

## **Análisis de la eficiencia física, económica y social del agua en espárrago (*Asparagus officinalis* L.) y uva (*Vitis vinifera*) de mesa del DR-037 Altar-Pitiquito-Caborca, Sonora, Mexico 2014**

### **Analysis of physical, economic and social water efficiency in asparagus (*Asparagus officinalis* L.) and grape (*Vitis vinifera*) fruit from DR-037 of Altar-Pitiquito-Caborca, Sonora, Mexico 2014**

José Luis Ríos Flores <sup>1\*</sup>, Becky Elizabeth Rios Arredondo <sup>2</sup>, Jesús Enrique Cantú Brito <sup>3</sup>, Hebrían Efraín Rios Arredondo <sup>4</sup>, Sigifredo Armendáriz Erives <sup>1</sup>, José Antonio Chávez Rivero <sup>5</sup>, Cayetano Navarrete Molina <sup>6</sup>, Rafael Castro Franco <sup>1</sup>

Originales: *Recepción*: 8/10/2015 - *Aceptación*: 21/12/2017

#### **RESUMEN**

Este trabajo estimó la eficiencia del agua en los cultivos de espárrago y vid en el Distrito de Riego 037 mediante el uso de indicadores que permitieron determinar la eficiencia física, económica y social del agua en el cultivo de espárrago *versus* uva de mesa. Los indicadores de la eficiencia física, económica y social del agua fueron 2.075 y 625 L kg<sup>-1</sup>, US\$ 540.924 y US\$ 945.190 de utilidad hm<sup>-3</sup> y 48,6 y 10,7 empleos hm<sup>-3</sup> respectivamente para espárrago y vid. En conclusión, el espárrago en comparación con la uva de mesa es ineficiente en el uso del agua en términos físicos y económicos, mas no sociales, el uso del agua en espárrago genera 4,54 veces más empleo por unidad de agua usada. De los 8.281 empleos, US\$ 163,63 millones de utilidad y 245,63 hm<sup>3</sup> de agua usada por ambos cultivos, el espárrago contribuyó con 91%, 56,3% y 69,2% respectivamente. En Caborca el agua es un recurso escaso, sin embargo, a pesar de que la proporción utilidad m<sup>-3</sup>/costo m<sup>-3</sup> fue de 29,7, ubica al agua regional dentro de lo que la economía llama la tragedia de los bienes de uso común, lo que ha provocado un serio problema de sobreexplotación del acuífero, pues el productor hace un uso ineficiente del agua.

#### **Palabras clave**

espárrago • uva de mesa • eficiencia • productividad del agua • indicadores económicos

- 
- 1 Univ. Autónoma Chapingo. Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas. Domicilio Conocido. Bermejillo. Mapimí. Durango. México. Apartado postal No.8, C.P. 35230. \*yukov1234@hotmail.com
  - 2 Univ. Autónoma de Coahuila. Fac. de Cs. Biológicas-Ingeniería Bioquímica Ambiental. Coahuila. México.
  - 3 Univ. Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna. Dpto. de Producción Animal. Coahuila. México.
  - 4 Inst. Tecnológico de Estudios Sup. de Monterrey Campus Torreón. Maestría en Administración y Control de Energía. Coahuila. México.
  - 5 Univ. Autónoma Chapingo. Grupo Interdisciplinario de Vinculación. Durango. México.
  - 6 Univ. Autónoma Chapingo. Departamento de Posgrado. Durango. México.

## ABSTRACT

This work estimated the efficiency of water in asparagus and vine crops in Irrigation District 037 through the use of indicators that allowed determining the physical, economic and social efficiency of water in the cultivation of asparagus *versus* table grape. Indicators of physical, economic and social efficiency of water were 2075 kg and 625 L<sup>-1</sup> US\$ 540,924 and \$ 945,190 useful hm<sup>-3</sup> and 48.6 and 10.7empleos hm<sup>-3</sup> respectively for asparagus and vine. In conclusion, asparagus compared with table grapes is inefficient water use in physical and economic but not social terms, water use in asparagus generates 4.54 times more jobs per unit of water used. Of the 8,281 jobs, US\$ 163.63 million of utility and 245.63 hm<sup>3</sup> of water used by both crops, asparagus contributed with 91%, 56.3% and 69.2% respectively. In Caborca water is a scarce resource, however, even though the proportion utility m<sup>3</sup>/cost m<sup>3</sup> was 29.7, it places the regional water within what the economy called the tragedy of the common goods. Which has caused a serious problem of overexploitation of the aquifer, as the producer makes an inefficient use of water.

### Keywords

asparagus • table grape • efficiency • water productivity • economic indicators

## INTRODUCCIÓN

El agua dulce es indispensable para la vida, pero la cantidad disponible es escasa y su distribución desigual. Solamente el 0,26%, se encuentra realmente disponible para todos los seres humanos (33), visto de otra forma, el uso eficiente del agua en la agricultura es en extremo relevante.

Del total de agua en el mundo, solamente el 0,26% es agua dulce disponible, 2,24% es agua dulce no disponible al estar en los casquetes polares y en el permafrost y aguas en extremo profundas y el 97,5% es agua salada de los mares. Además, la agricultura de riego en las zonas áridas y semiáridas, emplea más del 80% del total del agua dulce disponible (56).

Recientes estudios realizados por el Instituto Internacional del Manejo del Agua, indican que una tercera parte de la población que habita en los países desarrollados padecerá la escasez del agua, es decir; no tendrán suficientes recursos hídricos para mantener sus necesidades agrícolas, domésticas, industriales y ambientales que requerirán para el año 2025 (56).

Conforme la demanda de agua para abastecer al sector agrícola crece, se incrementa la competencia por el recurso por los demás usuarios, tales como el sector doméstico y el industrial (59), por lo que el reto principal que encara la humanidad es producir más alimentos con menos agua. Lo anterior es el encuadre de este trabajo, ya que la eficiencia y productividad física, económica y social del agua usada por la agricultura es clave a largo plazo en la sostenibilidad en la cual debe circunscribirse la producción de alimentos.

Esta meta puede lograrse solamente si se determinan estrategias apropiadas para salvar al agua y hacer más eficiente su uso en la agricultura. Una de las estrategias es la de incrementar la productividad del agua (34). El concepto de la productividad del agua fue establecido ya en 1966 por Viets restringiéndole al ámbito fisiológico, en 2003 Kijne *et al.*, lo aplican como una medida para determinar la capacidad de los sistemas agrícolas de convertir el agua en alimento, pero no es sino hasta 2010

que Molden *et al.* le definen de manera explícita como: "La productividad del agua es la proporción de los beneficios netos de los sistemas agrícolas, forestales, pesqueros, ganaderos y agrícolas mixtos a la cantidad de agua utilizada para producir esos beneficios. En su sentido más amplio, refleja los objetivos de producir más alimentos, ingresos, medios de subsistencia y beneficios ecológicos a un menor costo social y ambiental por unidad de agua consumida.

La productividad física del agua se define como la relación entre la producción agrícola y la cantidad de agua consumida -"más cultivo por gota"- y la productividad económica del agua se define como el valor derivado por unidad de agua utilizada y esto también se ha utilizado para relacionar el agua uso en la agricultura para la nutrición, el empleo, el bienestar y el medio ambiente".

### Revisión del estado actual de la eficiencia del agua

Con base en lo anterior, Ríos *et al.* diferenciaron y aplicaron los índices de productividad y eficiencia del agua al ámbito de los forrajes (44), nogal (48), durazno (45) y trigo (46) y frijol (49), diferenciando así los índices de "productividad" y "eficiencia" (48) que tienen diferente connotación:

$$Productividad = \frac{Cantidad\ de\ producto}{Unidad\ de\ agua}$$

$$Eficiencia = \frac{Cantidad\ de\ agua}{Unidad\ de\ producto}$$

Así, la productividad del agua es un cociente, en el que en el numerador va la cantidad de producto físico, económico o social, mismo que se divide entre el volumen de agua que le dio origen tal como Molden (2010) lo sugiere, mientras

que un índice de eficiencia en el uso del agua sería el inverso del índice de productividad, es decir, que en el numerador va la cantidad de agua usada y en el denominador la cantidad de producto físico, económico o social obtenido, el primero se expresa en kg m<sup>-3</sup> y el segundo en m<sup>3</sup> kg<sup>-1</sup>.

En la práctica se utiliza como una herramienta de diagnóstico para determinar la eficiencia del uso del agua, y como punto de partida para determinar oportunidades de redistribución de agua hacia cultivos más redituables.

