nivel distrito y parcelario que incrementen las eficiencias de conducción y aplicación del agua de tal manera que se potencie el mejoramiento global. En este sentido es imperante observar las características distintivas de cada distrito con estricto apego a los acuerdos de los comités hidráulicos respectivos (Macías, 2005).

OBJETIVO

El objetivo del presente documento es aplicar y explicar un programa computacional que se ha desarrollado con la finalidad de sistematizar un método de análisis para obtener el patrón de cultivos que maximice el ingreso neto sin menoscabo de las cantidades de agua autorizadas para la operación de los distritos de riego del país. El programa computacional lleva por nombre QOSYSTEM.

MÉTODO PARA EL ANÁLISIS

Programación Lineal y Método Simplex

En términos precisos el proceso de toma de decisiones consiste en determinar los posibles cursos de acción o alternativas ante un problema que necesita solución; esto implica que se deben identificar aquellas variables en las que el tomador de decisiones puede incidir, es decir, que están bajo su control (Lane *et al.*, 1991; Lane *et al.*, 1994; Lawrence *et al.*, 2001).

Así, el primer paso para aproximarse a la decisión de un problema es identificar dos componentes: el **objetivo** y las **variables**. Para el caso de los distritos de riego bajo condiciones de escasez de agua en sus embalses o restricciones de extracción de agua subterránea, el objetivo esencial es el de optimizar las cantidades restringidas de agua incrementando su productividad e ingreso neto. También, en una situación típica de toma de decisiones, la identificación de las variables dependerá de la capacidad y entrenamiento del que toma la decisión. Para este caso, las decisiones se deben tomar, idealmente, en el seno de los comités hidráulicos.

La investigación de operaciones, busca la determinación del mejor (óptimo) curso de acción de una decisión bajo la restricción de recursos limitados (Taha, 1982). Sin embargo, se debe tener conciencia de que los procesos de toma de decisiones van más allá de la simple formulación matemática de sus componentes e incluye factores importantes intangibles que no pueden ser modelados fácilmente (Sánchez, 2005; Sánchez *et al.*, 2006; Heilman *et al.*, 2003; Heilman *et al.*, 2006). El factor más importante de este conjunto es el elemento humano. La programación lineal como parte de la Investigación de Operaciones (entre programación no lineal, entera y estocástica) provee de fundamentos importantes para el desarrollo de métodos de solución (Schringuer, 1986); dentro de estos métodos se encuentra el Simplex, el cual es un método algebraico sistemático que examina los vértices de un conjunto restringido acotado por restricciones en busca de una solución óptima (véase Figura 1).

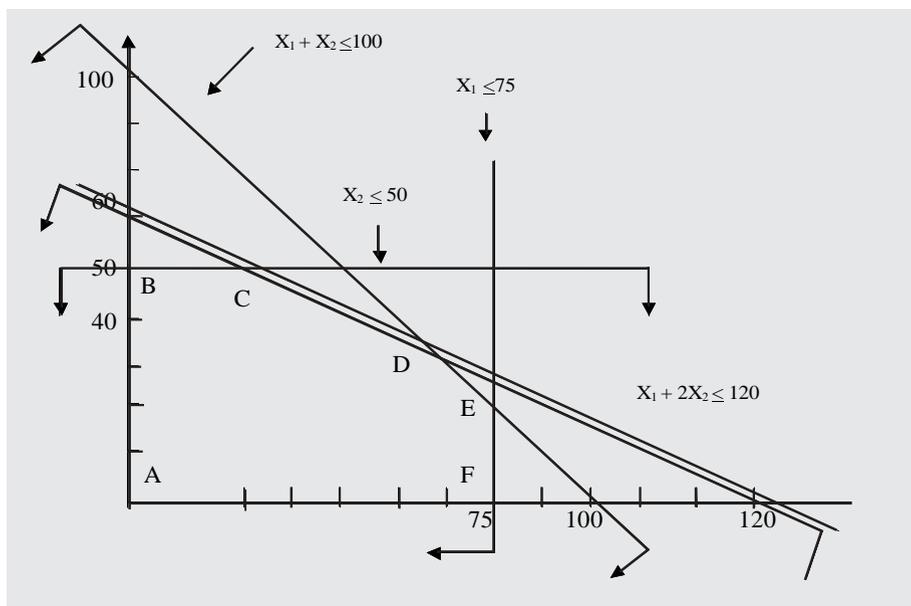


Figura 1. Solución gráfica de un problema lineal (Adaptado de

El método Simplex utiliza un proceso iterativo que inicia en un punto de la solución factible (enmarcada por los vértices A, B, C, D, E y F de la Figura 1), normalmente el origen, y sistemáticamente se mueve de un punto factible extremo a otro hasta que alcanza el punto óptimo (Chvatal, 1983).

La Figura 1 muestra la cuantía de las variables que restringen la solución óptima de la combinación de dos variables X_1 y X_2 en forma de desigualdades matemáticas, como se ha anotado, esta solución óptima se encuentra acotada por los vértices A, B, C, D, E y F. El método se diseñó de manera que la función objetivo no disminuya en un modelo de maximización y generalmente aumentará en cada vértice sucesivo de la secuencia. Cada vértice del conjunto restringido puede representarse en forma algebraica como una solución particular del conjunto de ecuaciones (Murtagh, 1981).

Aplicación a Distritos de Riego

El análisis presentado considera dos alternativas de solución y procede de la siguiente manera:

1. Primeramente se consideran los cultivos propuestos por el distrito con las siguientes observaciones:
 - 1.1 Sembrar no más de la superficie disponible de cada distrito.
 - 1.2 Las necesidades de agua de la composición de cultivos del patrón no deberá exceder los volúmenes autorizados.
 - 1.3 Se consideran las restricciones de operación de cada distrito.

2. La segunda alternativa considera lo establecido en el apartado anterior, pero incluyendo tecnología disponible en el INIFAP y, en algunos casos, proponiendo nuevos cultivos:
 - 2.1 Estricto apego a las fechas de siembra recomendadas para evitar mermas en el rendimiento.
 - 2.2 Trazo de riego adecuado que garantice incremento en las eficiencias de aplicación del agua de riego.
 - 2.3 Receta de riego, es decir, un calendario de riegos adecuado al ciclo del cultivo considerando la precipitación efectiva y la textura del suelo.
 - 2.4 Conservación de la red de flujo de agua en la parcela bajo dominio del usuario del riego.

Variables de Decisión

En la construcción del modelo de optimización (función objetivo) se asienta que las variables de decisión son el número de hectáreas de cada cultivo que se deberán sembrar para maximizar el ingreso neto y éstas estarán restringidas por la cantidad de agua disponible en el distrito. Para una comparación real entre patrones de cultivos para un mismo distrito, se han considerado dos índices generales: 1) El ingreso neto por cultivo y el promedio del distrito y 2) La productividad del agua por cultivo y la media del distrito. Esto en afán de tener una apreciación objetiva al introducir tecnología que incremente los rendimientos y, por otro lado, que reduzca las láminas de riego. Es también pertinente aclarar que los criterios de asignación de áreas obedecen a situaciones particulares de cada distrito.

Planteamiento del Modelo

El proceso de la construcción de la función objetivo (modelo matemático) se inicia contestando a las siguientes preguntas:

- ¿Cuáles son las variables del modelo?
- ¿Qué restricciones se deben imponer a las variables para que se satisfagan las limitantes del sistema modelado?
- ¿Cuál es el objetivo o meta a la que se debe llegar para poder determinar la solución óptima de entre todas las soluciones factibles?

La función del modelo matemático es entonces identificar las variables y luego expresar el objetivo y restricciones como funciones matemáticas de las variables.

Función Objetivo

No sólo basta con seleccionar cultivos poco demandantes de agua sino que se tiene que obtener la proporción óptima de cultivos que maximice el ingreso neto restringido al volumen disponible. Esto conlleva al planteamiento de la función objetivo para maximizar el ingreso neto del distrito como sigue:

$$\text{Max}(\text{BN}) = \sum_{i=1}^n (\text{IB}_i - \text{CP}_i) X_i \quad 1$$

Donde: BN es el beneficio neto total a maximizar, (\$); IB_i el ingreso bruto del cultivo i , ($\$ \text{ ha}^{-1}$); CP_i el costo de producción del cultivo i , ($\$ \text{ ha}^{-1}$); X_i la superficie del cultivo i , (ha) y n el número de cultivos considerados.

Restricciones

El patrón de cultivos que optimice (maximice) la función objetivo estará sujeto a las siguientes restricciones:

La primera restricción al modelo propuesto establece que el volumen de agua demandado por los cultivos, afectado por una eficiencia global parcelaria del distrito, no debe exceder el volumen de agua disponible que se entrega a nivel de red de conducción interparcelaria, autorizado por la Comisión Nacional del Agua para el ciclo de riego:

$$\sum_{i=1}^n \frac{RR_i}{100 EGP} X_i \leq VD \quad 2$$

Donde: RR_i es el requerimiento de riego del cultivo i , ($m^3 ha^{-1}$); VD el volumen de agua disponible para el ciclo de riego, (m^3) y EGP la eficiencia global parcelaria del distrito de riego, (%); x_i fue definida anteriormente

La superficie total a regar se estima en algunos casos con base en el promedio histórico del distrito y en otros a la superficie total disponible (STD, ha):

$$\sum_{i=1}^n X_i \leq STD \quad 3$$

de igual manera se plantean restricciones de superficie para cada cultivo, considerando las superficies de años previos, así como factores de mercado, sobre todo en las hortalizas; de crédito e infraestructura en cultivos básicos e industriales de baja rentabilidad; y de seguridad en cultivos con alto riesgo fitosanitario.

Estas restricciones de tipo «menor o igual» se plantean principalmente en cultivos anuales para establecer superficies máximas por cultivo o grupos de cultivos. En cambio para los cultivos perennes casi siempre se plantean restricciones de tipo «igual», a menos que se vayan a modificar las superficies existentes con este tipo de cultivos.

Planteamiento del Problema

Para ejemplificar el planteamiento del problema se presenta el caso del distrito de riego 017 de la Región Lagunera de Coahuila y Durango:

Primero se calculan los coeficientes técnicos de la función objetivo, es decir, el ingreso neto de cada cultivo:

$$IN_i = IB_i - CP_i = (R_i)(P_i) - CP_i \quad 4$$

Donde: IN_i es el ingreso neto del cultivo i , ($\$ \text{ ha}^{-1}$); IB_i y CP_i se definieron anteriormente; R_i el rendimiento del cultivo i , (t ha^{-1}) y P_i el precio de mercado del producto cosechado con el cultivo i , ($\$ \text{ t}^{-1}$).

En el Cuadro 1 se muestra el cálculo de los coeficientes técnicos de la función objetivo para el patrón de cultivos del distrito de riego 017, ciclo agrícola primavera-verano del 2005. Se incluye una columna con el subsidio otorgado por diversos programas del gobierno federal para mostrar que sólo a través de éste es posible lograr un ingreso positivo con los cultivos básicos como frijol y maíz para grano. El rendimiento por cultivo se estimó considerando el rendimiento promedio de años previos ajustado por la tecnología del INIFAP. El precio, costo y subsidio por cultivo se estimaron con información proporcionada por

personal del área de economía agrícola de la delegación regional de la SAGARPA.

