

EFICIENCIA DEL AGUA DE RIEGO EN LA PRODUCCIÓN DE MAÍZ FORRAJERO (*Zea mays* L.) Y ALFALFA (*Medicago sativa*): IMPACTO SOCIAL Y ECONÓMICO

Irrigation Water Efficiency in the Forage Corn (*Zea mays* L.) and Alfalfa (*Medicago sativa*) Production and its Social and Economic Impact

Aurelio Pedroza Sandoval^{1‡}, José Luis Ríos Flores¹, Myriam Torres Moreno²,
Jesús Enrique Cantú Brito¹, Cesar Piceno Sagarnaga³ y Luis Gerardo Yáñez Chávez¹

RESUMEN

El maíz y la alfalfa, son los dos principales cultivos forrajeros en la Cuenca Lechera de la Laguna de los estados de Coahuila y Durango, México, donde el recurso hídrico es el mayor factor limitante. El objetivo de este estudio fue hacer una evaluación de la eficiencia biológica, económica y social del uso de agua de riego en los cultivos de maíz forrajero (*Zea mays* L.) y alfalfa (*Medicago sativa*), mediante un análisis económico comparativo y de eficiencia de productividad. El maíz fue más eficiente que la alfalfa, puesto que un m³ de agua subterránea produjo 5.72 kg de biomasa, \$0.67 de ganancia por m³ de agua usada y 100 000 m³ de agua produjeron 0.65 empleos durante el ciclo del cultivo; mientras que la alfalfa produjo 0.215 kg de biomasa, \$0.90 de ganancia y se generaron 0.43 empleos con los mismos volúmenes de agua indicados en el maíz. El cultivo de maíz forrajero fue más eficiente en producción de biomasa por volumen de agua utilizado y empleos generados, pero menos eficiente en ganancias, donde la alfalfa fue mejor. Una combinación durante el año de cultivos forrajeros con calidad energética y proteica como el maíz y la alfalfa respectivamente, éstos producidos bajo un programa de rotación, habrán de redundar en un equilibrio entre calidad de forraje, productividad del mismo, un mayor beneficio social y un menor impacto ambiental.

Palabras clave: ganadería, sociología, leche.

¹ Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas, ³ Egresado de URUZA, UACH. Km 38.5 Carretera Gómez Palacio-Cd. Juárez. 35230 Bermejillo, Durango México.

[‡] Autor responsable (apedroza@chapingo.uruz.edu.mx)

² Servicios Especializados – SAGARPA-Comarca Lagunera. Chihuahua 269 ote. 35150 Lerdo, Durango, México.

Recibido: octubre de 2013. Aceptado: agosto de 2014.
Publicado en Terra Latinoamericana 32: 231-239.

SUMMARY

Corn and alfalfa are the most important forage crops in the La Laguna dairy region, Coahuila and Durango, Mexico, where water is the major limiting factor. This study was conducted to assess the biological, economic and social efficiency of irrigation water used in forage maize (*Zea mays* L.) and alfalfa (*Medicago sativa*). The methodology used was that of the International Institute for Water Management. Forage maize was more efficient than alfalfa, producing 5.72 kg of biomass, and \$0.67 profit per m³ of water used, and created 0.65 jobs for each 100 000 m³ of water, during the crop cycle, while alfalfa produced 0.215 kg of biomass, \$0.90 profit, and 0.43 jobs, using the same volumes of water as in maize. Forage maize was more efficient in production per m³ of water used and jobs generated, relative to alfalfa, which however, was more efficient in producing profits. A combination, during the year, of high energy and protein quality forage crops such as corn and alfalfa, respectively, produced under a rotation program should result in a balance between forage quality, productivity, greater social benefit and lower environmental impact.

Index words: livestock, sociology, milk.

INTRODUCCIÓN

El maíz y la alfalfa, son los dos principales cultivos forrajeros en la Comarca Lagunera de los estados de Coahuila y Durango, México, una de las principales cuencas lecheras del país (SIAP-SAGARPA, 2012). Ambos cultivos se complementan respecto a la alimentación de los animales, el maíz en el contenido de fibra requerida por los rumiantes para la digestión y la alfalfa como fuente de proteína en la producción de leche (Montemayor *et al.*, 2010, 2012). Derivado de lo anterior, ambos cultivos son los que actualmente más se

