Revista Chapingo Serie Zonas Áridas
E-ISSN: 2007-526X
rchsza@chapingo.uruza.edu.mx
Universidad Autónoma Chapingo
México

Macías Rodríguez, H.; Sánchez Cohen, I.; Catalán Valencia, E. A.
SISTEMA SOPORTE DE DECISIONES PARA EL MANEJO INTEGRAL DEL AGUA EN EL DR 017, COAHUILA Y DURANGO, MEXICO
Revista Chapingo Serie Zonas Áridas, vol. VI, núm. 1, 2007, pp. 77-89
Universidad Autónoma Chapingo
Durango, México

Disponible en: http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=455545068009

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

Sistema de Información Científica
Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

SISTEMA SOPORTE DE DECISIONES PARA EL MANEJO INTEGRAL DEL AGUA EN EL DR 017, COAHUILA Y DURANGO, MEXICO

A DECISION SUPPORT SYSTEM FOR INTEGRATED WATER MANAGEMENT IN THE IRRIGATION DISTRICT NO. 017, COAHUILA AND DURANGO, MEXICO

H. Macías Rodríguez, I. Sánchez Cohen, E. A. Catalán Valencia

CENID-RASPA INIFAP km. 6 + 500 margen derecha canal principal sacramento. Gómez Palacio, Dgo. CP 35140. Tel. 01 (871) 7 19 10 76 Fax. Ext. 106

RESUMEN. Se hace la propuesta de la aplicación de un Sistema Soporte de Decisiones (DSS) en la operativa del DR 017 Coah. y Dgo., para incrementar la productividad del agua de riego. Acorde a objetivos y alternativas consensuadas por los usuarios, se evaluaron tres criterios de ordenación jerárquica para toma de decisiones: técnico, económico y social. Acorde a los análisis, si se tomara una decisión conforme a un criterio técnico, las mejores alternativas serían dar precio real al agua y rehabilitar la infraestructura hidráulica con escores de 0.87 y 0.88 respectivamente. Por otro lado, el criterio económico arroja que las alternativas viables serían dar precio real al agua (0.88) y asignar el agua por dotación volumétrica (0.80). Si se considerase el criterio social, las mejores alternativas serían dar precio real al agua (0.88) y utilizar conocimiento base para la realización de agronegocios (0.80). Invariablemente, la mejor alternativa para incrementar la productividad del agua, bajo cualquiera de los tres criterios de decisión sería dar valor real al agua.
PALABRAS CLAVE: sistema soporte de decisiones, productividad del agua, enfoque multi-objetivo, alternativas de decisión, criterios de decisión.

SUMMARY. A proposal for using a Decision Support System in the Irrigation District 017 for increasing water productivity was evaluated. According to objectives and alternatives proposed by the irrigation water users, three hierarchical orders of criteria containing alternatives were evaluated: technical, economical and social. According to our findings if the technical criteria were used, the best alternative would be to price water followed by hydraulic infrastructure rehabilitation scoring 0.87 and 0.88 respectively. If the economic criteria were used scores would be 0.88 and 0.80 for pricing the water and deliver water by volume respectively. Social criteria yield best alternatives as pricing the water and agribusiness with scores of 0.88 and 0.80 respectively. Overall, the best alterative is to price water under any order of criteria giving water its real price value.
KEY WORDS: decision support system, water productivity, multi-objective approach, decision alternatives, decision criteria.

INTRODUCCION

El Distrito de Riego (DR) 017 comprende los municipios de Gómez Palacio, Lerdo, Tlahualilo, Nazas, Rodeo, Mapimí, San Juan de Guadalupe y Simón Bolívar, localizados en la porción noreste del estado de Durango; así como los municipios de Torreón, Matamoros, San Pedro de las Colonias, Francisco I. Madero y Viesca, localizados en la porción sureste del estado de Coahuila. Se ubica geográficamente en las Cuencas Centrales del Norte, específicamente en la Región Hidrológica (RH) 36 que se conforma por las cuencas de los ríos Nazas y Aguanaval. El DR 017 está integrado por 20 módulos de riego, de los cuales 17 corresponden al Río Nazas y tres al Río Aguanaval, con una superficie total de 223,822 ha dotadas y un volumen anual concesionado de 1,024 millones de m³ para regar 93,409 ha para beneficio de 37,956 usuarios.

Aprovechamiento de los escurrimientos de la parte correspondiente al Río Nazas, el DR 017 cuenta con dos presas de almacenamiento importantes: la presa Lázaro Cárdenas con una capacidad total de 4,438 millones de m³ y una capacidad de conservación de 2,873 millones de m³ y la presa Francisco Zarco, con una capacidad total de 436 millones de m³ y una capacidad de conservación de 365 millones de m³, además de 40 presas derivadoras. En lo que

corresponde al Río Aguanaval, no se cuenta con presas de almacenamiento, únicamente se dispone de 11 presas derivadoras (CNA, 2000).

La Comisión Nacional del Agua (CNA), establece que los principales problemas del DR 017 son la sobreexplotación del acuífero, la tendencia a exceder la superficie de riego autorizada y la baja eficiencia global en el uso y manejo del agua. Tan solo por este ultimo concepto se estima que las pérdidas anuales de agua por conducción, distribución y aplicación son superiores al 63% del volumen total disponible (CNA, 2000; CNA, 2002). El uso ineficiente del agua conlleva a una baja sustentabilidad del distrito de riego de acuerdo a los siguientes indicadores: baja productividad, desperdicio del agua, conflictos sociales, degradación del suelo, conservación y rehabilitación insuficiente de infraestructura hidráulica, falta de una cultura del agua, sobreconcesión de derechos, insuficiente tecnificación, falta de seguridad jurídica de derechos de agua, falta de cultura ambiental e insuficiente planeación y coordinación intersectorial (CNA, 2003).

El escenario planteado señala que el solo incremento de la eficiencia de riego no resolverá el problema de la baja eficiencia global de uso de agua, por tratarse de un punto de vista uniobjetivo que lleva implícito el riesgo de tomar decisiones con poco impacto. Por lo tanto, la restauración de ecosistemas deteriorados no se logrará solo por medio de normatividad, cambios en las leyes, grandes inversiones o argumentaciones burocráticas. La recuperación de estas áreas, solo es posible si participan en su planeación los acreedores de intereses afectados y se considera la integración de factores económicos, ecológicos y sociales (Sánchez, 2001).

Recientemente han surgido, tendencias en todas las áreas del pensamiento teórico vinculadas al desarrollo del ser humano, orientadas en alcanzar metas cada vez mas integrales y sistemáticas. Estas tendencias se sintetizan especialmente en el concepto asociado al denominado desarrollo sustentable. En su forma mas simplificada se relaciona con un equilibrio entre la equidad, la sustentabilidad ambiental y el crecimiento económico (Dourojeanni y Jouravlev, 2002).