Seckler *et al.* (1998), indica que la productividad económica del agua se refiere al valor total o valor neto dividido entre la cantidad de agua aplicada o asignada, el cual puede ser empleado para definir los costos de oportunidad o usos alternativos del agua, en este sentido Ríos *et al.* (46, 47, 48, 50) generaron indicadores de eficiencia y productividad física, económica y social del agua usada en la producción de diversos cultivos.

En el caso de los forrajes (46) en el DR017 en el norte de México, y seleccionando los más eficientes en el uso del agua determinaron diversos escenarios, resaltando que era posible crear patrones agrícolas que podrían disminuir el volumen de agua usada en la producción hasta en 47%, equivalente a 492 millones de m<sup>3</sup> (volumen casi igual al volumen de sobreexplotación actual) y solo disminuir 2,5% (US\$ 3,4 millones) el valor de la producción agrícola y 9% (469 empleos) el empleo. O bien, elevar 30,6% (US\$ 42,1 millones) el valor de la producción agrícola, incrementar 90,4% (US\$ 38,7 millones) las ganancias y 13% (656 empleos) el empleo, pero con un costo de oportunidad ecológico elevado: incrementar 26% (273 millones de m<sup>3</sup>) el volumen de agua usado en la producción.

El estado actual acerca del conocimiento de la eficiencia física, económica y social del agua, mediante la generación de indicadores, permite optimizar el agua a la vez que se maximizan el valor de la producción, las ganancias y el empleo.

El concepto de huella hídrica fue introducido por primera vez por Hoekstra y Chapagain (2004) en el Instituto para Educación en Agua de la UNESCO en 2004, y fue luego desarrollado por la Universidad de Twente en los Países Bajos y por la Red de Huella Hídrica (WFN por sus siglas en inglés). La huella hídrica fue propuesta como un indicador alternativo a la medición de la eficiencia del uso de agua, así como para ilustrar los flujos virtuales de agua hacia dentro y fuera de los países con el fin de comprender los requisitos directos y de suministro de agua necesarios para mantener el consumo de un país (66).

China, con 735 mil Toneladas Métricas, equivalente al 88,8% de la producción mundial es el principal productor de espárrago en el mundo, Perú el segundo productor concentra el 4,6% de la producción mundial con 376,7 miles de TM (58). En relación con el espárrago de Perú, Salazar (2012) señala que "el promedio anual del volumen de agua que usan las empresas agroexportadoras para su riego es de 15 mil metros cúbicos ( $m^3$ ) por hectárea, y en otros casos el consumo aumenta a 22 mil  $m^3$  de agua. "En la última década Perú ha tenido una notoria expansión en este cultivo, pero su elevada huella hídrica de  $5031,86 m^3 t^{-1}$  (15), ha originado, de acuerdo con Salazar (2012), que entre 1990 y 2008 la producción pasase de 5 a 125 millones de  $kg año^{-1}$ , pero el costo de oportunidad ha sido que el manto freático descendiera de 28 a 37 m bajo de la superficie en los Valles de Ica y Villacurí, principales zonas productoras, por ello es que el autor titula a su

obra "El secreto del boom del espárrago: es la sobreexplotación del agua", ya que "en 2009 la explotación del acuífero en Ica alcanzaba 543,15 millones de metros cúbicos (MMC) anuales, mientras el volumen de explotación sustentable -el que permite la recarga del acuífero-, según la ANA, es de solo 252,99 MMC; esto significa que hay una sobreexplotación de 290,16 MMC de agua", añade que: "Se recomienda producir donde el agua es abundante y vender donde el agua es escasa. Ya se están desarrollando iniciativas para etiquetar los bienes ofrecidos a los consumidores en países como España y el Reino Unido, indicando cuánta agua ha sido utilizada en su producción. No sería extraño que, en unos años, los espárragos o uvas peruanos estén obligados a llevar esta etiqueta, pues existe una mayor preocupación de los consumidores de los países de destino de las exportaciones acerca del impacto medioambiental de sus decisiones de compra, y sobre el futuro de los recursos hídricos en países como el Perú".

En otros cultivos, como el maíz (*Zea mays*) del centro y noreste argentino Álvarez *et al.* (2016) señalan que el riego y la fertilización reducen la huella hídrica, determinando índices promedio de 803, 602 y 488 hasta 803  $L kg^{-1}$ , dependiendo de si el maíz es producido bajo secano, riego y riego óptimo con fertilidad edáfica óptima respectivamente, lo cual es criticable en tanto son promedios aritméticos para las huellas hídricas de diez locaciones, y debió estimarse esa huella hídrica mediante promedio ponderado, ya que al tener diferentes superficies cosechadas en cada una de las diez locaciones, así como tener diferentes rendimientos por hectárea y diferentes índices de eficiencia de conducción de la red hidráulica, la huella hídrica promedio aritmético es diferente a la promedio ponderado.

México es el tercer país productor de espárrago (10), de acuerdo con el SIAP (2015) con 22.231 ha cosechadas y 198 mil 75 TM producidas, ocupó el 2,4% de la producción mundial. Sonora es el principal estado productor de México, al contribuir con 56,2% y 62,2% respectivamente para la superficie cosechada y la producción nacional respectivamente. En Sonora, el espárrago usa 20 mil m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, (tabla 1), no hay estudios sobre la productividad física, económica y social del agua en espárrago, mucho menos sobre su efecto depredador en el escaso recurso hídrico, tal como ha señalado Salazar (2012) para el Perú, en el DR041 Río Yaqui, en el mismo estado de Sonora, de acuerdo con Olmedo *et al.* (2017 a), el establecimiento de una agricultura intensiva aunado a una prolongada sequía colapsó las presas y la actividad agrícola en 2002-2003, lo que puso de relieve una agricultura no sustentable, por lo que la optimización del agua de riego se convirtió en un tema central para ese distrito.

Lo anterior fue el motivo del presente trabajo: indagar sobre la productividad física, económica y social del agua de riego en el cultivo de espárrago, contrastándole con la vid, y así generar indicadores numéricos que en principio señalen la eficiencia con que usa el agua, pero sobre todo, indicadores que aporten datos sobre la posible sobre explotación del agua.

De acuerdo con González *et al.* (2011), el manejo del agua basado en parámetros de productividad puede mejorar su uso y contribuir a su ahorro en aquellos sistemas donde se consume cantidades excesivas de agua. No existe solo una definición de productividad agrícola del agua y el valor considerado en el numerador depende del enfoque y del tipo de trabajo que se realice, así como de la disponibilidad de datos. Sin embargo, la productividad del agua en términos físicos (kg m<sup>-3</sup>), vista como la cantidad de producto generada por unidad de agua es un concepto útil cuando se compara la productividad del agua en

**Tabla 1.** Productividad del agua de algunos cultivos en el mundo.

**Table 1.** Water productivity from someone crops in the world.

Cultivo	kg m <sup>-3</sup>	Productividad económica	País	Fuente
Alfalfa verde	3,79	0,05 US\$ m <sup>-3</sup>	México	Ríos <i>et al.</i> (2015)
Algodón	1,04	0,23 € m <sup>-3</sup>	España	Montesinos <i>et al.</i> (2011)
Arroz	0,39-0,52	Sd	Mundial	Kijne <i>et al.</i> (2003)
Arroz	0,17-0,38	Sd	Pakistán	Ahmad, Masih y Turrall (2004)
Arroz	0,81	0,42 € m <sup>-3</sup>	España	Montesinos <i>et al.</i> (2011)
Avena forrajera	2,42	0,07 US\$ m <sup>-3</sup>	México	Ríos <i>et al.</i> (2015)
Comino	0,27-0,31	Sd	India	Rao <i>et al.</i> (2010)
Fresa	0,05	21,4 € m <sup>-3</sup>	España	Montesinos <i>et al.</i> (2011)
Frijol	0,93	Sd	Cuba	López <i>et al.</i> (2011)
Girasol	1,23	0,25 € m <sup>-3</sup>	España	Montesinos <i>et al.</i> (2011)
Maíz criollo	0,68-1,4	Sd	México	Rojas <i>et al.</i> (2013)
Maíz forrajero	5,28	0,07 US\$ m <sup>-3</sup>	México	Ríos <i>et al.</i> (2015)
Maíz grano	0,38	0,42 € m <sup>-3</sup>	España	Montesinos <i>et al.</i> (2011)
Olivo	0,39	0,97 € m <sup>-3</sup>	España	Montesinos <i>et al.</i> (2011)
Trigo	0,78-2,03		Pakistán	Ahmad, Masih y Turrall (2004)
Trigo	1,49-3,11		México	Ríos <i>et al.</i> (2016)

Fuente: Elaboración propia. / Source: Own elaboration.

diferentes partes del mismo sistema o cuenca y también cuando se compara la productividad del agua en la agricultura con otros usos posibles del agua (12), con la ganadería por ejemplo.

