

Indicadores de sustentabilidad del agua de riego en cultivos forrajeros del distrito de riego 017, Comarca Lagunera (México)* Evaluación económica del uso eficiente del agua

José Luis Ríos Flores⁸³

José Ruiz Torres^{**}, Miriam Torres Moreno^{**}

RESUMEN

Se desarrollaron modelos matemáticos que permitieron evaluar la eficiencia y la productividad del agua de riego como indicadores de la sustentabilidad del agua subterránea irrigada en los cultivos forrajeros del distrito de riego 017, comarca lagunera, México. los resultados muestran que los forrajes se establecieron en 72, 820 hectáreas, lo que representa el 45% de la superficie total agrícola, empleando 94.7% del agua subterránea, al emplear anualmente 1038.1 mm³, con lo que solo se generó 33% del valor bruto de la producción agrícola, al generar \$1, 786.4 millones de pesos. los indicadores de sustentabilidad, muestran que la productividad física fueron en promedio de 252 l kg⁻¹ (sorgo forrajero 181 l kg⁻¹, avena forrajera 413 l kg⁻¹, alfalfa 1 kg⁻¹). la utilidad bruta m⁻³ fue de \$0.56 m⁻³ en promedio (maíz forrajero \$0.94 m⁻³, rye grass \$0.89 m⁻³, maíz forrajero \$0.69 m⁻³ y \$0.58 m⁻³ en sorgo forrajero), mientras en los demás forrajes la utilidad fue negativa. La productividad horaria promedio fue de 2.28 h t⁻¹, donde el avena forrajera fue menos productiva al requerir 6.44 h t⁻¹. el indicador de eficiencia social mostró que promedio se generaron 0.048 empleos / hectómetro en promedio (0.037 empleos hm⁻³ en alfalfa, 0.076 empleos hm⁻³ en rye grass, 0.071 empleos hm⁻³ en sorgo forrajero). Finalmente bajo las mismas condiciones de cultivo, así como de mercado la cantidad mínima que se requiere producir para tener una operación viable (punto de equilibrio) promedio fue de 39.02 t ha⁻¹ en promedio forrajero, siendo el rye grass el que menos viabilidad muestra al tener un indicador igual a 56.53 t ha⁻¹. En conclusión, la producción de maíz y sorgo forrajero en la región resultó altamente eficiente y productiva en comparación a los demás cultivos forrajeros (alfalfa, rye grass, y avena forraje) lo que se traduce en mayor sustentabilidad del agua.

Palabras claves: agua virtual, productividad, eficiencia, huella hídrica.

ABSTRACT

Mathematical models that allowed evaluating the efficiency and productivity from water irrigation as indicators of sustainability of groundwater irrigated in forage crops from irrigation district 017, comarca lagunera, México. the results show that forages 72, 820 hectares were established representing 45% of the total agricultural area, employing 94.7% of the ground water, to employment 1038.1 mm³ annually, which only 33% was generated from the gross value of agricultural production to generating \$ 1, 786.4 million of pesos. Sustainability indicators show that the physical productivity

* Fecha de recepción Enero 25 de 2014 y fecha de aceptación Mayo 4 de 2014

83 Universidad Autónoma Chapingo - Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas., Bermejillo, Durango, C.P. 35230. E-mail: j.rf2005@hotmail.com (*Autor para correspondencia)

** SAGARPA, Delegación-Región Lagunera-Subdelegación de Planeación y Desarrollo Rural, Cd. Lerdo, Dgo., C.P. 35000 México.

averaged 252 l kg⁻¹ (forage sorghum 181 l kg⁻¹, forage oats 413 l kg⁻¹ alfalfa l kg⁻¹). gross profit m⁻³ was \$ 0.56 m⁻³ on average (green maize \$ 0.94 m⁻³, rye grass \$ 0.89 m⁻³, forage maize \$ 0.69 m⁻³ and \$ 0.58 m⁻³ in forage sorghum), while others feed profit was negative. the average hourly productivity was 2.28 h t⁻¹, where the forage oat was less productive to require 6.44 h t⁻¹. the social efficiency indicator showed that average 0.048 jobs per hectometer were generated (0.037 empleos hm⁻³ in alfalfa, hm⁻³ 0.076 jobs hm⁻³ in rye grass, and 0.071 jobs hm⁻³ in forage sorghum). finally under the same culture conditions as well as market the minimum amount required to produce to have an average viable operation (break-even) was 39.02 t ha⁻¹ forage average, with the rye grass the least viability shows to have an equal indicator to 56.53 t ha⁻¹. in conclusion, the production of corn and forage sorghum in the region was highly efficient and productive compared to other forage crops (alfalfa, rye grass, oats and forage) resulting in greater water sustainability.

