

Colección El pays de La Laguna



Manejo integral del agua:
incertidumbre climática
y toma de decisiones

Ignacio Sánchez Cohen



“El pays de La Laguna”
colección especial de la revista

Acequias
Universidad Iberoamericana **LAGUNA**


LA VERDAD NOS HARA LIBRES
UNIVERSIDAD
IBEROAMERICANA
LAGUNA

25
aniversario

3

Manejo integral del agua: incertidumbre climática y toma de decisiones

Ignacio Sánchez Cohen



LA VERDAD NOS HARA LIBRES

UNIVERSIDAD
IBEROAMERICANA
LAGUNA

25
aniversario

Quintín Balderrama López, SJ

Rector

Laura Orellana Trinidad

Dirección General Académica

María Luisa Madero Fernández del Castillo

Dirección General Educativa

Felipe Espinosa Torres, SJ

Director de Relaciones Universitarias

José Édgar Salinas Uribe

Director de Acequias

Julio César Félix Lerma

Coordinador editorial de Acequias

Consejo Asesor de la colección “El pays de La Laguna”

Samuel Gordon

Gilberto Prado Galán

Saúl Rosales

Édgar Valencia

Roque Salazar Rodríguez

Diseño Gráfico

Viñeta: Astrid Van der Horst

DR © 2006. Universidad Iberoamericana Torreón
Calzada Iberoamericana 2255, CP 27010 Torreón, Coahuila,
México.

www.lag.uia.mx

DR © 2006. Ignacio Sánchez Cohen

Impreso y hecho en México

Printed and made in Mexico

ISBN: 968-5162-33-6

“El pays de La Laguna” es una colección especial de la revista
Acequias de la Universidad Iberoamericana Laguna.

Presentación

La conciencia de que el ser humano ha afectado la biosfera de forma radical, arriesgando con ello su propia vida, se ha venido construyendo desde la década de los años setenta. En esa época se plantearon las condiciones que el hombre enfrentaría cada vez con mayor frecuencia, toda una gama de problemas clasificados como intratables e inasibles. A pesar de no existir aún acuerdo sobre la gravedad de los problemas ni de los procedimientos para encarar tales situaciones, la mayoría de los análisis y propuestas engloban la crisis ambiental bajo tres grandes temáticas: la sobrepoblación, los recursos y los desechos. Estas tres grandes problemáticas pueden ser comprendidas bajo un común denominador: los límites físicos externos con los cuales la sociedad humana se enfrenta. Es decir, el límite de la capacidad de soporte humano del ecosistema tierra; como escasez de recursos frente a las crecientes necesidades sociales, esto es, el límite que suponen los recursos no renovables.

Ahora, a casi cuatro décadas de distancia, uno de esos problemas que ha merecido un lugar prioritario es el relacionado con el agua. El tema se ventila en diversos foros internacionales y sectores competitivos. *El Manejo Integral del Agua* como lo presenta el Doctor Sánchez Cohen, enfocado a los promotores del agua que carecen de estrategias válidas y de un mercadeo adecuado, considera a la cuenca hidrológica como unidad básica de planeación. La propuesta va acompañada de estudios técnicos que favorecen sistemas de ayuda en el

proceso de toma de decisiones, describiéndolos como herramientas útiles, sobre todo cuando existen opiniones y objetivos en conflicto relativo al manejo del agua.

Resulta de gran valor lo que el autor destaca al argumentar que el manejo productivo del agua para la producción agrícola deberá mejorarse continuamente para satisfacer los objetivos de la producción de alimentos, el crecimiento económico y el ambiental. Obviamente esto exige la progresiva modernización del manejo del agua en la agricultura de tal forma que ofrezca una mejor respuesta a la demanda y también se adapte mejor a las condiciones locales climáticas, ambientales y socioeconómicas.

Por lo tanto, el manejo del agua en la agricultura como en el uso industrial y doméstico, será un elemento clave para mantener la seguridad alimentaria y la generación de ingresos entre los agricultores de menores recursos. El manejo equitativo de los recursos locales puede ser alcanzado solamente por medio de una mayor participación de las comunidades, de modo que las inversiones para el manejo del agua en la agricultura deberán ser más estratégicas a fin de mejorar la infraestructura de aguas, el compromiso de los usuarios así como las prácticas agrícolas innovadoras.

Emilio Yee Wah

Antecedentes

El agua es vital como recurso, necesaria para la supervivencia y crucial para la promoción de la salud, productividad y la calidad de vida. También es una parte fundamental de cualquier ecosistema y un requisito para la integridad y sostenibilidad de éstos. El agua es también factor esencial en todos los sectores de desarrollo económico y social. Así la disponibilidad de agua es un prerrequisito para la inversión, crecimiento y la consecuente mitigación de la pobreza (4th *World Water Forum*, 2006).

La disponibilidad de agua en el mundo está fuertemente ligada a las variaciones climáticas por lo que es necesario considerar este factor en todo proceso de planeación del uso del recurso hidráulico. Así, una adecuada cuantificación de la disponibilidad de agua para los diferentes usos debiera considerar distintos escenarios de clima en aras de contemplar acciones preventivas y / o correctivas ante la incertidumbre climática.

La incertidumbre en el contexto de disponibilidad de agua se asocia con la variabilidad del clima, pudiendo establecer que un sistema bajo incertidumbre climática es un sistema bajo riesgo. El riesgo puede ser físico o económico sin ser ambos necesariamente excluyentes. Dado que la atmósfera es un sistema dinámico no lineal, en el sentido determinístico, no es fácil predecir su comportamiento. De aquí que los métodos estadísticos sean de utilidad para preveer el comportamiento futuro de las variables climatológicas que impactan a los ecosistemas (Sánchez, 2005).

En México existen actualmente 6.2 millones de hectáreas bajo riego de las cuales solo 450 mil cuentan con alta tecnificación y el resto opera bajo métodos tradicionales de irrigación con eficiencias no mayores al 40 %. También, existen 14 millones de hectáreas bajo condiciones de temporal la cual se considera, en un 68%, bajo riesgo por la incertidumbre climática. Otro problema añadido a la disponibilidad del agua es la salinidad de los suelos habiendo en el país 400 mil hectáreas bajo esta condición. También, de los 600 acuíferos en el país, 100 se consideran sobre explotados teniendo tasas de abatimiento que oscilan de 0.5 a 2.5 metros por año. Ante este panorama, se requieren de aproximaciones integradas que contemplen el uso y conservación de los recursos naturales en todo el gradiente hidrológico de las cuencas.