El desarrollo sustentable que se realiza en diferentes regiones, produce experiencias que pueden extrapolarse y medirse, ya que si se asocian con unidades geográficas como son las cuencas hidrológicas, se pueden realizar programas de manejo integral de los recursos naturales, considerando la causa-efecto de los procesos productivos involucrados. De acuerdo con Cardoza (2000), a partir de la década de los ochentas se comienza a insistir en la necesidad de realizar un manejo integral de la cuencas hidrológicas de México, conceptuando a éstas como unidades básicas para la planificación y desarrollo de los recursos naturales.

En el manejo integral de los recursos naturales, es necesario reconocer tanto las características del ciclo hidrológico y su interacción con otros recursos naturales y los ecosistemas, partiendo del punto central de que el agua es un recurso finito y que su uso sustentable no puede lograrse si se analizan y se administran por separado las demandas de los diferentes usos, incluyendo el ambiental, o si estas demandas no se contrastan en su conjunto con la oferta limitada del líquido (Nouvelot, 1997; Sánchez, 1995).

Sánchez (1994) indica que las cadenas productivas ocurren bajo ambientes agroecológicos distintivos que definen su potencial. Tal ambiente se da por una serie de interacciones de clima, suelo y economía principalmente; de estos, el clima define por mucho la disponibilidad del recurso agua. Por lo que una cuenca debe ser definida por la capacidad de generar el recurso agua en función de sus características fisiográficas. Las técnicas de planeación multiobjetivo para la toma de decisiones permiten analizar el entorno productivo considerando agua, suelo, planta, clima y las acciones del hombre. Aspectos que deben ser considerados necesariamente en el manejo integrado de cuencas hidrológicas (Sánchez, 2000).

La importancia de la producción de alimentos y fibras agropecuarios a nivel mundial, así como las instituciones de investigación agrícola se enfrentarán a retos difíciles en el siglo xx?, para desarrollar estrategias que concurran a satisfacer la demanda de dichos productos y uno de ellos es la realización de sus actividades de investigación con presupuestos cada vez más restringidos, para lo cual hay dos posibles soluciones: trabajar más intensamente o trabajar más inteligentemente. En el corto plazo es posible hacer progresos parciales trabajando más intensamente, pero en el largo plazo es más probable que las instituciones realicen progresos sostenidos trabajando más inteligentemente (Heilman, *et al*., 2003). Los avances en la tecnología de la informática son una herramienta potencial que podría ayudar a las instituciones a trabajar en forma más inteligente para incrementar su productividad y la de los sistemas de producción en los que se involucran.

Los programas de cómputo diseñados explícitamente para ayudar en forma inteligente a tomar las mejores decisiones en la solución de problemas son llamados Sistemas Soporte de Decisiones (DSS por sus siglas en ingles). Uno de estos programas es el desarrollado por el servicio de investigación en agricultura de los Estados Unidos de Norteamérica, cuya interfase

amigable con el usuario fue desarrollada por el Departamento de Recursos Naturales de Queensland, Australia, considerando bases de datos, modelos de optimización en hidrología, erosión, químicos, nutrición, economía y el modelo de decisión como herramienta, denominado sistema soporte de decisiones, también llamado facilitador (Lane *et al*., 1991).

El programa del DSS apoya la toma de decisiones individuales o grupales y utiliza alternativas de decisión, una jerarquización de los rangos de los criterios de decisión, funciones escore y programación lineal para identificar las mejores alternativas de decisión para el manejo de un problema determinado. El modelo de decisión planteado se basa en un enfoque multiobjetivo el cual permite conciliar conflictos de intereses, ya que un mismo plan de manejo de recursos naturales puede reforzar un subproceso de interés, pero puede a su vez afectar adversamente otros procesos (Leonard y Knisel, 1988).

Estas herramientas obviamente no son una panacea, pero sí proporcionan beneficios en algunas situaciones pero no en todos los procesos actuales de investigación. Sin embargo, conforme los costos de la tecnología de la información continúen descendiendo, los beneficios de la tecnología DSS superarán a los costos en muchos procesos de investigación y se incrementarán las ventajas de aplicar el DSS en la agricultura. Por lo que el objetivo de la investigación fue aplicar el DSS para apoyar en la toma de decisiones en relación a los problemas que enfrentan los sistemas de producción agrícola de México bajo condiciones de riego, tomando el caso particular del Distrito de Riego (DR) 017 Coahuila y Durango.

MATERIALES Y METODOS

Localización geográfica

Por su ubicación en el gradiente hidrológico de la Región Hidrológica (RH) No. 36, el Distrito de Riego 017 se constituye como el principal consumidor de los embalses de agua de las presas Lázaro Cárdenas y Francisco Zarco y de las reservas subterráneas. El volumen total de agua extraído es de 2,177 millones de m^3 $año^{-1}$ de los cuales el 58% proviene del subsuelo y el 42 % de aguas superficiales. De estos, el 87% se utiliza en la agricultura, el 9% en uso público, el 2% en uso industrial y el 2% restante en aspectos pecuarios (CNA, 2003).

Clima

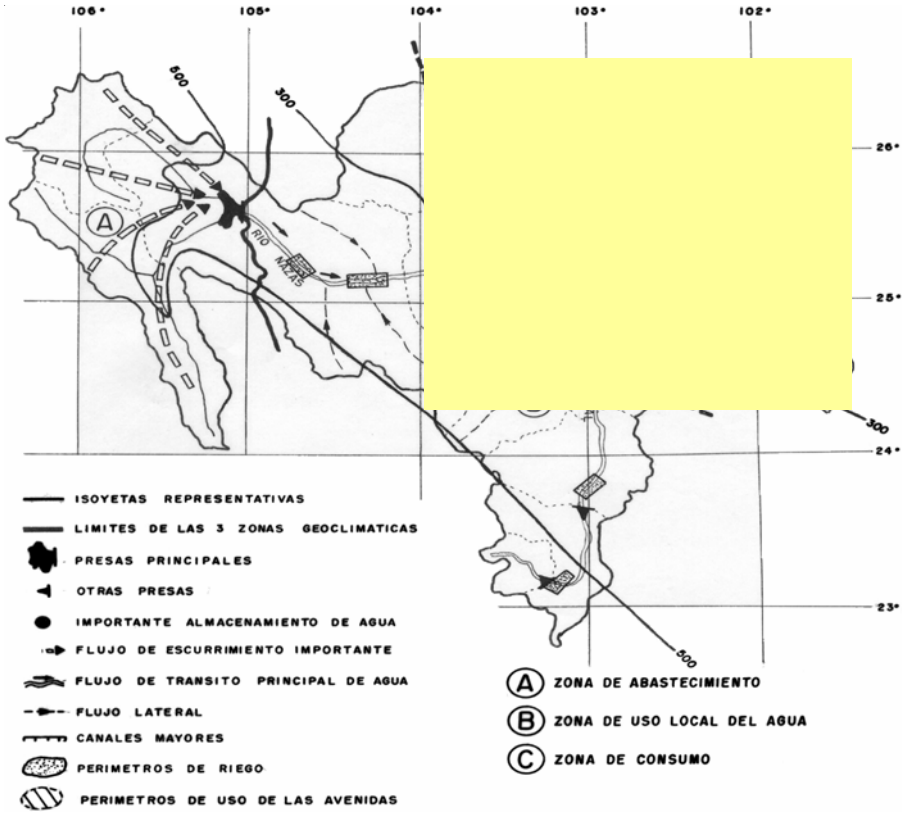


Figura 1. Región Hidrológica No. 36. Cuenca de los ríos Nazas y Aguanaval. Manejo de Recurso Agua

