

Costo del uso del agua en brócoli bajo la tecnología de ferti-irrigación sistema riego por goteo

José Luis Jolalpa-Barrera
Gabriela Hoyos-Fernández

Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, Pecuarias y Forestales, México

José Miguel Omaña-Silvestre

Colegio de Postgraduados, México

Javier Castellanos-Ramos

Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, Pecuarias y Forestales, México

*La sobreexplotación del agua subterránea para uso agrícola ha impactado negativamente no sólo en la rentabilidad de los cultivos básicos del país sino también en la rentabilidad de los cultivos hortícolas y es la causa principal del abatimiento cada vez mayor de los mantos freáticos. Esta situación se agudiza aún más en el estado de Guanajuato, donde los niveles de sobreexplotación son críticos. Una alternativa viable es el uso de la tecnología de ferti-irrigación sistema riego por goteo ($FERT_{RG}$), ya que permite, entre otras cosas, ahorrar agua e incrementar rendimientos; sin embargo, el costo para su implementación es muy elevado. Dicho costo se refleja en el costo del uso del agua a través del costo del uso del equipo e infraestructura y del costo del consumo de electricidad. Ante esta situación, el presente trabajo tuvo como objetivo principal estimar el costo del uso del agua, a precios financieros y económicos, del cultivo de brócoli (*Brassica oleracea* var. *Itálica*) bajo la tecnología de $FERT_{RG}$ a través de la metodología diseñada por Monke y Pearson (1989), y del algoritmo desarrollado por Matus y Puente (1992). Los resultados obtenidos muestran un costo total por el uso del agua en $FERT_{RG}$ a precios financieros y económicos, de \$3,745/ha (\$0.953/m³) y \$4,357/ha (\$1.109/m³), por lo que se obtuvo un efecto neto de política positivo de \$612/ha (\$0.156/m³), producto del subsidio a la tarifa eléctrica, del subsidio a la compra del equipo de $FERT_{RG}$ y del impuesto implícito a la tasa de interés. En ambos, el costo por el uso del equipo fue mayor al costo por el consumo de electricidad.*

Palabras clave: equipo, electricidad, infraestructura, precio y sobreexplotación.

Introducción

La sobreexplotación del agua subterránea ha impactado negativamente hoy en día no sólo en la rentabilidad de los cultivos básicos del país sino también en la rentabilidad de los cultivos hortícolas debido al creciente costo de la extracción del agua, producto del consumo de energía

eléctrica, a pesar de la existencia de un subsidio en la tarifa eléctrica (tarifa 09), y de la necesidad de rehabilitar o profundizar los pozos.

Esta situación se agudiza aún más en el estado de Guanajuato, donde los niveles de sobreexplotación son críticos. Según Chávez (1998), Guanajuato afronta un serio problema hidrológico, derivado de la severa

sobreexplotación de los acuíferos, siendo el sector agrícola el causante principal de esta sobreexplotación, ya que cerca de 78% del volumen extraído se aplica al riego de unas 270,000 hectáreas. Por su parte, Vuelvas y Arreola (1992) mencionan que en dicho estado anualmente se extraen 2,818 millones de m³ de aguas subterráneas, siendo la recarga actual de 1,979 millones de m³, por lo que se genera anualmente un déficit del orden de 839 millones de metros cúbicos.

No obstante, los cultivos hortícolas de Guanajuato han demostrado tener niveles de rentabilidad y competitividad importantes (Matus y Puente, 1992; Sánchez, 1994; Jolalpa, 2001; Del Villar, 2001; Velasco, 2002; Ramos, 2002), por lo que juegan un papel estratégico en el desarrollo económico de ese estado y del país. Según Echanove (1998): "En Guanajuato, las hortalizas cultivadas con agua de subsuelo ocupan más de 60,000 hectáreas de tierras y generan anualmente alrededor de 160 millones de dólares por exportaciones".

Entre los cultivos hortícolas más importantes en ese estado se encuentra el brócoli (*Brassica oleracea* var. *Italica*), con una superficie promedio en los últimos veinte años de 9,800 ha (Jolalpa, 2001) y que contribuye al valor de la producción agrícola estatal con un 15%, lo cual lo coloca en segundo lugar en importancia por este concepto (ASERCA, 1997). En relación con el consumo de agua, este cultivo es un gran consumidor, alcanzando los 5.3 miles de metros cúbicos por hectárea por ciclo (Mm³/ha/c) con la tecnología convencional, bombeo mejorado fertilizado (CONV_{BMF}) (Marañón, 2001); sin embargo, con la tecnología de ferti-irrigación sistema riego por goteo (FERT_{RG}), este consumo se puede reducir en promedio hasta 3.9 Mm³/ha/c (Castellanos *et al.*, 2001); por último, con respecto a los niveles de rentabilidad y competitividad, ha demostrado tener excelentes niveles (Matus y Puente, 1992; Sánchez, 1994, y Jolalpa, 2001).

Según Domínguez (1993) y Pizarro (1986), citado por Etchevers (1999), a la aplicación conjunta de nutrientes y agua se ha denominado ferti-irrigación; el riego por goteo es un sistema de riego localizado, que consiste en la aplicación de pequeñas dosis de agua en o cerca de la zona de raíces mediante dispositivos especiales (goteros y microaspersores).

Por lo anterior, y desde una perspectiva sectorial, el agua subterránea es crucial para la economía de los segmentos más modernos de la agricultura de dicho estado (Echanove, 1998), lo cual nos lleva a concluir que este recurso es fundamental para el desarrollo agrícola de Guanajuato, pero que también es un recurso escaso que pone en riesgo la viabilidad económica y social de la producción, y por ello, tal y como lo menciona Etchevers (1999), "...es necesario encontrar mecanismos que aumenten la eficiencia de su uso".

De ahí que se requiera de tecnología que permita un uso más eficiente del agua y, al mismo tiempo, que proporcione niveles de rentabilidad y competitividad aceptables en un mercado de competencia internacional.

Una alternativa viable a esta situación es la FERT_{RG}, ya que ha demostrado tener un efecto positivo sobre el rendimiento y ahorro de agua en la producción agrícola, en comparación con la tecnología CONV_{BMF}, tal y como lo citan Lizárraga (1995), Cháidez (1997), Corral (1999), Medina (1999), Vuelvas y Díaz de León (1999), Baeza y Navarro (1999), Castellanos *et al.* (2001), Vuelvas y Díaz (2001), y Berzoza y Chávez (2001).

Objetivos

Principal. Estimar el costo del uso del agua, a precios financieros y económicos, en el cultivo de brócoli en Guanajuato bajo la tecnología de FERT_{RG}.

Secundario. Evaluar financieramente el uso de la tecnología de FERT_{RG} a través de los indicadores: valor actual neto (VAN), relación beneficio-costos (B/C) y tasa interna de rentabilidad (TIR).

Hipótesis

Principal. No obstante la inversión considerable que se hace en el equipo de FERT_{RG}, el principal costo por el uso del agua con esta tecnología lo representa el consumo de energía eléctrica, a pesar del subsidio en la tarifa eléctrica.

Secundaria. La implementación de la tecnología de FERT_{RG} tiene un impacto financiero favorable al productor debido al incremento sustancial que genera esta tecnología en los rendimientos, no obstante el incremento en los costos de producción y en la elevada inversión inicial.