Variabilidad climática

Las anomalías climáticas evalúan el comportamiento del clima en términos de estabilidad o incertidumbre.

Este parámetro contempla las desviaciones de la precipitación, por ejemplo, con respecto a la media histórica de esa variable lo cual es útil en virtud de que, para poder emitir juicios relativos a desastres climáticos, es necesario evaluar el comportamiento hacia ambos lados de la media. Por otro lado, para indexar a alguna región en términos de sequía, es necesario seguir estándares internacionales en aras de poder establecer comparacio-

nes pertinentes. Las anomalías de precipitación, escurrimiento ó alguna otra variable de interés, también llamadas anomalías estandarizadas en un contexto operacional (Wilks, 1995), permiten hacer juicios cualitativos acerca del comportamiento de una variable al considerar qué tanto se aparta el valor actual de su promedio. La ecuación 1 muestra la manera de calcular el índice de anomalía (*IA*):

Ecuación 1.

$$IA = \frac{x - \bar{x}}{s_x}$$

En términos de la ecuación 1, el primer paso para el cálculo del *IA* es calcular la diferencia entre el valor de la variable "x" y su promedio en el periodo de tiempo que se considere (diario, mensual anual, etc.) y dividirlo por la desviación estándar (s_x) que caracterizan las variaciones en el lapso de tiempo de interés

La figura 1 señala las anomalías de la precipitación total anual en el mundo en la que se puede notar que ese valor para México ha sido estable en forma global manteniéndose en el rango de 0 a 10% de variaciones. Con lo que respecta a la temperatura, el índice de anomalía muestra que el planeta se está calentando sobretodo por la marcada tendencia de los últimos 50 años (Jones *et. al.* 1998). El principal agente causante de este calentamiento es el incremento de bióxido de carbono (CO_2) en la atmósfera debido a la quema de combustibles fósiles y a la deforestación prin-

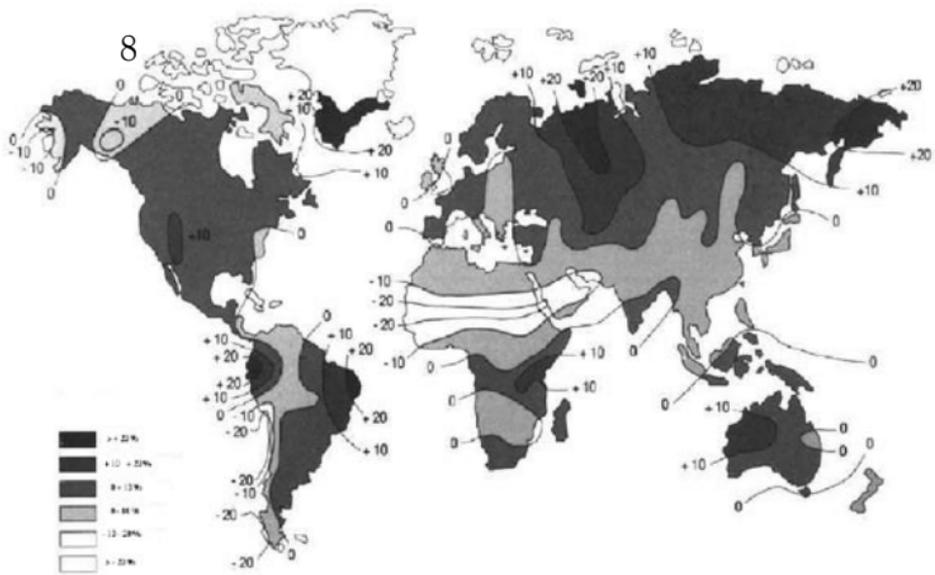


Figura 1: Anomalías de la precipitación (%) total anual en el mundo considerando el periodo de 1931 a 1990 (Bazzas y Sombroek, 1996)

principalmente. Existe demasiada controversia en las teorías acerca de los efectos que esto traerá; sin embargo, la teoría más congruente es que el fenómeno traerá como consecuencia un marcado incremento en el nivel del mar por los deshielos de los polos con el impacto en la circulación general del planeta. En términos de disponibilidad de agua al disminuir la temperatura de los océanos, los regímenes pluviales se verían afectados con periodos inciertos hacia la baja y en ocasiones con eventos extremos de presencia de lluvias. En relación al efecto en los cultivos, la Figura 2 muestra los impactos esperados. Por ejemplo, a un incremento en la cantidad de CO_2 habría un incremento en la temperatura con el consecuente incremento en la evapotranspiración potencial propiciando mayor humedad en la atmósfera y la formación de nubosidad que reduciría la inci-

dencia de radiación solar a la superficie del suelo lo que impactaría a la fotosíntesis de los cultivos produciendo menores rendimientos.

La figura 3 presenta las anomalías de precipitación en un gradiente de norte a sur en México para algunas estaciones climatológicas. Es pertinente señalar que los puntos por encima de la media histórica (señalada como "0" en la escala vertical), significan periodos de precipitación total anual mayores al promedio (las unidades son número de desviaciones estándar) y los eventos por debajo de la media histórica significan periodos de sequía. Así por ejemplo, la estación climatológica de Todos Santos en Baja California Sur, presenta mayor variabilidad que la estación de la Presa Abelardo Rodríguez en Chiapas indicando mayor incertidumbre y riesgo.

