

PRODUCTIVIDAD DEL AGUA EN EL DISTRITO DE RIEGO 011 “ALTO RÍO LERMA”

Valentín Florencio Cruz, Ramón Valdivia Alcalá, Christopher A. Scott'

Resumen

El estudio tiene como finalidad estimar el valor económico del agua (superficial y de pozo) en el Distrito de Riego 011 «Alto Río Lerma». Para ello se modelan escenarios mediante el uso de programación lineal, con particular atención en la posibilidad de reducir la disponibilidad de agua en 18 y 24%. La tierra, el agua, la mano de obra y la maquinaria agrícola, integran las restricciones en el modelo. Los beneficios netos (precios netos) son definidos como la diferencia entre el ingreso bruto y el costo de producción. Los resultados se basan en el precio del producto correspondiente a 1999 y el estimado para el 2010. El ingreso neto, el patrón de cultivos y el ingreso marginal son reportados. Este último (el ingreso marginal) es utilizado como el precio sombra del agua de riego, y de acuerdo con los resultados, en 1999 el precio sombra del agua superficial osciló entre 0.54 y 2.28 Mex\$/m³ (0.06 y 0.24 US\$/m³)², y el del agua subterránea, entre 0.74 y 150.32 Mex\$/m³ (0.08 y 15.82 US\$/m³). Así mismo, se tiene que para el año 2010, el precio sombra podría fluctuar entre 0.78 y 1.58 Mex\$/m³ (0.08 y 0.17 US\$/m³) y entre 0.62 y 6.85 Mex\$/m³ (0.06 y 0.72 US\$/m³), para el agua superficial y subterránea, respectivamente.

¹ Candidato a M.C., Especialidad de Postgrado en Economía. ISEI; Profesor. Especialidad de Postgrado en Economía. ISEI. Colegio de Postgraduados. 56230. Montecillo, Mex. MEXICO (valedor_y2k@yahoo.com); Investigador y Líder Interino del Programa en México del Instituto Internacional del Manejo del Agua (IWMI), CIMMYT, Texcoco, Mex. MEXICO (c.scott@cgiar.org).

² En este documento se utiliza el tipo de cambio US\$ 1 = Mex\$ 9.50 para el año 1999.

Introducción

En algunas regiones de México como en otras partes del mundo, la escasez física de agua **no** es la cuestión principal. Parece, más bien, que prevalecen las condiciones de escasez económica: hay suficiente agua para satisfacer las necesidades de la sociedad pero hay pocos incentivos para lograr un uso sabio y ahorrador de los recursos o para efectuar una asignación eficiente entre demandas alternativas (Gibbons, 1986). Aunque en México se introdujeron cambios legales y económicos en los primeros años de la década de los 90 para introducir los mecanismos de mercado en todos los sectores, incluyendo la agricultura y el recurso agua, éstos no han tenido el efecto esperado, que es la reasignación del agua a usos de más valor y una mayor conservación del recurso (Ahlers y Rymshaw, 1998). Por lo tanto si los cambios no **han** estimulado un uso eficiente del agua, es porque éstos **no son** adecuados o simplemente **son** insuficientes.

En el DR011 las Asociaciones de Usuarios del Agua (AUA) junto con la Comisión Nacional del Agua (CNA) se encargan de la operación y mantenimiento de los sistemas de riego. Según la Ley de Aguas Nacionales cada AUA dentro de un distrito de riego se le otorga una concesión que le da derecho a una parte del agua disponible para cada ciclo. No obstante, en ninguna de las AUA existentes cuentan con normas y reglamentos para otorgar derechos subsidiarios de agua en forma equitativa a todos sus miembros (Kloezen y Garcés, 1998). Por otro lado, de todos los distritos y unidades de riego que forman parte de la Cuenca Lerma-Chapala, el DR011 no sólo es el más grande sino también el que más agua utiliza. Así mismo, éste distrito se caracteriza por un uso ineficiente del agua, la eficiencia global con la que trabaja es de 48%, las tarifas pagas por concepto de agua no incentivan la optimización del agua a nivel parcela, y éstas **no** se determinan de acuerdo a las demandas de agua de los diversos cultivos (Kloezen y Garcés, 1998; Ahlers y Rymshaw, 1998). Esta situación ha contribuido a que la Cuenca Lerma-Chapala esté atravesando por una de sus peores crisis. El nivel de los acuíferos disminuye 2.1 metros anualmente (Scott y Garcés, 2000) y el Lago de Chapala se encuentra en su nivel más bajo de la historia (28% de su capacidad). Esta situación evidencia que es necesario hacer un mejor uso del agua, incrementar su productividad media, o lo que lo mismo, producir más con menos.

Con el fin de optimizar el uso de agua en un distrito de riego, es necesario determinar su precio o en su defecto determinar su costo de oportunidad. Se entiende como costo de oportunidad, el valor de los bienes y servicios a que se renuncia por usar un recurso escaso a determinado propósito en vez de su siguiente mejor uso alternativo. La mejor manera para determinar el costo de oportunidad del agua en un distrito de riego es a través de la estimación de su valor marginal, el cual puede ser referido como el precio sombra del agua (Palacios, 1976; Gibbons, 1986; Le Moigne, 1994; Young, 1996). El valor marginal representa el incremento en el valor total debido a una unidad adicional de agua, y de acuerdo con la «ley de los rendimientos decrecientes», eventualmente cae conforme se incrementa la cantidad usada. La eficiencia económica se alcanza cuando el ingreso marginal es igual al costo marginal.