La RH No. 36 se compone de cuencas endorreicas con elevación promedio de 1,100 metros sobre el nivel del mar (msnm) en las planicies, alcanzando hasta 3,700 msnm en las cadenas montañosas. El clima se clasifica como seco templado con temperatura media anual de 17.9 °C y precipitación media anual de 370 mm (CNA, 2003). La región comprende los estados de Durango, Zacatecas y Coahuila y se extiende desde la Sierra Madre Occidental, al oeste, hasta las lagunas de Mairán y Viesca, al este, en una superficie aproximada de 92 000 km². Presenta un clima que va de subhúmedo en la sierra a árido en las lagunas, las cuales presentan la extremidad meridional del desierto de Chihuahua. La precipitación anual varía de 200 a 900 mm en la dirección este-oeste, según puede apreciarse en la Figura 1. (Loyer *et al.,* 1993; Descroix *et al*., 1997).

La investigación se desarrolló con información generada en el área de influencia del DR 017 Comarca Lagunera, región agrícola a la que se le considera la cuenca lechera más importante del país. Sin embargo, el consumo de agua de este perímetro sobrepasa, desde hace mas de 40 años, el volumen disponible de los escurrimientos. Este déficit se complementa mediante la extracción directa del acuífero localizado en el área de influencia del DR 017. El cual tiene una dinámica anual de extracción y recarga de 1263 y 841.8 millones de m³ respectivamente, de donde se infiere que existe una sobreexplotación de 421.2 millones de m³, lo que ha ocasionado un fuerte abatimiento del nivel del acuífero de más de 1.5 metros anuales a partir del año de 1965 (CNA, 2002; PIFSV, 1991).

El área irrigada del DR 017 varía de acuerdo al volumen de agua almacenado en la presa Lázaro Cárdenas al inicio del ciclo de riegos, el cual ha mostrado variaciones importantes a través de las últimas décadas (Fig. 2). En un año típico se tienen alrededor de 1,000 millones de m3 de agua almacenada para una superficie de riego de 60,000 ha aproximadamente. La Figura 3 señala el

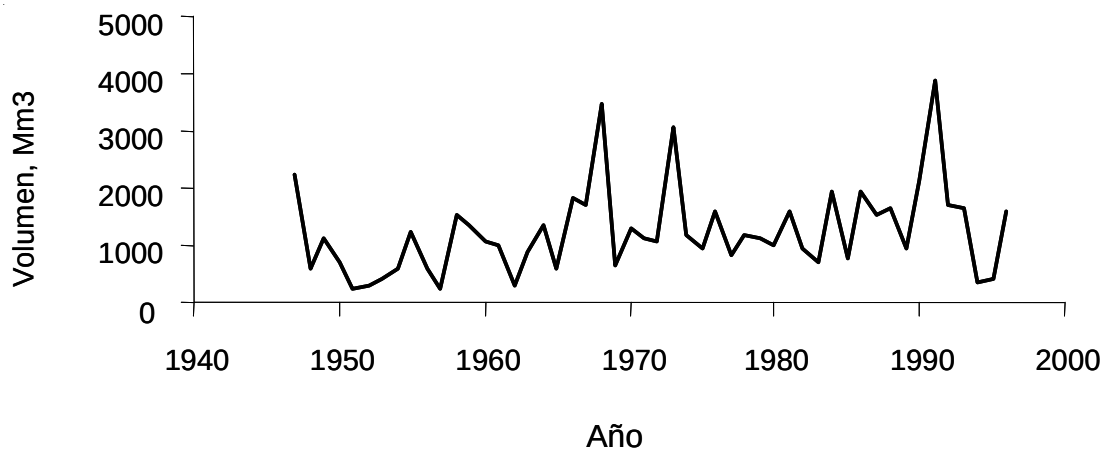


Figura 2. Variación del volumen de agua almacenado en la presa Lázaro Cárdenas del Distrito de Riego 017 Comarca Lagunera (CNA, 2003).

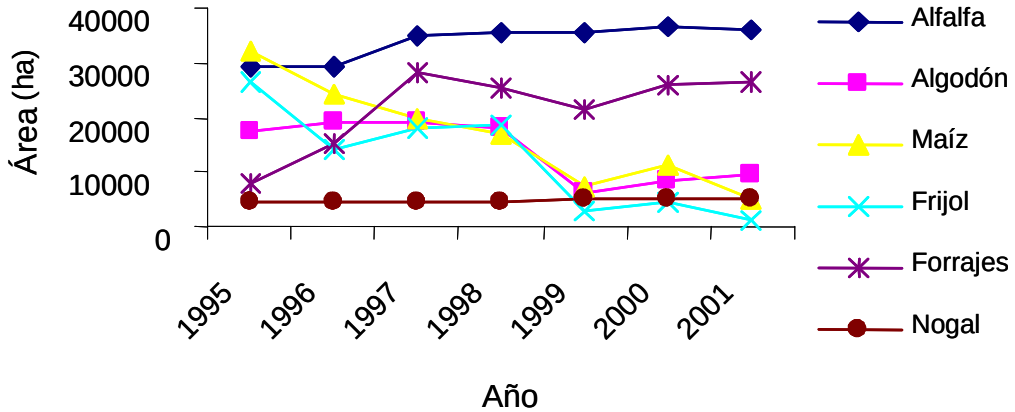


Figura 3. Variación del área sembrada para diferentes cultivos en el Distrito de Riego 017, Comarca Lagunera (CNA, 2003).

comportamiento del área irrigada en el distrito de riego con los cultivos más representativos, tales como alfalfa, algodón, maíz, frijol, forrajes y nogal.

Manejo de información

De acuerdo a la CNA (2002), el DR 017 Comarca Lagunera opera con una eficiencia global en el uso y manejo del agua del 37%. Ante esta situación, la CNA a través de la Gerencia Regional de las Cuencas Centrales del Norte se propuso conformar un Grupo de Planeación y Coordinación (GPC) a partir del mes de febrero del 2003. Para esto convocó a expertos en esta problemática, provenientes de centros de investigación, universidades, funcionarios de los gobiernos estatal y municipal, consejo de cuencas, delegación estatal de la SAGARPA, así como a representantes y usuarios del distrito de riego para desarrollar mediante su participación el proceso de "Consolidación y Desarrollo del Distrito de Riego 017". La información utilizada es el resultado del esfuerzo del grupo mencionado para la aplicación de un concepto de trabajo integral y consistente para el DR 017, que permita hacer un uso eficiente del agua conforme a la dinámica del comportamiento de la Región Hidrológica No 36. Dicha información se concentra de acuerdo a la problemática y las posibles alternativas de solución que el GPC diagnosticó en torno a la baja eficiencia del uso del agua del Distrito.