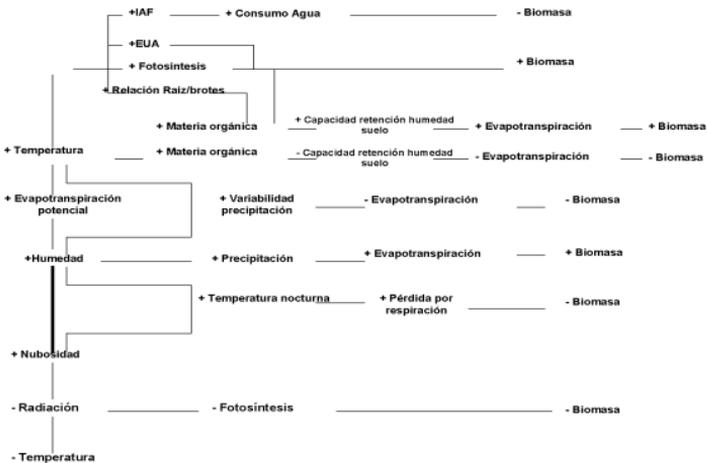


Figura 2: Posibles impactos en la producción de biomasa bajo escenario de cambio climático (Modificado de Bazaz y Sombroek, 1996).

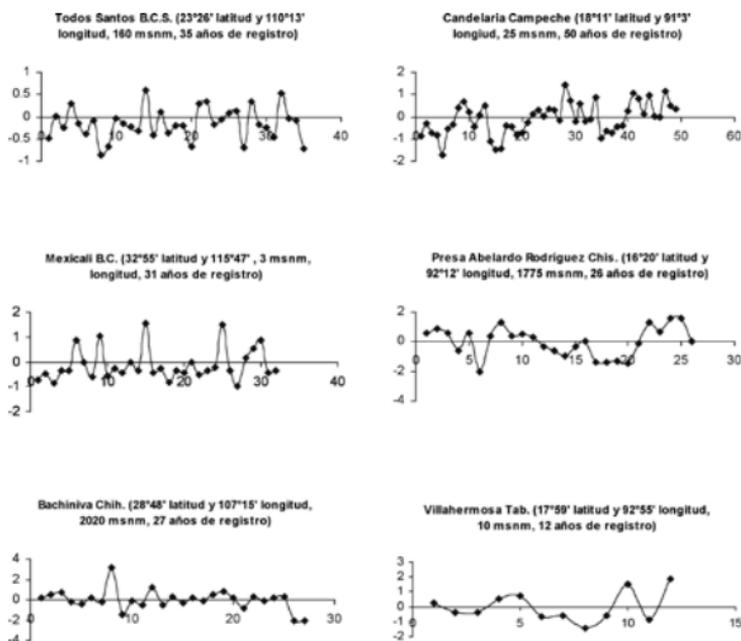


Figura 3: Anomalías de la precipitación anual en algunas estaciones de la República (Sánchez, 2005)

De éstas anomalías se puede notar también la periodicidad y magnitud de los ciclos húmedos y secos; así, la presencia de años extraordinarios en el norte es menos frecuente que en el sur; sin embargo, la magnitud de estos (altura de los picos) cuando se presentan, es mayor que aquellos del sur.

Las anomalías en los regímenes pluviales también pueden ser cuantificadas mediante el estudio de la magnitud de crecimiento de los anillos de ciertas especies arbóreas; a esta tecnología se le conoce como “Dendrocronología”, (Villanueva *et al*, 2004). La aplicación de esta tecnología en México data de la década 1940 -1950 (Schulman, 1944; Schulman, 1956; Scott, 1966). Las cronologías de anillos de árboles en México resultan particular-

mente importantes debido a que la mayoría de ellas correlacionan con la precipitación invernal y con índices del El Niño Oscilación del Sur (ENSO por sus siglas en inglés). La figura 4 muestra un ejemplo de reconstrucción de datos de precipitación para la región de Guanaceví en el estado de Durango.

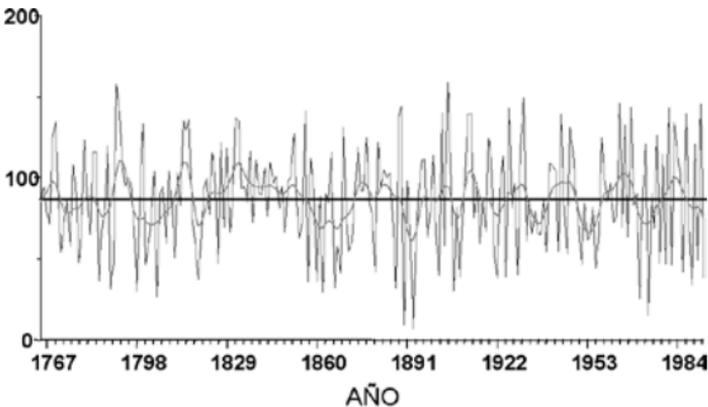


Figura 4: Reconstrucción de bases de datos de precipitación para Guanaceví, Durango. (Villanueva et al, 2004).

La figura 5 muestra el impacto de la variación de la precipitación "A" (expresada como índice de anomalía), el coeficiente de escurrimiento "B", sobre las aportaciones a la presa "C" (expresadas como índices de anomalía) y el área sembrada en el distrito de riego 017, "D", en la Comarca Lagunera en los estados de Coahuila y Durango. Como se puede observar, existe un efecto en cascada de las variaciones en la ocurrencia de precipitación en los diferentes ecosistemas que ocurren en cuencas hidrológicas. Este efecto es más marcado en ecosistemas áridos caracterizados por una gran aleatoriedad en sus variables climáticas (Sánchez, 1994).