Cuando las tarifas por concepto de agua **son** muy bajas, el precio sombra puede ser considerado como el elemento básico del cual debe **partirse**, para estimar hasta cuanto un usuario podría pagar por metro cúbico de agua utilizado. Es decir, los usuarios **no** podrán pagar más dinero por **un** servicio, que el valor del **mínimo** beneficio que de él se pueda obtener. En este sentido, el presente estudio tiene como objetivo principal determinar el precio sombra del agua (superficial y subterránea) **en** DR011, de tal manera **que** pueda servir de guía **en** el establecimiento de tarifas **que** estimulen el uso eficiente y racional de éste insumo agrícola. La hipótesis planteada es que la tarifa pagada por concepto de agua **no** refleja **su** verdadero valor de escasez.

El precio sombra del agua puede ser calculado mediante el uso de técnicas de programación lineal, los resultados **son** tan confiables como confiable es la información utilizada. Una ventaja de esta metodología es **que** no sólo permite calcular el precio sombra del agua, sino también determina el patron de cultivos que maximiza el ingreso neto de los productores dado un conjunto de restricciones. **Aunque en** la producción agropecuaria casi no existen las relaciones lineales, la solución práctica a ésta dificultad es considerar actividades diferentes a distintos niveles de producción.

Palacios (1976), a través de un modelo de programación lineal, sujeta a un conjunto de restricciones (tierra, agua, mano de obra y capital), maximiza el ingreso neto de los productores de la región, obtiene el patron de cultivos óptimo a sembrar y estima la productividad marginal del agua (precio sombra). Este último se estimó en Mex\$1.413/m³ para una disponibilidad de agua relativamente reducida (entre 89 y 148 millones de metros cúbicos -MMC-) y de Mex\$0.29/ m³ para una disponibilidad relativamente abundante (entre 988 y 1263 MMC), éstos a precios de 1974. **Así** mismo, mediante un análisis de sensibilidad, el autor concluye que el modelo de programación lineal y el precio sombra del agua, **son** altamente sensibles a la variación de factores, tales como: la disponibilidad de agua, los coeficientes de la función objetivo (precios netos) y la eficiencia en la conducción del agua.

Bowen y Young (1985) estiman el beneficio neto total, promedio y marginal del agua **en** un distrito de riego **en** Egipto. Los modelos de programación lineal se **formulan** considerando cambios **en** la disponibilidad de agua, número de riegos aplicados, fechas de siembra y mejoras **en** la eficiencia de riego a nivel parcelario. Los presupuestos se elaboraron utilizando precios privados y precios económicos³. Los resultados mostraron **que** el agua de riego en la región de estudio tiene **un** beneficio neto promedio alto (entre US\$24.90 y US\$33.45 por 1000 m³), **pero** un beneficio marginal o precio sombra bajo (*entre* 1.50 y US\$24 por 1000 m³). Así mismo, cuando la evaluación se hace a precios económicos, el beneficio total, promedio y marginal es mayor, que cuando se hace a precios privados.

³ Los precios privados son los precios de los bienes y servicios que se presentan en el mercado, los cuales incorporan los efectos de política e imperfecciones del mercado. En contraste, los precios económicos, son aquellos precios que reflejan el verdadero valor de escasez o costo de oportunidad.

marginal es igual al costo marginal. Cuando las tarifas por concepto de agua **son** muy bajas, el precio sombra puede ser considerado como el **elemento** básico del cual debe partirse, para **estimar** hasta cuanto un usuario podría pagar por metro cubico de agua utilizado. Es decir, los usuarios **no podrán** pagar **más** dinero por un servicio, que el valor del mínimo beneficio que de él se pueda obtener. En este sentido, el presente estudio tiene como objetivo principal determinar el precio sombra del agua (superficial y **subterránea**) en DR011, de tal manera que pueda servir de **guía** **en** el establecimiento de tarifas que estimulen el uso eficiente y racional de éste insumo agrícola. La hipótesis planteada es que la **tarifa** pagada por concepto de agua no refleja su verdadero valor de escasez.

El precio sombra del agua puede ser calculado mediante el uso de técnicas de programación lineal, los resultados **son** tan confiables como **confiable** es la información utilizada. Una ventaja de esta metodología es que no sólo permite calcular el precio sombra del agua, **sino** también determina el patrón de cultivos que maximiza el ingreso neto de los productores **dado** un conjunto de restricciones. Aunque en la producción agropecuaria casi no existen las relaciones lineales, la solución práctica a ésta dificultad es considerar actividades diferentes a distintos niveles de producción.

Palacios (1976), a través de un modelo de programación lineal, sujeta a un conjunto de restricciones (tierra, agua, **mano** de obra y capital), maximiza el ingreso neto de los productores de la región, obtiene el patrón de cultivos óptimo a sembrar y estima la productividad marginal del agua (precio sombra). Este último se estimó **en** Mex\$1.413/m³ para una disponibilidad de agua relativamente reducida (entre 89 y 148 millones de metros cúbicos -MMC-) y de Mex\$0.29/ m³ para una disponibilidad relativamente abundante (entre 988 y 1263 MMC), éstos a precios de 1974. Así mismo, mediante un análisis de sensibilidad, el autor concluye que el modelo de programación lineal y el precio sombra del agua, son altamente sensibles a la variación de factores, tales como: la disponibilidad de agua, los coeficientes de la función objetivo (precios **netos**) y la eficiencia en la conducción del agua.

Bowen y Young (1985) estiman el beneficio neto total, promedio y marginal del agua en un distrito de riego en Egipto. Los modelos de programación lineal se formulan considerando cambios **en** la disponibilidad de agua, número de riegos aplicados, fechas de siembra y mejoras en la eficiencia de riego a nivel parcelario. Los presupuestos se elaboraron utilizando precios privados y precios económicos³. Los resultados mostraron que el agua de riego en la región de estudio tiene un beneficio neto promedio alto (entre US\$24.90 y US\$33.45 por 1000 m³), pero un beneficio marginal o precio sombra bajo (entre 1.50 y US\$24 por 1000 m³). Así mismo, cuando la evaluación se hace a precios económicos, el beneficio total, promedio y marginal es mayor, que cuando se hace a precios privados.