Carrasco, Pistón y Berbel (2010) indican que para entender el desarrollo de la agricultura de riego en una determinada región es necesario estudiar la evolución de la productividad del agua en los cultivos de regadío, ya que estos resultados mostrarán si existe o no una disminución en el consumo de agua por hectárea y si los cambios en el patrón de cultivos y otras tecnologías (semillas mejoradas y/o sistemas de riego) podrían incrementar la productividad del agua y hacer más eficiente el uso del recurso.

Asimismo de acuerdo con González-Robaina *et al.* (2015), para el mejor uso económico y social del agua se requieren de métodos para evaluar su productividad, a fin de tomar mejores decisiones en cuanto a políticas y estrategias de utilización de manera sostenible. Los administradores del agua para el riego necesitan identificar tendencias en los patrones de uso y niveles de eficiencia con vistas a fijar metas y mejorar la productividad por unidad de volumen utilizado y/o consumido.

En este sentido existen muchos trabajos realizados para distintas regiones del mundo o a escala global, indicando la productividad agrícola en términos físicos ( $\text{kg m}^{-3}$ ) y económicos ( $\text{\$ m}^{-3}$ ), para una variedad de cultivos dentro de las que se incluyen; cereales, frutales, aromáticas, industriales y forrajeras (tabla 1, pág. 105).

La variabilidad en la productividad del agua según Zwart y Bastiaanssen (2004), son atribuibles al clima, manejo del agua de riego, así como el aporte de nutrientes al suelo. Asimismo, Molden *et al.* (2010), menciona que los diferentes ambientes y las condiciones de manejo tienen un efecto

directo sobre el rendimiento del cultivo así como sobre el consumo de agua, por lo que la productividad del agua es variable de una región a otra, incluso de una parcela a otra aun cuando se produzca el mismo cultivo, como se observa en la tabla 1 (pág. 105).

El incremento de la productividad del agua es particularmente importante en regiones donde el recurso es escaso (29). En este sentido en la Región noroeste de México el 83,9% del agua dulce disponible se emplea para la agricultura (41), aunado a que, de acuerdo con Reyes y Quintero (2009), el uso irracional de los recursos hidrológicos ha provocado fuertes problemas ambientales, particularmente en el estado de Sonora, donde se encuentra el Distrito de Riego analizado.

Entre 2002 y 2012 el inventario de aguas superficiales y subterráneas varió de 816 a 926  $\text{hm}^3/\text{año}$ , pero la demanda de agua creció de 1.053 a 1.372  $\text{hm}^3/\text{año}$ , lo que elevó el déficit hídrico de 237 a 446  $\text{hm}^3/\text{año}$ , incrementando así el agotamiento de los acuíferos, su contaminación y salinización del agua. Por ello se han observado cambios importantes en el patrón de cultivos de Caborca, principalmente orientado hacia cultivos con mayor margen de utilidad (7), lo cual no soluciona la sobreexplotación del acuífero, de hecho, cultivos como el espárrago que demandan de 2.000 a 2.400  $\text{m}^3$  por ha exacerban la extracción de aguas subterráneas, agravando el principal problema socioeconómico de Cabora-Altar-Pitiquito: la escasez de agua. De esta forma, cultivos como algodón y trigo eran anteriormente, los más importantes para la región. Si bien se los sigue cosechando, su superficie ha sido reducida, ocupando su lugar cultivos más rentables: el espárrago, la vid y el olivo (8), pero ante este cambio en el patrón de cultivos, el déficit de agua se ha elevado.

El índice de eficiencia de conducción hidráulica "EC" del agua de riego, es un índice mayor a cero y menor a la unidad, SIAP le define implícitamente como la cantidad de agua extraída de una fuente "A" (una presa por ejemplo) para irrigar una parcela "B" distante a varios km de "A", de manera tal que el índice se obtiene al dividir el volumen extraído entre el volumen que llegó a la parcela.

En el DR017 en La Comarca Lagunera, SIAP (2014) señala que entre 1970 y 2013, en La Comarca Lagunera, México, la EC fue en promedio igual a 0,6805 (con variaciones desde 0,51 hasta 0,81), es decir, que por cada m<sup>3</sup> de agua soltado, corriente arriba en la Presa Lázaro Cárdenas, llegaron a la parte baja de la cuenca, 220 km corriente abajo, solamente 680,5 litros.

Cuando es un riego altamente tecnificado como aspersión, cintilla, micro-compuertas y la fuente de agua es un pozo que extrae agua subterránea, EC se acerca a la unidad, si es riego poco tecnificado con agua de ríos, presas o lagos y la zona agrícola es muy distante, EC es más pequeño y tendiente a cero.

Estudios previos demuestran que el cultivo de trigo en Ensenada, Baja California, al Oeste de Sonora, muestran que un m<sup>3</sup> de agua produjo 0,321 kg en términos físicos, una pérdida de MX\$ 1,51 (MX\$ es la denominación para "pesos mexicanos" en el contexto del comercio mundial) y generó solamente 0,025 empleos hm<sup>-3</sup> de acuerdo con Ríos *et al.* (2016), Insunza (2008) determinó que en el DR075 Río Fuerte, Sinaloa, al sur de Sonora, el mismo m<sup>3</sup> de agua produjo 0,17 kg si se irrigaba en algodón y 0,40 kg si se usaba en trigo. Asimismo, ese mismo m<sup>3</sup> produjo MX\$ 0,147 de ganancia en algodón y MX\$ 0,139 en trigo; en España, Montesinos *et al.* (2011) determinó 0,23€ m<sup>-3</sup> de productividad económica para el cultivo de algodón, muy superior

a lo determinado por Insunza (2008) para el DR075 de Río Fuerte.

Actualmente el 61,26% de la superficie agrícola de ese Distrito de riego se encuentra establecido con espárrago, vid y olivo (50). Sin embargo, el problema de la escasez del agua en Sonora de acuerdo con Wilder (2002) son el resultado de una compleja combinación de factores, incluyendo los naturales como la sequía y la variabilidad del clima, además de los factores estructurales tales como el fomento de la producción de cultivos rentables con láminas de riego altas, dado que estos cultivos tienen como destino el mercado estadounidense.

De acuerdo con el INIFAP (2010), la lámina de riego para el cultivo de vid con riego por cintilla es de 1,0 m, mientras que en el espárrago la lámina neta es de 2,0 m.

Por ello el objetivo de este trabajo fue determinar indicadores numéricos de la eficiencia física, económica y social del agua de riego en el cultivo de espárrago y contrastarle el cultivo de vid en el Distrito de Riego 037. La primera hipótesis fue que la eficiencia física (m<sup>3</sup> kg<sup>-1</sup>) del agua en el cultivo de vid es superior al espárrago, la segunda hipótesis fue que la eficiencia económica (US\$ de ganancia hm<sup>-3</sup>) del agua en el cultivo de espárrago fue superior al de vid, la tercera hipótesis fue que la eficiencia social del agua de riego (empleos hm<sup>-3</sup>) es superior en espárrago que en vid.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio fue el Distrito de Riego 037, Altar-Pitiquito-Caborca, Sonora, México. Se localiza entre los meridianos 111°29' y 113°08' longitud oeste, y paralelos 29°54' y 31°22' latitud norte, a una altura que varía entre 10 a 400 m s. n. m. (figura 1, pág. 108).



**Figura 1.** Localización del área del DR037, Altar-Pitiquito-Caborca, Sonora, México.

**Figure 1.** Location área DR037, Altar-Pitiquito-Caborca, Sonora, México.

De acuerdo con la clasificación de Köppen, modificada por García (1981) el tipo de clima es seco estepario BS, KW (x') (8e'). La temperatura media anual es de 21,2°, con precipitación media anual de 269 mm, con evaporación media de 2.346 mm (7). La extracción anual para uso agrícola es de 500 Millones de metros cúbicos (Mm<sup>3</sup>), para el riego de 35.000 hectáreas ha provocado un serio problema de sobreexplotación de los acuíferos.