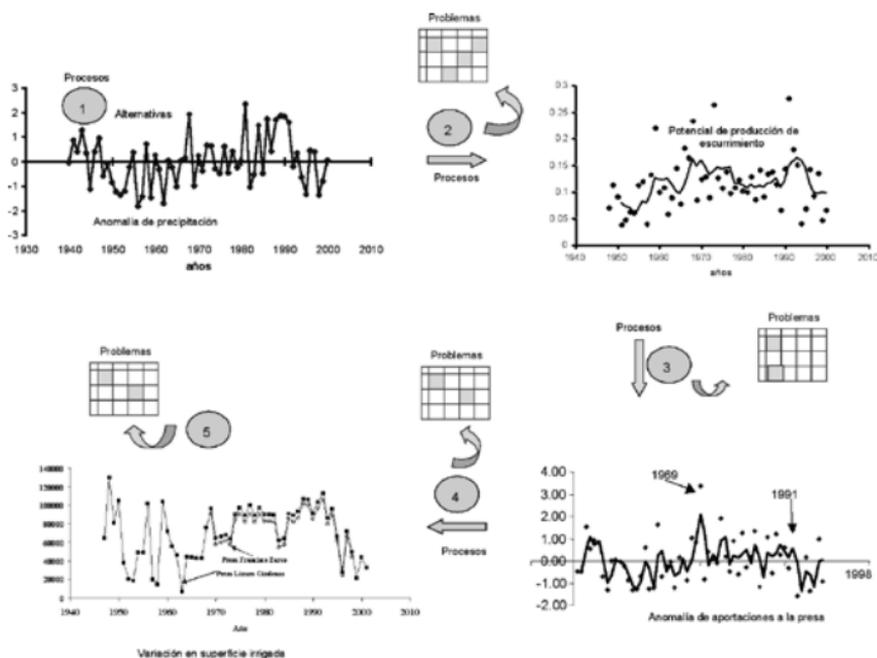


Figura 5: Impacto de la variación en la precipitación en el distrito de riego 017, Comarca Lagunera (Sánchez, 2005).

Los recuadros de la anterior figura hacen alusión a la matriz de problemas y posibles alternativas que se debe construir en el gradiente hidrológico de la cuenca; es decir, el impacto en cascada involucra una serie de efectos por concepto de alteraciones al medio físico. En el diagnóstico de la cuenca, en estas matrices aparecen vacíos de conocimiento que dictan el rumbo que la investigación debe tomar en aras de ofrecer alternativas de manejo sustentables.

El manejo integral del agua y la toma de decisiones

Queda entonces claro que toda acción que se desarrolle en las partes altas de las cuencas hidrológicas, donde se produce gran parte de las disponibilidades de agua de las regiones, impactan invariablemente a las partes bajas en donde habita la mayoría de la población. A esto se tiene que añadir las acciones locales en el gradiente que define a las cuencas para que se manifieste el impacto real.

En términos generales, el manejo integrado del agua es una aproximación a la solución de problemas para obtener cambios estructurales de una manera que sea económicamente eficiente, socialmente equitativo y ambientalmente sostenible. Conceptualmente la aproximación del manejo integrado del recurso hidráulico promueve el desarrollo y manejo coordinado del agua, suelo y recursos relacionados para maximizar el beneficio económico y bienestar de una manera equitativa sin comprometer la Sustentabilidad de los ecosistemas

Operacionalmente involucra la aplicación de conocimiento de varias disciplinas así como puntos de vista de diversos actores para diseñar e implementar soluciones equitativas, eficientes y sustentables a problemas del agua y el desarrollo.

Luego entonces, los objetivos esenciales del manejo integral del agua contemplan tres grandes dimensiones: económica, social y ambiental pero no existe un común denominador de evaluación y medición, se manejan y evalúan de manera independiente (figura 6)

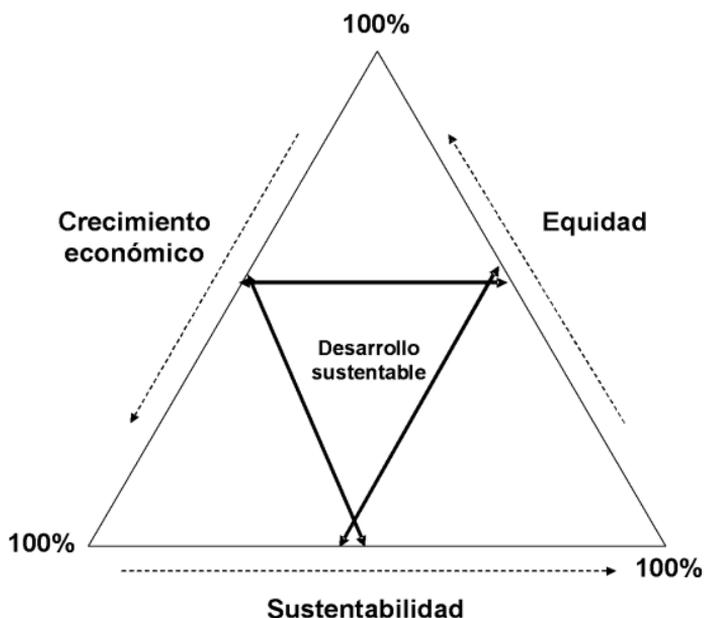


Figura 6: Triángulo de crecimiento sustentable (Dourojeanni, 2000)

La figura 6 muestra el triángulo de equilibrio para el desarrollo sustentable, sin embargo, acorde a Dourojeanni (2000) éste es difícil evaluar dadas las diferentes unidades para expresar los objetivos señalados en los lados de la figura. Ante esta situación, es pertinente el uso de esquemas que contemplen la estandarización de las variables en aras de hacerlas comparables. Los sistemas de auxilio para la toma de decisiones (DSS por sus siglas en inglés), constituyen una herramienta para lograr tal fin.

Considerando las interacciones antes anotadas, resulta pertinente que la definición de los problemas así como los cursos de acción sean planteados por los usuarios de la cuenca para su

posterior evaluación. Existen diversos métodos para ésta definición de problemas; sin embargo, el objetivo final es la construcción de la matriz de problemas y posibles soluciones (recuadros de la figura 5) para ser evaluadas por el DSS.

Para parametrizar variables de decisión, es de notar la importancia de los resultados de investigación, participación de expertos y consultas a bases de datos en el proceso de evaluación de alternativas. De esta manera, la figura 7 muestra el seguimiento para la valoración de alternativas (Sánchez *et. al.*, 2006).