³ Los precios privados son los precios de los bienes y servicios que se presentan en el mercado, los cuales incorporan los efectos de política e imperfecciones del mercado. En contraste, los precios económicos, son aquellos precios que reflejan el verdadero valor de escasez o costo de oportunidad.

Gisser *et al.* (1979) estima el impacto de la transferencia de agua del sector agrícola al sector hidroeléctrico, en cuatro condados del suroeste de los Estados Unidos. Para ello hace uso de modelos de programación lineal, que simulan reducciones en la disponibilidad de agua, entre 10 y 40%. El cambio en los precios sombra del agua, el ingreso del productor y el nivel de empleo, son los indicadores utilizados para medir el impacto que estos cambios tienen en la economía regional. En el caso específico del precio sombra del agua (entre US\$7.31 y US\$20.97 por acre-pie o entre US\$5.93 y US\$17.00 por 1000 m³), se utiliza como el precio de venta de una unidad de agua al sector eléctrico. El trabajo concluye afirmando que los agricultores comerciales (con capacidad financiera) están en condiciones de vender agua al sector eléctrico, mediante la reconversión de sus sistemas de riego (de riego por inundación a riego por goteo).

Materiales y Métodos

La metodología utilizada tiene como herramienta principal la programación lineal. La representación matemática de la función objetivo es:

$$\text{Max } Z = \sum_{j=1}^n C_j X_j$$

tal que $\sum_{i=1}^m A_{ij} X_j \leq B_i$ para todo $i=1, 2, 3, \dots, m$ y $j=1, 2, 3, \dots, n$; siempre que $X_j \geq 0$

Donde:

X_j = representa la j -ésima actividad (cultivo) del productor,

C_j = representa el precio neto de la j -ésima actividad,

A_{ij} = representa la cantidad del i -ésimo recurso necesario para producir una unidad de la j -ésima actividad, y B_i = representa el monto disponible del i -ésimo recurso.

Los cultivos analizados fueron: maíz, sorgo, frijol, trigo, cebada, alfalfa, brócoli y fresa (se considera diferentes fechas de siembra en el caso de maíz y sorgo); que en conjunto ocuparon durante el periodo 1991-1999 el 91% de la superficie cultivada. Así mismo, es importante señalar que los datos utilizados en la presente investigación corresponden al periodo 1998-1999. Los coeficientes técnicos se determinaron con base en la información generada por instituciones relacionados con el sector agropecuario y fue corroborada con entrevistas a productores. Los precios netos se calcularon como la diferencia entre el ingreso bruto menos el costo de producción (sin incluir el costo del agua, tierra y mano de obra; el primero, porque es precisamente el valor que se está buscando, el segundo, por su costo o renta está en función de la disponibilidad de agua, y el tercero, porque se consideró que su costo de oportunidad es cero). Los recursos restrictivos fueron: tierra (76,397 ha irrigadas con agua superficial y 32,741 ha con agua de pozo), agua (877 MMC de agua superficial y 324 MMC de agua

subterránea), mano de obra (16,402 usuarios de gravedad y 5,180 usuarios de pozo) y maquinaria agrícola (13,328 tractores y 778 trilladoras). Por otro lado, debido a factores económicos, culturales y agronómicos, se establecieron restricciones a la producción de granos (maíz, sorgo, frijol, trigo y cebada), hortalizas (fresa y brócoli) y forrajes (alfalfa). De esta manera, se integró un modelo base de 53 actividades (29 actividades reales y 24 actividades de empleo de mano de obra) y I II componentes restrictivos (96 de recursos y 6 hileras de transferencia para alfalfa y 9 restricciones de máximo y mínimo).

De acuerdo al precio neto utilizado, los escenarios construidos se dividen en dos partes. El primer conjunto (modclos 1-6), representa los precios netos prevalecientes durante 1999, el segundo (modelos 7-10), representa los precios netos esperados en año 2010, los cuales se obtuvieron a través de proyecciones como se indica en las figuras 1 y 2. En las gráficas se observa que durante los últimos 20 años el precio del producto tiene un comportamiento decreciente, en el corto plazo se espera que esa tendencia continúe. Adicionalmente, en algunos modelos se simula reducciones de 18% en la disponibilidad de agua (superficial y de pozo), que es el equivalente a una reducción de 2% anual durante 10 años (Scott *et al.*, 2000). Es decir, en el caso del agua superficial, se estima que anualmente la disponibilidad se reduce a una tasa de 2%, de acuerdo con esta tendencia, se espera que en 10 años la disponibilidad de agua actual se reduzca en 18%. En el caso del agua subterránea, debido al creciente dinamismo en el consumo de agua por parte del sector doméstico e industrial, se estima que anualmente la agricultura transfiere 2% de su disponibilidad a éstos sectores, lo que significa que en el corto plazo (10 años) la disponibilidad actual podría reducirse en 18%. Además, se simula una reducción de 28% (240 MMC) en la disponibilidad de agua superficial, que representa el volumen que la región media de la Cuenca Lerma-Chapala transfirió al Lago de Chapala durante 1999.