La Agenda Técnica Agrícola de Sonora (2015), señala que el espárrago es uno de los pilares económicos de la región de Caborca, Sonora, con más de siete mil hectáreas. Destaca su importancia económica y social, señala que la eficiencia económica del agua de riego se estima en MX\$ 1,2 m<sup>-3</sup>, y socialmente produce 185 jornales ha<sup>-1</sup>, pero usa mucha agua: de 2 a 2,4 m de lámina anual de riego, lo cual puede reducirse con riegos presurizados, siendo las variedades más usuales la Brock, UC-157, UC-115, Atlas, Early California y la Jaleo. Con densidades desde 1,5 a 5 kg ha<sup>-1</sup> si se siembra como semilla y de 3 a 4 coronas por metro a doble hilera cuando se trasplanta, requiriéndose de 200 a 400 kg de Nitrógeno, de 100 a 150 kg de Fósforo y de 100 a 150 kg de Potasio por hectárea. En cuanto al riego,

la fuente registra que se recomienda riego por goteo y que las principales plagas son el pulgón europeo, la chicharra cantadora, el gusano soldado, chinche apestosa, araña roja y trips, la cosecha es diaria, iniciando la última semana de diciembre y hasta la segunda semana de abril.

En relación con la vid, en Caborca, Sonora los cultivares de uva de mesa son la Perlette, Flame, Superior y la Red globe, iniciando la cosecha desde la primera semana de mayo (Perlette) y hasta la primera semana de junio (Red globe). Para la poda, del 15 de diciembre al 15 de marzo, se usa cianamida de hidrógeno, el aclareo puede ser manual o químico con ácido giberélico, la fertilización se hace en las etapas de brotación- floración, floración- envero, envero cosecha y cosecha-caída de hojas, con 120-150 kg de N, 110 kg de P, 140 kg de K, 25 kg de Ca y 25 kg de Mg. En riego por goteo con goteros autocompensados separados entre 0,50 a 1 m, la lámina de riego es de 90 a 100 cm. Las principales plagas son la Chicharrita de la vid, gusano presidiario, trips y piojo harinoso *Planococcus ficus*; las principales enfermedades son la cenicilla polvorienta, la pudrición negra, mildiu veloso y la pudrición texana (1).



La disponibilidad del agua para riego ha disminuido, en 1999 a través de 887 pozos, el volumen de extracción anual era de 660,10 Mm<sup>3</sup>, del cual 648,70 Mm<sup>3</sup>, se empleaban para uso agrícola (98,27%), 9,8 Mm<sup>3</sup> para uso público, 1,50 Mm<sup>3</sup> para uso doméstico, y 0,10 Mm<sup>3</sup> para uso industrial (44). Se calcula que los niveles estáticos variaron de 43 m en 1970 a 67 m en el 2001, sin embargo en ese mismo año se determinaron profundidades estáticas mayores a los 120 m y dinámicas mayores a los 140 m (25), además, se tiene una descarga de 3,5 Mm<sup>3</sup> de aguas negras a tierras agrícolas (62).

### Variables dependientes e independientes

Con las cifras de superficie cosechada "SC", producción física "PF", Valor Bruto de la Producción "VBP" y costos de producción "C" por ha, número de jornales "J" por ha y lámina de riego "LR" de FIRA 2014 y la paridad cambiaria "PC" del Banco de México, se obtuvieron las variables *independientes*: "RF" (rendimiento físico por hectárea), "V" (volumen de agua empleado por el cultivo por hectárea), "p" (precio por t), "U" (Utilidad o ganancia bruta por hectárea) y "E" (empleo generado por el cultivo) de las que dependieron las seis variables *dependientes* evaluadas en este trabajo (los indicadores de productividad y eficiencia del agua Y<sub>1</sub> a Y<sub>6</sub>).

El rendimiento físico "RF" relaciona a la producción física (PF) entre la superficie cosechada (SC):

$$RF = \frac{PF}{SC}$$

RF, y se expresa en tonelada o kg por hectárea, el volumen "V" de agua por hectárea (en m<sup>3</sup>) demandado por el cultivo a escala comercial, "V" depende de LR y EC, dado que:

$$V = 10,000 m^2 \left( \frac{LR}{EC} \right) = 10^4 (LR)(EC)^{-1}$$

donde:

"EC"= eficiencia de conducción hidráulica de la red de distribución (0 < EC < 1)

La utilidad "U" por hectárea (expresada en US\$ ha<sup>-1</sup>) si bien es una variable independiente de la que dependen las variables Y<sub>3</sub>, Y<sub>4</sub> y Y<sub>5</sub>, a su vez ella depende de tres variables que actúan independientemente: RF, p, y el costo por hectárea "C", ya que:

$$U = RF (p) - C$$

donde:

"C" = variable independiente de las que dependen algunas de las variables evaluadas en este trabajo, es a su vez dependiente de dos variables independientes: los costos variables (dependientes a su vez de los costos de: fertilización, labores culturales, costo del riego o costo de extracción del agua del subsuelo, control de plagas, malezas y enfermedades, cosecha-selección y empaque, comercialización, diversos, y costos financieros) y los costos fijos (dependientes a su vez de los costos de amortización de bienes de capital y renta del suelo); la variable independiente del empleo "E" generado por el cultivo aparece en la variable dependiente Y<sub>6</sub> (empleo por hectómetro cúbico) donde "E" proviene de multiplicar la cantidad de jornales "J" por hectárea por la superficie cosechada SC dividido todo ello entre 288 (el cual es el producto de multiplicar 6 jornadas por semana por 48 semanas al año), es decir:

$$E = \frac{SC(J)}{288}$$

Si se alude a una hectárea solamente, entonces SC es igual a la unidad.

### Indicadores de eficiencia y productividad

La naturaleza de este trabajo es cuantitativo-descriptiva, no experimental, ya que se emplearon datos cuantitativos provenientes de la producción a escala comercial, tal como rendimientos físicos por hectárea, el volumen de agua empleado realmente por hectárea y láminas de riego empleadas por los productores agrícolas, refleja la eficiencia y productividad del uso del agua, a diferencia de los datos experimentales que serían solamente de carácter indicativo. Por ejemplo, en La Comarca Lagunera, al norte de México, el INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias) recomienda para el cultivo de alfalfa (*Medicago sativa*) una lámina de riego de 1,2 m, pero usualmente en esa región, los productores riegan de acuerdo con su experiencia aplicando láminas que sobrepasan los 2 m, con lo que el volumen de agua empleado por hectárea se dispara de 12.000 m<sup>3</sup> recomendados por INIFAP hasta los 20 a 24 miles de m<sup>3</sup> realmente empleados por ha por el productor.

Aplicando las ecuaciones Y<sup>1</sup> a Y<sup>6</sup> determinadas por Ríos et al. (2015), se tiene que la primera variable evaluada, la Y<sub>1</sub>, mide la eficiencia con que se usa el agua de riego, que se expresa en litros de agua empleados en el riego por kilogramo de uva o espárrago producidos, y depende de las variables independientes "V", RF, LR y EC, donde "V" es el volumen de agua que representa la demanda hídrica del cultivo en una hectárea (en litros), V es el producto de 10.000 m<sup>2</sup> por la lámina de riego "LR" (LR es la columna de agua, en metros, que demanda el cultivo en una producción a escala comercial, convertidos los m<sup>3</sup> a litros) dividida entre el coeficiente de eficiencia hidráulica de conducción "EC" (en porcentaje, en base 1), y "RF" es el rendimiento físico por hectárea del cultivo (en kg).

$$\gamma_1 = \frac{V}{RF} = \frac{10.000 \left( \frac{LR}{EC} \right)}{RF} = 10^4 (LR)(EC)^{-1} (RF)^{-1} \quad (1)$$

La variable Y<sub>2</sub>, es una variable dependiente que a pesar de depender de las mismas variables independientes que Y<sub>1</sub>, al ser su inversa, tiene connotación diferente, es de índole de productividad del agua, no de eficiencia, expresa la cantidad de kilogramos producidos de uva o espárrago por m<sup>3</sup> de agua irrigada.

$$\gamma_2 = \frac{RF}{10.000 \left( \frac{LR}{EC} \right)} = (10^{-4}) RF \left( \frac{LR}{EC} \right) \quad (2)$$