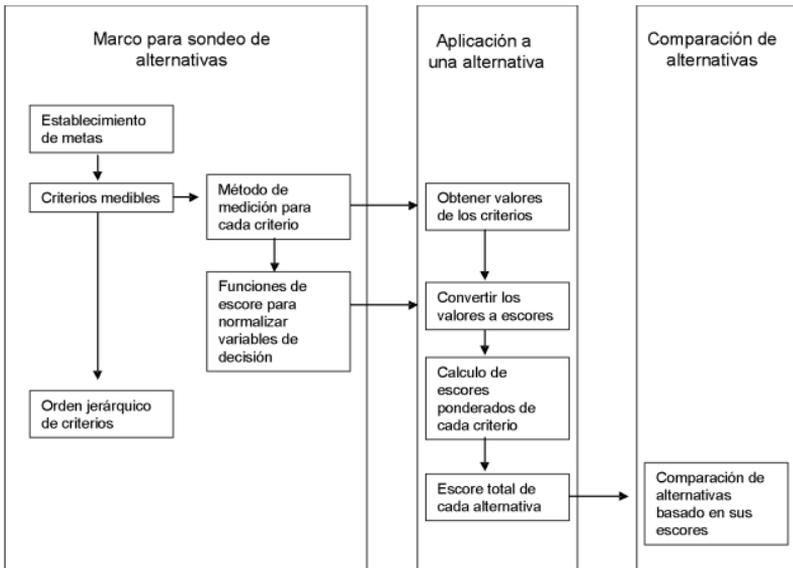


Figura 7: Seguimiento para la propuesta y valoración de alternativas

Una posible matriz de decisión para encontrar la solución “óptima” en cuanto al desarrollo sustentable sujeto a la aleatoriedad del clima es señalado en la tabla 1.

CRITERIO DE CALIDAD	ALTERNATIVAS							
		Transformación productiva			Servicios Sociales	Conservación de recursos naturales		
		A	B	C		A	B	C
Crecimiento económico				...	...			...
Sustentabilidad	Social			...	...			...
	Ambiental			...	...			...
	Económica			...	...			...
Equidad	Social			...	...			...
	Ambiental			...	...			...
	Económica			...	...			...

Tabla 1: Matriz de decisión del triángulo del crecimiento sustentable

La anterior tabla incluye los criterios de calidad (aquellos criterios con los que serán evaluadas las alternativas) y las alternativas. El procedimiento es asignar una calificación relacionada con el impacto que tendría cada alternativa en los diferentes criterios de calidad; por ejemplo: en la escala de 0 a 100 cual sería el impacto en la sustentabilidad social si se adopta una transformación productiva "A"; de igual manera cual sería el impacto en el mismo criterio de calidad si se adopta una práctica de conservación de recursos naturales "B". Huelga señalar que el número de alternativas es función de la visión y concepción que del problema central tenga el grupo de trabajo.

El algoritmo para resolver la anterior matriz y encontrar las soluciones que optimicen la decisión, se fundamenta en el trabajo de Yakowitz et. al. (1993) con el siguiente raciocinio: suponiendo que existen n criterios que los tomadores de decisiones han jerarquizado en un determinado orden de importancia. Si V_{ij} es el score de la alternativa j evaluada con respecto al criterio i en el orden de importancia, y w_i es un factor de peso asociado con el criterio i , entonces el score mas alto (ó bajo) y el mejor (ó peor) para la alternativa j en congruencia

con el orden de importancia, se encuentra resolviendo el siguiente problema lineal descrito para los pesos w_i :

Ecuación 2.

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

$$\text{sujeto a } \sum_{i=1}^n w_i = 1$$

$$w_1 \geq w_2 \dots \geq w_n \geq 0$$

De la ecuación 2 para ambos casos minimizar ó maximizar, la primera restricción normaliza la suma de los pesos a 1; de igual manera, la segunda restricción hace que la solución sea consistente con el orden de importancia y fuerza a que los pesos sean positivos. La solución de los dos problemas arroja el rango completo de posibles escores dado el orden de importancia. Así, cualquier vector de pesos consistente con el orden de importancia producirá un escore que se ubica entre el mejor y peor escore (Heilman *et. al.* 2003, Heilman *et. al.* 2004).

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 más alto rango añadiendo criterios hasta que todos sean considerados:

$$v_{kj} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^n v_{ij}$$

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

$$\begin{aligned} \text{Mejor} &= MV_j = \max_k \{v_{kj}\} \\ \text{Peor} &= PV_j = \min_k \{v_{kj}\} \end{aligned}$$

En un estudio posterior, Yakowitz y Weltz (1998) mejoraron el algoritmo básico descrito anteriormente al permitir agrupar sub objetivos bajo categorías más amplias (véase tabla 1). Este agrupamiento permite introducir posteriormente otros objetivos bajo el criterio que corresponda. Este algoritmo ha sido sistematizado mediante un software llamado *facilitator*.

Para la toma de decisiones usando el algoritmo anteriormente descrito se requieren de tres pasos esenciales:

1. Crear una matriz de los efectos de cada alternativa para cada criterio definiendo las variables de decisión, las alternativas de manejo consideradas y la cuantificación de los efectos de las alternativas en los criterios.
2. Uso de modelos de simulación, opinión de expertos ó bases de datos para valorar todos los datos de la tabla eliminando las unidades normalizando en una escala de 0.0 a 1.0 (ó de 0 a 100).
3. Ordenar las variables de decisión en orden de importancia, examinar gráficamente los resultados y seleccionar las alternativas a implementar o sujetas a un estudio mas profundo.

En el primer paso antes anotado, los tomadores de decisiones tienen que excluir aquellas alternativas no aceptables o de difícil implementación. En el segundo paso, se tienen que seleccionar las funciones de escore para cuantificar y normalizar cada variable de decisión. El tercer paso asume una función aditiva simple como lo señala la ecuación 2 para calcular el valor "V" como la suma de los productos de un "peso", "w" asociado con cada variable de decisión ó criterio "i" y el escore "v" para esa variable de decisión.

Con fines de llegar a decisiones consensuadas del quehacer con las cantidades limitantes de agua producto de la incertidumbre climática en la parte baja de la región hidrológica No. 36 (Distrito de Riego 017 Comarca Lagunera), Sánchez *et. al.* (2006) aplicaron el algoritmo descrito. El planteamiento de la solución partió de una reunión con los usuarios del agua en esa región de donde emanó el árbol de problemas que describe la figura 8. El seguimiento general se realizó como lo señala la figura 7.