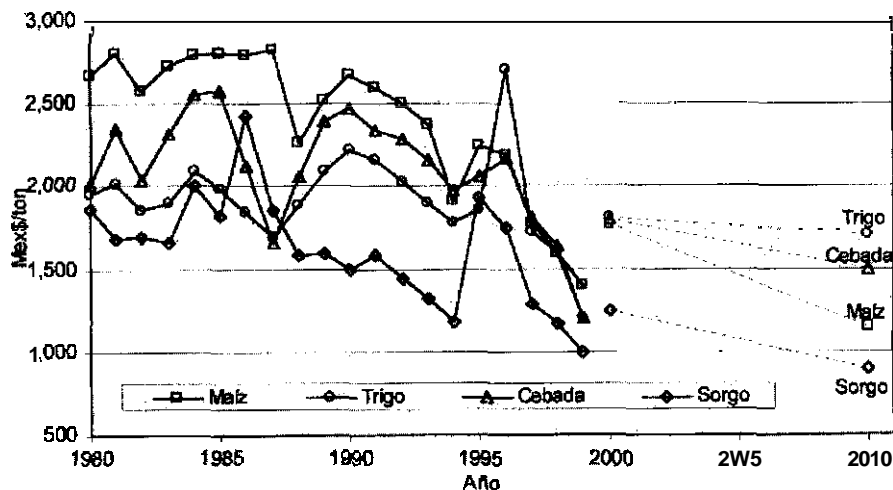


Figura 1. Precios reales y estimados de los granos

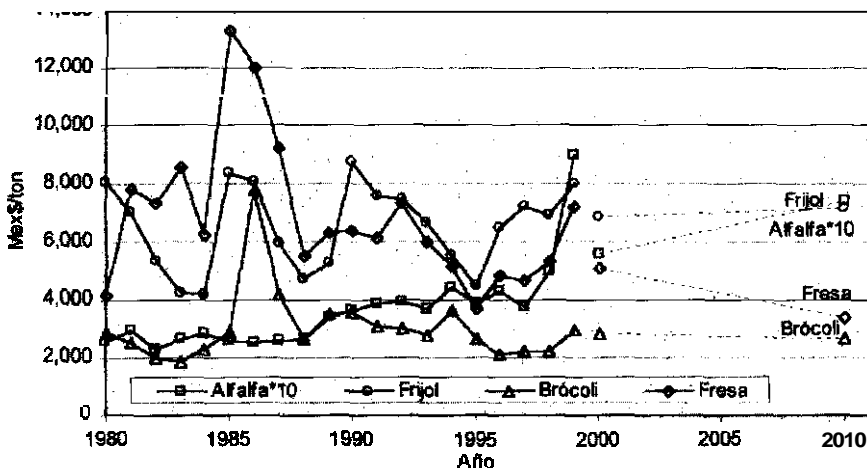


Figura 2. Precios reales y estimados de las hortalizas y forrajes

El proceso de globalización de mercados ha provocado un nuevo fenómeno de polarización de la agricultura mexicana. Por un lado, las ramas de exportación como frutas y hortalizas, se fortalecen al aprovechar sus ventajas comparativas, pero por otra parte, los cultivos tradicionales sufren conflictos al enfrentar la competencia abierta de productos del exterior y/o asumir la volatilidad, distorsión y tendencia negativa de los precios internacionales. Rubio, citado por el Financiero (2000), menciona que la superficie sembrada de los cultivos de exportación como sandía, brócoli, berenjena, clavel y chile verde crecieron de 1990 a 1996 a tasas de 6 a 33%. De acuerdo a esto y tomando en cuenta que Guanajuato es un estado exportador, en este estudio se supone que en el corto plazo es posible un incremento de 100% de la superficie hortícola actual. Los escenarios construidos tiene como finalidad conocer en que medida la reducción en la disponibilidad de agua, el incremento en la superficie hortícola y los cambios en los precios del producto, impactan sobre el ingreso neto, el patrón de cultivos y en el precio sombra del agua.

Resultados y Discusión

Los resultados se observan en las Cuadros 1-4, y para efecto de análisis se dividen en tres partes. La primera parte hace referencia al precio sombra del agua, la segunda, al valor de la función objetivo, y la tercera y última, al patrón de cultivos óptimo.

Precio sombra de agua

El precio sombra representa el valor en que se incrementaría el ingreso neto si se dispusiera de una unidad adicional de agua, siempre y cuando se lleve a cabo el patrón de cultivos

propuesto por el modelo. El precio sombra del agua toma el valor de cero, cuando éste no se emplea en toda su disponibilidad, es decir, el agua para riego sobrante habrá de considerarse como una mercancía gratis (es abundante).

En el Cuadro 1 se tiene el precio sombra del agua superficial y subterránea para 1999. Analizando en primer término el precio sombra del agua superficial, se tiene que durante el ciclo Otoño-Invierno (OI, septiembre-febrero) éste precio oscila entre 0.54 y Mex\$1.23 por metro cúbico, valores que se caracterizan por ser los más bajos en comparación con los del ciclo Primavera-Verano (PV), debido a la baja rentabilidad y alto consumo de agua de los cultivos típicos de este período (cehada y trigo). Por otro lado, para el ciclo PV (marzo-agosto), el precio sombra del agua superficial fluctúa entre 1.03 y Mex\$2.28 por metro cúbico. Los mayores valores corresponden al mes de abril, debido a que los cultivos que se siembra durante este mes (maíz y sorgo), son los que tiene mayores rendimientos, y por lo general, el ingreso neto por hectárea es mayor que cuando la siembra se realiza en los meses subsecuentes.

Cuadro 1. Precios sombra del agua para 1999 (Mex\$/m³)

Modelo	Modelo 0	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4	Modelo 5	Modelo 6
Precio del producto (Año)	1999	1999	1999	1999	1999	1999	1999
Disp. de agua sup. (MMC)	872	872	872	872-18%	872-18%	872-28%	872
Restricción granos	Mínimo ¹	Mínimo	Mínimo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Mínimo
Restricción hortalizas	Máximo	Máximo	Máximo	Máximo	Máximo	Máximo	Máximo*
Agua superficial							
Enero	1.23	0.54	0.54	0.54	0.76	0.82	0.54
Febrero							
Marzo							
Abril	2.16	2.18	2.16	2.28	1.66	2.28	2.16
Mayo	1.86	1.83	1.83	1.96	1.33	1.96	1.83
Junio	1.72	1.88	1.68	1.65	1.03	1.85	1.88
Julio							
Agosto							
Septiembre							
Octubre							
Noviembre							
Diciembre							
Agua subterránea							
Enero							
Febrero	1.77	0.74	0.77	0.77	0.75	0.80	0.74
Marzo							
Abril	2.40	2.40	2.40	2.0	1.64	2.40	2.40
Mayo	2.02	2.02	2.02	2.02	1.28	2.02	2.02
Junio	1.67	1.87	1.87	1.67	0.91	1.67	1.67
Julio							
Agosto							
Septiembre			150.03	150.03	152.32		146.62
Octubre							
Noviembre							
Diciembre							

¹ Representa la superficie promedio durante el período 1991-1999.