Keywords: virtual water, productivity, efficiency and water footprint.

Introducción

Por sus características bromatológicas y nutritivas la alfalfa (*medicago sativa*) es el principal forraje de sustento para la producción de leche en el mundo (20). la alfalfa ocupa el 57% (36,000 hectáreas) de la superficie sembrada en la región, considerada como la cuenca lechera mas importante de México (9). la comarca lagunera es una región delimitada por varios municipios de los estados de coahuila y durango, cuenta con una población aproximada de 400,000 bovinos (21, 25). La industria lechera de esta región genera 10,000 empleos directos y mil seiscientos millones de litros de leche por año (26). Esta población de ganado demanda para su alimentación alrededor de 3, 000,000 toneladas de forraje verde anualmente, siendo la alfalfa la principal fuente de este insumo. Sin embargo, la producción de alfalfa de esta región enfrenta serios problemas de manejo de recursos de agua y suelo. el principal problema es la escasez de agua derivada de la sobreexplotación de agua subterránea para el riego de este cultivo y otros forrajes (29), así como la demanda de la lamina de riego anual de este cultivo, la cual varía entre 2.4 - 2.7m. A pesar de que la producción de leche se ha considerado como un foco importante de desarrollo económico, en el aspecto tecnológico de la producción de alfalfa se presentan graves atrasos, por ejemplo, a nivel nacional el 10% de la superficie total irrigada es la que se encuentra equipada con riego presurizado, mientras que en esta región solo el 1.0% se riega con estos sistemas (20,21).

El concepto de la productividad del agua fue establecido en 2003, (17) como una medida sólida para determinar la capacidad de los sistemas agrícolas de convertir el agua en alimento. Sin embargo la determinación de tal concepto en la practica se utilizara como una herramienta de diagnóstico para determinar la eficiencia del uso del agua ya sea alta o baja en los sistemas agrícolas o subsistemas; y en segundo lugar, proporciona una visión sólida para la determinación en las oportunidades de redistribución de agua en las cuencas hacia un objetivo de aumento de la productividad del agua a escala de cuenca y global. Lo que finalmente permitirá a los tomadores de decisiones hacer juicios acerca de qué alternativas puede haber para resolver los problemas técnicos, de la productividad del agua, acerca de si una región es o no eficiente en la producción agrícola. el análisis de la eficiencia y productividad del agua no deben ser interpretados como elementos aislados: son herramientas orientadas a brindar información base que, siendo analizada en el contexto

regional y junto con otros indicadores de relevancia, puede ser de utilidad para los tomadores de decisiones. Los otros factores a considerar son climáticos, hidrológicos y geográficos, así como los modelos productivos utilizados en las distintas regiones, la evolución demográfica local y los escenarios futuros (1, 19). Lo que obligadamente nos conduce a elevar la productividad y eficiencia agrícola, maximizando la productividad de cada gota de agua, así como una mejor captación y aprovechamiento de agua de lluvia que pueda contribuir en la reducción de la huella hídrica de un producto y la presión que esta ejerce sobre las cuencas (12,14, 15).

Materiales y métodos

Localización del área de estudio. se seleccionó el distrito de riego 017, comarca lagunera, que comprende parte de los estados de coahuila y durango, localizada entre los paralelos 24° 30' 27" de ln y 102° 40' de lo a una altura de 1200msnm, el clima es seco desértico con una temperatura media anual de 21° y precipitación media anual de 220mm (3).

Indicadores de sustentabilidad del recurso agua

Eficiencia y productividad. Los índices empleados para el análisis de la eficiencia física y económica del uso del agua, fueron la eficiencia del uso del agua expresada en kg m^{-3} (y_1 y y_2), y la productividad bruta m^{-3} , o la eficiencia económica (y_3 - y_4).