La variable dependiente Y<sub>3</sub>, representa la relación entre la utilidad monetaria o ganancia "U" bruta por hectárea y el volumen "V" de agua empleado en su generación. Y<sub>3</sub> depende de las variables U y V. El numerador es la utilidad bruta "U" generada por el cultivo, igual al rendimiento monetario "RM" por ha menos el costo "c" por ha. RM es el producto del rendimiento físico "RF" por ha por el precio "p" por t. El denominador de esta ecuación es el mismo numerador que se señala en la ecuación Y<sub>1</sub>. Esta variable es expresada en US\$ generados de ganancia por m<sup>3</sup> de agua irrigada.

$$\gamma_3 = \frac{U}{V} = \frac{RM - C}{10.000 \left( \frac{LR}{EC} \right)} = \frac{RF}{10.000 \left( \frac{LR}{EC} \right)} \quad (3)$$

La variable Y<sub>4</sub> es la inversa de la variable Y<sub>3</sub>, tiene un significado diferente, ya que es un indicador de eficiencia económica del agua, se expresa en m<sup>3</sup> de agua irrigada por cada US\$ de utilidad.

$$\gamma_4 = \frac{10.000 \left( \frac{LR}{EC} \right)}{U} = 10.000 \left( \frac{LR}{EC} \right) (RF(p) - C)^{-1} \quad (4)$$

La variable dependiente  $Y_5$  es la división de  $Y_4$ , entre el costo en el cual incurre el productor por la extracción del subsuelo de cada  $m^3$  de agua ( $C m^{-3}$ ), es señalado como precio del  $m^3$  de agua. Expresada como un índice positivo mayor, menor o igual a la unidad. Donde mayor a 1 indica que la utilidad generada por  $m^3$ , es superior a lo que el productor pagó por cada  $m^3$  de agua extraída del subsuelo, y menor a 1 señala que la utilidad generada es inferior al costo del metro cúbico de agua.

$$\gamma_5 = \frac{Y_4}{C m^{-3}} \quad (5)$$

La variable  $Y_5$ , en tanto trata de un recurso común o comunal, el agua subterránea. El consumo de agua subterránea puede generar externalidades ambientales, en tanto se fija un precio al agua, mediante el costo de su extracción del subsuelo, pero la *apropiación* del beneficio logrado con ese bien eminentemente social es de carácter *privado*. Paradójicamente, al llegar a formularse una medida de política económica encaminada a fijar un precio al agua extraída del subsuelo, donde ese precio no solamente cubra el costo de extracción sino que además contempla una tasa impositiva para el productor que use ese bien común, con aras a elevar la eficiencia del uso imposibilitaría que los productores agrícolas pobres pudieran usar el agua. La usarían principalmente los productores ricos, ya que tendrían acceso a mejoras tecnológicas que les permitieran cubrir ese precio del agua ahora artificialmente alto.

Como indicador de la importancia social del agua, se generó la variable dependiente  $Y_6$ , que mide el número de empleos agrícolas asociados al uso de un  $hm^3$  (un millón de  $m^3$ ) de agua empleada en el riego. Esta productividad 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 y productividad del agua (11, 12, 17). Donde el numerador es el empleo generado por cultivo asociados al uso de un  $hm^3$  de agua usada en el riego, el cual va en el denominador. El número 288 bajo "J" en la ecuación 6, presupone que un empleo permanente equivale a 288 jornadas de trabajo al año, es decir, seis jornadas por semana por cuarenta y ocho semanas al año.

$$\gamma_6 = \frac{\left(\frac{J}{288}\right)}{(10.000)\left(\frac{LR}{EC}\right)} = \frac{25(J)EC}{72(LR)} \quad (6)$$

$$\frac{1.000.000}{1.000.000}$$

Debe observarse que J, es el número de jornales por hectárea del cultivo, tiene históricamente tendencia *decreciente* debido a la mecanización de la agricultura. Para fomentar el empleo que se asocia al uso del agua de riego, debe contrarrestarse el efecto negativo en el empleo por parte de J, mediante la elevación de la eficiencia hidráulica EC de conducción del agua de riego a la par de la *reducción* de la lámina de riego LR. Esto se lograría con acciones que van desde buenas labores culturales, manejo del suelo, uso de abonos naturales, etc., hasta el extremo de la mejora genética del cultivo, que demande menos agua.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Contexto de la producción de espárrago y uva de mesa del DR037

De acuerdo con el SIAP (2014), la superficie cosechada del Distrito de Riego 037 durante el ciclo agrícola 2014 fue de 28.747,55 hectáreas de las cuales 8.518 (29,63%) fueron cosechadas de espárrago y 7.563 hectáreas (26,30%) de uva de mesa.

Asimismo, según CONAGUA (2015), para el riego del distrito se emplearon un total de 298,90 hm<sup>3</sup> para la producción de un patrón de cultivos compuesto por 24 cultivos. Se determinó que el cultivo del espárrago empleó un total de 170,36 hm<sup>3</sup> (56,99%), mientras que la uva de mesa utilizó 75,63 hm<sup>3</sup> (25,30%), lo que indica que ambos cultivos emplean el 82,29% del agua disponible (tabla 2).

En la tabla 2 se observa que el ingreso por hectárea en espárrago fue de US\$ 22.585 y US\$ 14.233 en uva de mesa, mientras que el costo por hectárea en espárrago fue de US\$ 11.766, y en uva de mesa el costo fue US\$ 4.781 ha<sup>-1</sup>. La ganancia por hectárea

determinada para el cultivo de espárrago fue de US\$ 10.818, lo cual indica que el espárrago obtuvo una ganancia 14,5% superior a la ganancia que generó el cultivo de uva de mesa. De acuerdo con la tabla 2, la Relación Beneficio Costo (R B/C) muestra que en espárrago el indicador fue 1,92 y 2,98 en el cultivo de uva de mesa, lo que indica que ambos cultivos resultan rentables en esa región.

Asimismo, la tabla 2, muestra la cantidad de jornales invertidos por hectárea en ambos cultivos, mientras en uva de mesa se requirieron un total de 30,89 jornales ha<sup>-1</sup>, en espárrago se emplearon un total de 280 jornales, de los cuales el 75,71% se emplean en actividades de cosecha,

**Tabla 2.** Relación Beneficio-Costo (R B/C), horas de trabajo por tonelada, empleo generado y volumen de agua empleado en el riego de espárrago y uva de mesa.

**Table 2.** Relationship Benefit-Cost (B/C R), hours of work per t, generated employment and volume of water used in irrigation of asparagus and grape fruit.

Variables	Vid mesa	Espárrago	Espárrago/ Vid mesa
Superficie cosechada (ha)	7.563	8.518,0	1,13
Producción anual (t)	67.946	82.093,0	1,21
Rendimiento (t ha <sup>-1</sup> )	16,00	9,64	0,60
Precio medio (US\$ t <sup>-1</sup> )	\$ 890	\$ 2.343	2,63
Ingreso ha <sup>-1</sup> (US\$)	\$ 14.233	\$ 22.585	1,59
Costo ha <sup>-1</sup> (US\$)	\$ 4,781	\$ 11.766	2,46
Ganancia ha <sup>-1</sup> (US\$)	\$ 9,452	\$ 10.818	1,14
Relación Beneficio/Costo	2,98	1,92	0,64
Numero de jornales ha <sup>-1</sup>	30,89	280	9,06
Productividad (t jornada <sup>-1</sup> )	0,518	0,034	0,07
Costo t <sup>-1</sup> (US\$)	\$ 299	\$ 1.221	4,09
Ganancia jornada <sup>-1</sup> (US\$)	\$ 306	\$ 39	0,13
Lámina de riego neta (m)	1,00	2,00	2,00
Volumen de agua empleado (hm <sup>3</sup> )	75,63	170,36	2,25
Ganancia monetaria total (Millones de US\$)	\$ 71,48	\$ 92,15	1,29
Total, de jornales al año	233.621	2.385.040	10,21
Número de empleos permanentes	811	8.281	10,21
Capital invertido en la producción (Millones de US\$)	\$ 36,16	\$ 100,22	2,77

Fuente: Elaboración propia con base en cifras de costos de producción por ha y lámina de riego a nivel comercial (de 1.0 m para vid y 2.0 m para espárrago) de FIRA (2014), y cifras de superficie cosechada, producción, rendimientos físicos por ha, precios por t, número de jornales por ha de SIAP (2014), y paridad cambiaria MX\$ 16,1745 por dólar norteamericano del Banco de México al día 8 de agosto de 2015 a 17:20 horas.