utilizan como opción forrajera en la región, el maíz en el área agrícola del Distrito de Riego 017 y la alfalfa más en áreas agrícolas de propiedad privada con abasto de agua de pozo profundo. La diversificación de cultivos diferentes a la alfalfa, se ha intensificado ante la crisis de recursos hídricos en la región, debido a las recurrentes sequías que en los últimos años se han registrado; el promedio de precipitación anual, es de 240 mm (García, 1973). De esta manera en la región, uno de los problemas principales es la falta de disponibilidad hídrica, agudizado por las sequías y su consecuente efecto sobre la recarga del manto acuífero. De acuerdo con CONAGUA (2010) de los 653 acuíferos, 101 están sobreexplotados, con una recarga natural de 800 millones m³ (Mm³) en el acuífero principal, ante una extracción aproximada de 1252 mm³ con un abatimiento promedio de 1.3 m por año. Ante este panorama, es necesario explorar una serie de opciones que por un lado permitan hacer un uso eficiente del recurso hídrico y por otro mantener una producción agropecuaria competitiva, acorde a los estándares de los mercados nacional e internacional, que permita asegurar el alimento para más de 409 895 cabezas de ganado lechero (Consejo Agropecuario de la Comarca Lagunera, A.C., 2013). La producción de forraje se basa en pocas especies, como maíz (*Zea mays*), sorgo (*Sorghum bicolor*), cereales de invierno y alfalfa (*Medicago sativa*); ésta última ocupa el 40% de la superficie total forrajera en la región (Montemayor *et al.*, 2012).

Para el maíz forrajero se usa una lámina de riego promedio anual de 70 cm en la región (Faz, 2003; INIFAP, 2007). Este cultivo al ser ensilado lo hace uno de los cereales de mayor importancia, por su alta producción de materia seca por unidad de superficie y por su gran valor energético, así como por su facilidad de cosecha, conservación y utilización como alimento forrajero. Después de la alfalfa, el maíz, es uno de los forrajes más utilizados en La Comarca Lagunera, para la alimentación animal de los productores de leche. Por ello ha venido incrementando su superficie hasta por seis veces, comparando el periodo 1990-1992, respecto al periodo de 2003-2005, con un incremento del 667% (Ríos *et al.*, 2008). Adicionalmente a las bondades y eficiencia productiva, el maíz forrajero disminuye el riesgo que se tiene en la época de cosecha y el bajo impacto por plagas y enfermedades, en comparación con otros cultivos forrajeros (Montemayor *et al.*, 2012).

En el cultivo de alfalfa se aplica una lámina de riego que varía de 1.4 a 1.5 m por ciclo del cultivo (Montemayor *et al.*, 2010). Es una leguminosa forrajera de alta calidad proteica, lo cual la hace atractiva para los ganaderos, sin embargo, es un cultivo de alta demanda hídrica, expresada con un bajo índice de productividad por volumen de agua (Putnam *et al.*, 2008), correspondiente a 1.18 kg de materia seca por m³ de agua utilizada (Quiroga y Faz, 2008). Sin embargo, se considera que este cultivo tiene un papel importante en la rotación de cultivos (Russell *et al.*, 2006).

Con base en lo anterior, en zonas de importancia económica basada en la producción de leche, se entiende que exista una alta demanda de forraje, el cual básicamente es producido bajo condiciones de riego, en una región donde la principal limitante es la disponibilidad de agua. Esto se agrava, si se considera que la producción de forrajes está basada en un número relativamente bajo de cultivos, entre los que destaca la alfalfa por ser una especie de alta calidad nutricional, pero de altos requerimientos hídricos (Núñez, 2000), lo cual debe ser complementado con la rotación de otros cultivos, como el maíz, sorgo, avena, cebada, triticale y otros, que pueden ser una opción quizá de menor calidad nutricional, pero de mayor eficiencia productiva en biomasa por volumen de agua utilizada (Moreno *et al.*, 2000). Por lo anterior, la exploración de cultivos alternativos forrajeros y la eficiencia productiva, sigue siendo una línea de investigación vigente que permite abordar el problema regional de manera integral. El objetivo del presente estudio fue hacer una evaluación de la eficiencia hídrica, económica y social en la producción de maíz (*Zea mays* L.) y alfalfa (*Medicago sativa*) como los principales cultivos forrajeros en la región de estudio.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del Área de Estudio

La Comarca Lagunera de los estados de Coahuila y Durango, se encuentra ubicada en las coordenadas geográficas 26° 00' y 26° 10' N y 104° 10' y 103° 20' O, con una altitud de 1119 m. El clima es seco desértico, con régimen de lluvias en verano e invierno fresco. La temperatura media anual varía de 19 a 21 °C y la precipitación promedio anual es de 215.5 mm (García, 1973).

Base de Datos y Variables

Las variables que se analizaron fueron: superficie cosechada, producción física anual, valor bruto de la producción, costos por hectárea y número de jornales por hectárea, información obtenida de los Anuarios Estadísticos de la Producción Agropecuaria de la SAGARPA, Delegación Laguna, Ciudad Lerdo, Durango, México (SAGARPA, 1990-2009). Para el cálculo de la lámina de riego (LR), se consideraron los volúmenes más usuales recomendados en la región, ya citados anteriormente para cada cultivo (Faz, 2003; INIFAP, 2007; Montemayor *et al.*, 2010), se multiplicó por 10 000 (área en m² de una hectárea) y de esa manera se obtuvo el volumen total “V” de metros cúbicos (m³) de agua demandada por el cultivo $V = 10000 LR$. A partir de esta información se generaron las siguientes variables para ambos cultivos (maíz y alfalfa):