$$Y_1 = \frac{\sum_{i=1}^n V_i}{\sum_{i=1}^n P_i} = \frac{10,000 \sum_{i=1}^n S_i \frac{LR_i}{EC_i}}{\sum_{i=1}^n P_i}$$

$$Y_2 = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{10,000 \sum_{i=1}^n S_i \frac{LR_i}{EC_i}}$$

$$Y_3 = \frac{\sum_{i=1}^n V_i}{\sum_{i=1}^n S_i RM_i} = \frac{10,000 \sum_{i=1}^n S_i \frac{LR_i}{EC_i}}{\sum_{i=1}^n S_i RM_i}$$

$$Y_4 = \frac{\sum_{i=1}^n S_i RM_i}{10,000 \sum_{i=1}^n S_i \frac{LR_i}{EC_i}}$$

$$Y_5 = \frac{\sum_{i=1}^n U_i}{\sum_{i=1}^n V_i} = \frac{\sum S_i U_i}{10,000 \sum_{i=1}^n S_i \frac{LR_i}{EC_i}}$$

$$Y_6 = \frac{10,000 \sum_{i=1}^n S_i \frac{LR_i}{EC_i}}{\sum_{i=1}^n S_i U_i}$$

$$Y_7 = \frac{\frac{\sum_{i=1}^n S_i U_i}{10,000 \sum_{i=1}^n S_i \frac{LR_i}{EC_i}}}{\$ m^{-3}}$$

Utilizamos los costos de producción del durazno para calcular varios índices económicos y, de estos hacer un análisis económico. la utilidad (u) se obtuvo como la diferencia entre ingresos y costos que representan las utilidades para el productor. como indicadores microeconómicos utilizamos el precio del metro cúbico de agua (y_8).

$$Y_8 = \frac{\sum_{i=1}^n E_i * 10^{-1}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n V_j}$$

También como un indicador de la importancia social del agua, el número de empleos agrícolas (y_9). Esta eficiencia social del agua, es propuesta por algunos autores como la relación que existe entre el empleo y el agua consumida, utilizados en la evaluación de la eficiencia del agua (16).

$$Y_9 = \frac{8 \sum_{i=1}^n S_i J}{\sum_{i=1}^n P_i}$$

Otros indicadores de eficiencia social que se determinaron fueron los siguientes:

$$Y_{10} = \frac{\sum S_i U_i}{E} = \frac{\sum_{i=1}^n S_i U_i}{\sum_{i=1}^n S_i J_i}$$

$$Y_{11} = \frac{\sum_{i=1}^n S_i U_i}{8 \sum_{i=1}^n S_i J_i}$$

$$Y_{12} = \frac{n \sum_{i=1}^n [C_i S_i]}{\sum_{i=1}^n VBP_i / \sum_{i=1}^n P_i}$$

$$Y_{13} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i / \sum_{i=1}^n S_i}{Y_{12}}$$

Donde

- S_i = superficie cosechada del i-ésimo cultivo forrajero (ha)
 C_i = costo por hectárea del i-ésimo cultivo forrajero (\$ ha⁻¹)
 P_i = precio real por tonelada del i-ésimo cultivo forrajero (\$ t⁻¹)
 U_i = utilidad o ganancia bruta por hectárea del i-ésimo cultivo forrajero
 E_i = número de empleos generados al año por el i-ésimo cultivo
 RM = rendimiento monetario por hectárea del i-ésimo cultivo forrajero (\$ ha⁻¹)
 LR_i = lámina de riego del i-ésimo cultivo (m)
 EC_i = eficiencia hidráulica de conducción en la i-ésima forma de riego
 V_i = volumen de agua utilizado en una hectárea del i-ésimo cultivo (m³)

$\sum_{i=1}^n V_j$ = volumen de agua empleado (mm³) en toda la superficie de riego del j-ésimo cultivo

$\sum_{i=1}^n VBP_i$ = valor bruto de la producción del grupo de cultivos forrajeros

$\sum_{i=1}^n P_i$ = producción física anual del grupo de forrajes en conjunto

Se utilizó la base de datos de la secretaria de agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación del gobierno de México (24, 26). Los datos son del ciclo agrícola 2012, de producción, rendimiento, superficie sembrada y cosechada de cada cultivo forrajero en riego. Para este estudio se define como agricultura de riego todas aquellas tierras que tienen acceso a fuentes de agua (normalmente subterránea) adicionales a la precipitación, a la cual algunos autores denominan agua azul (11, 12, 13, 14). Para construir los costos de producción del cultivo, se emplearon los datos de sagarpa. Con base en estos valores, se calculó la rentabilidad del cultivo para el área de influencia del dr017, comarca lagunera. las láminas de riego netas empleadas fueron

las indicadas por el campo experimental del inifap en la comarca lagunera, para los cultivos de alfalfa forrajera (2.12m), sorgo forrajero (0.88m), maíz forrajero (0.88m), avena forrajera (0.88m), rye grass (0.88m), y una eficiencia en la conducción del 75%.