Cuadro 1. Ordenamiento de información para la determinación de los coeficientes técnicos de la función objetivo.

Cultivo	Rendimiento R_i (t ha ⁻¹)	Precio P_i (\$ t ⁻¹)	Costo CP_i (\$ ha ⁻¹)	Subsidio (\$ ha ⁻¹)	Ingreso IN_i (\$ ha ⁻¹)
Alfalfa	45	240	6,397	592	4,995
Algodonero	4.5	6,489	18,676	1,959	12,484
Chile	17	2,800	27,373	1,184	21,411
Frijol	2	4,500	7,000	1,184	3,184
Maíz Forrajero	48	300	11,663	1,184	3,921
Maíz grano	4.5	1,800	8,300	1,184	984
Melón	25	1,200	15,809	1,184	15,375
Nogal	1	20,000	7,394	139	12,745
Sandía	25	1,000	16,069	1,184	10,115
Sorgo Forrajero	48	270	11,056	1,184	3,088
Sorgo Escobero	5.5	1,200	6,294	1,184	1,490
Tomate	30	1,150	20,578	1,184	15,106

El paso siguiente en el planteamiento del problema es el cálculo de los coeficientes técnicos de las restricciones. Para esto se utilizó como punto de partida un patrón de cultivos preliminar para el distrito de riego 017, proporcionado por la Comisión Nacional del Agua, el cual incluye una distribución inicial de las superficies de riego por cultivo (Cuadro 2). La lámina de riego neta fue recalculada como la evapotranspiración de cada cultivo a partir de los datos del clima de la región lagunera (Catalán *et al.*, 2005).

Cuadro 2. Patrón de cultivos preliminar.

Cultivo	Lámina		Superficie (ha)	Volumen	
	Neta (cm)	Bruta (cm)		Neto (m ³)	Bruto (m ³)
Alfalfa	75	182.9	4,396	32,970,000	80,414,634
Algodonero	50	121.9	17,000	85,000,000	207,317,073
Chile	60	146.3	1,086	6,516,000	15,892,683
Frijol	48	117.1	240	1,152,000	2,809,756
Maíz Forrajero	55	134.1	13,855	81,702,500	199,274,390
Maíz grano	65	158.5	392	2,548,000	6,214,634
Melón	60	146.3	625	3,750,000	9,146,341
Nogal	75	182.9	3,523	26,422,500	64,445,122
Sandía	60	146.3	463	2,778,000	6,775,610
Sorgo Forrajero	55	134.1	3,948	16,214,000	39,546,341
Sorgo Escobero	45	109.8	1,606	7,227,000	17,626,829
Tomate	60	146.3	485	2,910,000	7,097,561
Suma			47,619	269,190,000	656,560,976

Los valores de la lámina de riego bruta del Cuadro 2 expresan la cantidad de agua requerida por cada cultivo en los puntos de control de la red mayor de canales de distribución. Tales puntos de control son la última instancia de la red mayor donde se entrega el agua a los usuarios del riego. Considerando la relación entre la lámina neta y la lámina bruta, se deduce una eficiencia global parcelaria (EGP) de 41 por ciento.

El valor de la EGP proviene del producto de dos eficiencias: una eficiencia del riego (aplicación y conducción) de 67 por ciento dentro de las parcelas medida en un estudio previo, y una eficiencia de conducción de 61 por ciento en la red interparcelaria. Por lo tanto, se requiere un volumen de agua disponible (VD) de más de 656 millones de m³ a nivel de punto de control para cumplir con el patrón de cultivos propuesto (Cuadro 2). Al comparar este valor con los 800 millones de m³ extraídos de la presa Lázaro Cárdenas durante el ciclo PV 2005, se infiere un nivel de eficiencia de 82 por ciento en la operación de la red mayor de conducción del Distrito de Riego 017.

Se ajustó la eficiencia de riego parcelaria (conducción y aplicación) considerando la tecnología del INIFAP disponible. Se incrementó en cinco por ciento el valor promedio de 67 por ciento, tomando en cuenta que con un trazo y receta de riego adecuados se puede aumentar dicha eficiencia a 72 por ciento. En consecuencia, el valor de EGP aumentó a 46 por ciento y VD se redujo a 585 millones de m³. En el Cuadro 3 se muestran estos ajustes y los coeficientes de la restricción por volumen de agua (Ec. 2) estimados con base en el valor de EGP y al requerimiento de riego por cultivo (RR_i) calculado en función de la lámina neta (LN_i) como:

$$RR_i = LN_i * 100 \quad 5$$

Las superficies del patrón de cultivos preliminar se usaron de referencia para establecer las restricciones de superficie, por cultivo y total. Para esto se realizó un consenso involucrando a personal de la Sagarpa, Conagua, Aserca e Inifap, con el fin de tomar en cuenta aspectos técnicos y socioeconómicos. Además del volumen de agua disponible, para cada cultivo se consideró la superficie establecida en años previos, la superficie por establecer probable según encuestas aplicadas a los usuarios del riego, tendencias de mercado, comercialización de productos, disponibilidad de crédito, subsidios y riesgos fitosanitarios.

Para el caso del Distrito de Riego 017 presentado aquí como ejemplo, se acordó asignar un volumen de agua máximo de 585 millones 195 mil 652 m³ y una superficie máxima de 47 mil 619 ha (Cuadro 4). La superficie de los cultivos perennes alfalfa y nogal se mantuvo fija e igual a la actualmente establecida. Por cuestiones de mercado, la superficie máxima de chile se redujo en relación a la

superficie inicialmente propuesta. También se asignó una superficie de sorgo escobero menor, la cual se mantuvo fija en apoyo a la industria local de producción de escoba. Por su parte, las superficies máximas de maíz y sorgo forrajero se redujeron considerablemente debido a la sobreoferta de forraje ocurrida en el ciclo anterior.

Para el resto de los cultivos se acordó incrementar la superficie máxima en relación a la superficie inicialmente propuesta (Cuadro 4). La de algodónero se incrementó substancialmente debido a las buenas expectativas económicas para este cultivo. En cambio, las de frijol, maíz para grano, melón, sandía y tomate se incrementaron ligeramente hasta ciertos límites definidos mediante algunos criterios socioeconómicos. El Cuadro 4 muestra la función objetivo y la matriz de restricciones con sus respectivos coeficientes técnicos.

Solución Óptima

El modelo planteado con sus restricciones se resuelve para obtener la solución óptima de la función objetivo, acorde a la explicación que se presenta en el apartado de Programación Lineal y el Método Simplex. Para esto se puede utilizar el programa computacional QOSYSTEM incluido en un disco compacto anexo a la presente publicación.

Es pertinente recalcar que la solución óptima es aquella en la que participan los usuarios y que es consensuada en el pleno de los comités hidráulicos. En tal virtud, el proceso de optimización debe seguir un esquema como el que señala la Figura 2.

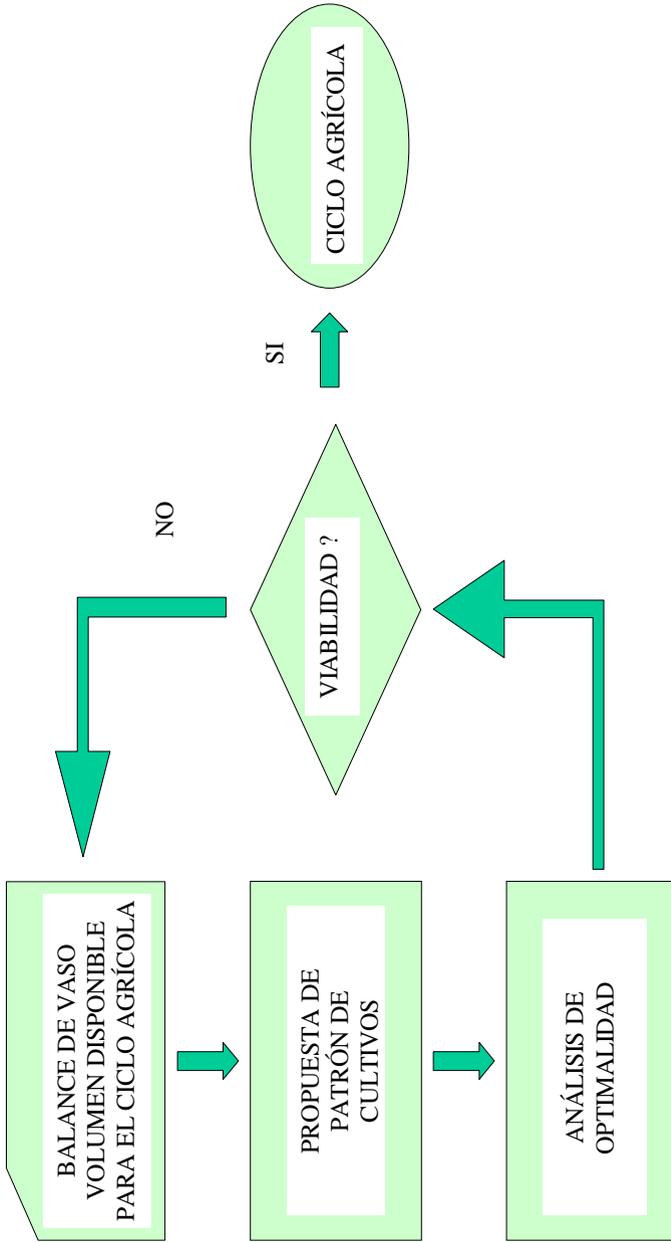


Figura 2. Diagrama de flujo para el proceso de optimización de patrones de cultivo en los distritos de Riego.

Cuadro 3. Ordenamiento de información para la determinación de los coeficientes técnicos de las restricciones.

Cultivo	Lámina		Superficie (ha)	Volumen		Coeficiente $RR_i/(100 \text{ EGP})$ ($\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$)
	Neta (cm)	Bruta (cm)		Neto (m^3)	Bruto (m^3)	
Alfalfa	75	163.0	4,396	32,970,000	71,673,913	16,304
Algodonero	50	108.7	17,000	85,000,000	184,782,609	10,870
Chile	60	130.4	1,086	6,516,000	14,165,217	13,043
Frijol	48	104.3	240	1,152,000	2,504,348	10,435
Maíz Forrajero	55	119.6	13,855	76,202,500	165,657,609	11,957
Maíz grano	65	141.3	392	2,548,000	5,539,130	14,130
Melón	60	130.4	625	3,750,000	8,152,174	13,043
Nogal	75	163.0	3,523	26,422,500	57,440,217	16,304
Sandía	60	130.4	463	2,778,000	6,039,130	13,043
Sorgo Forrajero	55	119.6	3,948	21,714,000	47,204,348	11,957
Sorgo Escobero	45	97.8	1,606	7,227,000	15,710,870	9,783
Tomate	60	130.4	485	2,910,000	6,326,087	13,043
Suma			47,619	269,190,000	585,195,652	

Cuadro 4. Coeficientes técnicos de la función objetivo y la matriz de restricciones.