Y_1 = cantidad de agua utilizada por kilogramo de forraje verde producido (m³ kg⁻¹), de acuerdo a la Ecuación:

$$Y_1 = \frac{V}{RF} = \frac{10000 LR}{RF}$$

Y_2 = kilogramos de biomasa producida por cada m³ de agua usado en el riego (kg m⁻³), de acuerdo a la Ecuación:

$$Y_2 = \frac{1}{Y_1} = \frac{RF}{V} = 0.0001 \frac{RF}{LR}$$

Y_3 = cantidad en m³ de agua usada en el riego necesario para producir \$ 1.00 de ingreso bruto, de acuerdo a la Ecuación:

$$Y_3 = \frac{V}{RM} = \frac{10000 LR}{RM} = \frac{10000 LR}{RF (Pr)}$$

Y_4 = ingreso generado por m³ de agua usado en el riego, de acuerdo a la Ecuación:

$$Y_4 = \frac{1}{Y_3} = \frac{RM}{V} = \frac{0.0001 RM}{LR} = \frac{0.0001 RF (Pr)}{LR}$$

Y_5 = utilidad bruta producida (\$) por cada m³ de agua de bombeo usada en el riego, de acuerdo a la Ecuación:

$$Y_5 = \frac{U}{V} = \frac{I - C}{10000 LR} = \frac{0.0001 (RF (Pr) - C)}{LR}$$

Y_6 = cantidad de agua utilizada (m³) en el riego por bombeo para producir \$ 1.00 de utilidad bruta, de acuerdo a la Ecuación:

$$Y_6 = \frac{1}{Y_5} = \frac{V}{U} = \frac{10000 LR}{U}$$

Y_7 = utilidad bruta de agua (\$) entre el precio del m³ de agua, de acuerdo a la Ecuación:

$$Y_7 = \frac{U / m^3}{precio\ del\ agua / m^3}$$

Y_8 = cantidad de empleos generados por cada 100 000 m³ de agua irrigada, de acuerdo a la Ecuación:

$$Y_8 = \frac{E}{100,000\ m^3\ de\ agua}$$

Y_9 = horas de trabajo invertidas por tonelada (Mg), de acuerdo a la Ecuación:

$$Y_9 = \frac{J * 8}{RF}$$

Y_{10} = ganancia a nivel regional por trabajador, de acuerdo a la Ecuación:

$$Y_{10} = \frac{S * U}{Número\ de\ empleados\ permanente\ s}$$

Y_{11} = ganancia (\$) por hora invertida de trabajo, de acuerdo a la Ecuación:

$$Y_{11} = \frac{U}{J * 8}$$

Significado de las siglas en las diferentes ecuaciones:
LR = lámina de riego (m);

V = volumen de agua utilizado (m^3) = LR*10000;
 RF = rendimiento de forraje por hectárea ($Mg\ ha^{-1}$);
 I = RM= ingreso o rendimiento monetario por hectárea (en pesos para 2009);
 C = costo por hectárea (en pesos para 2009);
 U = utilidad o ganancia bruta por hectárea (en pesos para 2009) = I – C;
 Pr = precio real por Mg (en pesos para 2009);
 E = número de empleos generados al año = S*J/288;
 S = superficie cosechada (ha);
 J = número de jornales por hectárea;
 288 = número de jornadas de trabajo al año por trabajador = 6 jornadas de trabajo por semana por 48 semanas al año.

El estudio se limitó al cultivo de maíz forrajero establecido en el sector pequeña propiedad y se le comparó con la alfalfa (*Medicago sativa*) establecida tanto en ejidos como pequeña propiedad, irrigados ambos cultivos con agua subterránea mediante bombeo tradicional.

Análisis de Datos

Para el análisis de los datos y la comparación entre los dos cultivos (maíz y alfalfa), se aplicó el enfoque económico estático-comparativo de Astori (1984) mediante la metodología para eficiencia en el uso del agua de riego propuesta por el Instituto Internacional de Manejo del Agua, citada por Bos y Chambouleyron (1999). En este tipo de estudios, se utilizan tres tipos de parámetros: de uso agrícola (físicos, económicos y ambientales); de gestión (administrativos, financieros y sociales) y; de operación del agua de riego. Adicionalmente, se utilizó un programa de análisis multiobjetivo SIAM 1.0 Beta, herramienta informática desarrollada en el Posgrado de Gestión Ambiental del Departamento de Geociencias y Medio Ambiente, de la Facultad de Minas de la Universidad Nacional de Colombia (Smith *et al.*, 2005), con el propósito de identificar la mejor alternativa para la producción de forraje, en función de un espectro de objetivos para la integración sistemática de indicadores de eficiencia hídrica, productiva, económica y social.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los cultivos de maíz forrajero y alfalfa, tuvieron áreas de producción muy diferentes, 10 750 y 33 471 ha respectivamente, con producciones físicas anuales de

452 690 y 2 805 298 Mg, respectivamente. Los precios nominales promedio por tonelada fueron de \$438.24 para maíz y \$368.20 para alfalfa en 2010, correspondiendo a rendimientos físicos de 44.49 y 83.81 $Mg\ ha^{-1}$, respectivamente (Cuadro 1).