Materiales y métodos

El costo del uso del agua, a precios financieros y económicos, bajo la tecnología de FERT_{RG} se integró en este estudio mediante la suma de dos costos: costo de extracción y costo del rebombeo empleando el equipo de FERT_{RG}, dado que el agua extraída se almacena en un estanque del cual es rebombada para distribuirla al cultivo. En ambos casos los costos contabilizan dos rubros: costo de uso del equipo de riego e infraestructura, expresado en pesos por metro cúbico (\$/m³), y costo del consumo de energía eléctrica, expresado en pesos por metro cúbico (\$/m³), los cuales se calculan utilizando como base la metodología desarrollada por Monke y

Pearson (1989), y el algoritmo desarrollado por Matus y Puente (1992).

El costo del rebombeo muestra el costo del uso del agua utilizando únicamente el equipo de FERT_{RG} y su consumo de energía, pero omite el costo de extracción. Por tal razón se contabilizan ambos.

Para el costo de extracción se tomó el calculado por Jolalpa (2001) (ver anexo). Por lo tanto, para realizar los cálculos en este trabajo se parte de este costo y luego se calcula el costo del rebombeo utilizando el equipo de FERT_{RG}. La información obtenida en campo corresponde a un diseño de 150 hectáreas y se obtuvo de entrevistas directas a productores, distribuidores de equipo de riego, funcionarios públicos e investigadores de la región del bajo y norte de Guanajuato. Dicha información se procesó en el paquete computacional *Excel*, versión 97 para *Windows 98*.

El análisis se realizó a precios financieros y económicos (de eficiencia) con la finalidad de observar los efectos netos de política. Según Gittinger (1989), el precio financiero es el precio al que se cambia un bien o servicio por dinero, y el precio de eficiencia es aquel que refleja el costo de oportunidad de un bien o servicio. Por su parte, Monke y Pearson (1989) definen los efectos de política como la diferencia en las evaluaciones a precios privados (financieros) y económicos (eficiencia).

El procedimiento seguido en ambos es el mismo: las diferencias sustanciales se reflejan en el impuesto a las tasas de interés (60%), en el subsidio en la compra del equipo de FERT_{RG} (35%) y en el subsidio a la tarifa eléctrica (61%).

Costo de uso del equipo e infraestructura de riego

Se partió del precio financiero (o económico) de adquisición de un equipo de riego e infraestructura diseñado para 150 hectáreas bajo la tecnología de FERT_{RG} y se ajustó con un subsidio del 35% aplicado al costo total (a precios financieros se eliminó y a precios económicos se añadió), tomando en cuenta el apoyo que otorgan los gobiernos federal y estatal a través del programa de ferti-irrigación de alianza para el campo, cuyo apoyo máximo es hasta 50% del costo total del proyecto, con un límite de 14,000 pesos por hectárea para riego por goteo. Según Etchevers (1999), el financiamiento del programa de ferti-irrigación es tripartito (gobierno federal y estatal, así como productores), y por cada peso que aportan el gobierno federal y los gobiernos estatales, los productores invierten 1.7 pesos.

Vida útil

Con respecto a la vida útil del equipo e infraestructura de FERT_{RG} (rebombeo) en años y horas de trabajo, ésta se

calculó con base en la información obtenida en campo (Entrevistas directas, 2001): 2,786 horas por año, lo que equivale a 17 horas diarias durante 5.4 meses al año. Este resultado difiere de los parámetros obtenidos por Matus y Puente (1992): 5,000 horas por año, equivalentes a 21 horas de trabajo diarias durante ocho meses al año aplicados en la extracción del agua.

Valor de rescate

Para la obtención del valor de rescate del equipo e infraestructura de riego se aplicaron los siguientes porcentajes al precio financiero (o económico) de adquisición de los mismos: estanque, 60%; equipo de bombeo, 10%; equipo de filtrado, 25%; equipo de distribución (tubería, 30%; válvulas y cabezales, 15%; alimentadores de cintilla, 25%), y obras accesorias, 30%. No se consideró valor de rescate en equipo de inyección, cintilla y equipo de medición de humedad, por ser consumibles durante el periodo de uso (Entrevistas directas, 2001).

El valor presente de rescate se obtuvo a partir de la actualización del valor de rescate que se obtendría en el último año de vida útil del equipo e infraestructura:

$$VP_R = V_R \cdot \left(\frac{1}{(1+i)^n} \right) \quad (1)$$

donde:

VP_R = valor presente de rescate.

V_R = valor de rescate.

$\left(\frac{1}{(1+i)^n} \right)$ = factor de actualización.

i = tasa de actualización (interés).

n = años.

Según Brambila y Osuna (1992), el valor actual de un monto se determina multiplicando el valor futuro por el factor de actualización:

$$I = F \cdot \left[\frac{1}{(1+i)^n} \right] \quad (2)$$

donde:

I = valor inicial (actual).

F = valor futuro.

La tasa de interés nominal utilizada a precios financieros fue de 24% y se obtuvo mediante un promedio simple del año agrícola 2000-2001. Dicha tasa es aplicada por Banrural a productores en desarrollo nivel II, que son aquellos que tienen de 1,001 a 3,000 veces el salario mínimo de utilidad anual neta, a los cuales se les aplica una tasa de ceses más nueve puntos. En el análisis económico, es decir a precios económicos, se aplicó la tasa de interés nominal de paridad de México de 9.5% (Jolalpa, 2001).

Costo neto

Para generar el costo neto del equipo e infraestructura se le restó al costo (financiero o económico) de adquisición el valor presente del rescate.

Factor de recuperación del capital

El factor de recuperación del capital se define "como el pago anual suficiente para cubrir el costo del insumo fijo al final de su vida útil" (Monke y Pearson, 1989). Matemáticamente se expresa de la siguiente manera:

$$\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (3)$$

El factor de recuperación del capital al multiplicarse por el costo neto (B) origina una anualidad constante (A), equivalente al monto de dinero a recuperar anualmente (Brambila y Osuna, 1992). En este caso representa el costo actualizado de usar el equipo de riego e infraestructura por un año:

$$A = B \left[\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right] \quad (4)$$

donde:

A = anualidad constante.
 B = costo neto del equipo.

Costo por metro cúbico ($\$/m^3$)

Con el objeto de asignar un costo por hora de uso de cada una de las partes que componen el equipo e

infraestructura de riego se dividió la recuperación anual de cada una de las partes entre el número de horas que trabaja al año. Este costo parcial fue la base para obtener el costo total por hora, sumando los costos de uso individuales.

El resultado anterior representa el costo total por hora de uso del equipo e infraestructura en un diseño de 150 hectáreas; sin embargo, la capacidad máxima de hectáreas irrigadas en una hora de funcionamiento del equipo no es de 150 hectáreas, ya que dicha capacidad de hectáreas irrigadas está sujeta a las siguientes restricciones: a) caudal bombeado y b) caudal de goteros por hectárea. Esta última depende del tipo de cultivo en cuestión. Dicho problema se resolvió mediante deducción lógica, dando como resultado 17.5 hectáreas irrigadas en una hora de trabajo, proporcionándose una lámina de 0.3076 cm, equivalente a 30.76 m^3 por hectárea. Matemáticamente se expresa de la siguiente manera:

$$Y = \left(\frac{\sum_{i=1}^{\eta} X_i}{\sum_{j=1}^{\rho} Z_j} \right) \quad (5)$$

donde:

Y = hectáreas irrigadas por hora.

$\sum_{i=1}^{\eta} X_i$ = caudal máximo bombeado por hora.