Variable	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀	X ₁₁	X ₁₂	Restricción
Func. objetivo	4,995	12,484	21,411	3,184	3,921	984	15,375	12,745	10,115	3,088	1,490	15,106	Maximizar
Vol. de agua	16,304	10,870	13,043	10,435	11,957	14,130	13,043	16,304	13,043	11,957	9,783	13,043	≤585,195,652m ³
Superficie	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	≤ 47,619 ha
Alfalfa	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	= 4,396 ha
Algodonero	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	≤ 23,700 ha
Chile	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	≤ 600 ha
Frijol	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	≤ 300 ha
Maíz F.	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	≤ 8,750 ha
Maíz grano	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	≤ 500 ha
Melón	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	≤ 750 ha
Nogal	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	= 3,523 ha
Sandía	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	≤ 600 ha
Sorgo F.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	≤ 3,200 ha
Sorgo E.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	= 1,200 ha
Tomate	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	≤ 500 ha

OPERACIÓN DEL PROGRAMA QOSYSTEM

El programa ejecutable se intitula QOSYSTEM y se instala en la computadora simplemente introduciendo el disco compacto en la unidad lectora de la computadora y siguiendo las instrucciones en pantalla. La primer pantalla que aparece es como lo señala la Figura 3, en donde se pueden leer los créditos del programa así como alguna información general.

Al presionar el texto «Optimización patrón de cultivos» el sistema se traslada a la pantalla de captura (Figura 4) en donde se deberá especificar:

- Nombre del usuario y presionar aceptar
- Título de la corrida
- El número de cultivos en el patrón
- El número de restricciones \leq
- El número de restricciones $=$
- El número de restricciones \geq

El número de restricciones puede incrementarse o disminuirse deslizando el botón respectivo con el ratón de la computadora. Toda vez que se ha introducido la información, el sistema despliega la matriz de decisión teniendo como columnas a los cultivos y como renglones a las restricciones (Figura 5). Para el ejemplo, el proyecto se conforma de 12 cultivos y 14 restricciones distribuidas como: 11 restricciones \leq , tres restricciones del tipo $=$, y 0 restricciones \geq . Cuando la información esté completa, presionar aceptar en el recuadro a la derecha de la pantalla y «OK» en la pestaña del lado izquierdo de la pantalla justo debajo de la palabra «Maximizar».

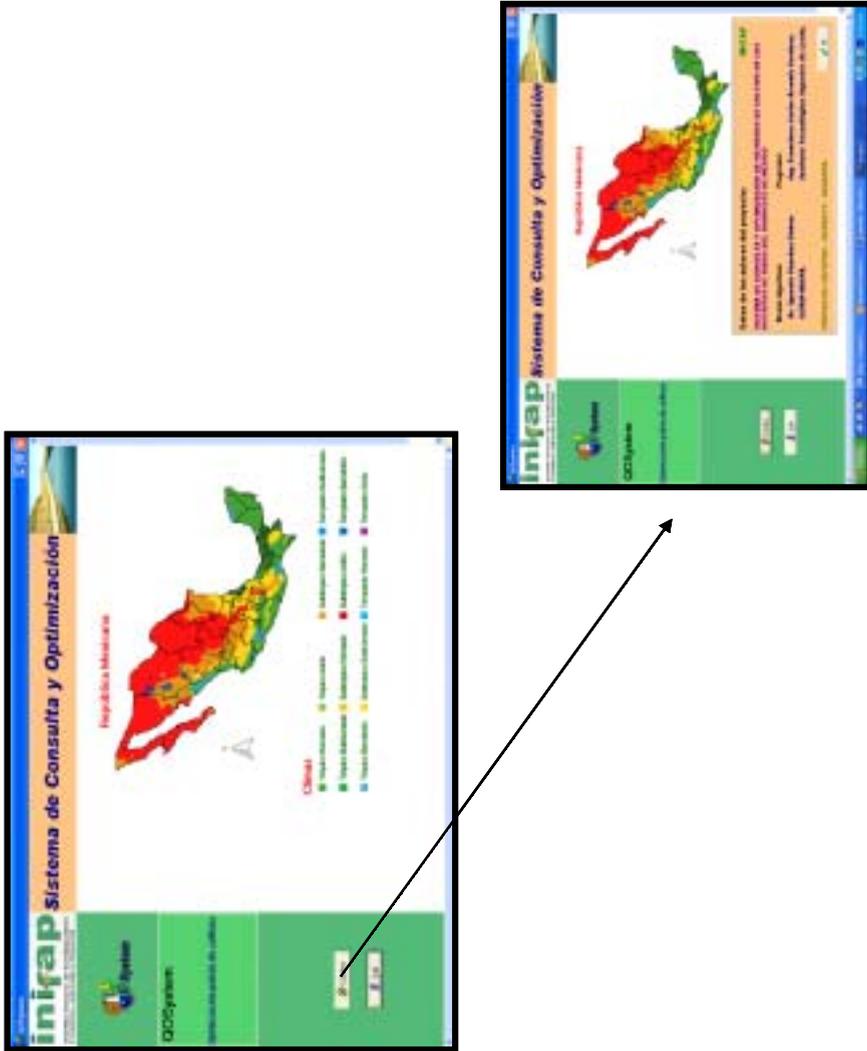


Figura 3. Pantalla de inicio del QOSYSTEM.

Windows taskbar: 005-system, Casos proyectos

Header: **iniRap**
sistema basado en las restricciones
Formación, Agrícolas y Pecuarias

Logo: **Optimización patrón de cultivos**
29/03/2006

Nombre del autor del proyecto: ENEL SARDIEL [Aceptar]

Nombre de cultivos: 10

Número de restricciones $c=$: 9

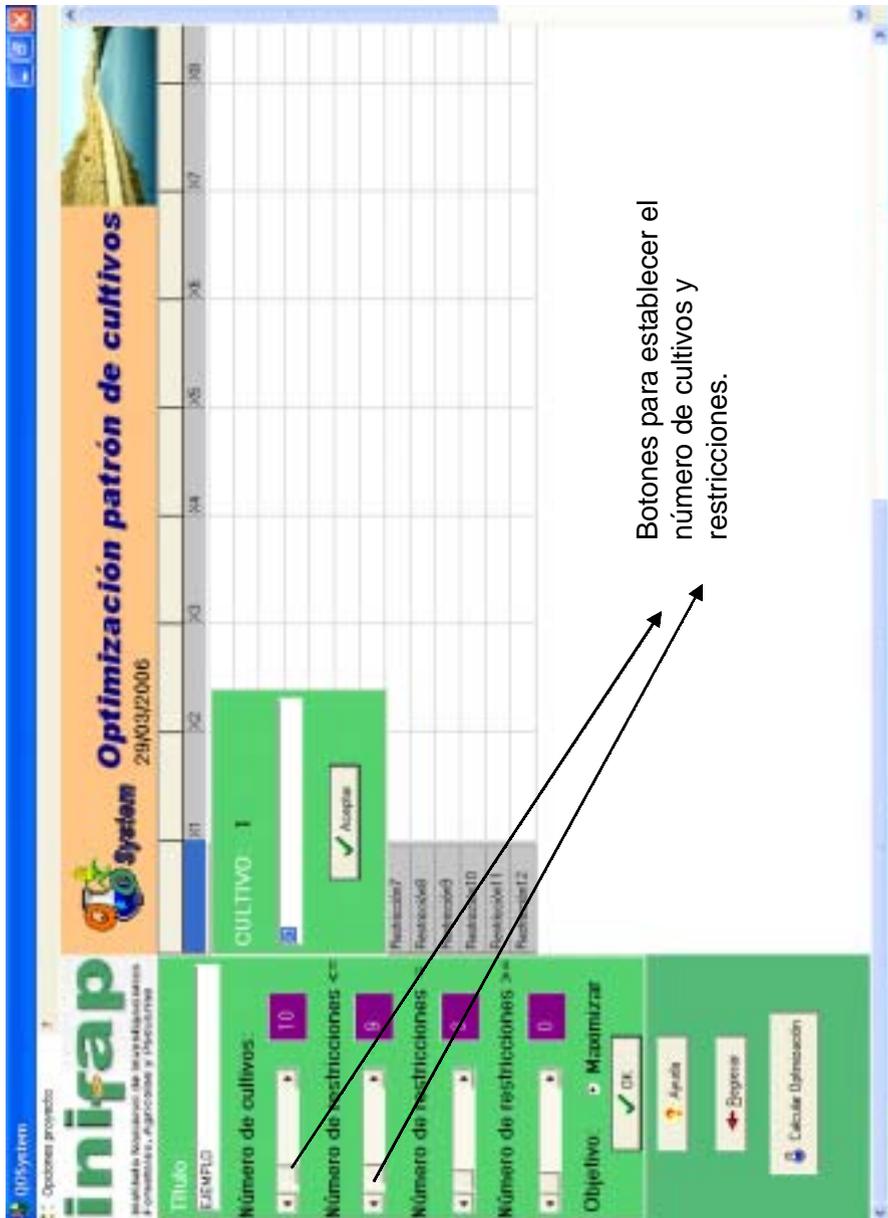
Número de restricciones $=$: 3

Número de restricciones $>=$: 0

Objetivo: Maximizar

Buttons: Ayuda, Ejecutar, Calcular Optimización

Figura 4. Pantalla para especificar el nombre del proyecto así como número de restricciones.



Botones para establecer el número de cultivos y restricciones.

Figura 5. Pantalla resultante del número de cultivos y restricciones.

El sistema asigna automáticamente en la matriz la letra «X» a los cultivos diferenciándolos con un número en orden progresivo, es decir, al cultivo No. 1 le asigna el nombre «X1», al cultivo No. 2 «X2» y así sucesivamente. Sin embargo, da la opción de cambiar este nombre por el nombre real; toda vez que se ha cambiado el nombre si así se desea, se debe presionar «Aceptar» y continuar para todos los cultivos. Es pertinente mencionar que el sistema ubica a las restricciones tipo «=» al final de la matriz. Posteriormente se debe vaciar la información como lo señala el Cuadro 4.

Después de terminar con el vaciado de la información, se debe pulsar la pestaña de «Calcular optimización» ubicada en la esquina inferior izquierda de la pantalla. La Figura 6 muestra la información y la solución óptima para el ejemplo del Distrito de Riego 017.

El último renglón de la figura señala la superficie que deberá sembrarse de cada cultivo para alcanzar el beneficio neto máximo, mismo que se muestra en la última celda de la columna final del distrito de riego considerando las restricciones impuestas al modelo. En la esquina superior izquierda aparece una pestaña «Opciones de proyecto» mediante la cual se pueden realizar las siguientes acciones:

- abrir un nuevo proyecto,
- abrir un proyecto existente,
- guardar nuevo proyecto,
- guardar cambios a un proyecto,
- vista preliminar e
- imprimir un proyecto.

La opción de vista preliminar genera un reporte que incluye la matriz de entrada y la solución óptima, mismo que se imprime al seleccionar la última de las opciones anteriores.