Con base en lo anterior, se determinó que la inversión de capital por hectárea (ha) en la relación Beneficio/Costo, para el cultivo de alfalfa fue más eficiente que para el maíz forrajero, respecto al uso de los recursos financieros, lo cual es congruente a lo reportado por Godoy *et al.* (2003) y Montemayor *et al.* (2010, 2012).

Por cada hectárea cosechada de maíz forrajero y alfalfa se produjeron ingresos brutos de \$19 497.63 y \$30 857.97 respectivamente; en tanto que el costo por ha de cada uno fue de \$14 260.44 en maíz forrajero y \$14 712.4 en alfalfa, por lo que al restarle al ingreso por ha el correspondiente costo, se obtuvieron ganancias de \$5237.19 y \$16 145.57 ha^{-1} , respectivamente. El cultivo de alfalfa, fue superior 1.03% en costo ha^{-1} respecto al maíz, sin embargo, la ganancia fue de 308% más que el maíz forrajero. Lo anterior repercutió en la relación Beneficio/Costo, el cual fue de 1.37 en maíz forrajero y de 2.10 en alfalfa (Cuadro 1). Para el maíz forrajero, el costo particular más elevado fue el de siembra y fertilización, con \$3900 y en segundo lugar el riego, con \$3285 de los \$14 260.40 ha^{-1} del total del costo de producción. Para la alfalfa, el principal costo lo representó el riego, con un gasto de \$8102.4 de un total de \$14 712.40, que corresponde a 55% del total, respecto al 23.03% del total en el caso del riego en maíz forrajero (Cuadro 2).

Productividad Física (bioamasa)

La cantidad de metros cúbicos (m^3) de agua subterránea usada en el riego que fue necesaria para producir 1 kg de biomasa, indica que se necesitaron 0.175 m^3 de agua para producir 1 kg de maíz forrajero, mientras que el cultivo de alfalfa demandó 0.215 m^3 de agua, lo cual implicó utilizar 18.7% menos agua en el primero respecto del segundo, lo cual es similar a lo identificado por diferentes autores (Godoy *et al.*, 2003; Montemayor *et al.*, 2010, 2012), permitiendo mayor certidumbre a lo identificado en este estudio.

Para la alfalfa, se produjo 4.66 kg de biomasa por m^3 de agua, inferior a los 5.72 $kg\ m^{-3}$ de agua en maíz forrajero, lo que significa un 27.03% de incremento del maíz sobre la alfalfa. Lo anterior indica que, en términos de biomasa por m^3 de agua, es más productivo el maíz

Cuadro 1. Variables económicas y de producción relacionadas al uso del agua de riego por bombeo en maíz forrajero (*Zea mays* L.) y alfalfa (*Medicago sativa*) en La Comarca Lagunera.

Variable macroeconómica	Maíz forrajero	Alfalfa
Superficie cosechada (ha)	10 175.00	33 471.0
Producción anual (Mg)	452 690.00	2 805 298.0
Toneladas por hectárea	44.49	83.81
Precio por tonelada	438.24	368.20
Ingreso por hectárea	19 497.63	30 857.97
Costo por hectárea	14 260.44	14 712.40
Ganancia por hectárea	5237.19	16 145.57
Relación beneficio/Costo	1.37	2.10
Núm. de jornales por hectárea	14.62	22.27
Toneladas por jornada	3.04	3.76
Costo por tonelada	320.50	175.50
Ganancia monetaria por jornada	358.20	725.00
Lámina neta de riego (LR) en m	0.78	1.80
Volumen de agua usado (millones de m ³)	79.14	602.48
Ganancia monetaria total (Millones de pesos de 2009)	53.29	540.41
Total de jornales al año	148 758.50	745 399.17
Número de empleos permanentes/año (1 empleo permanente = 6 jornadas/semana por 48 semanas al año)	516.52	2 588.19
Capital invertido en la producción (millones de pesos)	145.10	492.44

Fuente: Elaboración propia con base en el anuario estadístico de la producción agropecuaria, ciclo agrícola 2010. SAGARPA Delegación Comarca Lagunera, Ciudad Lerdo, Durango, México.

forrajero que la alfalfa (Cuadro 3). Lo anterior es importante si se considera que la producción de forraje es una actividad agropecuaria esencial para el desarrollo de la ganadería, y en particular el que se obtiene del cultivo del maíz, ya que este cultivo por su diversidad genética se adapta a diferentes regiones (Tucuch-Cauich *et al.*, 2011). Adicionalmente, de acuerdo a Reta Sánchez *et al.* (2010), un sistema alternativo con especies de ciclo anual que incluyó canola (*Brassica napus* L.), maíz (*Zea mays* L.) y soya (*Glycine max* L. Merr.) con un volumen similar de agua aplicado a la alfalfa, produjo rendimientos de proteína cruda iguales a este cultivo, pero con un 62% más en rendimiento de materia seca y 77% más en energía neta para lactancia.