$\sum_{j=1}^{\rho} Z_j$ = caudal máximo de goteros por hora por hectárea.

η = bombas en un diseño de 150 hectáreas.

ρ = goteros por hectárea.

Por lo tanto, para evitar el problema de economía de escala, que en su caso pudiera representar el diseño de riego para 150 hectáreas y, en consecuencia, que su costo total por hora fuera para 150 hectáreas, se obtuvo la parte proporcional del costo total por hora de 150 hectáreas para 17.5 hectáreas, el cual representa el costo total por hora por hectárea que, multiplicado por el tiempo necesario para bombear un m^3 , proporciona el costo por metro cúbico por hectárea ($\$/m^3$) de uso del equipo e infraestructura.

El problema de economía de escala se refiere a una reducción del costo unitario promedio de producción como consecuencia de un aumento en el tamaño de la planta

(fábrica), una vez ajustados óptimamente todos los insumos (Ferguson y Gould, 1984). En este caso, la reducción puede ser resultado del tamaño del diseño de riego.

Lo anterior bajo el supuesto de que el suministro total de agua que requiere el cultivo se aplica siempre de manera conjunta con los fertilizantes; de ahí que se utilice la totalidad de los componentes del equipo e infraestructura de riego en $FERT_{RG}$.

Costo del consumo de electricidad

Agua bombeada por hora (m^3/h)

Se partió considerando el gasto de agua (caudal) máximo proporcionado por el equipo de bombeo, medido en litros por segundo (l/seg), y se procedió a convertirla a metros cúbicos (m^3) de agua bombeada por hora:

$$m^3/h_{bombas} = \left(\sum_{i=1}^n \delta_i \right) \cdot \left[\frac{3,600 \text{ seg}}{h} \right] \cdot \left[\frac{1 m^3}{1,000 l} \right] \quad (6)$$

donde:

$$\left(\sum_{i=1}^n \delta_i \right) = \text{caudal de bombas, medido en l/seg}$$

Sujeto a:

$$m^3/h_{goteros} = \left(\sum_{j=1}^p \varepsilon_j \right) \cdot \left[\frac{3,600 \text{ seg}}{h} \right] \cdot \left[\frac{1 m^3}{1,000 l} \right] \quad (7)$$

donde:

$$\left(\sum_{j=1}^p \varepsilon_j \right) = \text{caudal de goteros, medido en l/seg}$$

Para obtener el tiempo necesario para bombear un millar de metros cúbicos (Mm^3) de agua para riego con el equipo especificado, se obtuvo el recíproco del gasto medido en metros cúbicos por hora.

Kilowatts-hora por mil metros cúbicos bombeados (KWh/Mm^3)

Para estimar el consumo de electricidad necesario para bombear Mm^3 se multiplicó el tiempo necesario para bombear dicho volumen en horas por la cantidad de

kilowatts (kW) utilizados por los motores especificados en una hora de trabajo, la cual se obtuvo de la siguiente manera:

Considerando la potencia del equipo motriz, medido en caballos de fuerza (HP, por sus siglas en inglés), se procedió a calcular la cantidad de kW utilizados por hora de trabajo mediante la siguiente fórmula:

$$\alpha = \gamma \cdot \sum_{i=1}^n \phi_i \quad (8)$$

donde:

α = kilowatts-hora (kWh).
 γ = factor de uso de electricidad por caballo de fuerza (1 HP=0.746 kWh).

$\sum_{i=1}^n \phi_i$ = potencia útil de motores, medido en HP.

Costo por metro cúbico bombeado ($\$/m^3$)

Por último, para estimar el costo, a precios financieros y económicos, del consumo de electricidad por m^3 , se multiplicó la cantidad de kWh utilizados en el bombeo de un m^3 , la cual se obtuvo al dividir la cantidad total de kWh en Mm^3 entre $1,000 m^3$ por la tarifa eléctrica (con subsidio, tarifa agrícola, 09, y sin subsidio, tarifa industrial), tomando en cuenta que los precios del fluido eléctrico son escalonados. Para la tarifa agrícola (09) se aplicaron los siguientes precios: \$0.248 por cada uno de los primeros 5,000 kWh; \$0.302 por cada uno de los siguientes 10,000 kWh, y \$0.333 por cada uno de los siguientes 20,000 kWh. Para la tarifa industrial se aplicó el siguiente precio: 0.6364 pesos por kWh, respectivamente, que corresponde a un promedio de la tarifa industrial por concepto de energía base, intermedia y punta (CFE, 2001).

Esta cantidad de kWh utilizados en el bombeo de un m^3 son para 17.5 hectáreas, ya que dicha capacidad de hectáreas irrigadas tiene las siguientes restricciones: a) caudal bombeado y b) caudal de goteros por hectárea (ver fórmula 5), por lo que fue necesario obtener la parte proporcional del consumo total de kWh por m^3 por hectárea.

Indicadores evaluativos

Con la finalidad de evaluar financieramente el uso de la tecnología de $FERT_{RG}$ se utilizaron los siguientes indicadores evaluativos: valor actual neto (VAN), relación

beneficio/costo (B/C) y tasa interna de rentabilidad (TIR), cuyo cálculo se realizó de acuerdo con lo establecido por Gittinger (1989).

Valor actual neto (VAN)

El VAN es la suma de los flujos netos del proyecto actualizados a una tasa de interés financiera. Matemáticamente se expresa de la siguiente manera:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{B_t - C_t}{(1+i)^t} \quad (9)$$

donde:

B_t = beneficio en el año t .

C_t = costo en el año t .

$t = 1, 2, \dots, n$

Tasa interna de rentabilidad (TIR)

La TIR es la tasa que reduce a cero el flujo corriente de beneficios netos del proyecto. Matemáticamente se expresa de la siguiente manera:

$$TIR = \sum_{t=1}^n \frac{B_t - C_t}{(1+i)^t} = 0 \quad (10)$$

Tasa beneficio-costo (B/C)

La tasa (B/C) representa el resultado de dividir la suma del flujo de beneficios actualizados entre la suma del flujo de costos totales actualizados. Matemáticamente se expresa de la siguiente manera:

$$B/C = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{B_t - C_t}{(1+i)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1+i)^t}} \quad (11)$$

Se consideró un periodo de vida de uso de la tecnología de diez años, tomando en cuenta la vida útil de cada uno de los componentes del diseño, utilizando

una tasa de descuento del 17%, la cual representa la tasa de interés real preferencial sobre los préstamos para crédito refaccionario por parte de Banrural para los productores en desarrollo nivel II.

Finalmente, se hizo un análisis de sensibilidad de estos indicadores, tomando en cuenta el precio de venta del producto en función de las condiciones de mercado. En este análisis se consideró una disminución en el precio real de venta de brócoli congelado en Estados Unidos a una tasa de crecimiento media anual de 3.1% como tendencia del precio. Dicha tendencia se calculó con base en una serie histórica de precios mensuales, la cual abarcó el periodo de 1995 a 1999. Lo anterior originó recalcular el precio paritario financiero de exportación utilizado anualmente durante el periodo de vida de uso de la tecnología.

El precio paritario financiero de exportación es el precio que el productor podría recibir por la producción de un predio, considerando el precio internacional, ajustado por todos los cargos pertinentes entre el nivel de finca y el punto que se cotiza el precio (Matus y Puente, 1992). Este precio se utilizó tomando en cuenta la participación que tiene la exportación de este producto dentro del mercado estadounidense.