En el Cuadro 5 se presentan el beneficio neto y el volumen de agua por cultivo y total, así como la productividad del agua del patrón de cultivos originalmente propuesto y del patrón resultante del proceso de optimización. La solución óptima arrojó la máxima superficie propuesta para la mayoría de los cultivos excepto para el maíz de grano por ser éste el cultivo con menor rentabilidad. Nótese que de haberse incrementado la superficie máxima de alguno(s) de los otros cultivos, el maíz habría sido eliminado de la solución. Al dividir el beneficio neto total entre el volumen de agua total del patrón de cultivos preliminar se obtiene una rentabilidad global de \$ 0.49 por m^3 de agua. En cambio, con el patrón de cultivos óptimo se logra una rentabilidad global de \$ 0.77 por m^3 de agua y un ahorro potencial de agua de más de 78 millones de m^3 .

SUPUESTOS Y CONSIDERACIONES GENERALES

- Es común que entre los datos que se utilicen para el planteamiento del problema de optimización del patrón de cultivos de los distritos, las láminas y volúmenes de agua reportados arrojen eficiencias altas si se comparan con el promedio nacional. Esto puede repercutir en un sesgo del planteamiento propuesto por el INIFAP con respecto a la realidad.
- En algunos distritos de riego la mano de obra puede ser factor limitante, por lo que constituiría una restricción adicional a las disponibilidades de agua para riego. En algunos distritos ésta se incluye como variable a considerar dado el impacto social potencial.
- También, la disponibilidad de crédito oportuno (capital) puede ser una restricción importante.
- Comúnmente, bajo condiciones normales de la operación de distritos, se traslapan riegos con la consecuente demanda simultánea de agua para satisfacer los requerimientos de los cultivos, por lo que la capacidad de la red hidráulica instalada puede restringir severamente la operación de los distritos de riego.
- La eficiencia global (relación entre la lámina neta y la lámina bruta promedio) de los distritos de riego reportada por la Gerencia de Distritos y Unidades de Riego de la Comisión Nacional del Agua regularmente varía entre 50 y 70 por ciento aun cuando los valores reales difícilmente superan el 40 por ciento. Esto se

debe a que se sobreestima considerablemente la lámina neta de los cultivos.

- No obstante que el proceso de optimización aquí descrito se basa en las láminas y volúmenes brutos, es importante tomar en cuenta el punto anterior, sobre todo cuando se realizan ajustes a la eficiencia del riego a nivel parcela como los realizados en el caso del Distrito de Riego 017 de la Región Lagunera presentado como ejemplo en esta publicación. La lámina neta por cultivo se puede estimar como la evapotranspiración con base en el tipo de cultivo, fecha de siembra, tipo de suelo y variables climáticas de cada distrito de riego (consultar aplicación en red <http://raspa1.inifap.gob.mx>).
- La consideración y recomendación más importante en esta propuesta es el esquema de trabajo interinstitucional en el planteamiento del problema que aquí se trata. Sólo así podrá establecerse un escenario apegado a la realidad que permita llegar a resultados útiles para mejorar la administración de los recursos hidráulicos.

EJEMPLOS DE OPTIMIZACIÓN DE PATRONES DE CULTIVOS EN LOS DISTRITOS DE RIEGO DEL NOROESTE DEL PAÍS

En los últimos tres años se ha realizado la optimización de los patrones de cultivos de los distritos de riego en las oficinas centrales del INIFAP. Para esto se reúnen investigadores del INIFAP de las diversas regiones del país quienes proporcionan la información necesaria para plantear el problema para cada distrito de riego. No obstante que no se ha contado con una participación interinstitucional completa, tales ejercicios han permitido hacer una aproximación más racional en la tarea de definir los patrones de cultivo en cada distrito de riego. Fue de tales experiencias que surgió la intención de realizar la presente publicación en el contexto del proyecto «Incremento en la Eficiencia Global de la Disponibilidad del Agua en los Distritos de Riego del Norte del País», auspiciado por el fondo Sagarpa, Cofupro, Conacyt. Enseguida se presenta el patrón de cultivos inicial, el patrón óptimo y el beneficio o rentabilidad resultante para algunos distritos de la región noroeste del país para el ciclo agrícola 2004-2005.

DISTRITOS DE RIEGO DEL ESTADO DE SINALOA

Análisis del beneficio neto en el distrito de riego 063 "Guasave, Sin."

Cultivo	Lam. Bruta cm	Rend. t ha ⁻¹	Esquema preliminar			
			Sup. ha	Beneficio Neto \$	Vol. Bruto m ³	Productividad Agua kg m ⁻³
Calabaza	137.9	12.0	515	9,266,090	7,099,370	0.87
Cártamo	49.3	1.8	1,647	2,701,580	8,123,787	0.36
Chile verde	171.9	18.0	1,712	35,952,000	29,427,378	1.05
Frijol	84.7	2.0	7,529	62,864,631	63,773,480	0.24
Garbanzo	46.5	2.0	9,459	49,187,496	43,950,224	0.43
Jitomate	155.9	30.0	7,583	322,266,898	118,192,842	1.92
Maíz	115.0	6.0	59,340	29,076,747	682,430,690	0.52
Papa	164.6	25.0	1,287	97,165,252	21,180,223	1.52
Trigo	103.4	4.0	10,746	5,802,889	111,120,885	0.39
Suma			99,818	614,283,584	1,085,298,881	

Beneficio (\$ m⁻³) : 0.57

Cultivo	Lam. Bruta cm	Rend. t ha ⁻¹	Esquema propuesto por el INIFAP			
			Sup. ha	Beneficio Neto \$	Vol. Bruto m ³	Productividad Agua kg m ⁻³
Calabaza	116.0	15.0	1,215	30,982,500	14,090,873	1.29
Cártamo	41.4	2.5	800	3,160,000	3,315,349	0.60
Chile verde	161.8	24.0	2,200	79,200,000	35,588,235	1.48
Frijol	71.2	2.5	4,529	55,933,150	32,254,040	0.35
Garbanzo	39.1	2.5	6,459	54,578,550	25,231,583	0.64
Jitomate	131.1	35.0	7,583	398,094,404	99,385,253	2.67
Maíz	96.7	7.5	42,340	132,841,750	409,431,932	0.78
Papa	138.4	35.0	4,287	473,713,500	59,330,819	2.53
Trigo	86.9	5.5	10,746	38,363,544	93,366,269	0.63
Suma			80,159	1,266,867,398	771,994,354	

Beneficio (\$ m⁻³) : 1.64Ahorro potencial de agua (m³) : 313,304,527

Análisis del beneficio neto en el distrito de riego 074 "Mocorito, Sin"

Cultivo	Lam. Bruta cm	Rend. t ha ⁻¹	Esquema preliminar			Vol. Bruto m ³	Productividad Agua kg m ⁻³
			Sup. ha	Beneficio Neto \$			
OTOÑO-INVIERNO							
Cártamo	38.8	1.8	2,878	7,009,965	11,168,286	0.45	
Cebolla	114.7	18.0	299	5,040,421	3,428,061	1.57	
Frijol	90.2	1.5	12,684	25,177,371	114,387,194	0.17	
Garbanzo	51.0	1.9	20,308	108,630,116	103,544,526	0.37	
Jitomate	117.4	30.0	277	11,780,397	3,249,425	2.55	
Maíz	150.7	6.5	4,759	10,306,042	71,712,358	0.43	
PERENNES							
Alfalfa	189.2	75.0	210	2,404,667	3,977,803	3.96	
Forrajes	245.6	35.0	339	762,025	8,319,298	1.42	
Frutales	165.0	12.0	4	75,262	73,048	0.73	
Suma			41,758	171,186,266	319,860,000		

Beneficio (\$ m⁻³) : 0.54

Cultivo	Lam. Bruta cm	Rend. t ha ⁻¹	Esquema propuesto por el INIFAP			Vol. Bruto m ³	Productividad Agua kg m ⁻³
			Sup. ha	Beneficio Neto \$			
OTOÑO-INVIERNO							
Cártamo	33.8	2.0	2,453	7,999,233	8,298,967	0.59	
Cebolla	100.0	25.0	500	17,183,500	5,000,000	2.50	
Frijol	78.6	2.0	12,684	60,057,859	99,713,585	0.25	
Garbanzo	44.4	2.0	20,308	121,830,635	90,261,803	0.45	
Jitomate	102.4	35.0	500	26,287,500	5,118,519	3.42	
Maíz	131.4	7.5	4,759	18,706,025	62,513,142	0.57	
PERENNES							
Alfalfa	164.9	85.0	210	2,909,364	3,467,942	5.15	
Forrajes	157.2	40.0	339	1,185,372	5,322,430	2.55	
Frutales	143.5	15.0	4	121,747	63,538	1.05	
Suma			41,758	256,281,235	279,759,926		

Beneficio (\$ m⁻³) : 0.92

Ahorro potencial de agua (m³) : 40,100,074

Análisis del beneficio neto en el distrito de riego 075 "Río Fuerte, Sin."

Cultivo	Esquema preliminar					
	Lam. Bruta	Rend.	Sup.	Beneficio Neto	Vol. Bruto	Productividad Agua
	cm	t ha ⁻¹	ha	\$	m ³	kg m ⁻³
Algodón	146.4	2.5	39	84,006	570,804	0.17
Calabaza	109.7	12.0	4,708	82,630,108	51,651,468	1.09
Cártamo	46.8	1.8	1,446	2,170,446	6,773,064	0.37
Cebolla	113.9	18.0	402	14,016,534	4,577,976	1.58
Chile verde	138.8	18.0	4,844	97,548,472	67,234,720	1.30
Frijol	70.1	2.0	40,890	322,376,760	286,557,120	0.28
Garbanzo	47.2	1.9	3,829	16,901,206	18,072,880	0.40
Maíz	127.4	9.5	50,538	329,785,719	643,651,968	0.75
Melón	137.9	26.0	177	5,660,814	2,440,830	1.89
Papa	69.4	22.0	12,381	667,694,949	129,988,119	2.10
Pepino	68.4	24.0	1,524	82,905,600	16,358,616	2.24
Sandía	58.8	25.0	1,240	35,354,880	12,605,840	2.46
Tomate	73.4	30.0	15,118	643,648,850	174,582,664	2.60
Trigo	68.4	4.5	4,713	7,319,289	52,564,089	0.40
Suma			141,849	2,308,097,633	1,467,630,158	

Beneficio (\$ m⁻³) : 1.57

Cultivo	Esquema propuesto por el INIFAP					
	Lam. Bruta	Rend.	Sup.	Beneficio Neto	Vol. Bruto	Productividad Agua
	cm	t ha ⁻¹	ha	\$	m ³	kg m ⁻³
Algodón	120.1	3.0	0	0	0	0.00
Calabaza	96.5	15.0	5,200	130,265,200	50,188,914	1.55
Cártamo	40.8	2.4	1,446	5,272,116	5,897,614	0.59
Cebolla	107.1	20.0	500	20,933,500	5,355,714	1.87
Chile verde	128.4	20.0	5,328	133,935,264	68,419,131	1.56
Frijol	60.9	2.0	40,890	338,732,760	249,136,929	0.33
Garbanzo	44.8	2.5	3,829	31,834,306	17,142,980	0.56
Maíz	113.9	9.5	50,538	329,785,719	575,627,820	0.83
Melón	114.4	30.0	0	0	0	0.00
Papa	99.1	25.0	13,600	917,034,400	134,795,429	2.52
Pepino	97.6	28.0	1,700	130,560,000	16,599,286	2.87
Sandía	84.0	30.0	1,350	48,616,200	11,341,929	3.57
Tomate	104.9	35.0	16,600	872,745,000	174,110,286	3.34
Trigo	97.6	5.0	868	2,224,684	8,475,400	0.51
Suma			141,849	2,961,939,149	1,317,091,431	

Beneficio (\$ m⁻³) : 2.25Ahorro potencial de agua (m³) : 150,538,727

Análisis del beneficio neto en el distrito de riego 076 "Valle del Carrizo, Sin."