Eficiencia Económica

El ingreso bruto producido por m³ de agua irrigada, resultó ser igual a \$2.507 en maíz forrajero y \$1.71 en alfalfa. Ambos cultivos generaron un ingreso equivalente de 27.06% en el maíz forrajero y de 17.8% en el cultivo de alfalfa. Lo anterior sugiere que los costos de producción agrícola de estos cultivos son elevados, donde

las ganancias son menores (Clop *et al.*, 2009), respecto de otros de menor demanda de agua y mayor rentabilidad económica, como la sábila (*Aloe barbadensis* L.) que es un cultivo alternativo de alto potencial que se está desarrollando en la región (Pedroza y Gómez, 2006). De esta manera, se identificó que el cultivo de alfalfa generó una ganancia bruta de \$0.90 m⁻³ de agua, en tanto que el maíz forrajero fue de \$0.67, lo cual indica que la gramínea, tuvo una productividad económica del uso del agua inferior en relación a la alfalfa en un 33.33% (Cuadro 3).

Eficiencia Social

El precio del agua considerado en este estudio, es el resultado de dividir el rubro de riego, como parte integrante de la estructura del costo total de producción por hectárea considerado en los Anuarios Estadísticos de la Producción Agropecuaria de La Comarca Lagunera (Cuadro 2), entre el volumen de agua irrigada por hectárea, calculado éste con base en la lámina de riego recomendada por INIFAP (2007) y sometida a un 87.5% de eficiencia en su conducción.

Cuadro 2. Costo por hectárea en los cultivos de maíz forrajero (*Zea mays* L.) y alfalfa (*Medicago sativa*) en el sector pequeña propiedad, irrigados por bombeo en La Comarca Lagunera, 2013.

Concepto	Maíz forrajero	Alfalfa
	- - - - - \$ - - - - -	
Preparación del suelo	2300.00	0.00
Siembra y fertilización	3900.00	1800.00
Labores de cultivo	2100.00	0.00
Riego	3285.00	8102.40
Fitosanidad	980.00	260.00
Cosecha	0.00	4550.00
Diversos	1695.44	0.00
Costo total por hectárea	14 260.44	14 712.40
Precio del m ³ de agua al productor	0.42	0.45
Número de jornales	14.62	22.27

Fuente: Elaboración propia con base en el anuario estadístico de la producción agropecuaria, ciclo 2010. SAGARPA Delegación Comarca Lagunera, Ciudad Lerdo, Durango, México.

Los índices de la utilidad bruta por m³/Precio del m³ de agua al productor (Y_7), indican que en el caso del cultivo de maíz forrajero, el índice fue de 1.57, lo cual denota que por cada \$1 pagado por el agua, el productor obtuvo \$0.57 adicionales en forma de ganancia bruta; en tanto que en alfalfa, el índice fue de 1.99, lo cual sugiere que el productor agrícola recobró del cultivo de la alfalfa, el peso erogado por permitírsele usar el agua subterránea y \$0.99 adicionales de ganancia bruta (Cuadro 3).

La principal variable social del uso del agua subterránea en el riego, está dada por la cantidad de empleos generados por cada 100 000 m³ de agua irrigada, evaluada por la variable Y_8 (Cuadro 3). Esta variable muestra una mayor eficiencia social del agua subterránea en el cultivo de maíz forrajero, toda vez que por cada 100 000 m³ de agua extraída del subsuelo se generó 0.65 empleos permanentes; mientras que en el caso de la alfalfa, se generó 0.43 empleos, es decir, la gramínea creó 51.1% más empleos que la alfalfa al usar ese mismo volumen de agua. Lo anterior muestra que el uso del agua subterránea es 51.1% más productiva en el cultivo de maíz forrajero en relación al cultivo de alfalfa.

La productividad del trabajo en suelos irrigados con aguas subterráneas, muestra que en el cultivo de maíz forrajero fue más improductivo el trabajo invertido, en comparación a la alfalfa, ya que el primero demandó

2.63 h de trabajo para producir 1 Mg de forraje, a la vez que en el segundo cultivo se requirieron 2.13 h Mg⁻¹. En términos económicos, una hora de trabajo, según lo indica la variable Y_{11} , contrario a lo sucedido con el tiempo de trabajo invertido por tonelada de producto físico, fue más eficiente en alfalfa que en maíz forrajero, ya que el primer cultivo generó \$90.6 de ganancia bruta por hora invertida de trabajo, respecto a los \$44.8 producidos en maíz forrajero (Cuadro 3). Finalmente la productividad del trabajo en suelos irrigados con aguas subterráneas, evaluada como el nivel de ganancia/trabajador en cada cultivo, indica que existió una mayor productividad social en el cultivo de alfalfa, que en maíz forrajero, ya que el trabajador agrícola adscrito a la producción de alfalfa, produjo \$208 798 de ganancia, mientras que el trabajador adscrito a la producción de maíz forrajero, produjo \$103 168, lo que implica una ganancia 50.6% menor que la ganancia producida por el trabajador adscrito a la producción de alfalfa (Cuadro 3). De esta manera, en el cultivo de alfalfa, cada uno de los 2588 trabajadores adscritos aportó \$208 798; mientras que en el caso del maíz forrajero, cada uno de los 516.52 trabajadores

Cuadro 3. Indicadores de eficiencia física, económica y social del agua subterránea de riego por bombeo en maíz forrajero (*Zea mays*) y alfalfa (*Medicago sativa*).