Metodología

El problema de conciliar intereses es complejo, los usuarios de las cuencas hidrológicas manifiestan múltiples objetivos con el consecuente impacto en el corto plazo (Sánchez, 2004). La teoría de decisión multiobjetivo viene a solventar parcialmente la situación al considerar todos los intereses, opciones e impactos de posibles acciones (Heilman *et al*., 2003).

El Sistema Soporte de Decisiones utilizado en el presente estudio, DSS, es un software que apoya la toma de decisiones individuales o grupales. Para esto se utilizan alternativas de decisión, una jerarquizacion de los rangos de los criterios de decisión, funciones de escore y programación lineal para identificar las mejores alternativas de decisión para el manejo de un problema determinado (Lawrence *et al.,* 2002).

El método aplicado en el DSS se fundamenta en el trabajo de Yakowitz *et al*. (1993) con el siguiente raciocinio: suponiendo que existen *n* criterios u objetivos que los tomadores de decisiones (i.e productores, técnicos, jefes de distrito, comités hidráulicos) han jerarquizado en un determinado orden de importancia. Si v_{ij} es el escore de la alternativa *j* evaluada con respecto al criterio *i* en el orden de importancia, y w_i es un factor de ponderación asociado con el criterio *i*, entonces el escore mas alto (ó bajo) y el mejor (ó peor) para la alternativa *j* (V_j) en congruencia con el orden de importancia, se encuentra resolviendo el siguiente problema con programación lineal descrito para los factores w_i *:*

$$\max(\min) V_j = \sum_{i=1}^{n} w_i v_{ij} \qquad \ldots(1)$$

sujeto a las restricciones siguientes :

$$\sum_{i=1}^{n} w_i = 1$$

$$w_1 \geq w_2 \ldots \geq w_n \geq 0$$

De la ecuación 1 para ambos casos minimizar ó maximizar, la primer restricción normaliza la suma de los factores de ponderación w_i a 1; de igual manera, la segunda restricción hace que la solución sea consistente con el orden de importancia y fuerza a que dichos factores sean positivos. La solución de los máximos y mínimos arroja el rango completo de posibles escores dado el orden de importancia. Así, cualquier vector de factores w_i consistente con el orden de importancia producirá un escore que se ubica entre el mejor y peor escore. La Figura 4 muestra un ejemplo de cómo procede el algoritmo.

Yakowitz *et al.* (1993), también mostraron que el peor y mejor escore puede ser obtenido en forma cerrada resolviendo los siguientes *k* problemas, empezando con el criterio de rango más alto añadiendo criterios hasta que todos sean considerados:

$$v_{kj} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^{n} v_{ij} \qquad \ldots(2)$$

Así, el mejor y peor escore para la alternativa *j* seleccionada de los resultados será:

$$Mejor = MV_j = \max_k \{v_{kj}\}, \qquad \ldots(3)$$

$$Peor = PV_j = \min_k \{v_{kj}\}$$

En un estudio posterior, Yakowitz y Weltz (1998) mejoraron el algoritmo básico descrito anteriormente al permitir agrupar subobjetivos bajo categorías mas amplias. Este agrupamiento permite introducir posteriormente otros objetivos bajo el criterio que corresponda .

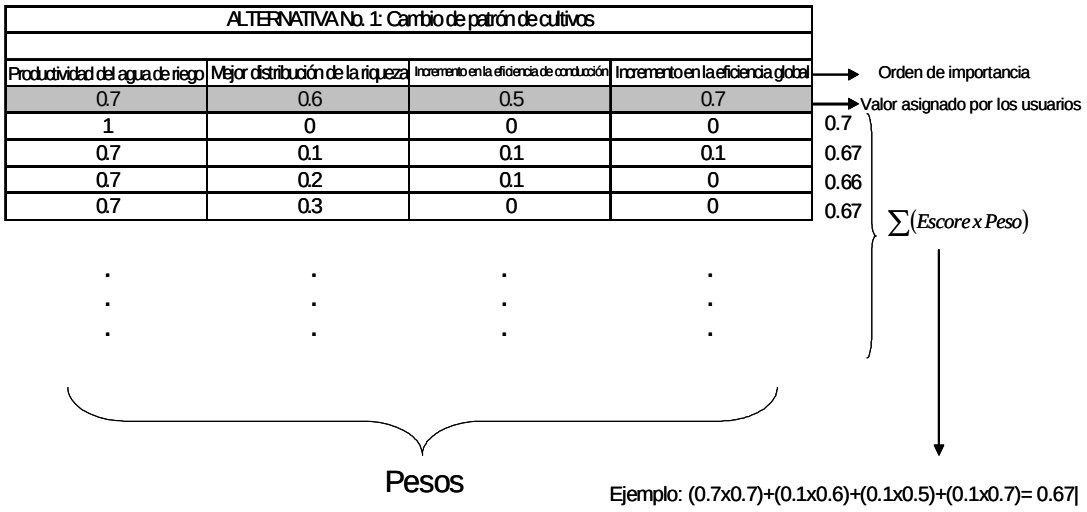


Figura 4. Ejemplo del planteamiento del problema a resolver mediante programación lineal.

Identificación del problema

El punto central de este proceso es la identificación del problema acerca del cual se tomará una decisión. Para el presente caso el problema central de análisis y discusión fue: La productividad del agua de riego en el que se ha detectado un inadecuado uso de este recurso en el Distrito de Riego 017, por lo que es necesario proponer y evaluar alternativas de solución bajo criterios de calidad.