Resultados y discusión

El agua subterránea y los cultivos forrajeros en el dr017

En el ciclo agrícola analizado se establecieron 72, 820 hectáreas de forrajes de riego por bombeo, ocupando 45% de la superficie agrícola del distrito de riego, generando un \$1, 786.4 millones de pesos lo que represento el 33% del valor bruto de la producción agrícola regional. En el análisis del volumen de agua extraído a nivel regional muestra una tendencia creciente ya que entre 1992-1995 (2) determinaron que cada año se extraían 918.5 millones de metros cúbicos (mm^3), posteriormente en el periodo 2001-2003 (6) encontraron que cada año se extraían 1013.4 mm^3 , mientras que en este estudio se determinó que la extracción anual en el ciclo agrícola 2012 fue de 1038.1 mm^3 . Desagregando el volumen de agua empleado por cultivo se observa que el cultivo de alfalfa empleo 678.2 mm^3 , lo que representa el 62.7% de la extracción total de agua subterránea para el riego de cultivos forrajeros, mientras que el maíz forrajero empleo 138.3 mm^3 , avena forrajera 123.1 mm^3 , sorgo forrajero 90.7 mm^3 , rye grass 7.9 mm^3 .

Índices de productividad física y económica

El análisis de los conceptos que generan el costo total ha^{-1} , tanto en términos relativos como en términos absolutos, indican la importancia relativa de cada concepto. Los resultados muestran que los conceptos asociados al riego en todos los cultivos forrajeros son mayores en términos cuantitativos al representar 25% del costo total, mientras que los costos asociados a la siembra y fertilización represento el 20% del costo total. El agua empleada para el riego de este cultivo es extremadamente importante por ser el principal factor limitante en tanto determina la producción del cultivo. Sin embargo aun cuando el costo del riego fue $\frac{1}{4}$ del costo total el precio del agua es muy bajo ($\$0.36 \text{ m}^{-3}$) en promedio, oscilando desde $\$0.42 \text{ m}^{-3}$, en el rye grass hasta $\$0.32 \text{ m}^{-3}$ en avena forrajera. los precios adecuados del agua son importantes para la mejora de la demanda y de la conservación de este recurso (21, 27). sin embargo los precios del metro cubico no evidencian el valor real del agua, algunos agricultores estadounidenses pagan entre us\$ 0.01 a us\$ 0.05 m^{-3} empleado en el riego mientras que el público en general paga us\$0.30 a us\$ 0.80 m^{-3} por el agua tratada de uso doméstico (8). los agricultores de israel para la producción de tomate pagan $\$0.57 \text{ m}^{-3}$, mientras para la producción de maíz grano pagan us\$0.13 y us\$0.12 para la producción de trigo (22), lo que evidencia que en el área de estudio el precio del metro cubico de agua es muy bajo comparado con otras regiones agrícolas del mundo.

El análisis de la eficiencia del agua se observa en el cuadro 1, mismo que muestra los indicadores productivos, económicos y sociales. El uso eficiente del agua es uno de los índices más ampliamente empleados en una gran variedad de cultivos en españa (5, 23), sin embargo en México existe muy poca información y en algunos cultivos nula información al respecto. En nuestro estudio el indicador de eficiencia física para el promedio de cultivos forrajeros fue 3.98 kg m^{-3} (cuadro 1), encontrándose un índice mayor en el cultivo de sorgo forrajero

con 5.51 kg m^{-3} , lo que muestra una mayor eficiencia del cultivo para convertir el agua en forraje ya que empleo solo 181 l kg^{-1} , en comparación a los otros cultivos forrajeros evaluados en este trabajo. sin embargo los valores del indicador de productividad física se ubican por debajo de los otros indicadores (17) quienes bajo condiciones controladas de hidroponía determinaron un índice de 585 kg m^{-3} en sorgo forrajero y 521 kg m^{-3} en alfalfa (7), mientras que en nuestra evaluación el índice para el cultivo de alfalfa fue de 3.79 kg m^{-3} . Por otro lado en condiciones similares no controladas(10), en arabia saudita determinaron un índice de 1.478 kg m^{-3} , para una asociación de cultivos forrajeros (alfalfa, pánico azul, zacate rhodes, y zacate sudan).