Source: Own elaboration, based on cost production per hectare figures and commercial irrigation sheet (1.0 m for grapevine and 2.0 m for asparagus) from FIRA (2014), and figures of harvested area, production, physical yields per ha, prices per t, number of work journal per ha of SIAP (2014), and parity exchange MX\$ 16,1745 per US dollar determined by Bank of Mexico on august 8, 2015 at 5:20 p.m.

selección y empaque. Esta disparidad entre los jornales que requiere cada cultivo produjo una diferencia en cuanto a la productividad, mientras en uva de mesa se generaban 0,518 t jornada<sup>-1</sup> y US\$ 306 de ganancia jornada<sup>-1</sup>, en espárrago se obtuvieron 0,034 t jornada<sup>-1</sup> y US\$ 39 de ganancia jornada<sup>-1</sup>.

**Costos de producción de los cultivos de espárrago y uva de mesa en el DR037**

La tabla 3 muestra el resumen del costo total por ha desagregado en sus dos componentes: los costos variables y los costos fijos. El análisis porcentual de los costos variables (fertilización, labores culturales, riego, control de plagas-malezas-enfermedades, cosecha-selección-empaque, comercialización, diversos y costo financiero) y costos fijos (depreciación de maquinaria y equipo y renta del suelo). Muestra que los costos variables fueron de 67,5 y 86,2% y los costos fijos 32,5 y 13,8% en uva y espárrago respectivamente.

Los costos de cosecha-selección-empaque y fertilización fueron los más importantes en espárrago (44,6%), en vid lo fue la fertilización (22,1%). El rubro de riego, que contempla el agua usada en la producción, fue relativamente de los más bajos: 15,5% en vid y 10,6% en espárrago. En el espárrago, por sí solo, el rubro de cosecha-selección-empaque representó 33%, la causa es que emplea mucha mano de obra: en esta etapa se emplearon 202 de los 280 jornales que se requieren en total. En este sentido Rodríguez *et al.* (2014), mencionan que la variable más relevante en el costo total correspondiente a la producción de espárragos orgánicos en Chile, es la mano de obra, la cual representa un 71,5 % del costo total anual, mientras que en uva encontraron que el costo de la mano de obra representó 43,6% del total.

Asimismo, en la tabla 3, se indica que en términos relativos, el costo del riego en el espárrago fue bajo: 10,6%, en uva de mesa representó el 15,5% del total. A pesar de la importancia que tiene el agua para esta región árida en el análisis de los costos de producción se observa, ahora en términos absolutos, que el precio del m<sup>3</sup> en ambos cultivos, US\$ 0,06 en espárrago y US\$ 0,07 en uva de mesa (tabla 3).

Al comparar con otros cultivos en México estos precios/m<sup>3</sup> fueron superiores a los determinados por Ríos *et al.* (2015) en la Comarca Lagunera para un grupo de cultivos forrajeros en los cuales, el precio promedio por m<sup>3</sup> fue de US\$ 0,02 m<sup>-3</sup>, oscilando de US\$ 0,02 m<sup>-3</sup> en avena forrajera hasta US\$ 0,03 m<sup>-3</sup> en *rye grass*. Asimismo, Ríos *et al.* (2015) en el cultivo de durazno criollo determinaron un índice igual a MN \$ 0,40 m<sup>-3</sup> (equivalente a US\$ 0,024), en Zacatecas, México, mientras que para el cultivo de trigo grano en el Valle de Mexicali, Baja California Ríos *et al.* (2016) determinaron un precio por metro igual a US\$ 0,012 m<sup>-3</sup>.

**Tabla 3.** Costos por hectárea de espárrago y uva de mesa (pérgola sin empaque) irrigados por cintilla en el DR037, Caborca, Sonora. Cifras en dólares americanos US\$.

**Table 3.** Cost per hectare of asparagus and grape fruit (pergola unpackaged) irrigated by strap on the DR037, Caborca, Sonora. Amounts in Dollars US\$.

Concepto	Uva de mesa	Espárrago
Costos variables	\$ 3.229,00	\$ 10.148,00
Costos fijos	\$ 1.552,00	\$ 1.618,00
Costo total por hectárea	\$ 4.781,00	\$11.766,00
Precio del m <sup>3</sup> de agua al productor	\$ 0,07	\$0,06

Fuente: Elaboración propia, con base en cifras de FIRA (2014).

Source: Own elaboration, based on dates from FIRA (2014).

Al comparar el precio/m<sup>3</sup> del agua en espárrago de Caborca con el precio/m<sup>3</sup> del agua usada en espárrago en otras partes del mundo, fueron *inferiores*. Los productores de espárrago estadounidenses pagan US\$ 0,78 m<sup>-3</sup> empleado en el riego (24), en la región del Ica, Perú el costo es de US\$ 0,25 m<sup>-3</sup>, en la Libertad en Perú, el costo es de apenas \$ 0,018 m<sup>-3</sup> (31).

Porotrolado, usuarios de tipo doméstico pagan entre US\$ 0,30-US\$ 0,80 m<sup>-3</sup> (2004), mientras los agricultores de Israel pagan US\$ 0,57 m<sup>-3</sup>, lo que evidencia que el precio del m<sup>3</sup> de agua en el DR0-037 es bajo en relación con los señalados. De acuerdo con Takele y Kallenbch (2001), los precios del agua son importantes para la mejora de la demanda y de la conservación de este recurso. En este sentido Ramírez-Vallejo y Rogers (2010), indican que el Tratado de Libre Comercio (NAFTA) firmado entre México y Estados Unidos propició la exportación de agua virtual de las zonas áridas y semiáridas de México hacia USA.

Al establecer líneas atrás, que el precio del agua en espárrago (US\$ 0,06 m<sup>-3</sup>) y vid (US\$ 0,07 m<sup>-3</sup>, tabla 3, pág. 113) es muy bajo, no es un juicio de valor, es el resultado de una *valoración por el método contingente*, el cual pretende estimar la máxima disposición a pagar de un individuo por la provisión o mejora de un bien de no mercado o, alternativamente, la mínima disposición a ser compensado por la pérdida o disminución del mismo bien, pues con base en Oyarzún *et al.* (2005).

“La medida de valor económico obtenida a través de esta función corresponde al cambio en productividad marginal del agua del estero valorado al precio de mercado del agua potable. Esto significa que el valor económico está dado por el cambio físico en producción de agua potable medida en metros cúbicos anuales, resultante de un cambio en la producción de agua del estero, que a su vez

se origina de un cambio de uso de suelo en la cuenca”. Así es permisible contrastar el precio pagado por el m<sup>3</sup> de agua usado en el riego al producir espárrago o vid en contra del precio que, en promedio está dispuesto a pagar el consumidor urbano por el agua potable. Para el norte de México en 2008, donde un consumidor promedio pagaba US\$ 0,02745 m<sup>-3</sup> (equivalente a MX\$ 4,44 m<sup>-3</sup>) (2008), implicando ello que el precio pagado por el agricultor por el agua que usa en el riego, es de solamente entre 21,85% y 25,50% el precio al que está dispuesto a pagar por el agua potable el consumidor urbano. Lo cual permite entender que el precio del agua es solamente uno de entre las múltiples causas de los enfrentamientos, armados incluso, que han existido en Sonora, entre los indios Yaqui, usuarios agrícolas del agua y la población urbana que quiere que el agua de las presas se destine al consumo urbano y no al consumo agrícola (4, 40, 63). En el mismo sentido, usando el método de valoración de contingencia, Ríos *et al.* (51), determinaron que mientras el agricultor productor de frijol (*Phaseolus vulgaris*) en Zacatecas, México, paga (en moneda de 2015) MX\$ 0,48 (US\$ 0,03) m<sup>-3</sup>, el consumidor urbano de agua potable paga (en moneda de 2015) por ese mismo volumen de agua hasta MX\$ 50,33 (US\$ 3,11) m<sup>-3</sup>.

#### **Indicadores de productividad física, económica y social en espárrago y uva de mesa**

El análisis de la productividad y eficiencia del agua se observa en la tabla 4 (pág. 115), la cual muestra los indicadores productivos, económicos y sociales. Los indicadores que evalúan la productividad y eficiencia del agua son de los índices más ampliamente empleados en una gran variedad de cultivos en España (3, 18, 54).

**Tabla 4.** Indicadores de la productividad y eficiencia del agua en espárrago y uva de mesa producida en el DR-037 Altar-Pitiquito-Caborca, Sonora. Cifras monetarias en US\$.