Resultados y discusión

Los resultados muestran que para implementar la tecnología de FERT_{RG} en un diseño de 150 hectáreas se requiere una inversión inicial, a precios financieros y económicos, del orden de 1,922,260 y 2,972,260 pesos; es decir, 12,815 y 19,815 pesos por hectárea, respectivamente. Lo anterior se debe al elevado costo del equipo de riego a pesar del subsidio existente en la compra de éste mediante el programa de ferti-irrigación de Alianza para el Campo (cuadro 1). Esta elevada inversión inicial puede llegar a ser un impedimento para que muchos agricultores, que no tienen los ingresos suficientes, adopten dicho sistema, pues tal y como lo menciona Etchevers (1999), una de las desventajas de la ferti-irrigación es el alto costo inicial del equipo.

El uso del equipo e infraestructura de ferti-irrigación es en rebombeo; sin embargo, el costo del uso del agua bajo la tecnología de FERT_{RG} en este estudio incluyó dicho costo más el costo de extracción, ya que no se parte del supuesto de que el agua se encuentra almacenada en el estanque para su uso sino en el acuífero.

Costo de uso del equipo e infraestructura

Con respecto al costo del uso del equipo e infraestructura a precios financieros, los datos revelan un costo de

Cuadro 1. Costo de inversión en equipo e infraestructura de riego en ferti-irrigación sistema riego por goteo. Diseño para 150 hectáreas (pesos de 2001).

Concepto	Precios financieros		Precios económicos	
	Costo inicial (pesos)	% del total	Costo inicial (pesos)	% del total
Equipo e infraestructura				
Estanque				
Volumen: 42,000 m ³	61,440	3.2	95,000	3.2
Equipo de bombeo				
Tres bombas de 75 HP	145,515	7.6	225,000	7.5
Equipo de inyección				
Tanque revolver y tanques de fertilizantes	36,217	1.9	56,000	1.9
Equipo de inyección manual	54,326	2.8	84,000	2.8
Equipo de filtrado				
Filtros de arena	155,216	8.1	240,000	8.0
Equipo de distribución				
Tubería de PVC	582,060	30.3	900,000	30.1
Válvulas y cabezales	258,693	13.5	400,000	13.4
Alimentadores de cintilla	58,206	3.0	90,000	3.0
Cintilla calibre 8000	532,580	27.7	823,492	27.6
Estaciones de medición de humedad				
Equipos de medición	12,138	0.6	32,745	1.1
Obras accesorias				
Base para equipo y caseta de protección	25,869	1.3	40,000	1.3
Total en 150 ha	1,922,260	100.0	2,972,260	100.0

Fuente: elaboración propia (Entrevistas directas, 2001).

\$0.785/m³, del cual \$0.241 corresponde a extracción y 0.545 pesos, a rebombeo. En contraste, a precios económicos, este costo disminuye a \$0.702/m³ (ver cuadro 2), producto, principalmente, del efecto de la tasa de interés nominal de paridad de México, ya que a precios económicos, éste impacta como un subsidio implícito. Dicho subsidio es de 60% sobre la tasa de interés nominal.

Costo del consumo de electricidad

El otro componente del costo del uso del agua es el consumo de energía eléctrica. Al respecto se obtuvo, a precios financieros, un costo de \$0.167/m³, del cual \$0.101 pesos corresponden a extracción y \$0.066, a rebombeo. Este costo es mayor a precios económicos, tal y como se observa en el cuadro 2.

El costo del consumo de electricidad a precios financieros es menor al costo estimado a precios económicos debido al subsidio existente en la tarifa eléctrica para uso agrícola (61%).

Costo total del uso del agua

Como se mencionó en la metodología, el costo del uso del agua, a precios financieros y económicos, bajo la tecnología de FERT_{RG} se integró mediante la suma de dos costos: costo de extracción y costo del rebombeo, empleando el equipo de FERT_{RG}. En ambos casos los costos contabilizan dos rubros: costo de uso del equipo de riego e infraestructura, y costo del consumo de energía eléctrica.

Tomando en cuenta lo anterior se obtuvo un costo total, a precios financieros, por el uso del agua de 0.953 pesos por m³, del cual \$0.785 corresponde a uso de equipo y 0.167 pesos, a electricidad. En contraste, a precios económicos, este costo aumentó a 1.109 pesos por m³ (cuadro 2).

Como se observa en el cuadro 2, el costo del uso del equipo es mayor al costo de energía eléctrica, excepto en el costo de extracción a precios económicos, donde se tiene un costo por uso del equipo e infraestructura de \$0.116/m³, el cual es menor al costo por el consumo de

electricidad (\$0.260/m³). Lo anterior se debe a que a precios económicos, el único elemento que está afectando en el costo del uso del equipo es la tasa de interés nominal de paridad de México (9.5%), ya que no existe subsidio en la compra del equipo en este rubro. Esta tasa de interés afecta como un subsidio. En cambio, con respecto al costo del consumo de electricidad, se elimina el subsidio a la tarifa eléctrica, por lo que actúa como un impuesto.

En otros estudios el costo del uso del agua se reporta como la suma del costo del uso del equipo y de operación; en este último se incluye el costo de energía eléctrica. Entre estos se encuentra a Palacios *et al.* (1993), cuyos cálculos, a precios financieros, en el caso del rancho Río Seco, Guanajuato, reportan un costo de 0.1208/m³ pesos de 1993 en bombeo (extracción), equivalente a 0.2734/m³ pesos de 2001, del cual \$0.0705 corresponde a uso de equipo, \$0.1348 a consumo de electricidad y \$0.0681 a mantenimiento; en cambio, en rebombeo (sistema de riego por aspersión de movimiento frontal) se tiene un costo de 0.094/m³ pesos de 1993, equivalente a 0.2121 pesos de 2001, del cual \$0.0818 corresponde a uso del equipo, \$0.0914 a consumo de electricidad y \$0.0389 a mantenimiento.

Efecto neto de política

Los efectos netos de políticas se observan en la diferencia (A-B) (cuadro 2), que es la diferencia entre las evaluaciones a precios privados (financieros) y económicos (eficiencia) (Monke y Pearson, 1989). Dicha diferencia muestra un subsidio total de \$0.156/m³ debido

al subsidio en energía eléctrica de \$0.239/m³, ya que en el uso del equipo se observa un impuesto (\$0.083/m³), no obstante que el principal costo en el uso del agua se da en el uso del equipo.

La existencia de un efecto neto de política positivo se debe a la existencia de dos políticas: una sectorial, a través de los subsidios a la tarifa eléctrica (61%) y la compra del equipo de FERT_{RG} (35%, tomando en cuenta un subsidio del 50%, con un límite de 14,000 pesos por hectárea), y otra macroeconómica a través de la tasa de interés. Esta última impacta, a precios financieros, como un impuesto, y a precios económicos, como un subsidio, ya que la tasa de interés nominal (24%) es mucho mayor a la tasa de interés nominal de paridad de México (9.5%).

Análisis de sensibilidad del costo del uso del agua

El análisis de sensibilidad en este estudio mide los cambios que tendría el costo total del uso del agua bajo la tecnología de FERT_{RG}, producto de cambios en uno de los parámetros que lo determina, el *ceteris paribus*. En ese sentido se analizaron los siguientes escenarios, tomando como base el costo a precios financieros, ya que es el precio al cual se enfrentan los productores:

1. Eliminación total del subsidio en la tarifa eléctrica.
2. Eliminación total del subsidio en la compra del equipo de FERT_{RG}.
3. Eliminación total del impuesto implícito en la tasa de interés.
4. Incremento del 10% en el costo del equipo e infraestructura de FERT_{RG}.