El indicador de la variable y_3 , muestra que se requirieron en promedio de 561 l para generar \$1 peso de ingreso, oscilando de 340 l en maíz forrajero hasta 1,032 l en avena forrajera, lo cual muestra que son necesarias grandes cantidades de agua para generar \$1 peso, es decir; el empleo de 1 m^3 de agua en la producción de forrajes genero \$1.78 de ingreso bruto (y_4), observándose que el sorgo forrajero obtuvo más ingreso bruto por metro cubico al generar $\$2.52 \text{ m}^{-3}$. el índice de productividad económica en alfalfa forrajera fue \$0.69 en el dr017 mientras que el mismo índice para el cultivo de alfalfa en el valle de california fue de $\text{us}\$0.045 \text{ m}^{-3}$ y $\text{us}\$0.036 \text{ m}^{-3}$ en arizona (27).

cuadro 5: indicadores de eficiencia física (y_1 y y_2), económica (y_3 a y_6) y social (y_7 a y_{11}) del agua de riego de bombeo en los cultivos forrajeros del distrito de riego (dr) 017 comarca lagunera, México.

table 5: indicators of physical efficiency (y_1 and y_2), economic (y_3 to y_6) and social (y_7 to y_{11}) irrigation water pumping in forage crops from irrigation district (id) 017 laguna district, México.

variable económica	alfalfa	maíz forrajero	avena forrajera	sorgo forrajero	rye grass	grupo forrajero
$y_1 = \text{l kg}^{-1}$	264	190	413	181	290	252
$y_2 = \text{kg m}^{-3}$	3.79	5.28	2.42	5.51	3.44	3.98
$y_3 = \text{l } \$1^{-1}$ ingreso bruto	659	340	1032	396	971	561
$y_4 = \text{ingreso bruto m}^{-3}$	\$1.52	\$2.94	\$0.97	\$2.52	\$1.03	\$1.78
$y_5 = \text{utilidad bruta m}^{-3}$	\$0.69	\$0.94	-\$0.60	\$0.58	-\$0.89	\$0.56
$y_6 = \text{l } \$1^{-1}$ utilidad bruta	1,454	1,062	-1,656	1,725	-1,128	1,801
$y_7 = \text{utilidad bruta m}^{-3} / \$ \text{ m}^{-3}$	1.80	2.82	-1.87	1.78	-2.12	1.52
$y_8 = \text{empleos hm}^{-3}$	0.037	0.069	0.068	0.071	0.076	0.048
$y_9 = \text{h t}^{-1}$	2.22	3.03	6.44	2.98	5.06	2.28
$y_{10} = \text{ganancia trabajador}^{-1}$	\$188,363	\$135,823	-\$89,199	\$81,265	-\$117,347	\$114,157
$y_{11} = \text{ganancia h}^{-1}$	\$81.8	\$59.0	-\$38.7	\$35.3	-\$50.9	\$61.3
$y_{12} = \text{punto de equilibrio (t ha}^{-1})$	43.89	31.64	34.69	37.48	56.53	39.02
$y_{13} = \text{vulnerabilidad crediticia}$	1.83	1.47	0.62	1.30	0.54	1.45

Fuente: elaboración propia.

El índice de la y_5 , refleja el beneficio generado por metro cubico de agua. Este índice mostro ser más elevado en el cultivo de maíz forrajero al generar $\$0.94 \text{ m}^{-3}$, con respecto a los obtenidos en la alfalfa forrajera ($\$0.69 \text{ m}^{-3}$) y sorgo forrajero ($\0.58 m^{-3}), ya que los cultivos de avena y rye grass generaron utilidades negativas. en este sentido la información que existe sobre la eficiencia económica generada por metro cubico empleado en riego es escaza, en cultivos forrajeros es nula, existen algunos trabajos desarrollados en el mediterráneo

para cultivos hortofrutícolas, cereales y oleaginosos, este sentido, algunos autores determinaron en trigo que la utilidad bruta fue de € 0.23 m⁻³, mientras en girasol y maíz grano fue € 0.53 m⁻³ (19), lo que muestra que aun el cultivo de maíz forrajero en el dr017 fue eficiente económicamente en relación a los otros forrajes, en relación a otras regiones agrícolas es ineficiente.

por otro lado, si tomamos en cuenta que el beneficio generado por metro cubico en promedio fue de \$0.56 m⁻³, esto implicaría que para generar \$1 de utilidad bruta sería necesario invertir un total de 1, 801 l (y₆), ya que mientras que en el cultivo de alfalfa se requerirían de 1, 454 l \$⁻¹ en cultivos como el avena y el rye grass se observa que aun cuando se incrementara la inversión de litros de agua para la producción la rentabilidad del cultivo no estaría favoreciendo el ingreso generado, ello implica un uso no sustentable del agua. el indicador de la variable y₇, muestra la relación que existe entre el ingreso generado y el precio del metro cubico. Así el índice promedio para los forrajes en conjunto fue de \$1.52, lo que indica que de cada peso que el productor de forraje pago por el metro cubico de agua este obtuvo ese peso y \$0.52 adicionales. se determinó que el maíz forrajero fue el cultivo más eficiente en este sentido ya que obtuvo un índice de \$2.82, mientras que los cultivos ineficientes en este rubro fueron el rye grass y avena forrajera. por ello se menciona que de todos los sectores de la economía, la agricultura es el más sensible a la escasez de agua, ya que emplea aproximadamente el 70% de las extracciones globales de agua dulce, por lo que es el sector con más posibilidades, opciones de ajuste o de redistribución del agua hacia sectores que pudieran generar más riqueza (29).