Cultivo	Esquema preliminar					
	Lam. Bruta cm	Rend. t ha ⁻¹	Sup. ha	Beneficio Neto \$	Vol. Bruto m ³	Productividad Agua kg m ⁻³
Calabaza	109.7	12.0	1,045	18,340,197	11,464,321	1.09
Cártamo	46.8	1.8	430	646,033	2,016,002	0.37
Frijol	70.1	2.0	1,349	10,636,652	9,454,802	0.28
Garbanzo	47.2	1.9	257	1,132,569	1,211,084	0.40
Maíz	127.4	9.5	10,410	67,932,698	132,586,137	0.75
Papa	65.2	22.0	242	13,056,266	2,541,819	2.10
Tomate	80.0	30.0	9,519	405,250,201	124,692,370	2.29
Trigo	64.0	4.5	8,360	12,982,657	90,285,056	0.42
Suma			31,612	529,977,273	374,251,591	

Beneficio (\$ m⁻³) : 1.42

Cultivo	Esquema propuesto por el INIFAP					
	Lam. Bruta cm	Rend. t ha ⁻¹	Sup. ha	Beneficio Neto \$	Vol. Bruto m ³	Productividad Agua kg m ⁻³
Calabaza	85.8	15.0	1,300	32,566,300	11,153,890	1.75
Cártamo	64.3	2.5	430	1,711,278	2,766,869	0.39
Frijol	71.5	2.5	1,349	16,572,886	9,645,612	0.35
Garbanzo	64.3	2.5	257	2,133,253	1,649,479	0.39
Maíz	107.2	9.5	10,410	67,932,698	111,549,743	0.89
Papa	93.2	25.0	500	33,714,500	4,658,120	2.68
Tomate	114.3	35.0	10,000	525,750,000	114,285,714	3.06
Trigo	91.4	5.0	7,366	18,879,058	67,346,286	0.55
Suma			31,612	699,259,973	323,055,712	

Beneficio (\$ m⁻³) : 2.16

Ahorro potencial de agua (m³) : 51,195,879

Análisis del beneficio neto en el distrito de riego 108 "Elota-Piactla, Sin"

Cultivo	Esquema preliminar					
	Lam. Bruta	Rend.	Sup.	Beneficio Neto	Vol. Bruto	Productividad Agua
	cm	t ha ⁻¹	ha	\$	m ³	kg m ⁻³
Calabaza	125.0	12.0	228	4,110,649	2,854,617	0.96
Cártamo	34.4	1.8	78	127,963	268,334	0.52
Chile verde	171.9	18.0	2,912	61,145,898	50,049,050	1.05
Frijol	60.0	2.0	710	5,928,500	4,260,000	0.33
Garbanzo	56.2	2.0	304	1,583,361	1,710,867	0.36
Jitomate	171.9	30.0	3,584	152,320,000	61,605,191	1.75
Maíz grano	110.0	6.0	4,651	2,278,990	51,161,000	0.55
Pepino	156.3	24.0	2,038	110,877,895	31,848,011	1.54
Sorgo forrajero	101.4	20.0	470	1,645,211	4,765,307	1.97
Sorgo grano	100.0	4.5	384	666,972	3,844,218	0.45
Trigo	95.2	4.0	407	219,920	3,876,570	0.42
Suma			15,768	340,905,359	216,243,166	

Beneficio (\$ m⁻³) : 1.58

Cultivo	Esquema propuesto por el INIFAP					
	Lam. Bruta	Rend.	Sup.	Beneficio Neto	Vol. Bruto	Productividad Agua
	cm	t ha ⁻¹	ha	\$	m ³	kg m ⁻³
Calabaza	114.3	15.0	1,228	31,314,000	14,034,286	1.31
Cártamo	31.4	2.5	78	308,203	244,681	0.80
Chile verde	157.1	24.0	4,400	158,400,000	69,142,857	1.53
Frijol	64.3	2.5	610	7,533,500	3,921,429	0.39
Garbanzo	51.3	2.5	204	1,723,800	1,047,321	0.49
Jitomate	157.2	35.0	3,584	188,160,000	56,323,042	2.23
Maíz grano	101.4	7.5	1,194	3,746,175	12,110,571	0.74
Pepino	142.8	28.0	3,500	268,800,000	49,995,331	1.96
Sorgo forrajero	142.8	28.0	870	6,090,000	49,995,331	1.96
Sorgo grano	92.9	30.0	0	0	8,086,119	3.23
Trigo	92.7	5.2	0	0	0	0.00
Suma			15,668	666,075,678	214,905,639	

Beneficio (\$ m⁻³) : 3.10Ahorro potencial de agua (m³) : 1,337,527

Análisis del beneficio neto en el distrito de riego 111 "Baluarte-Presidio, Sin."

Cultivo	Esquema preliminar					
	Lam. Bruta	Rend.	Sup.	Beneficio Neto	Vol. Bruto	Productividad Agua
	cm	t ha ⁻¹	ha	\$	m ³	kg m ⁻³
Frijol	36.0	2.0	1,300	10,660,000	4,680,000	0.56
Hortalizas	127.0	22.0	655	19,650,000	8,318,500	1.73
Maíz	94.0	8.0	1,100	4,620,000	10,340,000	0.85
Sorgo	87.0	4.5	1,300	1,397,500	11,310,000	0.52
Suma			4,355	36,327,500	34,648,500	

Beneficio (\$ m⁻³): 1.05

Cultivo	Esquema propuesto por el INIFAP					
	Lam. Bruta	Rend.	Sup.	Beneficio Neto	Vol. Bruto	Productividad Agua
	cm	t ha ⁻¹	ha	\$	m ³	kg m ⁻³
Frijol	36.0	2.5	2,000	24,400,000	7,200,000	0.69
Hortalizas	75.0	25.0	1,500	56,250,000	11,250,000	3.33
Maíz	80.0	8.5	855	4,360,500	6,840,000	1.06
Sorgo	80.0	5.5	0	0	0	0.69
Suma	67.8	0.0	4,355	85,010,500	25,290,000	0.00
Suma			4,355	85,010,500	25,290,000	

Beneficio (\$ m⁻³): 3.36

Ahorro potencial de agua (m³): 9,358,500

DISTRITOS DE RIEGO DEL ESTADO DE SONORA

Análisis del beneficio neto en el distrito de riego 037 "Altar, Pitiquito, Caborca, Son"

Cultivo	Esquema preliminar					
	Lam. Bruta cm	Rend. t ha ⁻¹	Sup. ha	Beneficio Neto \$	Vol. Bruto m ³	Productividad Agua kg m ⁻³
Cártamo	70.0	2.0	56	117,208	392,000	0.29
Espárrago	215.0	22.0	4,570	200,623,000	98,255,000	1.02
Hortalizas	80.0	25.0	150	3,806,250	1,200,000	3.13
Trigo	75.0	6.0	632	741,336	4,740,000	0.80
Suma			5,408	205,287,794	104,587,000	

Beneficio (\$ m⁻³) : 1.96

Cultivo	Esquema propuesto por el INIFAP					
	Lam. Bruta cm	Rend. t ha ⁻¹	Sup. ha	Beneficio Neto \$	Vol. Bruto m ³	Productividad Agua kg m ⁻³
Cártamo	60.0	2.5	0	0	0	0.00
Espárrago	160.0	22.0	5,000	219,500,000	80,000,000	1.38
Hortalizas	55.0	25.0	408	10,353,000	2,244,000	4.55
Trigo	65.0	6.5	0	0	0	0.00
Suma			5,408	229,853,000	82,244,000	

Beneficio (\$ m⁻³) : 2.79Ahorro potencial de agua (m³) : 22,343,000

Análisis del beneficio neto en el distrito de riego 038 "Río Mayo, Son"

Cultivo	Esquema preliminar					
	Lam. Bruta cm	Rend. t ha ⁻¹	Sup. ha	Beneficio Neto \$	Vol. Bruto m ³	Productividad Agua kg m ⁻³
Cártamo	52.1	2.0	15,982	40,514,370	83,266,220	0.38
Frijol	94.7	2.0	3,996	1,738,260	37,842,120	0.21
Garbanzo	53.6	2.0	2,283	913,200	12,236,880	0.37
Hortalizas	122.0	25.0	3,818	199,967,750	46,579,600	2.05
Maíz	111.8	7.0	6,849	29,005,515	76,571,820	0.63
Papa	119.9	24.9	3,425	206,527,500	41,065,750	2.08
Trigo	105.3	6.0	24,258	78,959,790	255,436,740	0.57
Suma			60,611	557,626,385	552,999,130	

Beneficio (\$ m⁻³) : 1.01

Cultivo	Esquema propuesto por el INIFAP					
	Lam. Bruta cm	Rend. t ha ⁻¹	Sup. ha	Beneficio Neto \$	Vol. Bruto m ³	Productividad Agua kg m ⁻³
Cártamo	50.0	2.5	17,500	82,862,500	87,500,000	0.50
Frijol	70.0	2.5	3,996	11,728,260	27,972,000	0.36
Garbanzo	50.0	2.5	208	551,200	1,040,000	0.50
Hortalizas	70.0	25.0	4,000	209,500,000	28,000,000	3.57
Maíz	80.0	7.0	6,849	29,005,515	54,792,000	0.88
Papa	100.0	25.0	3,800	230,660,000	38,000,000	2.50
Trigo	75.0	6.5	24,258	102,247,470	181,935,000	0.87
Suma			60,611	666,554,945	419,239,000	

Beneficio (\$ m⁻³) : 1.59

Ahorro potencial de agua (m³) : 133,760,130

Análisis del beneficio neto en el distrito de riego 041 "Río Yaqui, Son"

Cultivo	Lam. Bruta cm	Rend. t ha ⁻¹	Esquema preliminar			Vol. Bruto m ³	Productividad Agua kg m ⁻³
			Sup. ha	Beneficio Neto \$			
Cártamo	39.9	2.0	15,806	36,243,158	63,065,940	0.50	
Cebada	94.1	5.0	316	81,528	2,973,560	0.53	
Garbanzo	51.4	2.0	6,322	2,908,120	32,495,080	0.39	
Hortalizas	90.0	25.0	6,323	197,751,825	56,907,000	2.78	
Maíz	78.0	7.0	15,173	37,219,369	118,349,400	0.90	
Trigo	90.8	6.0	46,752	99,955,776	424,508,160	0.66	
Suma			90,692	374,159,776	698,299,140		