Variable económica	Maíz forrajero	Alfalfa
Y_1 = m ³ de agua por kilogramo	0.175	0.215
Y_2 = kilogramos por m ³ de agua	5.72	4.66
Y_3 = m ³ de agua por \$1 de ingreso bruto	0.399	0.583
Y_4 = Ingreso bruto por m ³ de agua	2.507	1.71
Y_5 = Utilidad bruta por m ³ de agua	0.67	0.9
Y_6 = m ³ de agua por \$1 de utilidad bruta	1.485	1.115
Y_7 = Utilidad bruta por m ³ /Precio del m ³ de agua al productor	1.59	1.99
Y_8 = Empleos generados por cada 100 000 m ³ de agua	0.65	0.43
Y_9 = Horas de trabajo invertidas por tonelada	2.63	2.13
Y_{10} = Ganancia a nivel regional por trabajador	103 168	208 798
Y_{11} = Ganancia / hora invertida de trabajo	44.8	90.6

Fuente: Elaboración propia con base en el Cuadro 1 y 2. Cifras en pesos nominales de 2010.

permanentes, contribuyó con \$103 168. La inversión de trabajo en la producción resultó ser 102.3% más productivo en el cultivo de alfalfa, respecto al del maíz forrajero (Cuadro 1 y 3).

Al estudiar indicadores comparativos en el uso del agua en la agricultura propuestos por el Instituto Internacional del Manejo del Agua, Sánchez *et al.* (2006), identificaron la pertinencia del uso de este tipo de indicadores, para el análisis y una adecuada toma de decisiones para el uso eficiente del agua de riego en la producción agrícola y su impacto en lo económico y social.

Análisis Multiobjetivo

Mediante el análisis multiobjetivo usando el Programa SIAM, se identificaron diferentes opciones para la elección de la mejor alternativa en relación a la producción de maíz forrajero o de alfalfa, tomando en cuenta la optimización simultánea de todos los indicadores de eficiencia productiva, económica y social expuestos anteriormente. Esta herramienta de análisis presenta los porcentajes de logro equivalentes con los que han sido calificadas las dos alternativas de

cultivos forrajeros analizados en este estudio posterior al proceso de evaluación. Es importante resaltar que esta técnica presenta, de manera predeterminada, porcentajes de asignación, tomando como referencia la alternativa mejor calificada para cada objetivo. Estos valores de asignación son denominados porcentajes de logro, cuyo intervalo varía de 0 a 100%, donde el valor máximo es referido a un valor óptimo de alcance para cada objetivo (Figura 1). Los indicadores anteriormente analizados son considerados como objetivos. De esta manera se identificó como la mejor opción el cultivar maíz forrajero, con base en permitir una mayor productividad de biomasa por cantidad de agua utilizada, mejor ingreso bruto por cantidad de agua, mayor cantidad de agua por utilidad bruta y, más empleos generados y horas de trabajo invertidas. Estos indicadores son preponderantes en lo productivo, social y ambiental, ya que en su mayoría están en concordancia entre el uso eficiente del agua, la producción de biomasa y los empleos generados. Sin embargo, estos indicadores van en detrimento de la rentabilidad económica del propio cultivo. En tanto que para la alfalfa, los mejores indicadores son la cantidad de agua por producción de forraje, cantidad de agua por ingreso bruto, utilidad bruta