Indicadores de eficiencia social

En cuanto a la eficiencia social del agua, que es la cantidad de empleos generados por hectómetro de agua, el indicador fue 0.048 (y₈) en promedio para los cultivos forrajeros. este indicador es bajo en relación a otros cultivos como las hortalizas y los frutales que requieren de una gran cantidad de mano de obra para actividades que no se realizan en otros cultivos forrajeros. de los cinco cultivos evaluados el rye grass (0.076 empleos hm⁻³) y el sorgo forrajero (0.071 empleos hm⁻³), mostraron ser los más eficientes socialmente en relación a cultivos como la alfalfa que obtuvo un índice de 0.037 empleos hm⁻³, lo que ubico al cultivo de alfalfa como el menos eficiente en términos sociales. En este sentido solo en algunas regiones de España se han generado este tipo de indicadores (5) mencionan que en ese país el índice de empleos generados por hectómetro de agua oscila entre 24 - 62 empleos hm⁻³ en la producción de hortalizas y frutales, mientras que la producción de cultivos en invernadero generan hasta 190 empleos hm⁻³ empleado en riego.

El indicador de la variable y₉ indica la productividad horaria es decir la cantidad de bienes o servicios en este caso de toneladas de producto (forraje) por cada miembro de fuerza de trabajo, en este caso por trabajador. de este análisis se observa que en promedio la productividad horaria fue de 2.28 h t⁻¹ como promedio para el grupo de forrajes, lo que indica que para producir una tonelada de forraje en promedio se requieren invertir 2.28 horas de trabajo, asimismo se determinó que el cultivo que resulto más eficiente en términos de productividad horaria fue la alfalfa con un índice que 2.22 h t⁻¹, mientras que el menos productivo fue el avena con 6.44 h t⁻¹.

De acuerdo con (4), existen otras dos formas de expresar la productividad laboral, para los indicadores estructurales, puede ser medida por el producto interno bruto (pib) generado y en relación con el número de personas

empleadas o que el número de horas trabajadas. así se determinó que cada trabajador dedicado a la producción de forraje en promedio agrego al pib de esa cadena productiva \$114,157 de ganancia por año, determinándose que el trabajador dedicado a producir alfalfa fue el más productivo laboralmente al generar \$188,363 de ganancia. Estos índices se encuentran estrechamente relacionados a la cantidad de forraje producido y al precio en el mercado del producto. a este respecto existe una discusión generalizada sobre la productividad agrícola vista como productividad laboral ya que generalmente se utilizan indicadores implícitos o explícitos relacionados con la productividad del cultivo. En este sentido se determinó que la ganancia por hora de trabajo invertida (y_{11}), en promedio para la producción de forrajes genera \$61.3 h^{-1} , determinándose que el cultivo de alfalfa es el cultivo que más ganancia genera por hora de trabajo al obtener un índice de \$81.8 h^{-1} , lo que ubica al cultivo de alfalfa como eficiente en cuanto a la productividad laboral en comparación con los cultivos forrajeros.

La variable y_{12} , muestra que bajo las mismas condiciones de cultivo, así como de mercado la cantidad mínima que se requiere producir para tener una operación viable (punto de equilibrio) fue de 39.02 $t\ ha^{-1}$ en promedio para el dr017, 43.89 $t\ ha^{-1}$ en alfalfa forrajera, y 56.53 $t\ ha^{-1}$ en rye grass como máximo y 31.64 $t\ ha^{-1}$ en maíz forrajero como mínimo. tomando en consideración la producción obtenida en cada uno de los cinco forrajes, el cultivo de avena forrajera y rye grass se ubicaron por debajo del punto de equilibrio con 21.3 $t\ ha^{-1}$ y 30.4 $t\ ha^{-1}$, respectivamente, lo que los ubica como ineficientes económicamente. Por otro lado el cultivo de alfalfa, maíz forrajero y sorgo forrajero se ubicaron por encima del punto de equilibrio, por lo que resultaron se ampliamente productivos con puntos de equilibrio de 80.31 $t\ ha^{-1}$, 46.55 $t\ ha^{-1}$ y 48.65 $t\ ha^{-1}$ respectivamente.