Beneficio (\$ m⁻³) : 0.54

Cultivo	Lam. Bruta cm	Rend. t ha ⁻¹	Esquema propuesto por el INIFAP			Vol. Bruto m ³	Productividad Agua kg m ⁻³
			Sup. ha	Beneficio Neto \$			
Cártamo	38.0	2.5	16,500	74,134,500	62,700,000	0.66	
Cebada	75.0	5.5	0	0	0	0.00	
Garbanzo	45.0	2.5	1,440	4,262,400	6,480,000	0.56	
Hortalizas	55.0	25.0	10,000	312,750,000	55,000,000	4.55	
Maíz	75.0	7.5	16,000	53,648,000	120,000,000	1.00	
Trigo	60.0	6.5	46,752	143,668,896	280,512,000	1.08	
Suma			90,692	588,463,796	524,692,000		

Beneficio (\$ m⁻³) : 1.12Ahorro potencial de agua (m³) : 173,607,140

Análisis del beneficio neto en el distrito de riego 051 "Costa de Hermosillo, Son"

Cultivo	Esquema preliminar					
	Lam. Bruta cm	Rend. t ha ⁻¹	Sup. ha	Beneficio Neto \$	Vol. Bruto m ³	Productividad Agua kg m ⁻³
Cártamo	55.0	2.0	652	1,483,300	3,586,000	0.36
Cebada	80.0	5.0	326	84,108	2,608,000	0.63
Frijol	75.0	1.8	1,380	12,137,100	10,350,000	0.24
Garbanzo	55.0	2.0	5,431	7,331,850	29,870,500	0.36
Trigo	75.0	6.0	14,121	16,309,755	105,907,500	0.80
Hortalizas	85.0	22.6	4,000	81,378,400	34,000,000	2.66
Suma			25,910	118,724,513	186,322,000	

Beneficio (\$ m⁻³) : 0.64

Cultivo	Esquema propuesto por el INIFAP					
	Lam. Bruta cm	Rend. t ha ⁻¹	Sup. ha	Beneficio Neto \$	Vol. Bruto m ³	Productividad Agua kg m ⁻³
Cártamo	50.0	2.5	652	2,917,700	3,260,000	0.50
Cebada	75.0	5.5	0	0	0	0.00
Frijol	70.0	2.0	1,380	14,483,100	9,660,000	0.29
Garbanzo	45.0	2.5	6,000	23,100,000	27,000,000	0.56
Trigo	70.0	6.5	9,878	20,645,020	69,146,000	0.93
Hortalizas	55.0	25.0	8,000	205,976,000	44,000,000	4.55
Suma			25,910	267,121,820	153,066,000	

Beneficio (\$ m⁻³) : 1.75

Ahorro potencial de agua (m³) : 33,256,000

Análisis del beneficio neto en el distrito de riego 084 "Valle de Guaymas, Son"

Cultivo	Esquema preliminar					
	Lam. Bruta cm	Rend. t ha ⁻¹	Sup. ha	Beneficio Neto \$	Vol. Bruto m ³	Productividad Agua kg m ⁻³
Frijol	58.2	2.0	420	4,382,700	2,443,000	0.34
Hortalizas	90.0	25.0	4,775	121,165,625	42,975,000	2.78
Maíz	93.0	6.5	460	303,600	4,278,000	0.70
Sorgo	94.0	5.0	950	-679,250	8,930,000	0.53
Trigo	81.0	6.0	4,500	11,047,500	36,450,000	0.74
Suma			11,105	136,220,175	95,076,000	

Beneficio (\$ m⁻³) : 1.43

Cultivo	Esquema propuesto por el INIFAP					
	Lam. Bruta cm	Rend. t ha ⁻¹	Sup. ha	Beneficio Neto \$	Vol. Bruto m ³	Productividad Agua kg m ⁻³
Frijol	58.2	2.5	1,000	14,685,000	5,816,667	0.43
Hortalizas	55.0	25.0	6,000	152,250,000	33,000,000	4.55
Maíz	80.0	7.0	0	0	0	0.00
Sorgo	80.0	6.0	0	0	0	0.00
Trigo	70.0	6.5	4,105	14,018,575	28,735,000	0.93
Suma			11,105	180,953,575	67,551,667	

Beneficio (\$ m⁻³) : 2.68Ahorro potencial de agua (m³) : 27,524,333

DISTRITOS DE RIEGO DEL ESTADO DE BAJA CALIFORNIA

Análisis del beneficio neto en el distrito de riego 014 "Río Colorado"

Cultivo	Esquema preliminar					
	Lam. Bruta	Rend.	Sup.	Beneficio Neto	Vol. Bruto	Productividad Agua
	cm	t ha ⁻¹	ha	\$	m ³	kg m ⁻³
Alfalfa	230.7	15.0	33,224	315,628,000	766,477,680	0.65
Algodón	142.4	3.5	25,000	316,921,556	356,000,000	0.24
Bermuda	231.0	7.0	3,000	3,090,000	69,300,000	0.30
Cártamo	57.7	1.8	5,000	21,897,650	28,850,000	0.31
Cebada	97.7	2.9	4,000	1,619,200	39,080,000	0.30
Cebolla	75.5	13.0	4,000	39,862,560	30,200,000	1.73
Esparrago	218.0	150.0	2,500	7,902,472	54,500,000	6.88
Maíz	133.2	3.8	1,400	183,938	18,648,000	0.29
Rye Grass	121.9	41.9	4,500	26,051,445	54,855,000	3.43
Sorgo Forrajero	142.7	12.4	6,600	45,682,660	94,182,000	0.87
Sorgo Grano	113.6	4.7	7,300	13,083,363	82,928,000	0.41
Trigo Grano	109.1	6.0	75,461	286,070,069	823,279,510	0.55
Suma			171,985	1,077,992,913	2,418,300,190	

Beneficio (\$ m⁻³) : 0.45

Cultivo	Esquema propuesto por el INIFAP					
	Lam. Bruta	Rend.	Sup.	Beneficio Neto	Vol. Bruto	Productividad Agua
	cm	t ha ⁻¹	ha	\$	m ³	kg m ⁻³
Alfalfa	230.7	15.0	33,224	315,628,000	766,477,680	0.65
Algodón	100.0	3.5	26,000	329,598,419	260,000,000	0.35
Bermuda	231.0	7.0	3,000	3,090,000	69,300,000	0.30
Cártamo	57.7	1.8	5,500	24,087,415	31,735,000	0.31
Cebada	97.7	2.9	3,000	1,214,400	29,310,000	0.30
Cebolla	75.5	13.0	4,500	132,291,990	33,975,000	1.73
Esparrago	218.0	150.0	2,500	7,902,472	54,500,000	6.88
Maíz	120.0	3.8	1,000	131,384	12,000,000	0.32
Rye Grass	121.9	41.9	5,000	28,946,050	60,950,000	3.43
Sorgo Forrajero	107.0	12.4	7,300	50,527,791	78,110,000	1.15
Sorgo Grano	113.6	4.7	5,500	9,857,328	62,480,000	0.41
Trigo Grano	109.1	6.0	75,461	286,070,069	823,279,510	0.55
			171,985	1,189,345,318	2,282,117,190	

Beneficio (\$ m⁻³) : 0.52Ahorro potencial de agua (m³) : 136,183,000

**DISTRITOS DE RIEGO DEL
ESTADO DE BAJA CALIFORNIA SUR**

Análisis del beneficio neto en el distrito de riego 066 "Santo Domingo BCS"

Cultivo	Esquema preliminar					
	Lam. Bruta cm	Rend. t ha ⁻¹	Sup. ha	Beneficio Neto \$	Vol. Bruto m ³	Productividad Agua kg m ⁻³
Alfalfa	204.0	14.0	3,460	28,717,831	70,583,585	0.69
Espárrago	70.0	130.0	1,700	26,980,422	11,899,930	18.57
Frijol	57.0	1.5	200	593,749	1,139,993	0.26
Frutales	140.0	10.0	80	960,000	1,120,000	0.71
Garbanzo	47.0	1.5	2,880	7,915,950	13,535,920	0.32
Hortalizas	58.8	25.0	328	6,560,000	1,928,640	4.25
Maíz	82.0	6.0	1,206	1,839,150	9,888,934	0.73
Naranja	120.0	20.0	1,944	16,523,903	23,327,863	1.67
Pastos	105.0	30.0	378	567,000	3,969,000	2.86
Sorgo Grano	71.0	4.5	461	696,110	3,272,923	0.63
Trigo Grano	75.0	4.5	2,500	6,220,888	18,749,890	0.60
Suma			15,137	97,575,003	159,416,678	

Beneficio (\$ m⁻³) : 0.61

Cultivo	Esquema propuesto por el INIFAP					
	Lam. Bruta cm	Rend. t ha ⁻¹	Sup. ha	Beneficio Neto \$	Vol. Bruto m ³	Productividad Agua kg m ⁻³
Alfalfa	204.0	16.5	3,460	39,097,770	70,583,585	0.81
Espárrago	70.0	140.0	1,700	44,748,055	11,899,930	20.00
Frijol	57.0	2.0	350	2,176,566	1,995,000	0.35
Frutales	140.0	12.0	80	1,472,000	1,120,000	0.86
Garbanzo	47.0	2.0	3,200	19,195,552	15,040,000	0.43
Hortalizas	58.8	30.0	600	18,600,000	3,528,000	5.10
Maíz	82.0	6.5	925	2,226,938	7,584,796	0.79
Naranja	120.0	24.0	1,944	23,133,464	23,327,863	2.00
Pastos	105.0	35.0	378	1,039,500	3,969,000	3.33
Sorgo Grano	71.0	5.0	0	0	0	0.00
Trigo Grano	75.0	5.0	2,500	8,745,874	18,749,890	0.67
Suma			15,137	160,435,718	157,798,063	

Beneficio (\$ m⁻³) : 1.02Ahorro potencial de agua (m³) : 1,618,615

DISTRITOS DE RIEGO DEL ESTADO DE CHIHUAHUA

Análisis del beneficio neto en el distrito de riego 005 "Delicias, Chih"

Cultivo	Esquema preliminar					
	Lam. Bruta	Rend.	Sup.	Beneficio Neto	Vol. Bruto	Productividad Agua
	cm	t ha ⁻¹	ha	\$	m ³	kg m ⁻³
Algodón	173.1	3.3	589	787,314	10,188,664	0.19
Cacahuate	174.7	3.0	630	765,100	11,012,687	0.17
Cebolla	276.7	30.0	232	2,948,277	6,423,832	1.08
Chile verde	295.5	30.0	964	17,980,835	28,493,618	1.02
Maíz	181.2	45.0	649	3,861,550	11,761,902	2.48
Sandía	202.6	25.0	370	2,776,689	7,498,979	1.23
Alfalfa	295.0	18.9	3,125	27,015,625	92,178,013	0.64
Nogal	222.3	1.6	1,250	30,412,500	27,782,141	0.07
Vid	203.4	18.0	88	2,094,400	1,789,735	0.89
Suma			7,897	88,642,291	197,129,570	