METODOLOGIA

Consulta de expertos

Definido el problema, se consultó a personas especialistas en el tema, a los cuales el algoritmo denomina expertos, integrados en esta investigación en el Grupo de Planeación y Coordinación (GPC). La matriz de problemas generada de esta reunión se presenta en la Figura 5, donde se muestran la asociación

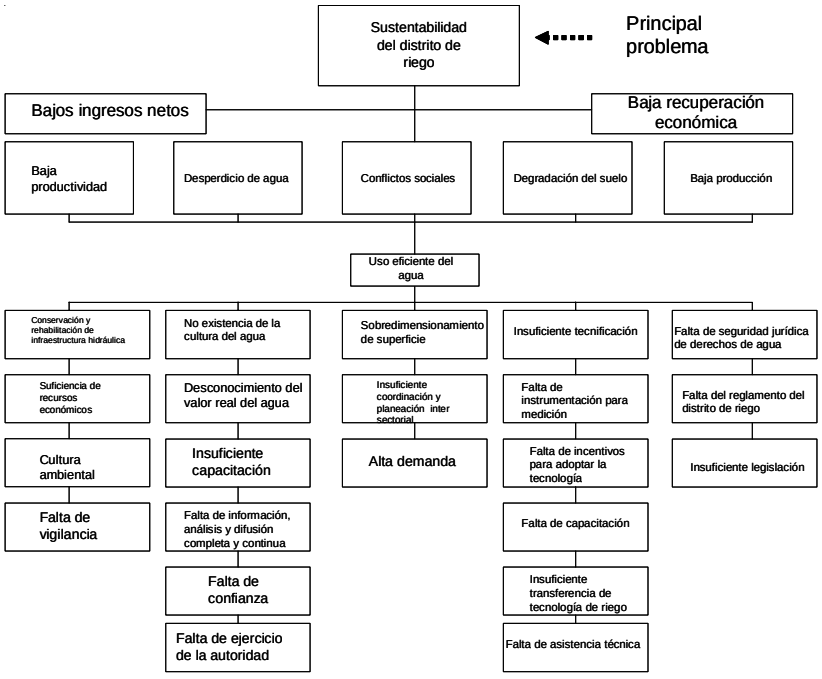


Figura 5. Árbol de problemas consensuados en el Distrito de Riego 017. Región Lagunera (CNA, 2003).

entre los problemas y sus respectivos objetivos; por ejemplo al problema de baja productividad se le asocia el objetivo o alternativa de "incrementar la productividad", etc.

Alternativas de solución

Para llegar a la toma de decisiones se plantearon varias alternativas o cursos de acción por los participantes con la finalidad de estar en posición de seleccionar la mejor. Se asumió que las personas involucradas en el proceso podrían ser capaces de contribuir con algunas de ellas. Una vez que se generó un listado de alternativas se procedió a documentar cada una de ellas, estableciendo el cómo fueron generadas, para ilustrar a aquellas personas que no hubiesen estado involucradas en las discusiones. El consenso decidió enfocarse en cuatro objetivos particulares:

- incrementar la productividad del agua de riego
- mejorar la distribución de la riqueza
- incrementar la eficiencia de conducción
- incrementar la eficiencia global del distrito de riego

En el contexto de los objetivos planteados, las alternativas se enfocaron a prevenir los conflictos del distrito por medio de la solución de problemas técnicos en el uso eficiente del agua, evitando el incremento en la concentración de la riqueza. Las alternativas propuestas se enfocaron primeramente a aspectos que están bajo el control del Distrito de Riego y son:

- Cambiar el patrón de cultivos hacia cultivos con menos requerimientos hídricos
- Cambiar a cultivos de invierno para reducir evapotranspiración
- Capacitar a usuarios del riego
- Rehabilitar de infraestructura hidráulica
- Compactar áreas y establecer mercado del agua
- Dar precio al recurso agua
- Asignar el agua por dotación volumétrica
- Generar conocimiento base para realizar agronegocios
- Seguir con la situación actual (continuar con lo usual)

Objetivos de evaluación

Los criterios u objetivos se refieren a la manera de evaluar las alternativas. En esta etapa se evaluaron las alternativas generadas con los criterios previamente definidos. En el DSS o "Facilitador", se conforma una tabla enlistando los criterios a lo largo de su encabezado y las alternativas en su lado izquierdo. El programa "Facilitador" provee de cuatro funciones para representar el impacto de cada alternativa en el objetivo (Cuadro 1). Esta metodología permite eliminar las unidades de las variables normalizándolas para que puedan ser comparadas entre sí. Generalmente se utilizan modelos de simulación para parametrizar variables de decisión. En el presente caso se utilizó una función tipo "mas es mejor lineal" en virtud de que se contó con la opinión de expertos del GPC, y para ello en las reuniones de planeación se preguntó a los mismos cómo evaluarían el impacto que tendría cada alternativa en los objetivos en una escala de 0.0 a 1.0, considerando un valor de 0.5 a la alternativa de "continuar con lo usual" (no hacer nada). (Cuadro 2).

En el caso de utilizar funciones escore distintas a la lineal, cuando se corren las evaluaciones, éstas se convierten en escore en el cuerpo de la misma tabla. Si se cuenta con suficiente información se podría contar hasta con 10 escores para el mismo número de alternativas. Si es poca la información disponible, se deberá contar con un mínimo de 3 escores para que por lo menos se considere cual es buena, media o mala. Es recomendable evaluar un criterio a la vez. El valor más alto del escore corresponde a la mejor alternativa y el mas bajo a la menos conveniente (Figura 6). Esto se ejercita con todos los criterios para establecerles sus escores correspondientes. Es conveniente tener una visión rápida del escore para poder detectar si se han considerado los principales factores del problema central, con ello se detectará qué información adicional se puede requerir para tener más confianza en las respuestas de evaluación.

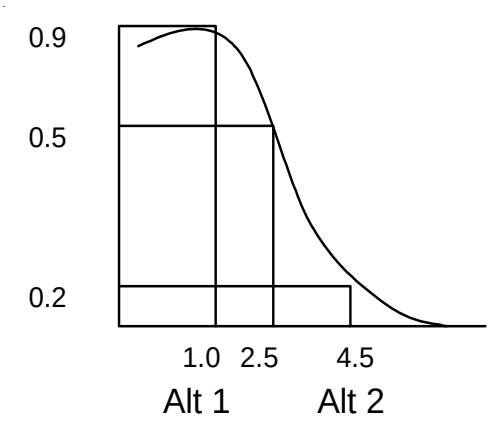
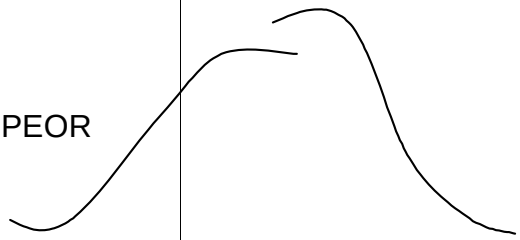
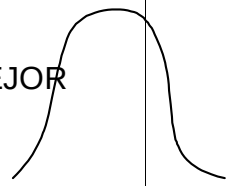
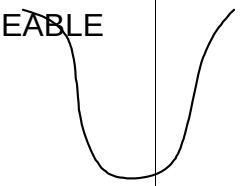
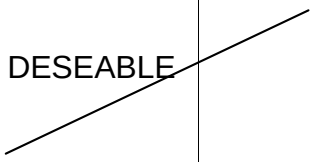


Figura 6. Ejemplo del proceso de evaluación de alternativas.

Cuadro 1. Descripción de funciones para calificar impacto.