* Se permite duplicar la superficie hortícola.

En el Cuadro 2 se tiene que la tarifa que en promedio pagan los productores por metro cúbico de agua superficial en el «Alto Río Lerma» es de Mex\$0.04. De acuerdo a esto, la tarifa pagada por una unidad de agua superficial es 13.5 veces menos que el precio sombra más bajo correspondiente al ciclo OI (Mex\$0.54) y 25.8 veces menos que el precio sombra más bajo durante el ciclo PV (Mex\$1.03). Esto significa que los productores tienen una capacidad de pago mucho mayor que las tarifas pagadas actualmente.

Ahora bien, debido a una mejor productividad medida, en general, el precio sombra del agua subterránea es mayor que el del agua superficial. Para el ciclo OI, estos fluctúan entre Mex\$0.74 y Mex\$152.32/m³, y para el ciclo PV se encuentra en el rango de 0.91 y Mex\$2.40/m³. En contraste, la tarifa que en promedio pagan los productores por metro cúbico de agua subterránea es de Mex\$0.13. De acuerdo a esto, la tarifa pagada por una unidad de agua subterránea es 5.7 veces menos que el precio sombra más bajo durante el ciclo OI (Mex\$0.74) y 7 veces menos que el precio sombra más bajo durante el ciclo PV (Mex\$0.91), lo que confirma que las tarifas pagadas en el DR01 no representan su verdadero costo de oportunidad.

Cuadro 1. Tarifas de riego en DR 011 (Mex\$), 1999.

Ciclo	Lam. bruta (1,000 m ³)		Riegos aplicados	Tarifa (\$/ha/riego)		Tarifa total (\$/ha)		Tarifa (\$/m ³)	
	Grav.	Pozo		Grav.	Pozo	Grav.	Pozo	Grav.	Pozo
Primavera-Verano									
Maíz	4.3	3.6	1	120	183	120	183	0.03	0.05
Frijol	12.2	5.3	4	120	183	480	732	0.04	0.08
Sorgo	3.6	3.2	†	120	183	120	183	0.03	0.06
Otoño-Invierno									
Trigo	12.1	8.2	4	120	183	480	732	0.04	0.09
Cebada	10.3	9.6	4	120	183	480	732	0.05	0.08
Frijol	13.9		4	120	183	480	732	0.03	-
Brócoli		10.1	12	120	183	1,440	2,198	-	0.22
Perennes									
Alfalfa	11.9	8.5	4	120	183	480	732	0.04	0.09
Fresa		13.1	30	120	183	3,600	5,490	-	0.42
Promedio				120	183	353	1,301	0.04	0.13

Fuente: Elaboración propia, con datos de CNA

El precio sombra tan elevado que se tiene en el ciclo OI, se presenta en el mes de septiembre (oscila entre Mex\$146.62 y Mex\$150.32/m³), y se debe a que durante este mes, el agua disponible actúa como un factor restrictivo de la producción de fresa, la cual tiene una ganancia neta considerable (Mex\$236,000/ha), lo que origina que el precio sombra del agua subterránea se dispare. Esto significa que el cultivo de fresa es una actividad que le da un alto valor agregado al insumo agua, y por consiguiente un alto valor económico, dicho de otra manera, la capacidad de pago de este tipo de septiembre, se destinaría a la producción de fresa y el ingreso neto se incrementaría en la magnitud del precio sombra.

En el Cuadro 2 también se observa que en el «Alto Río Lerma», los productores de brócoli y fresa pagan cuotas de 0.22 y Mex\$0.42, por metro cúbico de agua subterránea, respectivamente, valores que representan 3.4 y 1.8 veces menos que el precio sombra más bajo de este tipo de agua (Mex\$0.74). En contraste los productores de granos son los que menos pagan, las tarifas oscilan entre 0.028 y Mex\$0.034, por metro cúbico de agua de gravedad, y entre 0.051 y Mex\$0.057, por metro cúbico de agua de pozo. De acuerdo a este análisis, se puede afirmar que la tarifa pagada por las hortalizas es la que más se acerca al costo de oportunidad del agua, en contraste los granos, son los que menos lo hacen.

Kloezen y Garcés (1998) afirman que en 1996 en los módulos de riego Cortazar y Salvatierra (que forman parte del DR011) el costo del agua de gravedad y pozo, representó 4.5 y 8.5 % del costo de producción, respectivamente; y 2.4 y 3.4 % del valor neto de la producción (ganancia), también respectivamente. Esta situación evidencia la poca importancia económica que tiene el agua para los productores de la región. La propuesta no es que los productores paguen tarifas en la magnitud de su precio sombra, sino que se utilice éste como parámetro para determinar tarifas que estimulen el uso racional del agua, de tal manera que los productores se sientan estimulados a implementar prácticas de riego más eficientes que le permitan producir más (o por lo menos lo mismo) con menos agua. Es decir, se propone utilizar el precio como el mecanismo racionador del recurso. Con este tipo de políticas, aquellas actividades que tengan una baja rentabilidad y alto consumo de agua (trigo y cebada) tiene dos opciones: o salen del mercado o eficientizan su sistema de producción. Conseguir que las políticas hídricas y las medidas necesarias para aplicarlas sean aceptadas exige tiempo, que debe concederse tanto a quienes impulsan como a quienes rechazan esos cambios.