Beneficio (\$ m⁻³): 0.45

Cultivo	Esquema propuesto por el INIFAP					
	Lam. Bruta	Rend.	Sup.	Beneficio Neto	Vol. Bruto	Productividad Agua
	cm	t ha ⁻¹	ha	\$	m ³	kg m ⁻³
Algodón	130.8	3.8	600	2,700,000	7,846,154	0.29
Cacahuate	123.1	3.2	34	68,476	418,462	0.26
Cebolla	176.9	40.0	450	12,465,000	7,961,538	2.26
Chile verde	200.0	30.0	1,200	22,380,000	24,000,000	1.50
Maíz	130.8	48.0	700	4,774,000	9,153,846	3.67
Sandía	138.5	32.0	450	7,492,500	6,230,769	2.31
Alfalfa	232.3	20.0	3,125	30,625,000	72,596,154	0.86
Nogal	176.9	1.8	1,250	36,912,500	22,115,385	0.10
Vid	153.8	20.0	88	2,508,000	1,353,846	1.30
Suma			7,897	49,879,976	55,610,769	

Beneficio (\$ m⁻³): 0.90Ahorro potencial de agua (m³): 141,518,801

Análisis del beneficio neto en el distrito de riego 009 "Valle de Juárez, Chih"

Cultivo	Esquema preliminar					
	Lam. Bruta cm	Rend. t ha ⁻¹	Sup. ha	Beneficio Neto \$	Vol. Bruto m ³	Productividad Agua kg m ⁻³
Algodón	113.5	3.5	2,513	6,973,575	28,522,550	0.31
Avena forrajera	122.5	25.0	450	1,845,000	5,512,500	2.04
Trigo	124.9	7.0	1,278	811,530	15,962,220	0.56
Sorgo forrajero	100.5	48.0	850	6,307,000	8,542,500	4.78
Alfalfa	174.1	12.5	2,379	3,865,875	41,418,390	0.72
Pastos	197.8	15.0	528	1,584,000	10,443,840	0.76
Frutales	174.1	1.2	247	3,458,000	4,300,270	0.07
Suma			8,245	21,386,980	110,402,000	

Beneficio (\$ m⁻³) : 0.19

Cultivo	Esquema propuesto por el INIFAP					
	Lam. Bruta cm	Rend. t ha ⁻¹	Sup. ha	Beneficio Neto \$	Vol. Bruto m ³	Productividad Agua kg m ⁻³
Algodón	105.1	3.8	2,850	12,825,000	29,966,912	0.36
Avena forrajera	104.7	30.0	540	1,757,160	5,654,118	2.87
Trigo	114.4	7.0	0	0	0	0.00
Sorgo forrajero	91.9	48.0	1,700	12,614,000	15,625,000	5.22
Alfalfa	161.2	13.5	2,379	6,363,825	38,343,882	0.84
Pastos	182.4	16.5	528	2,296,800	9,628,235	0.90
Frutales	161.2	1.3	247	4,100,200	3,981,059	0.08
Suma			8,244	35,856,785	99,218,147	

Beneficio (\$ m⁻³) : 0.36

Ahorro potencial de agua (m³) : 11,183,853

Análisis del beneficio neto en el distrito de riego 042 "Buenaventura, Chih"

Cultivo	Esquema preliminar					
	Lam. Bruta cm	Rend. t ha ⁻¹	Sup. ha	Beneficio Neto \$	Vol. Bruto m ³	Productividad Agua kg m ⁻³
Algodón	186.4	3.5	13	36,075	242,320	0.19
Avena	162.2	23.0	32	51,200	519,040	1.42
Sorgo grano	162.8	6.5	205	85,075	3,338,064	0.40
Chile verde	260.9	25.0	1,170	4,095,000	30,528,445	0.96
Maíz	162.3	6.8	60	123,600	973,636	0.42
Alfalfa	274.1	16.9	615	4,025,175	16,857,246	0.62
Manzano	237.3	15.0	97	2,158,250	2,301,654	0.63
Nogal	237.8	1.5	310	6,736,300	7,372,874	0.06
Pastos	249.8	40.0	96	518,400	2,398,080	1.60
Suma			2,598	17,829,075	64,531,359	

Beneficio (\$ m⁻³) : 0.28

Cultivo	Esquema propuesto por el INIFAP					
	Lam. Bruta cm	Rend. t ha ⁻¹	Sup. ha	Beneficio Neto \$	Vol. Bruto m ³	Productividad Agua kg m ⁻³
Algodón	140.0	3.8	0	0	0	0.00
Avena	120.0	28.0	0	0	0	0.00
Sorgo grano	130.0	7.5	0	0	0	0.00
Chile verde	180.0	28.0	1,480	12,284,000	26,640,000	1.56
Maíz	140.0	7.5	0	0	0	0.00
Alfalfa	250.0	19.0	615	5,381,250	15,375,000	0.76
Manzano	198.0	17.0	97	2,924,550	1,920,600	0.86
Nogal	210.0	1.8	310	9,154,300	6,510,000	0.09
Pastos	220.0	45.0	96	796,800	2,112,000	2.05
Suma			2,598	17,665,250	42,015,000	

Beneficio (\$ m⁻³) : 0.42Ahorro potencial de agua (m³) : 22,516,359

Análisis del beneficio neto en el distrito de riego 089 "El Carmen, Chih"

Cultivo	Esquema preliminar					
	Lam. Bruta cm	Rend. t ha ⁻¹	Sup. ha	Beneficio Neto \$	Vol. Bruto m ³	Productividad Agua kg m ⁻³
Algodón	150.0	3.5	603	1,673,325	9,045,000	0.23
Sorgo grano	100.0	6.5	810	336,150	8,100,000	0.65
Frijol	69.0	1.2	1,220	4,440,800	8,418,000	0.17
Chile verde	295.5	25.0	1,610	5,635,000	47,581,972	0.85
Maíz	100.0	6.8	240	494,400	2,400,000	0.68
Trigo	156.0	7.0	400	380,000	6,240,000	0.45
Alfalfa	171.0	16.9	1,675	10,962,875	28,642,500	0.99
Nogal	183.2	1.5	900	19,557,000	16,488,000	0.08
Pastos	205.4	40.0	114	250,800	2,341,560	1.95
Suma			7,572	43,730,350	129,257,032	

Beneficio (\$ m⁻³) : 0.34

Cultivo	Esquema propuesto por el INIFAP					
	Lam. Bruta cm	Rend. t ha ⁻¹	Sup. ha	Beneficio Neto \$	Vol. Bruto m ³	Productividad Agua kg m ⁻³
Algodón	130.0	3.8	800	3,600,000	10,400,000	0.29
Sorgo grano	95.0	7.0	0	0	0	0.00
Frijol	69.0	1.6	1,500	10,140,000	10,350,000	0.23
Chile verde	220.0	28.0	1,800	14,940,000	39,600,000	1.27
Maíz	95.0	7.5	783	2,407,725	7,438,500	0.79
Trigo	135.0	7.5	0	0	0	0.00
Alfalfa	165.0	19.0	1,675	14,656,250	27,637,500	1.15
Nogal	170.0	1.8	900	26,577,000	15,300,000	0.11
Pastos	190.0	45.0	114	433,200	2,166,000	2.37
Suma			7,572	31,087,725	67,788,500	

Beneficio (\$ m⁻³) : 0.46

Ahorro potencial de agua (m³) : 61,468,532

Análisis del beneficio neto en el distrito de riego 090 "Bajo Río Conchos, Chih"

Cultivo	Esquema preliminar					
	Lam. Bruta cm	Rend. t ha ⁻¹	Sup. ha	Beneficio Neto \$	Vol. Bruto m ³	Productividad Agua kg m ⁻³
Algodón	145.0	3.5	60	166,500	870,000	0.24
Avena forrajera	163.3	25.0	12	29,568	195,960	1.53
Melón	169.0	30.0	26	754,000	439,400	1.78
Alfalfa	289.0	17.0	2,622	16,649,700	75,775,800	0.59
Pastos	197.8	35.0	98	514,500	1,938,440	1.77
Nogal	225.7	1.2	452	6,328,000	10,201,640	0.05
Suma			3,270	18,114,268	79,219,600	

Beneficio (\$ m⁻³) : 0.23

Cultivo	Esquema propuesto por el INIFAP					
	Lam. Bruta cm	Rend. t ha ⁻¹	Sup. ha	Beneficio Neto \$	Vol. Bruto m ³	Productividad Agua kg m ⁻³
Algodón	130.0	3.8	48	216,000	624,000	0.29
Avena forrajera	150.0	28.0	0	0	0	0.00
Melón	160.0	35.0	50	850,000	800,000	2.19
Alfalfa	250.0	19.0	2,622	22,155,900	65,550,000	0.76
Pastos	190.0	38.0	98	1,205,400	1,862,000	2.00
Nogal	210.0	1.6	452	11,028,800	9,492,000	0.08
Suma			3,270	35,456,100	78,328,000	

Beneficio (\$ m⁻³) : 0.45Ahorro potencial de agua (m³) : 891,600

ANEXO



Recomendaciones generales para el manejo del agua en los distritos de riego en condiciones de baja disponibilidad

Aunque la disponibilidad de agua define en gran medida el éxito de las cosechas de los cultivos, constituye un insumo en el sistema productivo en el que las buenas prácticas de manejo son absolutamente necesarias para incrementar la eficiencia en el uso de este recurso. La situación actual de disponibilidad de agua en los distritos de riego del país, ha resaltado la importancia e impacto que tiene el aprovisionamiento del insumo de manera oportuna y en las cantidades requeridas. La investigación ha mostrado que ese impacto es tangible en incrementos en el rendimiento y productividad de los cultivos cuando se tecnifica el riego. El Cuadro 1 muestra que sin importar el nivel de inversión, la tecnificación del riego incrementa el rendimiento y productividad de los cultivos con relación al rendimiento y productividad promedio logrado a nivel de distrito de riego.

Ante la tarea de optimizar el uso del agua, la primera recomendación es dimensionar las áreas para que se ajusten a los volúmenes de agua disponible para satisfacer las demandas de los cultivos. Estas áreas deben compactarse en las cercanías de la red de conducción para evitar pérdidas de agua, preferentemente sobre terrenos con alta capacidad de retención de humedad para alargar los intervalos de riego. También es necesario establecer un plan de mejoramiento en el uso del agua dirigido a diferentes niveles de inversión (reconociendo

distinción en posibilidades económicas de los productores). Como premisa a esto se asienta que la tecnificación del riego no implica gran inversión si se planea acorde a las posibilidades económicas del productor. Como guía se presenta el Cuadro 2 en el que se indica, por ejemplo, que un productor de bajos recursos pudiera incrementar la eficiencia en el uso del agua si realiza un trazo adecuado del sistema de riego y sigue una receta de riego acorde a los gastos disponibles. Se ha demostrado que observando estos pasos se obtienen eficiencias de aplicación comparables con los sistemas de riego a presión.