El parámetro más sensible fue el subsidio a la compra del equipo de FERT_{RG} a través del programa de ferti-irrigación (35%), tomando en cuenta un subsidio del 50%, con un límite de 14,000 pesos por hectárea, ya que una eliminación total de éste (*ceteris paribus*) provocaría un incremento en el costo del uso del agua en 31.2%; es decir, este costo sería de \$1.250/m³. Los otros dos parámetros más sensibles serían, en primer lugar, la eliminación del impuesto implícito a la tasa de interés (60%) (*ceteris paribu*), pues dicha eliminación provocaría una disminución en el costo del uso del agua del 30.6%, cuyo precio se ubicaría en \$0.662/m³ (cuadro 3) y, en segundo lugar, se tiene la eliminación total del subsidio a la tarifa eléctrica (61%), ya que ésta provocaría un incremento en el costo del uso del agua de 25.1%.

Por último, un incremento de 10% del costo del equipo de FERT_{RG} (*ceteris paribus*) provocaría un incremento en el costo total por el uso del agua de 8.8%; es decir, el

Cuadro 2. Costo del uso del agua bajo la tecnología de ferti-irrigación sistema riego por goteo (\$/m³) (pesos de 2001).

Concepto	FERT _{RG} (financiero) (\$/m ³) (A)	FERT _{RG} (económico) (\$/m ³) (B)	Efecto neto de política (\$/m ³) (A-B)
Uso de equipo			
Extracción	0.241	0.116	0.125
Rebombeo	0.545	0.586	-0.041
Subtotal	0.785	0.702	0.083
Energía eléctrica			
Extracción	0.101	0.260	-0.159
Rebombeo	0.066	0.147	-0.081
Subtotal	0.167	0.406	-0.239
Costo total	0.953	1.109	-0.156

Fuente: elaboración propia. (-) significa subsidio (+) impuesto.

costo se ubicaría en \$1.037/m³. Por lo tanto, este último parámetro es el menos sensible.

Costo del uso del agua en brócoli

En el análisis del costo del uso del agua en el cultivo de brócoli es indispensable conocer las necesidades hídricas del cultivo. Según Castellanos *et al.* (2001), el brócoli requiere en promedio —bajo la tecnología de FERT_{RG}— una lámina de riego de 39.3 cm, equivalente a 3,930 m³. Esta lámina de riego es muy importante, ya que bajo la tecnología CONV_{BMF} se necesita una lámina de 5.3 cm (Marañón, 2001), equivalente a 5,300 m³. Por lo que la implementación de esta tecnología en brócoli genera un ahorro de 1,370 m³, equivalente a un costo total de 1,305 y 1,519 pesos por hectárea a precios financieros y económicos, respectivamente.

Este ahorro de agua representa una de las ventajas de la FERT_{RG}, tal y como lo menciona Etchevers (1999).

Los cálculos obtenidos muestran que para proporcionar una lámina de riego de 39.3 cm por hectárea en FERT_{RG} se requiere de 30.3 horas de funcionamiento del equipo de extracción y 127.7 horas de funcionamiento del equipo de FERT_{RG} debido a que el agua se proporciona diariamente o cada tercer día.

Vuelvas y Díaz de León (2001) obtuvieron en Guanajuato un máximo rendimiento de brócoli con frecuencias de riego cada tercer día.

El costo por hora de extracción estimado es de 31.18 pesos y de rebombeo de 16.76 pesos, ambos a precios financieros. En cambio, a precios económicos, el costo por hora de extracción es de \$15.01 y de rebombeo de 18.04 pesos. La principal diferencia se refleja en el costo de extracción a precios financieros y económicos. Esta gran diferencia es producto de la tasa interés, ya que a precios financieros actúa como un impuesto implícito. Dicho impuesto es del orden de 60%.

Los costos de distribución en el equipo e infraestructura de ferti-riego (rebombeo), a precios financieros y económicos, son los más importantes, pues representan el 84 y 88% del total, respectivamente, y dentro de éstos, la cintilla se convierte en el rubro más importante, con el 57 y el 70%, respectivamente (cuadro 4).

Tomando en cuenta los resultados anteriores y las características técnicas de producción del brócoli, se tiene que bajo la tecnología de FERT_{RG} el costo del uso del agua, a precios financieros, asciende a 3,745 pesos por hectárea; de éstos, 3,087 pesos corresponden a uso del equipo y 658 pesos, al consumo de energía. En contraste, a precios económicos, se obtuvo un costo total de 4,357 pesos por hectárea, de lo cual, 2,760 pesos corresponden a extracción y 1,597 pesos, a electricidad (cuadro 5).

Por lo tanto, existe un efecto neto de política positivo, el cual representa un subsidio de 612 pesos por hectárea.

Estos resultados refutan nuestra hipótesis planteada: "No obstante la inversión considerable que se hace en el equipo de FERT_{RG}, el principal costo por el uso del agua con esta tecnología lo representa el consumo de energía eléctrica, a pesar del subsidio en la tarifa eléctrica", ya que el principal costo recae (tanto a precios financieros como económicos) en el uso del equipo, excepto en el costo de extracción a precios económicos, donde se tiene un costo por uso del equipo e infraestructura (\$455/ha) menor al costo por electricidad (\$1,020/ha), producto del subsidio implícito a la tasa de interés (60%), que afecta al costo del uso del equipo e infraestructura. No existe subsidio con respecto a la compra de equipo de riego para extracción.

El costo total del uso del agua (a precios financieros) en rebombeo (\$2,402/ha) es mayor al costo total de extracción (\$1,343/ha), producto del costo en el uso del equipo, ya que con respecto al costo en el consumo de electricidad es mayor en extracción (\$397/ha) que en rebombeo (\$261/ha).

Cuadro 3. Sensibilidad del costo del uso del agua en ferti-irrigación sistema de riego por goteo (\$/m³) (pesos de 2001).

	Tarifa eléctrica ¹ (\$/m ³)	Programa de FERT _{RG} ² (\$/m ³)	Tasa de interés ³ (\$/m ³)	Costo equipo FERT _{RG} ⁴ (\$/m ³)
Costo total	1.192	1.250	0.662	1.037
Uso de equipo	0.785	1.083	0.495	0.870
Electricidad	0.406	0.167	0.167	0.167

¹ Subsidio ²Subsidio ³Impuesto implícito ⁴Incremento 10%.

Fuente: elaboración propia.

Cuadro 4. Costo por hora por hectárea en equipo e infraestructura de riego en ferti-irrigación sistema riego por goteo. Diseño para 150 hectáreas (pesos de 2001).