Ahora bien, de acuerdo con la tendencia decreciente que experimenta el precio del producto

de los cultivos analizados durante los últimos 20 años, se espera que para el año 2010, estos precios decrezcan aún más, situación que se verá reflejado en un decremento del valor del precio sombra del agua, y por consiguiente, en una disminución del valor económico del agua en la agricultura. En el Cuadro 3 se tiene que bajo este escenario, el agua superficial tiene un precio sombra estimado para ciclo OI de Mex\$1.58/m³ y para el ciclo PV podría oscilar entre 0.78 y 1.18/m³. En el caso del agua subterránea, se estima que para el ciclo OI podría oscilar entre 0.64 y Mex\$6.85/m³ y en para el ciclo PV entre 0.62 y Mex\$1.22/m³. Nótese, que en general, el valor de éstos precios sombra son inferiores a los de 1999. Es importante señalar, que los resultados bajo este escenario no pueden ser considerados como concluyentes sino sólo indicativos.

Cuadro 3. Precios sombra estimados para el año 2010 (Mex\$/m³)

Modelo	Modelo 7	Modelo 8	Modelo 9	Modelo 10
Precio del producto (Año)	2010	2010	2010	2010
Disp. de agua sup. (MMC)	872	872	872	872
Disp. de agua sub. (MMC)	330	330-18%	330	330-18%
Restricción granos	Máximo	Máximo	Máximo	Máximo
Restricción hortalizas	Máximo	Máximo	Máximo*	Máximo*
Agua superficial				
Enero	1.58	1.58	1.58	1.58
Febrero	-	-	-	-
Marzo	-	-	-	-
Abril	1.18	1.18	1.18	1.18
Mayo	0.91	0.91	0.91	0.91
Junio	0.78	0.78	0.78	0.78
Julio	-	-	-	-
Agosto	-	-	-	-
Septiembre	-	-	-	-
Octubre	-	-	-	-
Noviembre	-	-	-	-
Diciembre	-	-	-	-
Agua subterránea				
Enero	-	-	-	-
Febrero	2.43	2.46	2.43	2.46
Marzo	-	-	-	-
Abril	1.18	1.22	1.22	1.22
Mayo	0.86	0.90	0.90	0.90
Junio	0.62	0.66	0.66	0.66
Julio	-	-	-	-
Agosto	-	-	-	-
Septiembre	-	6.85	3.44	0.64
Octubre	-	-	-	-
Noviembre	-	-	-	6.21
Diciembre	-	-	-	-

* Se permite duplicar la superficie hortícola

Una de las ventajas que tiene la programación lineal es **que** no solo permite calcular el precio sombra del agua, sino además permite obtener entre otras cosas, el valor de la función objetivo y el patron de cultivos, los cuales aparecen en el Cuadro 4.

Valor de la función objetivo

Analizando en primer término el valor de la función objetivo de los programas que utilizan los precios correspondientes a 1999 (Modelos 0-6), se tiene lo siguiente: en un escenario donde la disponibilidad de agua es el correspondiente a 1999 (1,201 MMC), el valor de la función objetivo es superior a los Mex\$1,000 millones (Modelos base, 1 y 6).

En el caso específico del modelo base, este valor es de Mex\$1,027 millones. Nótese, que si se permite una expansión de la superficie hortícola (fresa y brócoli; Modelo 6) al doble del nivel actual, el ingreso neto se incrementa al máximo, alcanzando la cifra de Mex\$1,205 millones, 17% más que es el modelo base. Ahora bien, si se tiene una reducción de 18% en la disponibilidad de agua subterránea (de 330 pasa 271 MMC; modelo 2), el ingreso neto no tiene cambios considerables, respecto al modelo base, ya que el cambio es de menos del 1%. Esto significa que los 59 MMC reasignados, se estaban utilizando en cultivos con baja rentabilidad y alto consumo de agua (trigo y cebada). Esta situación evidencia que en general en la agricultura el agua se utiliza en actividades de bajo valor agregado. Ahora bien, en el supuesto de una reducción de 18% en el agua superficial y subterránea (éste último pasa de 872 a 715 MMC), el ingreso neto cae por abajo de los Mex\$1,000 millones (Modelo 3 y 4). Lo mismo sucede cuando al agua superficial se reduce en 28% (modelo 5). Nótese que aunque se tiene una reducción de 216 MMC (incluye gravedad y de pozo), la caída en el ingreso neto no es tan drástica, la más importante es de 9% (Mex\$90 millones; modelo 4). Sin embargo, ésta reducción origina una caída en la superficie cultivada de entre 18 y 19%, como se comentará más adelante. Esto significa como se mencionó anteriormente, que se están produciendo cultivos de baja rentabilidad económica. De acuerdo a lo anterior, se puede afirmar que ante una reducción en la disponibilidad de agua, los cultivos que reducirán su superficie cultivada son aquellos con escasa rentabilidad y/o alto consumo de agua.