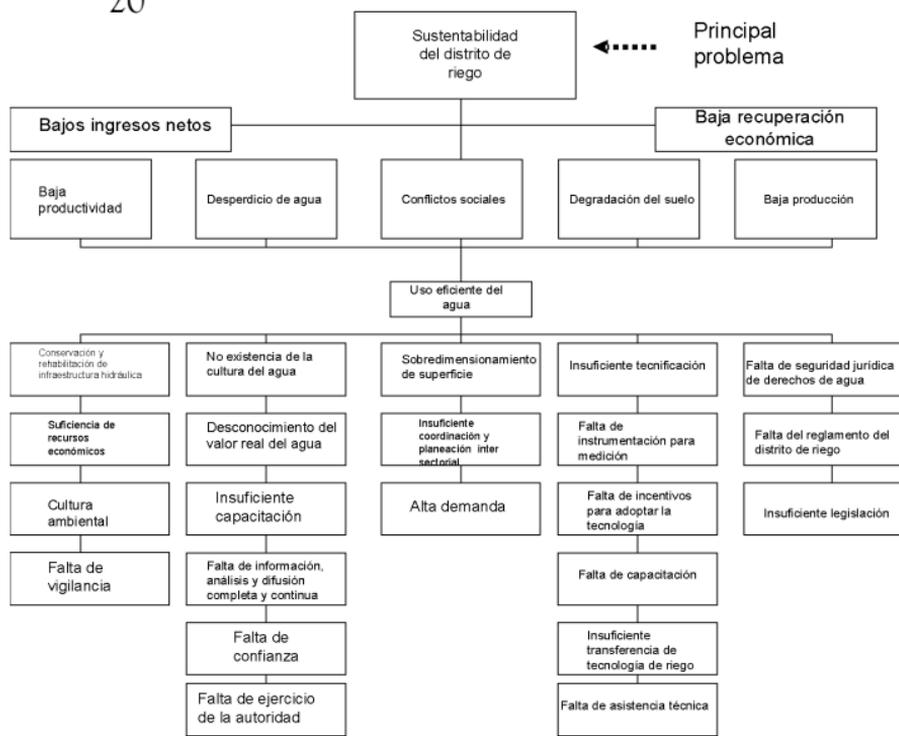


Figura 8: Árbol de problemas de la parte baja de la Región Hidrológica No. 36.

De este árbol de problemas surgió la matriz de decisión que señala la Tabla 2 misma que fue parametrizada por los mismos usuarios.

Criterios de calidad	Alternativas								
	Situación actual	Cambio patrón de cultivos	Cambio a cultivos de invierno	Capacitación a usuarios del riego	Rehabilitar infraestructura hidráulica	Compactación y mercado del agua	Precio del recurso	Dotación Volumétrica	Conocimiento base para agro negocios
Productividad del agua de riego	0.5	0.7	0.75	0.8	0.85	0.7	0.88	0.8	0.6
Mejor distribución de la riqueza	0.5	0.6	0.5	0.5	0.6	0.75	0.7	0.7	0.8
Incremento en eficiencia conducción	0.5	0.5	0.6	0.6	0.88	0.6	0.8	0.75	0.6
Incremento en eficiencia global	0.5	0.7	0.8	0.87	0.8	0.6	0.87	0.7	0.6

Tabla 2: Matriz de decisión para la parte baja de la Región Hidrológica No. 36

Como se asentó anteriormente, los valores reflejan la manera en que los usuarios califican al impacto de las alternativas sobre las soluciones (criterios de calidad); por ejemplo, ellos sostuvieron que capacitar a los usuarios del riego obtendría una calificación de 0.8 en relación al impacto que tendría en el incremento en la productividad del agua de riego, de 0.5 en la distribución de la riqueza, de 0.6 en relación al incremento en la eficiencia de conducción y de 0.87 en relación al incremento en la eficiencia global. De esta manera se pobló la matriz de decisión.

Jerarquización de criterios de evaluación.

Ordenar los criterios en una jerarquía, significa que si se quisiera, se puede dar más peso en cualquiera de los objetivos, esto en congruencia con las ecuaciones 2 y 3 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 ejemplo expuesto, se evaluaron distintos órdenes jerárquicos que se señalan en la figura 9.

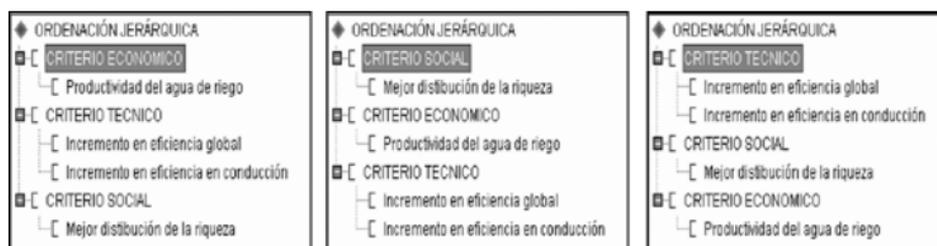


Figura 9: Órdenes jerárquicos ensayados

De la figura 9 se desprende, por ejemplo, que si se siguiera el criterio económico para tomar la decisión, las siguientes aseveraciones aplicarían:

- Para el análisis se ha dado orden de importancia a los objetivos; así, la decisión estará gobernada principalmente por el criterio económico que involucra a la productividad del agua de riego.
- Al criterio económico le subyace el criterio social que involucra la mejor distribución de la riqueza.
- El criterio técnico, aparece en tercer lugar de jerarquía e involucra al incremento en la eficiencia global como punto mas importante que el incremento en la eficiencia en conducción

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 10, 11 y 12.

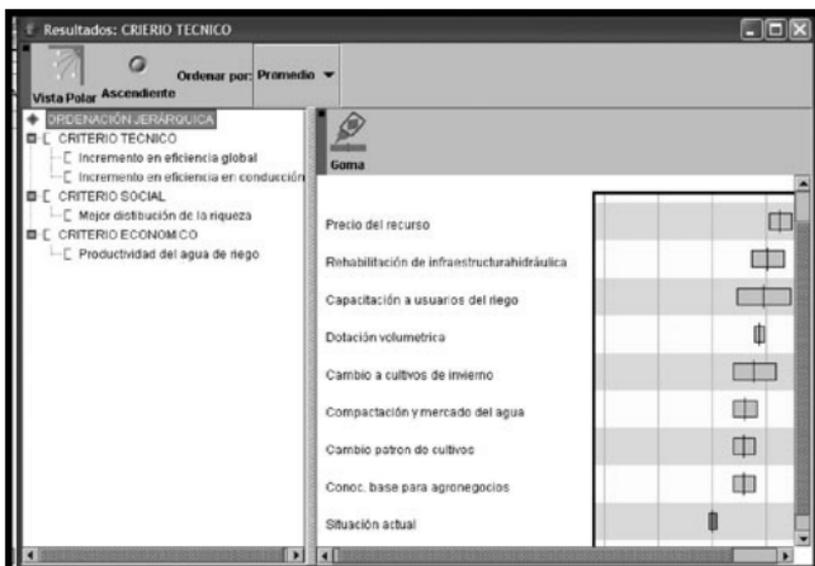


Figura 10: Alternativas optimizadas con el criterio Técnico.