Concepto	Precios financieros		Precios económicos	
	Costo por hora (pesos)	% del total	Costo por hora (pesos)	% del total
Equipo e infraestructura				
Estanque				
Volumen: 42,000 m ³	0.30	1.8	0.20	1.1
Equipo de bombeo				
Tres bombas de 75 HP	0.77	4.6	0.64	3.5
Equipo de inyección				
Tanque revolovedor y tanques de fertilizantes	0.27	1.6	0.30	1.7
Equipo de inyección manual	0.28	1.7	0.22	1.2
Equipo de filtrado				
Filtros de arena	0.79	4.7	0.59	3.3
Equipo de distribución				
Tubería de PVC	2.87	17.1	1.75	9.7
Válvulas y cabezales	1.42	8.4	1.23	6.8
Alimentadores de cintilla	0.33	2.0	0.30	1.7
Cintilla calibre 8000	9.51	56.7	12.61	69.9
Estaciones de medición de humedad				
Equipos de medición	0.10	0.6	0.12	0.7
Obras accesorias				
Base para equipo y caseta de protección	0.13	0.8	0.09	0.5
Total	16.76	100	18.04	100

Fuente: elaboración propia (Entrevistas directas, 2001).

Cuadro 5. Costo del uso del agua en el cultivo de brócoli bajo la tecnología de ferti-irrigación sistema riego por goteo (\$/ha) (pesos de 2001).

Concepto	FERT _{RG} (financiero) (\$/ha) (A)	FERT _{RG} (económico) (\$/ha) (B)	Efecto neto de política (\$/ha) (A-B)
Uso de equipo			
Extracción	946	455	490
Rebombeo	2,141	2,305	-164
Subtotal	3,087	2,760	327
Energía eléctrica			
Extracción	397	1,020	-623
Rebombeo	261	577	-316
Subtotal	658	1,597	-939
Costo total	3,745	4,357	-612

Fuente: elaboración propia. (-) significa subsidio (+) impuesto.

Cuadro 6. Costo del uso del agua en el cultivo de brócoli bajo la tecnología FERT_{RG} versus CONV_{BMF} (\$/ha) (pesos de 2001).

Concepto	FERT _{RG} (financiero) (\$/ha) (A)	CONV _{BMF} (financiero) (\$/ha) (B)	Diferencia (\$/ha) (A-B)
Uso de equipo	3,087	1,275	1,812
Energía eléctrica	658	536	122
Costo total	3,745	1,811	1,934

Fuente: elaboración propia.

Un dato que resulta interesante analizar, y que se resume en el cuadro 6, surge de la comparación del costo del uso del agua (a precios financieros), bajo la tecnología de FERT_{RG} versus la tecnología CONV_{BMF}. Al respecto se tiene que bajo la tecnología de FERT_{RG} se tiene un costo de 3,745 pesos por hectárea, (incluye el costo de extracción y rebombeo) superior al costo bajo la tecnología CONV_{BMF} de 1,811 pesos por hectárea (incluye únicamente los costos de extracción, ya que el agua extraída se aplica directamente a la parcela).

Finalmente, según Jolalpa (2001), el costo total de la producción de brócoli, incluyendo tierra, crédito y seguro a precios financieros —bajo la tecnología de FERT_{RG}— en Guanajuato es del orden de 50,146 pesos/ha. Si comparamos este costo total de producción con el costo de utilización del agua se tiene que éste representa apenas el 7.5% (cuadro 7); en cambio, a precios económicos este costo representa el 8.0% de los costos totales (\$54,750/ha).

Ahora bien, si lo vemos por el lado del valor de la producción, se tiene que este costo representa el 5.3% del total (\$70,260/ha) a precios financieros y 3.9% del total (\$110,586/ha) a precios económicos.

En cambio, el costo total de la producción de brócoli, incluyendo tierra, crédito y seguro a precios financieros

—bajo la tecnología CONV_{BMF}— en Guanajuato es del orden de \$38,210 pesos/ha. Si comparamos este costo total de producción con el costo de utilización del agua, se tiene que éste representa apenas el 4.7%; en cambio, a precios económicos dicho costo representa el 5.1% de los costos totales (\$39,067/ha) (cuadro 7).

Indicadores evaluativos

Algunas diferencias substanciales que existen —además de las mencionadas anteriormente— entre la FERT_{RG} y CONV_{BMF}, y que nos permiten evaluar el impacto financiero atribuible a la implementación de la tecnología de FERT_{RG} por parte del productor, se aprecian en el cuadro 8.

Como se observa, hay un incremento sustancial en el rendimiento, 5.6 ton/ha, equivalente a \$19,673/ha de ingreso bruto, y en el costo de producción en la FERT_{RG} en comparación a la CONV_{BMF}, \$11,936/ha; sin embargo, proporcionalmente es mayor el incremento en el ingreso bruto que en el costo total, mismo que se refleja en el ingreso neto de \$7,737/ha.

La evaluación financiera realizada a la implementación de la tecnología de FERT_{RG} por parte del productor se muestra en los resultados del cuadro 9.

Cuadro 8. Algunas diferencias entre la tecnología de FERT_{RG} y la tecnología CONV_{BMF} (pesos de 2001).

Concepto	FERT _{RG} (financiero) (A)	CONV _{BMF} (financiero) (B)	Diferencia (financiero) (A-B)
Rendimiento (ton/ha) ¹	20.0	14.4	5.6
Precio (\$/ton)	3,513	3,513	0.0
Ingreso bruto (\$/ha)	70,260	50,587	19,673
Costo de producción (\$/ha)	50,146	38,210	11,936
Ingreso neto (\$/ha)	20,114	12,377	7,737

Fuente: elaboración propia.

¹Se refiere al rendimiento comerciable.

Cuadro 7. Costo total y valor de la producción del cultivo de brócoli (pesos de 2001).

Concepto	FERT _{RG} (financiero) (\$/ha)	FERT _{RG} (económico) (\$/ha)	CONV _{BMF} (financiero) (\$/ha)	CONV _{BMF} (económico) (\$/ha)
Valor de la producción	70,260	110,586	50,587	79,732
Costo total	50,146	54,750	38,210	39,067

Fuente: elaboración propia, con base Jolalpa (2001). *Rentabilidad y competitividad del brócoli (Brassica oleracea var. Itálica) de exportación en Guanajuato 2000/2001*. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillos, Texcoco, Edo. de México, 203 pp.

Cuadro 9. Indicadores evaluativos VAN, B/C y TIR inducidos por el uso de la tecnología de FERT_{RG} (pesos de 2001).

Concepto	Situación actual	Disminución del precio a una TCMA ¹ de 3.1%
Valor actual neto (VAN) (\$)	29,355	15,702
Relación beneficio-costos (B/C) (%)	1.38	1.20
Tasa interna de retorno (TIR) (%)	46	36

Fuente: elaboración propia.

¹Tasa de crecimiento media anual.

Como se observa en el cuadro 9, el valor actual neto (VAN) de los beneficios financieros inducidos por el empleo de la tecnología de FERT_{RG} en brócoli es de 29,355 pesos, la tasa beneficio-costos (B/C) es de 1.38% y la tasa interna de rentabilidad (TIR) es de 46%. Esta última supera, con mucho, a la tasa de interés real financiera utilizada (17%).

Estos resultados reflejan la viabilidad financiera del uso de la tecnología de ferti-irrigación por parte del productor, y confirma nuestra hipótesis secundaria: "La implementación de la tecnología de FERT_{RG} tiene un impacto financiero favorable al productor debido al incremento sustancial que esta tecnología genera en los rendimientos, no obstante el incremento en los costos de producción y en la elevada inversión inicial".