Cuadro 4. Ingresos neto y superficie cultivada

Mcd	Precio del prod. (Año)	Disp de Aqua. Sup (MMC)	Disp de agua sub (MMC)	Restric granos	Restric Hort	Ing. neto (mill. de pesos)	Varia ción (%)	Sup Cult. (miles de ha)	Varia ción (%)
Base	1999	872	330	Min.	Máx.	1,027		148	
1	1999	872	330	Min.	Máx.	1,084	6	149	1
2	1999	872	330-18%	Mín.	Máx.	1,030	0.3	140	-5
3	1999	872-18%	330-18%	Min.	Máx.	946	-8	122	-18
4	1999	872-18%	330-18%	Máx.	Máx.	937	-9	120	-19
5	1999	872-28%	330	Min.	Máx.	950	-7	121	-18
6	1999	872	330	Min.	Máx.*	1,205	17	146	-1
7	2010	872	330	Máx.	Máx.	838	-18	145	-2
8	2010	872	330-18%	Máx.	Máx.	803	-22	136	-8
9	2010	872	330	Máx.	Máx.*	889	-13	144	-2
10	2010	872	330-18%	Máx.	Máx.*	842	-18	135	-8

* Se duplica la superficie cultivada

Por otro lado, los resultados que se obtienen con los precios estimados para el año 2010, aunque no son concluyentes sino sólo indicativos, muestran que en el corto plazo el ingreso neto podría reducirse considerablemente debido al continuo deterioro que se tiene en el precio del producto y a reducciones en la disponibilidad de agua (suponiendo que el nivel tecnológico permanece constante). Si la disponibilidad de agua es similar al volumen consumido durante 1999, este valor oscilará entre Mex\$838 y Mex\$889 millones (Modelos 7 y 9), 18 y 13% menos que modelo base, respectivamente. Ante una reducción de 18% en el agua superficial, debido a una reasignación del líquido del sector agrícola a los sectores doméstico e industrial, el ingreso se reduce aún más, alcanzando la cifra de Mex\$803 millones (Modelo 8), 22% menos que el modelo base. Esta caída se atenúa, si en el corto plazo se fortalece la expansión de los cultivos hortícolas como sucede en el Modelo 10. Por supuesto, el ingreso neto también mejoraría si en el corto plazo se incrementa los rendimientos y se reducen los costos. Lo importante de este análisis no es tanto las cifras que se manejan, sino tener una visión acerca del cambio que podría experimentar el ingreso neto en la región, como consecuencia de una reducción en la disponibilidad de agua, así como, por cambios en el precio de producto, dado el nivel tecnológico actual.

Patrón de cultivos

Durante 1999 en el DR011 se sembraron 165,750 hectáreas, distribuidas de la siguiente manera: 8% de maíz, 2% de frijol PV, 34% de sorgo, 1% de frijol OI, 26% de trigo, 10% de cebada, 2% de brócoli, 3% de alfalfa, 0.5% de fresa y 14% por «otros cultivos». En contraste el patrón de cultivos óptimo que propone el modelo base es de 148 mil hectáreas, distribuidos de la siguiente manera: 19% de maíz, 36% de sorgo, 32% de trigo, 6% de cebada, 1% de frijol OI, 2% de brócoli, 3% de alfalfa y 1% de fresa; el cultivo frijol PV queda fuera del programa. El aumento en los porcentajes de las superficies de granos se debe principalmente al agua superficial

Si la disponibilidad de agua es el correspondiente al volumen consumido durante 1999 y sólo se tiene modificaciones en las restricciones a la producción (máximo y mínimo) (Modelos 1, 6, 7 y 9), la superficie cultivada no tiene cambios importantes, respecto al modelo base (entre 1 y 2%). Sin embargo, en el supuesto de que la disponibilidad de agua subterránea se reduzca en 18% (modelos 2, 8 y 10), la superficie cultivada disminuye entre 5 y 8%, respecto al modelo base. Esto significa, que desde el punto de vista económico es factible la transferencia de agua de la agricultura al sector doméstico e industrial, ya que el efecto que estas reducciones tienen sobre el ingreso neto y la superficie cultivada es mínima, pudiéndose atenuar con mejoras en la eficiencia de conducción del agua.

Ahora bien, si la reducción de 18% se tiene tanto en el agua superficial como en el agua subterránea (Modelos 3 y 4), la superficie cultivada se reduce aún más, alcanzando disminuciones de entre 18 y 19%, respecto al modelo base.

Esto significa que el efecto de una **reducción** en el agua superficial es mayor que en el agua subterránea. Lo cual es lógico si se considera que la **reducción** en el volumen de agua superficial es de 157 MMC, comparado con el agua de pozo que solo es de 59 MMC. Nótese que una **reducción** de 240 y 216 MMC tiene un efecto similar sobre la superficie sembrada, aunque el primero sea mayor. Esto se explica porque el primer volumen corresponde exclusivamente al agua superficial, cuya **productividad** media es inferior al sistema de riego con **pozo**, por lo que se requiere **más** agua para producir una **unidad** de producto. En todos los casos, ante una **reducción** en la disponibilidad de agua los cultivos que **disminuyen** su superficie cultivada **son** principalmente los granos (**maíz**, sorgo, cebada y trigo) y en menor medida la alfalfa y fresa. De acuerdo con los resultados **anteriores**, ante una **reducción** en la disponibilidad de agua, el reto de la **agricultura** es **producir** más con menos agua. Para esto es preciso, instrumentar mecanismos que permitan **alcanzar** esa meta. Esto implica por un lado cambios **jurídicos** e **institucionales** adicionales sobre el **manejo** de los recursos hídricos que propicien un **mejor** uso del agua, y por otro lado, **hacer** uso de la ingeniería genética, la mecanización y el uso de sistemas de riego más **eficientes**, que contribuyan a aumentar los **rendimientos** y a **reducir** las **pérdidas** de agua.