**Table 4.** Indicators of productivity and efficiency of water in asparagus and grape fruit produced in the DR-037 Altar-Pitiquito-Caborca, Sonora. Amounts in Dollars US\$.

Variable económica	Uva de mesa	Espárrago	Espárrago/ Uva
$Y_1 = L\ kg^{-1}$	625,00	2.075,00	3,32
$Y_2 = kg\ m^{-3}$	1,60	0,48	0,30
$Y_3 = Utilidad\ bruta\ hm^{-3}\ (US\$)$	\$ 945.190	\$ 540.924	0,57
$Y_4 = m^3\ por\ dólar\ de\ utilidad\ bruta$	1,058	1,849	1,75
$Y_5 = Utilidad\ bruta\ m^{-3}/Precio\ del\ m^3$	14,3	29,7	2,09
$Y_6 = Empleos\ generados\ hm^{-3}$	10,7	48,6	4,53

Fuente: Elaboración propia. / Source: Own elaboration.

En México existe escasa información al respecto, el uso eficiente y productivo del agua en la agricultura no es un tema que haya permeado, el agua, al parecer, es un recurso poco valorado, no obstante existen trabajos con indicadores de la eficiencia física, económica y social del agua de riego en cultivos como durazno (47), trigo (48), forrajes (46), nogal (50), frijol (51), cebolla (49) y chile (45).

En el presente estudio el indicador de productividad física del cultivo de espárrago fue  $0,48\ kg\ m^{-3}$  ( $Y_1$  y  $Y_2$  de la tabla 3, pág. 113), encontrándose un índice mayor en el cultivo de uva de mesa con  $1,60\ kg\ m^{-3}$ , lo que muestra una mayor eficiencia de este cultivo para convertir el agua en producto físico, ya que solo empleó  $625\ L\ kg^{-1}$ , en comparación con el cultivo de espárrago que empleó  $2.075\ L\ kg^{-1}$  ( $Y_1$  y  $Y_2$  de la tabla 4). Estos índices indican que la primera hipótesis de este trabajo se acepta, dado que en efecto el cultivo de vid mostró un indicador superior al del espárrago en términos físicos ( $kg\ m^{-3}$ ). Sin embargo, los valores del índice de productividad física se ubican por debajo de los indicadores determinados por Teixeira y Bassoi (2009) quienes para la región de Petrolina, Pernambuco, Brasil, determinaron un índice igual a  $2,44\ kg\ m^{-3}$  en uva de mesa. Lo que indica que, en la

región de Altar, aún deben aplicarse mejoras en la gestión del agua de riego con las cuales se incremente la productividad del agua en el cultivo de vid.

En el caso de espárrago Frimbres *et al.* (2011) determinaron un indicador para el cultivo de  $0,22\ kg\ m^{-3}$  para la misma región agrícola, lo cual indica que este indicador fue 45,83 % inferior al determinado en este trabajo, la razón de tal diferencia es atribuible a que mientras en este trabajo se consideró una lámina neta de 2,0 m, en el caso de estos autores, se determinó una lámina de riego de 64 cm, lo que estaría indicando que el rendimiento de cultivo resultó seriamente afectado por la reducción de agua.

El análisis de la variable  $Y_3$ , muestra que cada  $hm^3$  de agua empleado en el cultivo de espárrago generó una ganancia de US\$ 540.924 dólares, mientras que el cultivo de uva de mesa produjo con ese mismo volumen de agua una ganancia de US\$ 945.190, es decir, el mismo  $hm^3$  de agua generó en espárrago 57,22% de lo que se generó en uva de mesa, por lo que la segunda hipótesis de este trabajo se rechaza, dado que la productividad del agua en términos económicos fue superior en el cultivo uva de mesa en relación con el espárrago. Visto de otra forma, para producir un dólar de ganancia en el cultivo

de espárrago se invirtieron 1,849 m<sup>3</sup>, (equivalentes a US\$ 0,54 m<sup>-3</sup>) mientras en uva de mesa se utilizaron 1,06 m<sup>3</sup> (equivalente a US\$ 0,94 m<sup>-3</sup>), lo que indica que el cultivo de espárrago emplea 74,7% más agua que uva de mesa para producir la misma cantidad de ganancia (tabla 4, pág. 115). Sin embargo al comparar con el mismo índice para uva de mesa en Brasil se observa que fue improductivo económicamente el uso del agua en Caborca, ya que en uva de mesa el indicador fue US\$ 6,51 m<sup>-3</sup> y US\$ 0,93 m<sup>-3</sup> en uva industrial (2009). Olmedo *et al.* (2017 b) determinaron que en el ciclo agrícola 2012-2013 en promedio para el DR041 Río Yaqui, Sonora, un índice de 4,89 pesos de ingreso por metro cúbico (equivalente a USD 301.709 hm<sup>3</sup>), productividad económica muy inferior a la determinada para el espárrago del DR037.

El indicador de la variable  $Y_s$ , muestra el cociente de dividir la utilidad bruta por m<sup>3</sup> entre el precio del m<sup>3</sup> pagado por el agricultor. Así el índice para el cultivo de espárrago fue 29,7; lo que indica que por cada dólar que el productor de espárrago pagó por concepto de agua de riego, le retornó ese dólar y US\$ 28,7 adicionales. Mientras que en uva mesa el indicador fue 14,3, lo que muestra que el productor de uva fruta recobró el dólar invertido en riego y US\$ 13,3 adicionales. En este sentido García (2015), determinó un indicador de € 11,43 m<sup>-3</sup> (lo que equivale a US\$ 12,79 m<sup>-3</sup> valorado a moneda de 2015), en el sistema de producción de fresa de Huelva en España. Asimismo, menciona que a escala global, la agricultura de regadío es reconocida como el sector que demanda un mayor volumen de agua, por lo que los agricultores tienen una gran responsabilidad en la conservación del recurso y es crítico que hagan un uso eficiente del mismo.

En cuanto a la eficiencia social del agua, que es la cantidad de empleos generados por hm<sup>3</sup> de agua ( $Y_o$ ), el indicador en espárrago fue 48,6 y en uva de mesa fue 10,7 empleos hm<sup>-3</sup>. Este indicador es alto, dado que la producción de hortalizas y frutales normalmente requieren de mayor mano de obra en actividades como la cosecha, selección y empaque al compararse con cultivos como los forrajes o los cereales. En ese sentido, Ríos *et al.* (2015), para el cultivo de durazno en Zacatecas, México determinaron un índice igual a 0,20 empleos hm<sup>-3</sup>, mientras para el Distrito de Riego 017, Comarca Lagunera el indicador promedio para el grupo forrajero fue de 0,48 empleos hm<sup>-3</sup> (2015). Por otro lado, en la producción de trigo en el Valle de Mexicali, México se determinó un índice igual a 0,025 empleos hm<sup>-3</sup> (2016), lo que indica la importancia social que tiene el cultivo de uva y espárrago para la generación de empleo en la región de Caborca.

En efecto, aun cuando los indicadores de productividad indiquen que la uva mostró mejores indicadores de productividad tanto en términos físicos y económicos, es importante mencionar que la importancia social que tiene el espárrago es superior al cultivo de uva, dado que este cultivo emplea en promedio 280 jornales por hectárea mientras que la uva emplea solamente 30,89 jornales por hectárea. En efecto, el cultivo de espárrago por si solo generó 8.281 empleos permanentes en la región.

Al contrastar la eficiencia económica del agua del espárrago (US\$ 540.924 hm<sup>-3</sup>  $\cong$  US\$ 0,54 m<sup>-3</sup>) y vid (US\$ 940.190 hm<sup>-3</sup>  $\cong$  US\$ 0,94 m<sup>-3</sup>) del DR037 determinados en este estudio (tabla 4, pág. 115) con literatura especializada, se observa que ambos cultivos tuvieron una eficiencia económica superior al usar el agua en comparación con otros cultivos en México, como es el caso de los forrajes en el DR017.



Con US\$ 0,04 m<sup>-3</sup> (46), el frijol de Zacatecas con US\$ 0,12 m<sup>-3</sup> (51), el trigo de Baja California con pérdida de US\$ 0,02 m<sup>-3</sup> (48), el cultivo de durazno en Zacatecas con US\$ 0,088 m<sup>-3</sup> (47), el nogal pecanero del DR005 en Delicias, Chihuahua, con US\$ 0,098 m<sup>-3</sup> (50), y el cultivo de chile en el DR-017 Comarca Lagunera con US\$ 0,39 m<sup>-3</sup> (45) (valores monetarios de 2014). Otra hortaliza, la cebolla de otoño-invierno producida en Delicias, Chihuahua, mostró una alta eficiencia económica al usar el agua: US\$ 0,689 m<sup>-3</sup> (49) siendo esta hortaliza la de eficiencia económica del agua más cercana a vid y superior al espárrago de este estudio.