Análisis de sensibilidad del valor actual neto (VAN)

El análisis de sensibilidad del VAN, B/C y TIR mide el cambio que tendrían estos indicadores, producto del cambio en uno de sus parámetros que lo determina (*ceteris paribus*). En ese sentido se analizó el escenario de una disminución del precio del brócoli congelado en Estados Unidos a una tasa de crecimiento media anual de 3.1%, tomando en cuenta la importancia de esta hortaliza en el mercado estadounidense. Según Echanove (2000), en 1998 el brócoli congelado de México representó el 82% del total de las compras externas de este producto realizadas por Estados Unidos.

Los resultados muestran que una disminución en el precio real del brócoli congelado en Estados Unidos a

una tasa de crecimiento media anual de 3.1%, *ceteris paribus*, provoca un VAN de 15,702 pesos, una relación B/C de 1.20% y una TIR de 36%, tal y como se observa en el cuadro 9.

Lo anterior expresa que no obstante una disminución en el precio de venta del brócoli, la producción de este cultivo bajo la tecnología de FERT_{RG} continúa siendo viable financieramente, pues proporciona beneficios al productor.

Conclusiones

El costo de la inversión inicial para implementar la FERT_{RG} es elevado (\$12,815/ha a precios financieros y \$19,815/ha a precios económicos), a pesar del subsidio existente en la compra del equipo de riego, cuyo apoyo máximo es hasta 50% del costo total del proyecto, con un límite de \$14,000 por hectárea para riego por goteo.

El elevado costo de inversión inicial se refleja en el costo del uso del agua a través del costo del uso del equipo e infraestructura y del costo de consumo de electricidad; sin embargo (a precios financieros y económicos), el costo de este último fue menor, 79 y 42%, al costo del primero, producto de los subsidios a la tarifa eléctrica (61%), a la compra del equipo de FERT_{RG} (35%), y al impuesto implícito a la tasa de interés (60%), por lo que se refuta la hipótesis de que: "No obstante la inversión considerable que se hace en el equipo de FERT_{RG}, el principal costo por el uso del agua con esta tecnología lo representa el consumo de energía eléctrica, a pesar del subsidio en la tarifa eléctrica".

El costo del uso del agua en brócoli bajo la tecnología de FERT_{RG} representa (a precios financieros y económicos) el 7.5 y el 8.0% de los costos totales; en cambio, bajo la tecnología CONV_{BMF} representa el 4.7 y 5.1% de los costos totales; sin embargo hay un ahorro de agua (a precios financieros y económicos) equivalente a 1,305 y 1,519 pesos por hectárea, respectivamente.

El uso de la tecnología de FERT_{RG} *versus* la CONV_{BMF} genera beneficios al productor, tal y como lo expresan los indicadores evaluativos: VAN (29,355 pesos), B/C (1.38%) y TIR (46%).

Anexo

A.1 Costo de inversión y recuperación de capital de equipo e infraestructura para extracción de agua de riego a pozo profundo (pesos de 2001).

Equipo e infraestructura	Costo financiero				Costo económico			
	Costo total (pesos)	% del total	Costo/hora ¹ (pesos)	% del total	Costo total (pesos)	% del total	Costo/hora ² (pesos)	% del total
Perforación								
130 metros de profundidad	349,000	56.0	16.8	53.9	349,000	56.0	7.2	48.3
Equipo motriz y motor eléctrico (100 HP)								
Motor y arrancador magnético	64,500	10.4	3.4	11.0	64,500	10.4	1.9	12.6
Subestación y transformador	28,000	4.5	1.4	4.5	28,000	4.5	0.7	4.5
Bomba vertical tipo turbina								
Bomba 130 metros								
Columna 8" diámetro	165,500	26.6	8.8	28.2	165,500	26.6	4.8	32.3
Obras accesorias								
Base para motor, pileta de descarga y caseta de protección	16,000	2.6	0.8	2.5	16,000	2.6	0.4	2.3
Inversión total	623,000	100.0			623,000	100.0		
Costo total por hora			31.2	100.0			15.0	100.0

¹ Se utilizó una tasa de interés nominal del 24%.

² Se utilizó una tasa de interés nominal de paridad para México de 9.5%.

Fuente: elaboración propia, con base a Jolalpa (2001). Rentabilidad y competitividad del brócoli (*Brassica oleracea* var. *Itálica*) de exportación en Guanajuato 2000/2001. Tesis de Maestría en Ciencias. Programa de Economía. Colegio de Postgraduados. Montecillos, México.

A.2 Costo de consumo de electricidad por concepto de uso de equipo de extracción de agua de riego a pozo profundo (pesos de 2001).

Fuente: elaboración propia con base en Jolalpa. Rentabilidad y competitividad del brócoli (*Brassica oleracea* var. *Itálica*) de exportación en Guanajuato 2000/2001. Tesis de Maestría en Ciencias. Programa de Economía. Colegio de Postgraduados, Montecillos, México, 2001.

Tipo de costo	Financiero	Económico
Región	Bajío-Norte	Bajío-Norte
Motor eléctrico (HP)*	70.9	70.9
Gasto medio (l/seg)	36	36
m ³ /hora 1/	129.6	129.6
h/Mm ³ 2/	7.72	7.72
kWh/motor 3/	52.85	52.85
kW/Mm ³ 4/	407.8	407.8
Tarifa eléctrica (\$/kW)	0.248	0.636
\$/Mm ³	101	260.0

Recibido: 19/08/2003
Aprobado: 11/11/2003

Referencias

ASERCA. El ajo mexicano, una historia de eficiencia y calidad. *Claridades agropecuarias*. Núm. 68, abril, México, D.F., 1999, 32 pp.

BAEZA, J. y NAVARRO, G.M. Riego por goteo en el cultivo de chile poblano *Capsicum annum* L. *Memorias 4º Simposium Internacional de Ferti-irrigación*. México, D.F.: Comité Nacional Mexicano de la International Commission on Irrigation and Drainage, 1999.

BERZOZA, M.M. y CHÁVEZ, N.S. *Módulo demostrativo de ferti-irrigación en hortalizas en la región de Delicias, Chihuahua*.