Las eficiencias de riego parcelario dependen en gran medida del método o sistema de riego utilizado. Por lo general se piensa que el riego por goteo es más eficiente que el riego por aspersión, y éste más eficiente que el riego por gravedad; con eficiencias de aplicación promedio del orden del 90, 75 y 60 por ciento, respectivamente (FAO, 1989). Sin embargo, dichos valores podrían ser mucho más bajos en un sistema de riego mal diseñado y operado. Investigadores de diversas instituciones han publicado eficiencias de aplicación para diversos sistemas de riego (Solomon, 1988; Rogers *et al.*, 1997).

En el Cuadro 3 se presentan rangos típicos de la eficiencia de aplicación para diferentes sistemas de riego reportados por Rogers *et al.*, 1997, investigador de la Universidad de Kansas. El valor dentro de cada rango para un caso específico depende del nivel de tecnificación del diseño y la operación del sistema.

Cuadro 1. Productividad del agua bajo diferentes métodos de riego¹.

Cultivo	Lámina de riego tecnificado			Rendimiento			Productividad					
	Lámina de Riego (m)	Superficial	Aspersión	Goteo	Distrito de Riego	Superficial	Aspersión	Goteo	Distrito de Riego	Superficial	Aspersión	Goteo
Alfalfa	2.41	1.90	1.70	1.30	16.15	22.80	27.2	32.50	0.67	1.20	1.60	2.50
Maíz forrajero	1.25	1.00	0.62	0.72	15.63	25.00	21.7	30.02	1.25	2.50	3.50	4.17
Maíz Grano	1.25	1.00		0.63	2.00	10.00	0.00	9.01	0.16	1.00		1.43
Chile	1.40			0.89	11.06	0.00	0.00	54.29	0.79			6.10
Melón	0.97	0.60		0.64	22.50	40.02	0.00	53.95	2.32	6.67		8.43
Sandía	0.97	0.80		0.51	28.13	30.40	0.00	67.83	2.90	3.80		13.30
Frijol	0.85	0.52		0.48	0.85	2.08	2.11	0.00	0.10	0.40		0.44
Girasol	0.80	0.63			1.60	3.97	0.00	0.00	0.20	0.63		
Cártamo	0.80	0.53			1.12	2.39	0.00	0.00	0.14	0.45		
Trijo	0.90	0.72		0.70	3.60	5.98	6.30	0.00	0.40	0.83		0.90
Trébol		1.20				14.04	0.00	0.00		1.17		
Aleandrino												
Tomate	1.20	1.20		0.72	18.00	0.00	0.00	99.94	1.50	0.13		13.88
Nogal	1.40	0.58		1.12	1.12	0.75	2.58	0.00	0.08	0.23		
Sorgo forrajero	1.20	0.54			13.80	25.38	0.00	0.00	1.15	4.70		
Algodón	1.20			0.63	3.96	0.00	0.00	5.99	0.33	0.87		0.95

¹Resultados de investigación del CENID-RASPA.

Cuadro 2. Algunas acciones del plan de mejoramiento acorde al nivel de inversión.

Nivel de Inversión	Conservación			Mejoramiento parcelario				Riego alta tecnología
	Red principal	Estructuras aforo	Conducción parcela	Nivelación	Trazo riego	Receta riego	Drenaje	
Baja					X	X		X
Media			X	X	X	X		X
Alta	X	X	X	X	X	X	X	X

Cuadro 3. Rangos típicos de la eficiencia de aplicación en algunos sistemas de riego (De la Peña y Llerena, 2001).

Sistema de riego	Eficiencia de aplicación (%)
<i><u>Riego por gravedad</u></i>	
Melgas a nivel	60-95
Melgas	60-90
Surcos	50-90
Riego pulsado	60-90
<i><u>Riego por aspersión</u></i>	
Portátil Manual	65-80
Cañón viajero	60-70
Pivote central y lateral	70-95
Sistema fijo	70-85
<i><u>Riego por goteo y micro aspersión</u></i>	
Con emisores puntuales	75-95
Con emisores en línea	70-95

Para garantizar una eficiencia adecuada en el riego, es necesario observar ciertas recomendaciones generales como:

- No preparar el suelo con humedad excesiva
- Borrar el zanjón que deja el implemento trazador de bordos
- Trazar las unidades de riego con una pendiente y longitud adecuadas para evitar erosión acorde al Cuadro 4
- Utilizar el gasto máximo permisible acorde a la textura del suelo
- El tiempo de riego es función del gasto disponible, la lámina por aplicar y las dimensiones de la unidad de riego (surco o melga).

Cuadro 4. Longitudes de riego recomendadas acorde a la pendiente y textura del suelo (De la Peña y Llerena, 2001).

Pendiente (%)	Textura del suelo		
	Ligera	Media	Pesada
0-0.5	50-200	150-350	100-350
0.5-1.5	50-150	150-200	200-400
1.5-3.0	50-150	200-300	200-450

Otros aspectos importantes son las mejoras en la infraestructura hidráulica de los distritos de riego al menos a nivel de: deshierbes, desasolves, conservación de taludes y mantenimiento de canales revestidos. También es necesario, en el proceso de optimizar las cantidades restrictivas de agua para riego en los distritos del país, considerar el componente de capacitación en los diferentes niveles de la toma de decisiones.

BIBLIOGRAFÍA

- Catalán V., E., I. Sánchez C., M. Villa C., M. Inzunza I., y S. Mendoza M. 2005. Aplicación computacional en red para la estimación de las demandas de agua y la calendarización de los riegos de los cultivos en los distritos de riego del país. *AGROFAZ 5*: 51-58.
- Chvatal, V. 1983. *Linear programming*. W.H. Freeman & Co. New York.
- Comisión Nacional del Agua. 1992. *Ley de aguas nacionales y su reglamento*. 206 pp. México. D. F.
- Comisión Nacional del Agua. 2004. *Estadísticas del agua en México*. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. http://www.cna.gob.mx/ecna/espaniol/estadisticas/central/cap3_situación_de_recursos.pdf.
- Cruz, A., y G. Levine. 1998. *El uso de las aguas subterráneas en el distrito de riego 017, Región Lagunera, México*.
- De la Peña, I. y F. Llerena V. 2001. *Manual del Uso y Manejo del Agua de Riego*. Tercera Edición. México, D. F. 216 pp.
- FAO. 1989. *Irrigation water management: Irrigation scheduling*. Training manual No. 4. Rome Italy.
- Heilman, P., J. Stone, I. Sanchez C., H. Macias R., and R. S. Mann. 2006. *Working Smarter: Research and decision support Systems in Mexican Agriculture. Modeling and Remote Sensing Applied to Agriculture*. Book Chapter. Texas A&M. p. 211–236. Unite States of America.
- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. 2006. (<http://inifap.gob.mx>).
- Lane, L. J., J. C. Ascough, and T. E. Anderson. 1991. *Multiobjective decision theory-decision support systems with embedded simulation models*. Proceedings ASCE. National conference on irrigation and drainage engineering. July 1991. Honolulu, Hi. p. 445–451.

- Lane, L. J., D. S. Yakowitz, J. J. Stone, M. Hernandez, P. Heilman, B. Imam, J. Masterson and J. Abolt. 1994. A multiple objective decision support system for the USDA water quality initiative. SWRC. Tucson AZ. 8 pp.
- Lawrence, P. A., J. Robinson, and R. Eisner. 2001. A decision environment: going beyond a decision framework to improve the effectiveness of decision making in natural resource management. p. 1613-1618. In Ghassemi F. (ed) International Congress on Modeling and Simulation (MODSIM 2001) Canberra, ACT Australia.
- Lacavex, E. C. 2006. Programación lineal. Universidad de Monterrey. (<http://www.udem.edu.mx/udem/profesores/clacavex/plineal>).
- Macías R., H. 2005. Uso de un sistema para el auxilio en la toma de decisiones relativas al manejo integral del agua en el D.R. 017, Coah. y Dgo. Tesis de Maestría en Ciencias. Universidad Autónoma de Chapingo. Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas. 32 pp. Bermejillo, Durango, México.
- Murtagh, B. A. 1981. Advanced linear programming: Computation and practice. Mc Graw-Hill New York.
- Rogers, D. H., F. R. Lamm, A. Mahbub, T. P. Trooien, G. A. Clark, P. L. Barnes, and K. Mankin. 1997. Efficiencies and water losses of irrigation systems. Irrigation Management Series Publications. Kansas State University, Kansas.
- Sánchez C., I. 2005. Fundamentos Para el Manejo Integral del Agua. Una Aproximación de Simulación de Procesos. Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua-Suelo-Planta-Atmósfera. CENID RASPA INIFAP: 272 pp. Gómez Palacio, Durango. México.
- ____J. Estrada A., and G. González C. 2002. Irrigation technology in the irrigation districts of México. Water International 27: 578-584. United States of America.

- ____ H. Macías R., G. González C., S. Mendoza M., M. Inzunza I., J. Estrada A. y P. Heilman. 2006. Planeación multiobjetivo en los distritos de riego en México. Aplicación de un sistema de auxilio para la toma de decisiones. Artículo aceptado para publicación. Ingeniería Hidráulica en México. Vol. XXI No. 3. julio–septiembre. 15 pp. México.
- ____ H. Macías R., P. Heilman and R. Mann. 2005. Planning for increasing irrigation efficiency in Mexico. Institutions for sustainable watershed management: reconciling physical and management ecology in the Asia Pacif. AWRA summer Specialty conference. Honolulu Hawai. pp 1-5. United States of America.
- Schringer, A. 1986. Theory of linear and integer programming. John Willey & Sons Inc. New York.
- Solomon, K. H. 1988. Irrigation systems and water application efficiencies. Center for Irrigation Technology research notes, CAIT Pub #880104. California State University, California.
- Taha, H. A. 1982. Operations Research. An Introduction. Third Edition. 848 pp. United States of America.

Se agradece la colaboración de la Dirección General de
Distritos de Riego y de la Comisión Nacional del
Agua por las facilidades otorgadas para
la realización del presente proyecto;
de igual manera a los distritos de
riego del noroeste del país.

Comité Editorial del **CENID-RASPA**

Presidente: Dr. José Antonio Cueto Wong

Secretario: Ing. Raquel Anguiano Gallegos

Vocales: Dr. Ignacio Orona Castillo
Dr. Guillermo González Cervantes

Editor Técnico:

Dra. Magdalena Villa Castorena

Esta publicación se terminó de imprimir en el mes de
junio del 2006 en los talleres del Grupo Colorama
de Torreón, Coahuila.

Su tiraje consta de 500 ejemplares

Editor: Ing. Raquel Anguiano Gallegos



CENID-RASPA

Km 6.5 margen derecha canal Sacramento

Gómez Palacio, Durango. MÉXICO.

Apdo. Postal 41, Cd. Lerdo, Dgo.

Tels. y Fax: 01 (871) 719-10-76, 719-10-77 y 719-11-34

e-mail: sanchez.ignacio@inifap.gob.mx