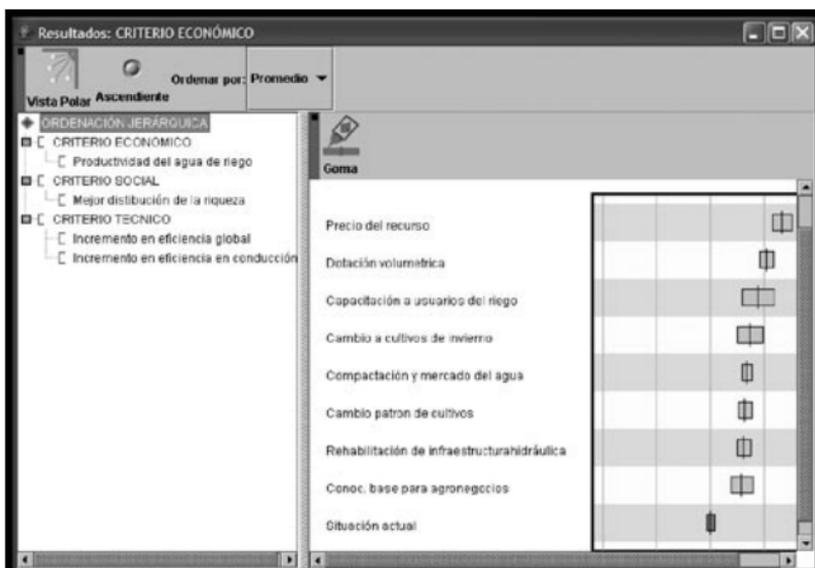


Figura 11: Alternativas optimizadas con el criterio económico.

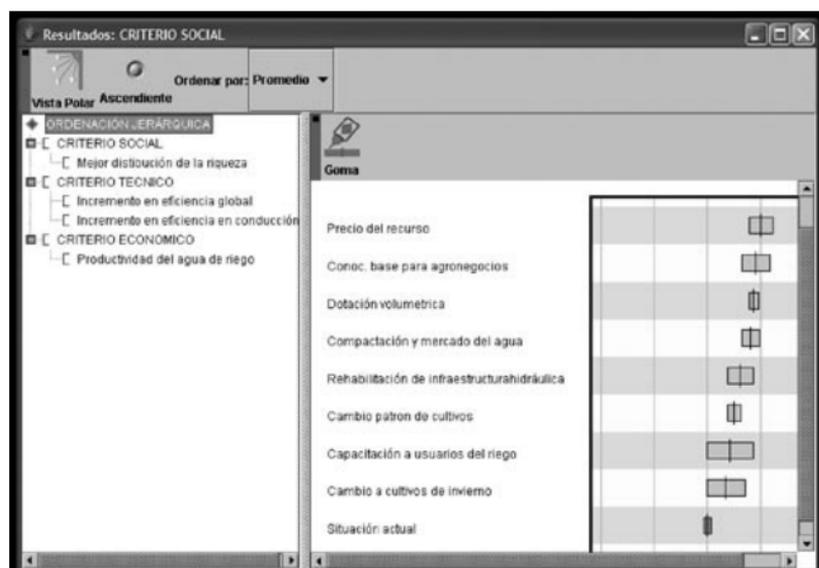


Figura 12: Alternativas optimizadas con el criterio social.

Análisis.

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

Con la jerarquía del **criterio técnico** que agrupa los objetivos de Incremento en la eficiencia global e incremento en la eficiencia de conducción resultó que las alternativas mas altamente calificadas fueron dar precio al recurso y rehabilitación de infraestructura hidráulica con escores de 0.87 y 0.88 respectivamente. La barra que representa el rango de posibles escores para el ajuste en el precio del recurso es mas angosta que la rehabilitación de infraestructura hidráulica porque el mínimo escore de 0.7, que corresponde al objetivo “mejor distribución de la riqueza”, es mayor que 0.6 para la alternativa de “rehabilitación de infraestructura hidráulica, lo que hace que el rango sea mayor.

De igual manera, teniendo al **criterio económico** con la más alta jerarquía, que agrupa al objetivo de “Productividad del agua de riego”, las alternativas mas altamente calificadas fueron dar precio al recurso (0.88) y entrega de agua por dotación volumétrica (0.8). En tercer lugar aparece la “capacitación a usuarios del riego”. En este criterio (figura 11), la barra que representa el rango de posibles escores a la alternativa “Precio del Recurso”, es mas amplia que aquella que representa el rango de posibles escores de la alternativa “Dotación

Volumétrica”; esto en virtud de que la primera tiene un escore mínimo de 0.7 que corresponde al objetivo de “Mejor Distribución de la Riqueza” y el máximo de 0.88 arriba señalado, para el segundo, el escore mínimo es de 0.7 correspondiente a los objetivos “Mejor Distribución de la riqueza ” e “Incremento en la Eficiencia Global”; el máximo de 0.8 como también se anotó líneas arriba.

Con lo que respecta al **criterio social**, la figura 12 señala que si éste criterio fuera en el que se fundamentara la decisión, las alternativas mas viables serían “Precio del Recurso” y “Conocimiento base para Agro negocios”, ya que la primera obtuvo un escore 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 más altos escores fueron: dar precio al recurso, dotación volumétrica, y capacitación a usuarios del riego. Cabe señalar que las alternativas que no resultaron con altos escores, estuvieron aún por arriba de la situación actual; es decir, que cualquiera que fuese el rumbo de acción, rendiría mejores resultados que la situación actual.