- Artículo ANEI-F10102. XI Congreso de Irrigación del 19 al 21 de septiembre, Guanajuato, México, 2001.
- BRAMBILA PAZ, J.J. y OSUNA, L.G. Conceptos básicos de ingeniería económica. *Boletín Informativo*. XXV. México: FIRA, 1992, 38 pp.
- CASTELLANOS, J.Z., VILLALOBOS, S., DELGADO, J.A., MUÑOZ, R.J., SOSA, A., VARGAS, P., LAZCANO, I. ÁLVAREZ, S.E. y ENRÍQUEZ, S.A. *Prácticas de manejo de N para aumentar su eficiencia de uso en Brócoli en la Región Central de México*. Celaya, México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Bajío, 2001.
- COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD. <http://www.cfe.gob> [en línea]. 2001.
- CHÁIDEZ, R. *Fertigación, nitrogenada del cultivo de coliflor (Brassica oleracea var. Botrytis L.) mediante riego por goteo*. Tesis de maestría. México: Colegio de Postgraduados, Montecillos, 1997.
- CHÁVEZ, C. Estado actual del conocimiento del agua subterránea en el estado de Guanajuato. *Memoria del Simposio Internacional de Aguas Subterráneas*. León, Guanajuato, México, del 7 al 9 de diciembre 1998.
- CORRAL, H. Cultivo de frutales con goteo enterrado. Instalación en Nogal Pecaners en el norte de México. *Memorias del 4º Simposium Internacional de Ferti-irrigación*. Comité Nacional Mexicano de la International Commission on Irrigation and Drainage. México, D.F., 1999.
- DEL VILLAR, V.M.F. *Cambio tecnológico, ventaja comparativa y mercados de destino de la producción de cebolla*. Tesis de maestría. Montecillos, México: Colegio de Postgraduados, 2001, 262 pp.
- ECHANOVE, F. *Mecanismos de abasto de la industria hortícola: integración vertical y/o agricultura de contrato*. México, D.F.: Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México, 2000.
- ETCHEVERS, J. *La ferti-irrigación en México*. Seminario Internacional. Montecillos, México: Universidad de Concepción. Facultad de Agronomía, Departamento de Suelos y Colegio de Postgraduados, 1999.
- FERGUSON y GOULD. *Teoría microeconómica*. Sexta reimpresión. México, D.F.: Fondo de Cultura Económica, 1984.
- GITTINGER, P. *Análisis económico de proyectos agrícolas*. Tercera reimpresión. Serie del IDE sobre Desarrollo Económico. Madrid: Editorial Tecnos, S.A., 1989.
- JOLALPA, J.L. *Rentabilidad y competitividad del brócoli (Brassica oleracea var. Itálica) de exportación en Guanajuato 2000/2001*. Tesis de maestría. Montecillos, México: Colegio de Postgraduados, 2001, 203 pp.
- LIZARRAGA, R. *Fertilización fosfatada en cultivo de tomate (Lycopersicon esculentum Mill) aplicada con cinta de riego*. Tesis de maestría. Montecillos, México: Colegio de Postgraduados, 1995.
- MARANÓN, B. *La viabilidad de la organización de los usuarios para el manejo de agua subterránea en Guanajuato*. Jiutepec, México: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, IMTA, 2001.
- MATUS, J.A. y PUENTE, A. (coordinadores). *Análisis estatal de los efectos de la política económica y bases de la estrategia para la conversión de la agricultura*. Guanajuato. Centro de Economía. Montecillos, México: Colegio de Postgraduados y Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, 1992.
- MEDINA, M. Caña de azúcar en México: un cultivo en auge. *Novedades agrícolas* núm. 3, Junio, 1999, pp. 10-11.
- MONKE, E. y PEARSON, S. *The policy analysis matrix in agricultural development*. New York: Cornell University Press. Ithaca, 1989, 279 pp.
- PALACIOS, E., MEJÍA, E., MARTÍNEZ, R. y EXEBIO, A. *Análisis de rentabilidad de riego presurizado*. Primer diplomado de ingeniería de riego. Centro de Hidrociencias. Montecillos, México: Colegio de Postgraduados, 1993.
- RAMOS, S.J. *Rentabilidad y competitividad del ajo (Allium sativum L.) en la región del bajo guanajuatense, 2000-2001*. Tesis de maestría. Montecillos, México: Colegio de Postgraduados, 2002, 153 pp.
- SÁNCHEZ, H.J.F. *Rentabilidad y ventaja comparativa de la producción de ajo, brócoli y coliflor en los estados de Guanajuato, Zacatecas y Aguascalientes, México (1991-1992)*. Tesis de maestría. Montecillos, México: Colegio de Postgraduados, 1994.
- VELASCO, L.A. *Evaluación de la rentabilidad y ventaja comparativa del cultivo de pimiento (Capsicum annum L.) bajo condiciones de ferti-irrigación en el estado de Guanajuato p/v 2001 y sus perspectivas de mercado*. Tesis de maestría. Montecillos, México: Colegio de Postgraduados, 2002, 198 pp.
- VUELVAS, M.A. y DÍAZ DE LEÓN, J.G.T. Avances de riego por goteo y ferti-irrigación de maíz, ajo y brócoli y su efecto en el rendimiento y la calidad. *Memorias del 4º Simposium Internacional de Ferti-irrigación*. Comité Nacional Mexicano de la International Commission on Irrigation and Drainage, México, D.F., 1999.
- VUELVAS, C.M.A. y ARREOLA, J.M. *Folleto para productores*. Núm. 1. Campo Experimental Bajío. INIFAP. 1992.
- VUELVAS, C.M.A. y DÍAZ DE LEÓN, J.G.T. Riego por goteo y ferti-irrigación del brócoli. *Memoria V Seminario Internacional: Tecnología de la producción de las crucíferas*. Celaya, Guanajuato. México, 2001, pp. 1-12.

Abstract

JOLALPA-BARRERA, J.L., HOYOS -FERNÁNDEZ, G., OMAÑA-SILVESTRE, J.M. Y CASTELLANOS-RAMOS, J. Water usage cost for broccoli using fertirrigation technology with the trickle irrigation system. Hydraulic engineering in Mexico (in Spanish). Vol. XIX, no. 4, October-December, 2004, pp. 105-119.

Overexploitation of underground water for agricultural use has had a negative effect not only on the profitability of basic crops in the country but also on the profitability of horticultural crops, and is the fundamental cause of the ever higher abatement of water tables. This situation becomes more acute in the State of Guanajuato, where the levels of overexploitation are critical. A possible alternative is the use of fertirrigation technology with trickle irrigation (FERT_{RG}), since this allows us, among other things, to save water and increase yield. However, the cost for its implementation is very high. Such cost is reflected in the cost of water use through the cost of equipment and infrastructure use and the cost of electricity consumption. Faced with this situation, the main objective of this work was to estimate the cost of water usage, at financial and economic prices, in broccoli crops (*Brassica oleracea* var. *italica*) using FERT_{RG} with the methodology designed by Monke and Pearson (1989) and with the algorithm developed by Matus and Puente (1992). The results show a total cost of water usage with FERT_{RG} at financial and economic prices, of \$ 3,745/ha (\$0.953/m³) and \$ 4,357/ha (\$ 1.109/m³), thus obtaining a positive net effect of policy of \$ 612/ha (\$ 0.156/m³), product of the subsidy to the electricity rates, the subsidy in the purchase of FERT_{RG} equipment, and the implicit tax to the interest rate. In both cases, the cost for usage of the equipment was higher than the cost for electricity consumption.

Keywords: equipment, electricity, infrastructure, price, overexploitation.

Dirección institucional de los autores:

M. en E. José Luis Jolalpa-Barrera

Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, Pecuarias y Forestales (INIFAP),
Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Conservación y Manejo de Ecosistemas Forestales (Cenid-Comef),
Av. del Progreso # 5, Viveros de Coyoacán, México, D.F.,
teléfono: (55) 5554 3035, extensión 133,
fax: (55) 5554 8453,
jjolalpa@inifap2.inifap.conacyt.mx

Dra. Gabriela Hoyos-Fernández

Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, Pecuarias y Forestales (INIFAP),
Campo Experimental Valle de México (Cevamex),
kilómetro 18.5 de la carretera México-Lechería,
Apartado Postal 307, 56101 Texcoco, Estado de México,
teléfono: (595) 9544 616.

Dr. José Miguel Omaña-Silvestre

Colegio de Postgraduados (CP),
Instituto de Socioeconomía, Estadística e Informática (ISEI),
kilómetro 36.5 de la carretera México-Texcoco,
56230 Montecillos, Estado de México,
teléfono: (55) 580 45900.

Dr. Javier Z. Castellanos-Ramos

Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, Pecuarias y Forestales (INIFAP),
Campo Experimental Bajío (Cebaj),
kilómetro 6.5 de la carretera Celaya-San Miguel de Allende. Apartado Postal 112,
38010 Celaya, Guanajuato,
teléfono: (461) 611 5262.