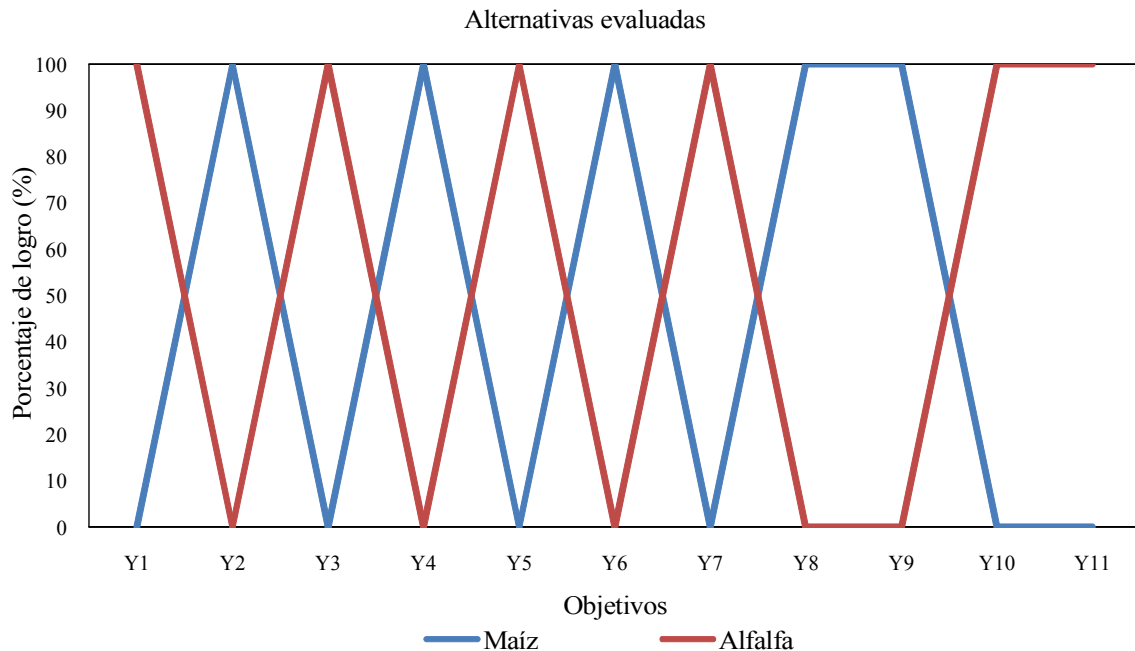


Figura 1. Alternativas evaluadas y porcentaje de logro obtenidas por el Modelo SIAM. Y₁ = m³ de agua por kilogramo; Y₂ = kilogramos por m³ de agua; Y₃ = m³ de agua por \$1 de ingreso bruto; Y₄ = ingreso bruto por m³ de agua; Y₅ = utilidad bruta por m³ de agua; Y₆ = m³ de agua por \$1 de utilidad bruta; Y₇ = utilidad bruta por m³/precio del m³ de agua al productor; Y₈ = empleos generados por cada 100 000 m³ de agua; Y₉ = h de trabajo invertidas por tonelada; Y₁₀ = ganancia a nivel regional por trabajador; Y₁₁ = ganancia / hora invertida de trabajo.

por m³ de agua y ganancia por trabajador por hora invertida de trabajo; el resto de los indicadores no son integrados.

Con la aplicación de esta metodología se optimizan las alternativas en referencia al cultivo de forrajes, de tal forma que no se obtiene una solución única, sino un espectro de soluciones alternativas con diferente combinación de indicadores que el productor debe ponderar y aplicarlo a cada situación. Para los cultivos analizados, el sembrar alfalfa o maíz forrajero se diferencian uno de otro por lo que ha mejorado en uno o más indicadores, a expensas de ceder en otros. Este planteamiento conducirá a una etapa final de toma de decisiones, en la que el decisor ha de ponderar los resultados de cada alternativa para elegir la más acorde a sus propias circunstancias.

Finalmente y de acuerdo a todo lo anteriormente discutido, en una región donde gran parte de la economía se sustenta en la producción de leche, pero con graves limitantes del recurso hídrico, donde además existe la necesidad de generar empleos en el medio rural, y a la vez es necesario considerar la calidad nutricional del forraje, sugiere la necesidad de generar diversas técnicas que hagan más eficiente el uso del agua y se optimice la producción tanto cuantitativa, como cualitativamente, ésta última en términos nutricionales y energéticos. La diversificación de cultivos adaptados a la región y una adecuada rotación de los mismos y su evaluación de eficiencia productiva en lo económico, social y ambiental, puede ser una línea de investigación susceptible de seguir explorando.

CONCLUSIONES

- El maíz forrajero fue más eficiente desde el punto de vista productivo, ambiental y social, con una mayor producción de biomasa por m³ de agua utilizada y por cada 100 000 m³ de agua extraída del subsuelo generó 0.65 empleos.
- Desde el punto de vista económico, la alfalfa fue más eficiente al producir 0.215 kg, pero con una ganancia de \$0.90; en tanto que el maíz produjo 5.72 kg de biomasa y una ganancia de \$0.67 m³ de agua utilizada, pero solo generó 0.43 empleos.
- La combinación durante el año de cultivos forrajeros de valor energético y proteico como el maíz y la alfalfa, respectivamente, y éstos producidos bajo un programa de rotación, habrá de redundar en un equilibrio entre

calidad de forraje, productividad del mismo, un mayor beneficio social y un menor impacto ambiental.