Función de escore	Representación de la variable	Observaciones
MAS ES PEOR		Normalmente es usada para representar fenómenos de deterioro como contaminación, erosión, etc.
MAS ES MEJOR		Función utilizada para representar incrementos benéficos como rendimiento, ingreso, bienestar, etc.
RANGO DESEABLE		Cuando la variable de interés esta acotada por un mínimo y un máximo como rangos permisibles de contaminación, desechos, etc.
RANGO NO DESEABLE		Cuando la variable de interés esta acotada por un mínimo y un máximo como rangos no permisibles .
MAS ES MEJOR LINEAL		Función usada cuando existe la opinión del experto.

Cuadro 2. Escores de los efectos de las alternativas en los objetivos

	Seguir con situación actual	Cambiar patrón de cultivos	Cambiar a cultivos de invierno	Capacitar a usuarios del riego	Rehabilitar infraestructura hidráulica	Compactar áreas y establecer mercado del agua	Dar precio al recurso agua	Dotación volumétrica	Conocimiento base para agro negocios
Incrementar productividad del agua de riego	0.5	0.7	0.75	0.8	0.85	0.7	0.88	0.8	0.6
Mejorar distribución de la riqueza	0.5	0.6	0.5	0.5	0.6	0.75	0.7	0.7	0.8
Incrementar eficiencia de conducción	0.5	0.5	0.6	0.6	0.88	0.6	0.8	0.75	0.6
Incrementar eficiencia global	0.5	0.7	0.8	0.87	0.8	0.6	0.87	0.7	0.6

RESULTADOS Y DISCUSION

Criterios de evaluación

Al ordenar los criterios de jerarquización, significa que si se quisiera, se puede dar más peso en cualquiera de los objetivos, esto en congruencia con las ecuaciones 1 y 2 antes anotadas. Este procedimiento es útil para agrupar ideas relacionadas, si hay traslape en algunos criterios, es aconsejable incluirlos dentro de un mismo encabezado, evitando así que sean evaluados dos veces. Las alternativas pueden ser reevaluadas cambiando el orden jerárquico de los criterios; la finalidad sería ubicar los traslapes de alternativas al cambiar el orden. Este traslape daría luz sobre qué alternativa es la que conviene adoptar para la solución del problema expuesto. Para el presente caso, se evaluaron distintos ordenes jerárquicos de los criterios como se muestran en la Figura 7.

De la Figura 7 se desprende, que si se siguiera el criterio económico para tomar la decisión, la primera columna de la Figura 7 se debe leer como:

a) El criterio económico que involucra a la productividad del agua de riego aparece como el de mas alta jerarquía.

b) Al criterio económico le subyace el criterio técnico que involucra dos aspectos: Incremento en la eficiencia global e incremento en eficiencia en conducción.

c) El criterio social aparece en tercer lugar en esa ordenación jerárquica; este criterio involucra la mejor distribución de la riqueza.

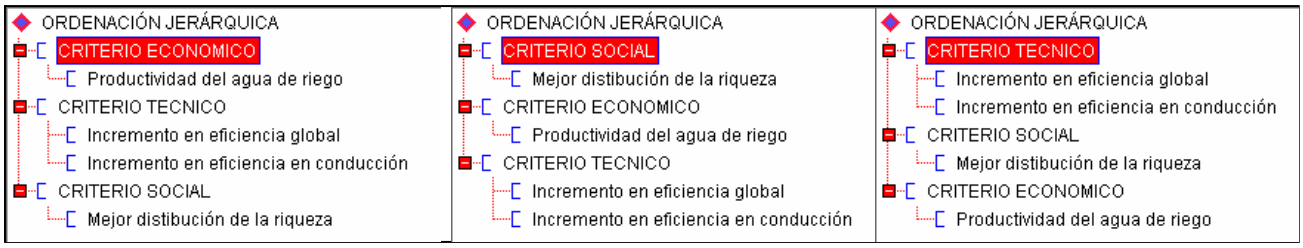


Figura 7. Ordenes jerárquicos ensayados

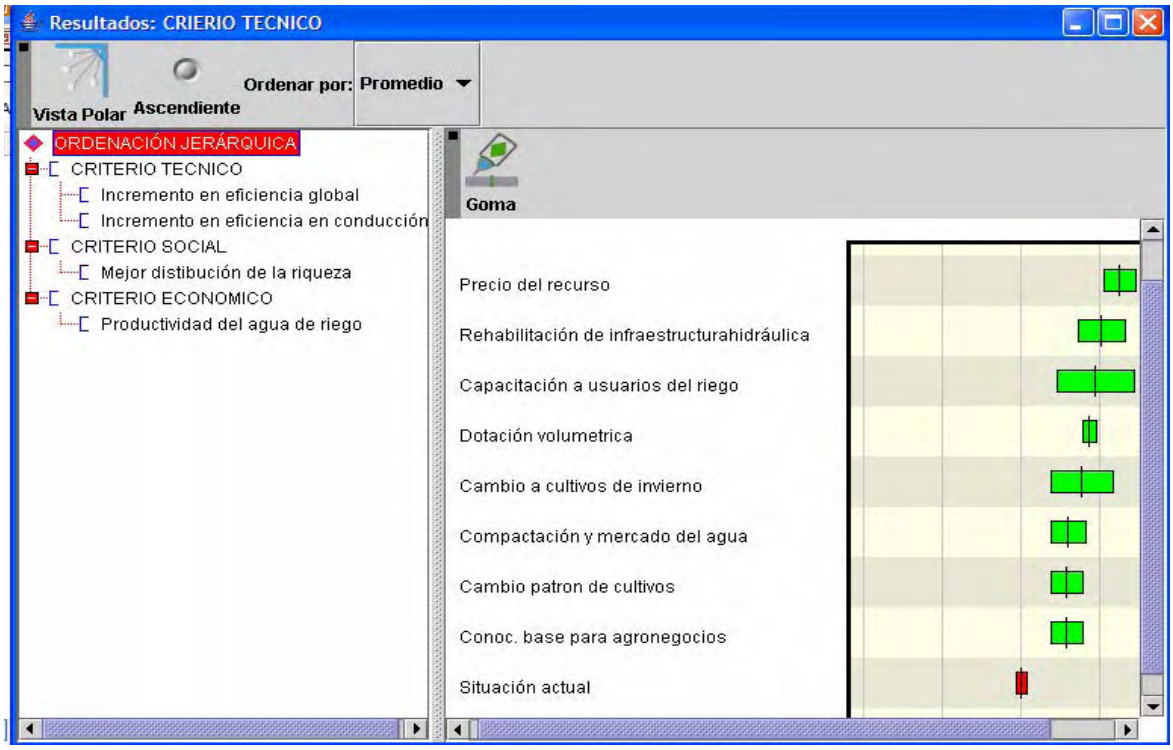


Figura 8. Alternativas optimizadas con el criterio técnico.