La variable y_{13} , que evalúa la vulnerabilidad crediticia del cultivo, desde la perspectiva de cuantas veces cubre el rendimiento físico por hectárea al punto de equilibrio. De esa forma, el cuadro 1 indica que en el caso de la alfalfa, el rendimiento físico por hectárea del cultivo (80.31 $t\ ha^{-1}$), alcanzó a cubrir 1.83 veces las 43.89 ton/ha que tuvo como punto de equilibrio la alfalfa, lo cual señala que el cultivo tuvo una relación beneficio/costo de 1.83. Por otro lado cultivos como el avena forrajera y rye grasss obtuvieron índices de 0.62 y 0.54 respectivamente, lo que los ubica como cultivos no rentables económicamente.

Conclusiones

El agua es un recurso primordial en las zonas áridas y semiáridas de México, en tanto que su aporte limita la producción de la agricultura. sin embargo en este estudio se observó que el precio real del agua es muy bajo en relación a otras zonas agrícolas del mundo. La determinación de índices de productividad física y monetaria pueden ser empleados como indicadores de eco-eficiencia, rendimiento y presión sobre el medio ambiente. la eficiencia y productividad del agua en cultivos como el maíz y sorgo forrajero producido en el dr017 comarca lagunera, fueron altos tanto en términos productivos como socioeconómicos, en relación al cultivo de alfalfa, lo que los promueve como una opción de cultivos orientados a elevar la productividad del agua en la región.

Bibliografía

- DE LA CRUZ, E.; GUTIÉRREZ, E.; PALOMO, A.; RODRÍGUEZ, S. 2003. Amplitud combinatoria y heterosis de líneas de maíz en la comarca lagunera. *Revista fitotecnia mexicana*. 26 (4): 279-284.
- DORWARD, A. 2013. Agricultural labor productivity, food prices and sustainable development impacts and indicators. *Food policy*. 39: 40-50.
- GARCÍA, G. J.; CONTRERAS, L. F.; USAI, D.; VISANI, C. 2013. Economic assesment and socio-economic evaluation of water use efficiency in artichoke cultivation. *Open journal of accounting*. 2 (2): 45-52.
- GARCÍA, S. J.; GUZMÁN, S. E.; Y FORTIS, H. M. 2006. Demanda y distribución del agua en la comarca lagunera. *Agrociencia*. 40: 269-276.
- AL-KARAKI, G.; AL-HASHIMI, M. 2012. Green fodder production and water use efficiency of some forage crops under hydroponic conditions. *International scholarly research network isrn agronomy*. 12: 1-5.
- GLEICK, P. H. 2004. Global freshwater resources: soft-path solutions for the 21st century. *Science*. 302: 1524-1528.
- GODOY, A. C.; PÉREZ, G. A.; TORRES, E. C. A.; HERMOSILLO, I. J.; REYES, J. L. 2003. Uso de agua, producción de forraje y relaciones hídricas en alfalfa con riego por goteo subsuperficial. *Agrociencia*. 37(2):107-115.
- HASHIM, M. A. A.; AL-DOSARI, S. A.; ASL-GAADI, V. C.; PATIL, E. H. M.; rangaswamy, t. a.; samdani, m. a. 2012. Determination of water requirement and crop water productivity of crops grown in the makkah region of Saudi Arabia. *Australian Journal of basic and applied sciences*. 6(9): 196-206, 2012.
- HOEKSTRA, A. Y.; CHAPAGAIN, A. K. 2007. Water footprints of nations: water use by people as a function of their consumption pattern. *Water resources management*. 21 (1): 35-48.
- HOEKSTRA, A. Y. 2009. Human appropriation of natural capital: a comparison of ecological footprint and water footprint analysis. *Ecological economics*. 68 (7):1963-1974.
- HOEKSTRA, A. Y.; CHAPAGAIN, A. K.; ALDAYA, M.; MEKONNEN, M. M. 2011. The water footprint assessment manual setting the global standard. Earthscan, London, UK. 227p.
- HUSSAIN, I.; TURRAL, H.; MOLDEN, D.; AHMAD, M. 2007. Measuring and enhancing the value of agricultural water in irrigated river basins. *Irrigation science*. 25 (3): 263-282.
- KIJNE, J.W.; R. BARKER; MOLDEN, D (eds.) 2003. Water productivity in agriculture: limits and opportunities for improvement. Cabi publication, WallingfordUK. 332p.
- LORITE, I. J.; GARCÍA, V. M.; CARMONA, M.; SANTOS, A. A.; SORIANO, M. A. 2012. Assessment of the irrigation advisory services, recommendations and farmers. *Irrigation management: a case study in southern Spain*. *Water resources management*. 26 (8): 2397-2419.
- MEKONNEN, m. m.; and hoekstra, a. y. 2010. a global and high-resolution assessment of the green, blue and grey water footprint of wheat. *Hydrology and earth system sciences*. 14:1259-1276.
- MONTEMAYOR, J. A.; AGUIRRE, H. W.; FORTIS, M.; OLAGUE, J.; RODRIGUEZ, J. C.; CHAVARRIA, J. 2006. Uso del agua en la alfalfa (con riego sub superficial ii). *Semana internacional de agronomía*. Universidad Juárez del estado de durango. Facultad de agricultura y zootecnia – ujed. Venecia. Gómez palacio durango, México. 75: 47-53.
- NÚÑEZ, H. G.; CHEW, Y. I.; REYES, J. I. 2000. Producción y utilización de la alfalfa en la zona norte de México. Ghj editores. Libro técnico no.2. Sagarpa-inifap.cirnoc.celala. matamoros, coahuila, México. 171p.