LITERATURA CITADA

- Astori, D. 1984. Enfoque crítico de los modelos de contabilidad social. Siglo XXI. México, D. F.
- Bos, M. G. y J. L. Chambouleyron. 1999. Parámetros de desempeño de la agricultura de riego en Mendoza, Argentina. IWMI. Serie Latinoamericana No. 5. Instituto Internacional del Manejo del Agua. México, D. F.
- Clop, M. M., Ll. Cots R., M. Esteban P. y J. Barragán F. 2009. Rentabilidad económica del regadío de los canales de Urgell (Lleida, España). Rev. ITEA 105: 36-48.
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). 2010. Atlas digital del agua 2010. Contraste regional entre el desarrollo y la disponibilidad del agua, 2008. <http://www.conagua.gob.mx/atlas/atlas.html?seccion=0&mapa=8> (Consulta: agosto 15, 2014).
- Consejo Agropecuario de la Comarca Lagunera, A.C. 2013. La importancia del sector agropecuario en la Comarca Lagunera. http://www.ganaderia.com.mx/ganaderia/home/articulos_int.asp?cve_art=1124 (Consulta: julio 20, 2014).
- Faz, C. R. 2003. Producción de forraje con maíces de ciclo corto con tres riegos de auxilio para ahorrar agua. Tecnología transferida. INIFAP, Matamoros, Coahuila.
- García, M. E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen: Para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F.
- Godoy Ávila, C., A. Pérez Gutiérrez, C. A. Torres E., L. J. Hermosillo e I. Reyes J. 2003. Uso de agua, producción de forraje y relaciones hídricas en alfalfa con riego por goteo subsuperficial. Agrociencia 37: 107-115.
- INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias). 2007. Requerimientos hídricos y manejo de agua de riego en cultivos forrajeros. Folleto científico No. 4. Centro de Investigación Regional Centro Norte, Campo Experimental Delicias. México, D. F.
- Montemayor Trejo, J. A., H. W. Aguirre Aguiluz, J. Olague Ramírez, A. Román López, M. Rivera González, P. Preciado Rangel, I del R. Montemayor Trejo, M. A. Segura Castruita, J. Orozco Vidal y P. Yescas Coronado. 2010. Uso de agua en la alfalfa (*Medicago sativa* L.) con riego por goteo superficial. Rev. Mex. Cienc. Pecu. 1: 145-156.
- Montemayor-Trejo, J. A., J. L. Lara-Míreles, J. L. Woo-Reza, J. Munguía-López, M. Rivera-González y R. Trucios-Caciano. 2012. Producción de maíz forrajero (*Zea mays* L.) en tres sistemas de irrigación en la Comarca Lagunera de Coahuila y Durango, México. Agrociencia 46: 267-278.
- Moreno D., L., D. García A. y R. Faz C. 2000. Manejo del riego en alfalfa. pp. 63-77. In: Libro técnico no. 2. Producción y utilización de la alfalfa en la zona norte de México. INIFAP-CIRNOC-CELALA. Matamoros, Coahuila, México.
- Núñez, H. G. 2000. Resultados de la investigación de forrajes de alta calidad nutritiva en condiciones limitadas de agua de riego. pp. 104-117. In: 3ª Reunión de Investigación SIVILLA-DURANGO. Durango, Dgo., México.

- Pedroza S., A. y F. Gómez L. 2006. La sábila (*Aloe* spp.): Propiedades, manejo agronómico, proceso agroindustrial y de mercado. Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de Publicaciones de la Dirección General de Difusión Cultural y Servicio. Chapingo, México.
- Putnam, D. H., P. Robinson, and E. De Peters. 2008. Forage quality and testing. pp. 2-25. *In*: C. G. Summers, and D. H. Putnam (ed.). Irrigated alfalfa management in mediterranean and desert zones (Chapter 16). University of California. Oakland, CL, USA.
- Quiroga G., H. M. y R. Faz C. 2008. Incremento de la eficiencia en el uso del agua por la alfalfa mediante la suspensión de riegos en el verano. *Terra Latinoamericana* 26: 111-117.
- Ríos Flores, J. L., M. Torres Moreno, S. Flores Álvarez, J. E. Cantú Brito, M. A. Hernández M. y E. Valdez Meza. 2008. Producción, productividad y rentabilidad de maíz forrajero (*Zea mays* L.) en la Laguna de 1990 a 2006. *Rev. Chapingo Serie Zonas Áridas* 7: 139-144.
- Russell A. E., D. A. Laird, and A. P. Mallarino. 2006. Nitrogen fertilization and cropping system impacts on soil quality in Midwestern Mollisols. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 70: 249-255.
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 1990-2009. Delegación de la Región Lagunera Coahuila Durango. Anuario Estadístico de la Producción Agropecuaria. Cd. Lerdo, Durango, México.
- Sánchez Cohen, I., E. Catalán Valencia, G. González Cervantes, J. Estrada Avalos y D. García Arellano. 2006. Indicadores comparativos del uso del agua en la agricultura. *Agric. Téc. Méx.* 32: 333-340.
- SIAP-SAGARPA (Servicio de Información Agroalimentaria-Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2012. Producción de leche. http://www.canilec.org.mx/prod_leche.html (Consulta: agosto 24, 2014).
- Smith, R., G. P. Jaramillo, J. Vélez, V. Botero y H. Caballero. 2005. Desarrollo de Técnicas para el Manejo de Incertidumbre e Imprecisión en Problemas de Decisión con Múltiples Objetivos. DIME. Universidad Nacional de Colombia. Medellín, Colombia.
- Tucuch-Cauich, C. A., S. A. Rodríguez-Herrera, M. H. Reyes-Valdés, J. M. Pat-Fernández, F. M. Tucuch-Cauich y H. S. Córdova-Orellana. 2011. Índices de selección para producción de maíz forrajero. *Agron. Mesoamer.* 22: 123-132.