Conclusiones

El precio sombra que se obtiene en el presente **trabajo** es una referencia o **parámetro** de máxima capacidad de pago (que es diferente a la **disposición** de pago) de los productores en el Distrito de Riego 011 «Alto Río Lerma», cuyos **ingresos** y **costos** de **producción** **son** similares a los considerados en los modelos de **programación** lineal. De acuerdo con los resultados, **ésta** capacidad (el cual también es referido como el valor **económico** del agua en la **agricultura**) es mayor que las **tarifas** pagadas actualmente, sobre todo **por** parte de los productores de **hortalizas** y en menor medida por los de granos, lo que significa que la mayoría de los productores **están** en condiciones de **enfrentar** un **incremento** en las **tarifas** que se pagan por concepto de agua. Durante 1999, el precio sombra del agua superficial osciló entre 0.54 y Mex\$2.28/m³, y el agua subterránea, entre 0.74 y Mex\$152.32/m³. La propuesta, como se **mencionó** anteriormente, no es que los productores **pagan** **tarifas** en la magnitud de su **precio** sombra, sino **utilizar** éste como principal indicador para la **planeación** de los recursos hídricos de la **región**. Es decir, **utilizar** el precio como el mecanismo racionador del agua.

Si el incremento se llevará y los cultivos con alto consumo de agua y baja rentabilidad, **no** mejoraran su sistema de producción (reduciendo costos e incrementado ingresos), el aumento se reflejaría en una **disminución en las ganancias** de los productores, lo que propiciaría la **marginación** de estos cultivos en el mercado, y por consiguiente, la **inducción** del productor hacia la **producción** de cultivos más rentables, y en el peor de los casos implicaría la **transferencia** del productor hacia otros sectores de la economía, reduciendo de esta manera la **población económicamente activa en el sector agropecuario**, que aunque **no** se admite en foros públicos esa es la tendencia y el objetivo. Sin embargo, si el alto precio de agua propicia el uso de sistemas de riego **más** eficientes, en el corto plazo necesariamente **implicará una inversión** de gran magnitud. **no sólo** a nivel parcela sino a nivel distrito, **pero** en el largo plazo **conducirá** a un uso **más racional** del agua (produciendo **más** con **menos**), garantizando de esta manera la disponibilidad de este vital líquido para generaciones futuras. Es importante señalar, que este tipo de políticas debe estar integrado en un marco de planeación integral; ya que para llevarla a cabo necesariamente debe haber entre otras cosas, una infraestructura adecuada, **un** marco jurídico apropiado, así como la voluntad para implementarlo.

Así mismo, los resultados indican que bajo un escenario donde el precio del producto es el correspondiente a 1999 y en el supuesto de una disminución de 18 y 24% en la disponibilidad de agua; el impacto sobre el ingreso neto no es considerable (la máxima caída es 90 millones, con **un** modelo base de 1027 millones). aunque sí sobre la superficie cultivada (la reducción máxima es de 28 mil hectáreas, con un modelo base de 148 mil ha), esto indica que después de las hortalizas, el agua es utilizada en actividades con bajo valor agregado. Así mismo, se concluye que **en el corto plazo (2010)**, debido al deterioro en el precio de los productos, se espera que el valor económico del agua en la agricultura también disminuya (bajo este escenario el precio sombra del agua superficial fluctúa entre 0.78 y Mex\$1.58/m³, y para agua subterránea, entre 0.66 y Mex\$6.85/m³), lo que originaría, que dado el nivel tecnológico actual, la capacidad de pago de los productores también podría disminuir. Esto necesariamente **implicará una reasignación** del líquido hacia aquellos sectores con mayor capacidad de pago, tales como el sector doméstico e industrial, situación que deberá enfrentar la agricultura produciendo **más** con **menos**.

actual, la capacidad de pago de los productores también podría disminuir. Esto necesariamente implicaría una reasignación del líquido hacia aquellos sectores con mayor capacidad de pago, tales como el sector doméstico e industrial, situación que deberá enfrentar la agricultura produciendo **más** con **menos**.

Bibliografía

- Ahlers, R., E. Rymshaw. 1998. La política en la práctica: mercados de agua en cuatro distritos de riego en México. In. III Seminario Internacional Transferencia de los Sistemas de Riego. 2 de Sept. Gómez Palacio, Durango, México. pp: 195-202.
- Bowen, R. and R. Young. 1985. Financial and economics irrigation net benefit functions for Egypt's northern delta. *Water Resources Research*. 31(9): 1329-1225.
- El Financiero. 2000. Vive la agricultura una nueva fase productiva. Marzo 25. p. 6.
- Gibbons, D. 1986. *The Economic Value of Water. Resources for the Future*. Washington DC.
- Gisser, M. R. Lansford, W. Gorman, B. Creel, and M. Evans. 1979. Water trade off between electric energy and agriculture in the four corners area. *Water Resources Research*. Vol. 15, No. 3. pp: 529-538.
- Kloezen, Wim H. and C. Garcés. 1998. *Assessing Irrigation Performance with Comparative Indicators: The Case of the Alto Río Lerma Irrigation District, Mexico*. Research Report. International Water Management Institute. Colombo, Sri Lanka.
- Le Moigne, G., S. Ashok, X. Mei, and G. Sandra. 1994. *A Guide to the Formulation of Water Resources Strategy*. The World Bank. Washington, D.C. 102p.
- Palacios, E. 1976. *Strategies to improve water management in Mexican irrigation districts: a case study in Sonora*. Ph. D. dissertation. The University of Arizona. Tucson, Arizona. 196p.
- Scott, Christopher A y Carlos Garcés-Restrepo, 2000. en proceso de publicación. "Conjuntive management of surface water and groundwater in the middle Río Lerma Basin, México," en la publicación *Integrated River Basin Management* de Asit K. Biswas y Cecilia Tortajada (editores). Nueva Delhi, India: Universidad de Oxford.
- Scott, C.A., P. Silva O., V. Florencio C., F. Wester. 2000. *Water use and allocation in the Lerma-Chapala basin, Mexico: economics and policy implications*. Research Report. International Water Management Institute. Colombo, Sri Lanka. pp: 22-28.
- Young, Robert. 1996. *Measuring Economic Benefits for Water Investment and Policies*. The World Bank. Washington, D.C. 118p.