PIMENTEL, D.; BERGER, B.; FILIBERTO, D.; MICHELLE, N.; WOLFE, B.; KARABINAKIS, E.; CLARK, S.; POON, E.; ABBETT, E.; NANDAGOPAL, S. 2014. Water resources: agricultural and environmental issues. *Bioscience* 54 (10): 909-918.

ROMERO, A. P.; GARCÍA, G. J.; BOTÍA, O. P. 2006. Cost-benefit analysis of a regulated deficit-irrigated almond orchard under subsurface drip irrigation conditions in south-eastern Spain. *Irrigation science*. 24(3):175-184.

Sagarpa, 2012. Anuarios estadísticos de la producción agropecuaria. Región lagunera. Sagarpa. Coahuila-durango, cd. Lerdo, dgo., México. 167p.

SALAZAR, S. E.; TREJO, E. H. I.; VÁZQUEZ, V. C.; LÓPEZ, M. J. D. 2007. Producción de maíz bajo riego por cintilla, con aplicación de estiércol bovino. *Phyton* 76:169-185.

TAKELE, E.; KALLENBACH, R. 2001. Analysis of the impact of alfalfa forage production under summer water - limiting circumstances on productivity, agricultural and grower's returns and plant stand. *Journal of agronomy and crop science*. 187: 41-46.

UN-WATER, 2012. The United Nations world water development report 4: managing water under uncertainty and risk. World water assessment program (wwap). UNESCO, Paris, France. 861p.

VÁZQUEZ, V. C.; GARCÍA, H. J. L.; MURILLO, A. B.; ORONA, C. I.; ZÚÑIGA, T. R.; RUEDA, P. E. O.; PRECIADO, R. P. 2010. Rendimiento y valor nutritivo de forraje de alfalfa (*medicago sativa* L.) con diferentes dosis de estiércol bovino. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*. 1(4):363-3

Referencias internet

AGRODER, 2012. Huella hídrica en México en el contexto de norteamérica. Wwf (world wide fund for nature) México y agroder. México df. Disponible en: <http://www.huellahidrica.org/reports/> (last acceded february 20, 2014).

CRUZ, A.; LEVINE, G. 1998. El uso de las aguas subterráneas en el distrito de riego 017, región lagunera, México. Iwmi, serie latinoamericana: no. 3. Disponible en http://www.iwmi.cgiar.org/publications/latin_american_series/pdf/3.pdf (last acceded January 02, 2014).

HOEKSTRA, A. Y. 2006. The global dimension of water governance: nine reasons for global arrangements in order to cope with local water problems. Value of water research report series no 20. Unesco-ihe, delft, Netherlands. disponible en: http://www.waterfootprint.org/reports/report_20_global_water_governance.pdf (last acceded may 20, 2014).

HOEKSTRA, A. Y. 2008. Water neutral: reducing and offsetting the impacts of water footprints. Value of water research report series no 28, unesco-ihe, delft, Netherlands. Disponible en: <http://www.waterfootprint.org/reports/report28-waterneutral.pdf> (last acceded may 22, 2014).

Siap, 2009. Anuarios estadísticos de la producción agropecuaria. Servicio de información agroalimentaria y pesquera. Sagarpa-siap. Disponible en: <http://www.siap.gob.mx/> (last acceded may 30, 2014).