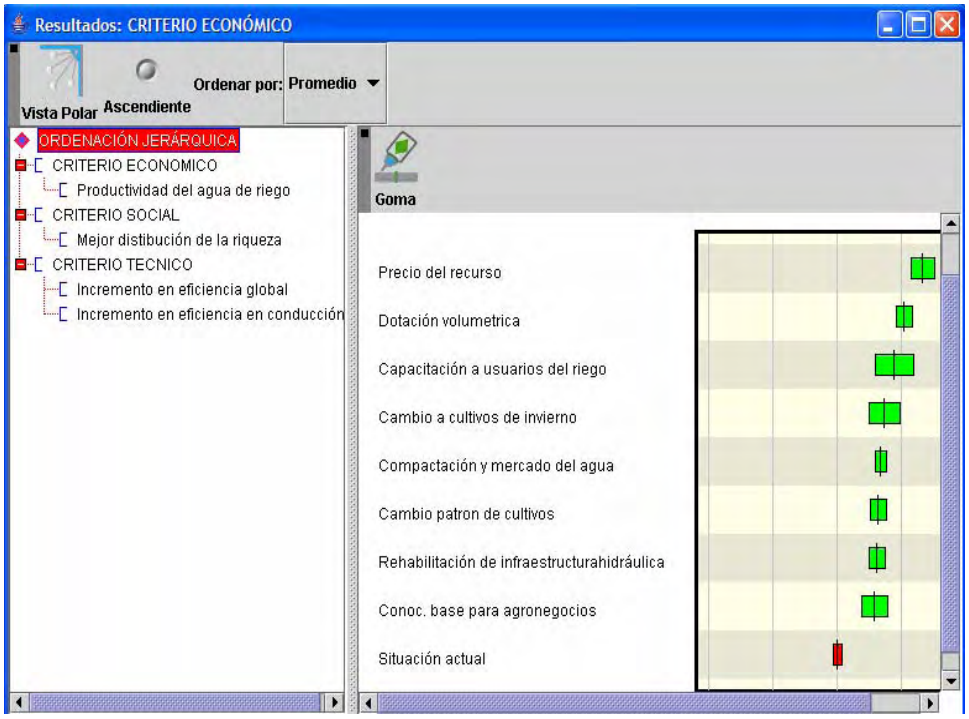


Figura 9. Alternativas optimizadas con el criterio económico.

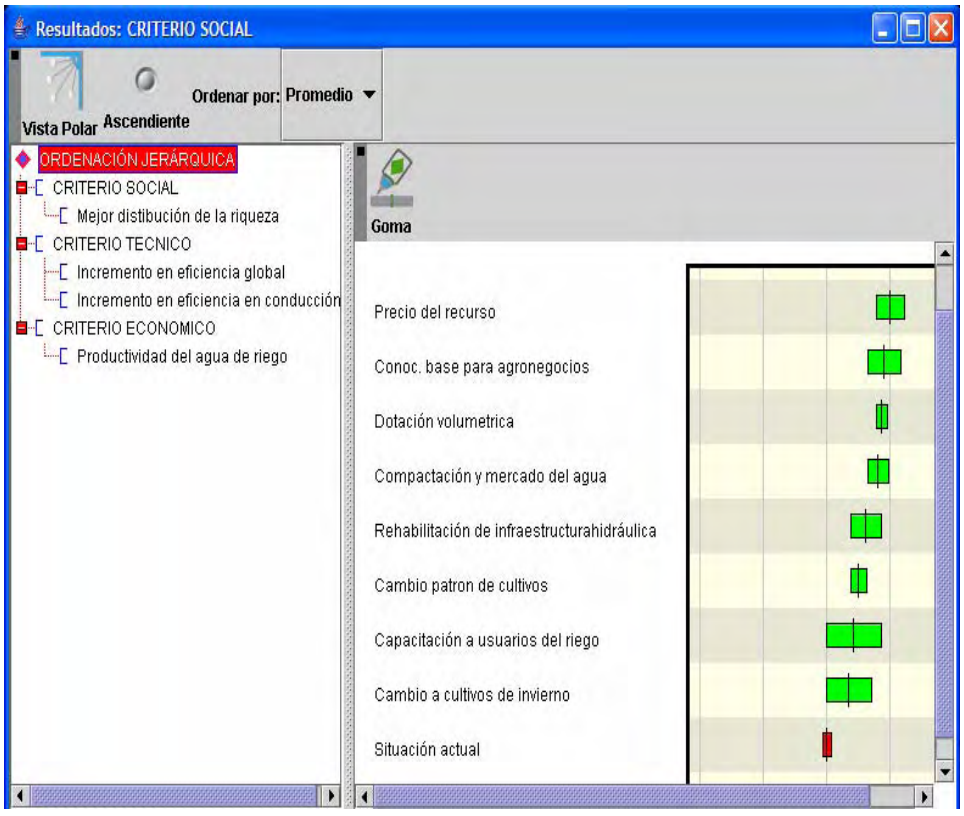


Figura 10. Alternativas optimizadas con el criterio social.

Y así sucesivamente se explica el orden jerárquico del criterio que se seleccione.

Considerando entonces diferentes órdenes jerárquicos, las alternativas optimizadas para cada criterio se presentan en las Figuras 8, 9 y 10.

DISCUSIÓN

Cada alternativa es representada por una barra que muestra el rango de los escores globales para esa alternativa (mejor, medio y peor escore). Es claro que una opción es mejor que otra si no hay traslape entre las barras

Criterio técnico

Con la jerarquía que agrupa los objetivos de "incrementar la eficiencia global" e "incrementar la eficiencia de conducción" resultó que las alternativas mas altamente calificadas fueron dar precio al recurso agua y rehabilitar de infraestructura hidráulica con escores máximos de 0.87 y 0.887 respectivamente (Fig. 8). La barra que representa el rango de posibles escores para la alternativa de ajustar el precio del agua es mas angosta que la de rehabilitar la infraestructura hidráulica porque la primer alternativa tiene un escore mínimo de 0.7 correspondiente al objetivo de "mejorar la distribución de la riqueza", el cual es mayor que el escore mínimo de 0.6 de la segunda alternativa (rehabilitar la infraestructura hidráulica), lo que hace que el rango sea mayor.

Criterio económico

Con la mas alta jerarquía, que agrupa al objetivo de "incrementar la productividad del agua de riego", las mejores alternativas fueron dar precio al recurso agua y entregar el agua por dotación volumétrica con escores máximos de 0.88 y 0.8 respectivamente (Fig. 9). En tercer lugar aparece la alternativa de capacitar a los usuarios del riego. La barra de posibles escores para la alternativa de dar precio al recurso agua es mas amplia que la de la alternativa de entregar el agua por dotación volumétrica debido a que tiene un mayor escore máximo, considerando además que ambas alternativas tienen el mismo escore mínimo de 0.7. Para el caso de la alternativa de dar precio al recurso agua, el escore mínimo (0.7) correspondió al objetivo "mejorar la distribución de la riqueza", mientras que para el caso de la alternativa de entregar el agua por dotación volumétrica el escore mínimo (0.7) correspondió a los objetivos "mejorar la distribución de la riqueza " e "incrementar la eficiencia global".