También es pertinente recalcar que las alternativas seleccionadas con mayor escore no son absolutas y que se tiene que combinar con otras acciones tales como: revestimiento de regaderas, incremento en eficiencias de aplicación del agua de riego, etc.

Conclusiones

La incertidumbre climática que caracteriza a gran parte del país, deja entrever la necesidad de contemplar el estudio de los procesos de las cadenas productivas con el enfoque del manejo integrado para lo cual se considera a la cuenca hidrológica como unidad básica de planeación. En aras de plantear alternativas de corrección y / o prevención del deterioro de los recursos naturales, es necesario que los usuarios de las cuencas obtengan el árbol de problemas y posibles soluciones. En este sentido, los resultados de investigación, opinión de expertos y bases de datos son de crucial importancia y constituyen el fundamento de la planeación de la investigación en este contexto. Acorde a algunos estudios, la unidad experimental en el ámbito de la cuenca hidrológica es función de la variable de decisión considerada y del ecosistema en estudio siendo el paradigma el capturar la variabilidad espacial de los parámetros que definen el ecosistema.

Los sistemas de ayuda en el proceso de tomas de decisiones, son herramientas útiles sobre todo cuando existen opiniones y objetivos en conflicto relativo al manejo del agua. Para que los cursos de acción tengan el impacto esperado, es necesario incluir en la planeación y análisis de alternativas a los usuarios y operarios del agua manteniendo la visión del desarrollo sustentable con equidad.

Literatura revisada

Dourojeanni, A. 2000. *Procedimientos para el desarrollo sustentable*. Naciones Unidas, CEPAL, ECLAC. División de Recursos Naturales e Infraestructura. Santiago de Chile. 372 pp.

Bazzaz, F. and W. Sombroek. 1996. *Global climate change and agricultural production*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. John Wiley & Sons.

Fourth World Water Forum. 2006. Regional and Thematic Documents.

Heilman, P., J. Stone, J. Sanchez Cohen I., H. Macias Rodriguez and Roy S. Man. 2006. *Working Smarter: Research and Decision Support Systems in Mexican Agriculture*. Book Chapter 12 In: Modeling and Remote Sensing Applied to Agriculture. USDA ARS INIFAP. Pp 211 - 236

Heilman, P., J.I. Hatfield, M. Adkins, J. Porter and R. Kurth. 2004. *Field scale multiobjective decision making: A case study from western Iowa*. *Journal of the AWRA*, 40 (2) 333:346.

Jones, P. D., K.R. Briffa, T.P. Barnett, and S.F.B Tett. 1998. Millennial Temperature Reconstructions. IGBP PAGES/World Data Center-A for Paleoclimatology. Data Contribution Series #1998-039. NOAA/NGDC Paleoclimatology Program, Boulder CO, USA.

Sanchez C. I. 1994. *Evaluating Strip Farming Systems: A stochastic Approach*. Ph D. Dissertation. Department of Arid Lands Resources Sciences. The University of Arizona. Tucson, A.Z. 120 pp.

Sánchez, Cohen I, Macías R. H. and P. Heilman, Roy Man. 2005. *Planning for increase irrigation efficiency in Mexico*. Paper presented at: Institutions for sustainable watershed management: Reconciling Physical and Management Ecology in the ASIA – Pacific. AWRA Summer Specialty Conference. Honolulu Hawaii.

Sánchez Cohen I, H. Macías Rodríguez, P. Heilman, G. González C., S. Mendoza M., M. Inzunza I. y J. Estrada A. 2006. Planeación multiobjetivo en los distritos de riego de México. Aplicación de un sistema de auxilio para la toma de decisiones. *Ingeniería Hidráulica en México*, vol. XXI, núm. 3, pp. 101 – 111.

Sánchez Cohen, I. 2005. *Fundamentos para el Aprovechamiento Integral del Agua. Una Aproximación de Simulación de Procesos*. Libro Científico No. 2. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relaciones Agua Suelo Planta Atmósfera. 272 pp. Gómez Palacio Dgo. México.

Schulman, E. 1944. *Dendrochronology in Mexico*. Tree-Ring, Bulletin 10:18 24.

Schulman, E. 1956. *Dendroclimatic changes in semiarid America*. University of Arizona Press, Tucson Az. 142 pp.

Scott, S. D. 1966. *Dendrochronology in Mexico*. Papers of the Laboratory of Tree-Ring Research, University of Arizona Press, Tucson. 80 pp.

Villanueva, D. J., J. Cerano P., D. W. Stahle, M.D. Therrel, D. K. Cleaveland y Sánchez – Cohen I. 2004. *Elementos Básicos de la Dendrocoronología y sus aplicaciones en México*. INIFAP CENID RASPA. Folleto Técnico No. 2. 36 pp.

Wilks, D. S. 1995. *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*. Department of Soil Crop and Atmospheric Sciences. Academic Press. Ithaca New York. 467 pp.

Yakowitz, D. S., I.J. Llana, and F. Szidarovsky. 1993. *Multi-attribute decision making: dominance with respect to an importance order of attributes*. *Applied Mathematics and Computation*. 54:167-181.

Yakowitz, D. S., and M. Weltz. 1998. *An algorithm for computing multiple attribute additive value measurement ranges under a hierarchy of the criteria: application to farm or rangeland management decisions*. In Beinat E. And Nijkamp P. (ed) *Multicriteria Analysis for Land Use Management*. Kluwer Academic Publishers, Boston, pp 163 – 167.

Ignacio Sánchez Cohen
(Cd. Obregón, Sonora, 1957)

Doctor en Filosofía (Ph. D) con especialidad en Zonas Áridas por la Universidad de Arizona, USA; Maestro en Ciencias con especialidad de Planificación y Aprovechamiento de los Recursos Agua y Suelo por el ITESM. Ingeniero Agrónomo con especialidad en Irrigación, por la Universidad de Sonora. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores. Ha sido director del CENID RASPA. Es Investigador de tiempo completo en el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) y ha publicado tres libros. Sus áreas de especialización: Hidrología superficial (modelación de procesos hidrológicos), sistemas para la toma de decisiones e ingeniería de riego.