Criterio social

En la Figura 10 señala que si este criterio fuera en el que se fundamentara la decisión, las alternativas mas viables serían dar precio del recurso agua y generar conocimiento base para agronegocios, ya que la primera obtuvo un escore máximo de 0.88 y la segunda de 0.8. La amplitud de la barra de la segunda alternativa es mayor debido a que el mínimo escore obtenido en ésta es de 0.6 contra 0.7 en la primera.

Independientemente del orden jerárquico analizado, las alternativas que tendieron a presentar los mas altos escores fueron: dar precio al recurso agua, entregar el agua por dotación volumétrica, y capacitar a los usuarios del riego. Cabe señalar que aun las alternativas que no resultaron con escores altos estuvieron por arriba de la situación actual; es decir, que cualquiera que fuese el rumbo de acción, estaría mejor que la situación actual.

CONCLUSIONES

La estructura actual del DR 017 respecto a la toma de decisiones para hacer mas eficiente su operación en los ámbitos social, económico y ambiental no ha sido consistente. El uso del DSS puede ayudar a mejorar dicho proceso, ya que permite considerar todas las alternativas posibles de operación con un análisis meticuloso de sus repercusiones en los ámbitos descritos, permitiendo la implementación de los mejores cursos de acción para incrementar la eficiencia global en el uso del recurso agua.

El DSS permite la participación de los usuarios del distrito quienes se involucran en el análisis manifestando sus necesidades, intereses y puntos de vista, lo cual los predispone positivamente a aceptar las alternativas o cursos de acción que se evalúan operativamente desde la captación y derivación de los embalses de agua hasta la toma parcelaria.

El DSS posibilita la toma de decisiones aprobadas para la operación eficiente del distrito al considerar los objetivos múltiples de las instancias involucradas en la operación del distrito como son los propios usuarios, gobiernos de los estados, la comisión nacional del agua y los representantes de la comunidad a través de grupos ambientalistas.

La implementación del DSS para el propósito de hacer mas eficiente la operativa del distrito de riego 017 permitiría establecer la necesidad imperante de dar un precio justo al recurso agua en un afán de darle sustentabilidad y permanencia a la actividad agropecuaria.

LITERATURA CITADA

Cardoza V., R. 2000. Manejo integral de cuencas hidrográficas en el norte de México (caso

Durango). X Congreso Nacional de irrigación . Simposio 4. Manejo Integral de Cuencas hidrológicas. Chihuahua, México. 10 p.

CNA (Comisión Nacional del Agua) 2000. Programa hidráulico de gran visión 2000-2025. Gerencia regional de las cuencas centrales del norte. Torreón, Coah. México pp 87-99.

CNA (Comisión Nacional del Agua) 2002. Programa regional hidráulico 2002-2006. Gerencia regional de las cuencas centrales del norte. Torreón, Coah. México pp 75-87.

CNA (Comisión Nacional del Agua) 2003. Consolidación y desarrollo del distrito de riego 017, Comarca Lagunera. Gerencia regional de las cuencas centrales del norte. Torreón, Coah. México 56 p.

Descroix, L.; Nouvelot, J. F. y Estrada A., J. 1997. Geografía de las lluvias en una cuenca del norte de México. Regionalización de las precipitaciones en la Región Hidrológica 36. CENID-RASPA. INIFAP. Gómez Palacio, Durango, México.Folleto técnico No 8. (Serie INIFAP- Orstom.) 52 p.

Dourojeanni, A. y Jouravlev, A. 2002. Evolución de políticas hídricas en América Latina y el Caribe. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), LC/L.1826–P. Diciembre de 2002. Santiago de Chile. Serie Recursos Naturales e Infraestructura No 51,. pp 346-355.

Heilman, P.; Sánchez C., I.; Jeffry, S., Macías R., H. y Roy M. 2003. Working Smarter: Research and Decision Support Systems in Mexican Agriculture. Chapter book. International Simposium Aguascalientes, México. 35 p.

Lane, L.; Ascough, J. and Haknson T, E. 1991. Multiobjetive decision theory-decision support systems with embedded simulation models. Proceedings ASCE National Conference on Irrigation and drainage Engineering. July 1991. Honolulu, HI. pp 445-451.

Lawrence, P. A., and R. J. Shaw. 2002. A framework for evaluating options for improved irrigation management. Proc. MODSS'99 2nd Int. Conf. on Multiple Objetive Decision Suport Sistems for Land, Water and Environmental Management, Brisbane, QLD, Australia. 1-6 July, 1999. pp 1-23.

Leonard, R. A. and Knisel, W. G. 1988. Evaluating groundwater contamination potential from herbicide use. Weed technology. pp 1403-1418.

Loyer J. Y.; Estrada A. J.; Jasso I. R. y Moreno D. L. 1993. Estudio de los factores que influencian los escurrimientos y el uso del agua en la Región Hidrológica 36. Orstom, Francia-CENID-RASPA INIFAP. 367 p.

Nouvelot J. F. 1997. Proyecto binacional sobre manejo y uso del agua en las cuencas hidrográficas del Norte de México. Ponencia presentada en el 25 aniversario del CENID-RASPA. 135 p.

PIFSV (Patronato para la Investigación, Fomento y Sanidad Vegetal-SARH) 1991. Estadística de la producción agropecuaria y su valor de los ciclos otoño-invierno y primavera-verano. SARH subdelegación de política y concertación, unidad de información y estadística. Cd. Lerdo, Dgo. México. 79 p

Sánchez C., I. 1994. Evaluating strip farming systems for arid ecosistems. A stochastic approach. Ph. D. Disertation. The University of Arizona. 111 p.

Sánchez C., I. 1995. Erosión y productividad en la Comarca Lagunera. Folleto científico No. 4. Serie INIFAP-Orstom. 30 p.

Sánchez C., I. 2000. La investigación en hidrología en las cuencas centrales del norte de México. Articulo científico. Serie INIFAP-Orstom. 16 p.

Sánchez C., I. 2001. La cuenca hidrológica como unidad básica de planeación del desarrollo de las cadenas productivas. CENID-RASPA INIFAP. pp 1-13.

Sánchez C., I. 2004. Estudio Integral de los Sistemas de Produccion Agrícola, Pecuario, Forestal y de los Recursos Naturales de la Región Hidrológica No. 36 Cuencas de los Ríos Nazas y Aguanaval. Proyecto nacional. 60 p.

Yakowits, D. S.; Lane, L. J. and Szidarovsky, F. 1993. Multi-attribute decision making: dominance with respect to an importance order of attributes. Applied Mathematics and Computation 54: 167-181.

Yakowits, D. S., and Weltz, M. 1998. An algoritm for computing multiple attribute additive value measurement ranges under a hierarchy of the criteria: application to farm or rangeland management decisions. P. 163-177. *In* Beinat E. And Nijkamp P. (ed.) Multicriteria Analysis for Land Use Management. Kluwer Academic Publishers, Boston.