En relación con la eficiencia social del agua en el cultivo de espárrago (48,6 empleos hm<sup>-3</sup>) y vid (10,7 empleos hm<sup>-3</sup>) del DR037 determinados en este estudio (tabla 4, pág. 115), con literatura especializada, al igual que con la eficiencia económica del agua, se observa que ambos cultivos tuvieron una eficiencia social por arriba de otros cultivos en México. Es el caso de los forrajes en el DR017 (46) con 0,48 empleos hm<sup>-3</sup>, del trigo de Baja California con 0,025 empleos hm<sup>-3</sup> (48), del durazno de Zacatecas con 0,020 empleos hm<sup>-3</sup> (47), del nogal pecanero del DR005 en Delicias, Chihuahua, con 0,39 empleos hm<sup>-3</sup> (50), y del cultivo de chile en el DR-017 con 6.254 empleos hm<sup>-3</sup> (45). La cebolla de otoño-invierno de Delicias, Chihuahua (49) manifestó ser altamente eficiente en términos sociales al usar el agua de riego, pues se le determinó un indicador de 52,05 empleos hm<sup>-3</sup>, al usar el agua. Esta hortaliza resultó ser más eficiente en términos sociales que el espárrago y la vid de este estudio.

Una importante implicación del uso de indicadores de la eficiencia física, económica y social del agua en la agricultura, es la generación de escenarios.

Así, entre 2000 y 2015 la superficie cosechada de espárrago en Caborca se multiplicó por 1,41, de 5.886 a 8.588 ha, pero la producción se cuadruplicó al ir de 23,86 a 87,25 miles de t, al multiplicar la producción por la huella hídrica física de 2.075 L kg<sup>-1</sup> (tabla 4, pág. 115) se obtiene el volumen de agua usado en esa producción, el cual aumentó 131,52 hm<sup>3</sup>, al ir de 49,52 a 181,04 hm<sup>3</sup>. CONAGUA (2017) señala para abril de 2015, que el VCAS (volumen concesionado de aguas subterráneas) del acuífero de Caborca es de 302,835012 hm<sup>3</sup>, que la recarga natural "R" es de 212,9 hm<sup>3</sup>, por lo que el déficit actual (igual a VCAS-R) es de 89,935012 hm<sup>3</sup>, pero si la producción de espárragos sigue creciendo, el déficit de agua en el acuífero de Caborca, y de todo el estado, seguiría aumentando, elevando el VCAS, y como la recarga suele ser más o menos fija, implica que el déficit de agua subterránea en Caborca y en todo el estado de Sonora, seguiría aumentado, tornando insustentable la producción de espárrago en el largo plazo.

## CONCLUSIONES

Este trabajo forma parte de una línea de investigación de la eficiencia y productividad del agua en el Norte de México. Es de interés para la comunidad científica y de importancia para los órganos decisores ya que aporta un diagnóstico regional de la producción de espárrago y uva, lo cual contribuirá a la toma de decisiones en relación con la sostenibilidad integral de la agricultura de riego a través del otorgamiento de nuevas concesiones de derechos de agua, ampliación de la frontera agrícola, reconversión de cultivos, reasignación del agua, así como la implementación de programas que apoyen la tecnificación de las áreas de regadío.

Indudablemente, el sector agrícola requiere de agua para producir los alimentos necesarios para subsistir, sin embargo el reto que la humanidad encara es el de producir más alimento con menos agua para una población creciente, considerando que la frontera agrícola no puede crecer más debido al incremento de las ciudades. Sin embargo, esta producción debe buscar la sustentabilidad a largo plazo, lo que garantizará la alimentación humana en la actualidad y las generaciones futuras.

Se concluye que el cultivo de espárrago en comparación con la uva de mesa es ineficiente e improductivo en el uso del agua en términos físicos y económicos, en tanto que emplea 3,32 veces más agua para producir un kg de producto y 1,75 veces más agua para producir un dólar de ganancia, pero no así en términos sociales, ya que produce 4,53 veces más empleo por  $\text{hm}^3$  que la vid. No obstante, ese beneficio social inmediato implica un alto costo de oportunidad, ya que en términos absolutos presupone el uso en el tiempo presente, de grandes volúmenes de agua del subsuelo así como de aguas superficiales, comprometiendo el uso del agua para futuras generaciones, además de potenciar posibles enfrentamientos sociales entre los usuarios urbanos y los usuarios agrícolas del agua, enfrentamientos que se han suscitado en el pasado.

Asimismo, debe remarcar, que los indicadores generados por las variables dependientes, al provenir de la producción a escala comercial y no experimental, no son

exactos, sino, una aproximación acerca de la eficiencia y productividad con que se emplea el agua de riego en el cultivo de espárrago y vid en la región, y que al igual que otras áreas del mundo los indicadores de productividad descritos en este estudio tienen una variabilidad debido a las condiciones de manejo, sistemas de riego, tipo de cultivo, manejo del suelo, así como al empleo de nuevas tecnologías, por lo que los datos aquí mostrados deberán utilizarse por la comunidad científica para el análisis detallado y multidisciplinario de la aplicación de nuevas tecnologías en el campo que contribuyan a una mayor productividad y eficiencia del agua en los cultivos.

La determinación de las medidas a aplicar más apropiadas por lo tanto, dependerá en última instancia de las políticas agrarias, hídricas y sociales que se opten para beneficio de la comunidad, misma que deberá priorizar la generación de empleo, el uso racional de los recursos y el beneficio económico regional. Por lo tanto, la información discutida será de utilidad para los órganos encargados de la toma de decisiones cuyo objetivo primordial deberá ser; mantener la sostenibilidad integral de la agricultura. Una medida de política económica de sustentabilidad en el largo plazo, debiera ordenar ya no incrementar la superficie cosechada del cultivo de espárrago, dada su elevada demanda hídrica de  $2.075 \text{ L kg}^{-1}$ , que ha elevado el déficit de agua del acuífero sonoreense.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Agenda Técnica Agrícola. Sonora. 2015. 2ª edición. SAGARPA. México. D.F.
2. Ahmad, M. U. D.; Masih, I.; Turrall, H. 2004. Diagnostic analysis of spatial and temporal variations in crop water productivity: A field scale analysis of rice-wheat cropping system of Punjab. *Journal of Applied Irrigation Science*. 39 (1):43-63.
3. Aldaya, M. M.; Martínez-Santos, P.; Llamas, M. R. 2010. Incorporating the water footprint and virtual water into policy: Reflections from the Mancha Occidental Region, Spain. *Water Resources Management*. 24(5): 941-958.

4. Alvarez, A.; Morábito, J. A.; Schilardi, C. 2016. Huellas hídricas verde y azul del cultivo de maíz (*Zea mays*) en provincias del centro y noreste argentino. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina.* 48(1): 161-177.
5. Caire Martínez, G. 2005. Conflictos por el agua en la Cuenca Lerma-Chapala, 1996-2002. *Región y sociedad.* 17(34):73-125.
6. Carrasco, J. M.; Pistón, J. M.; Berbel, J. 2010. Evolución de la productividad del agua en la Cuenca del Guadalquivir 1989-2005. *Economía Agraria y Recursos Naturales.* 10 (1): 59-69.
7. CONAGUA. 2007. Determinación de la Disponibilidad de Agua en el Acuífero 2605 Caborca. Comisión Nacional del Agua. Estado de Sonora. México. 31p. Disponible en: <http://www.conagua.gob.mx/OCNO07/Noticias/2605%20Caborca.pdf> / (last accessed July 19, 2015).
8. CONAGUA. 2015. Estadísticas Agrícolas de los Distritos de Riego. Comisión Nacional del Agua Insurgentes Sur, Colonia Copilco, Delegación Coyoacán, México, D.F. 408p. Disponible en: <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/SGIH-6-15.pdf> / (last accessed September 5, 2015).
9. CONAGUA. 2017. Disponibilidad por acuíferos. <https://www.gob.mx/conagua/acciones-y-programas/sonora-74834>[https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/104297/DR\\_2605.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/104297/DR_2605.pdf)
10. Conveagro. 2016. Convención Nacional del Agro Peruano. [www.conveagro.org.pe/node/11010](http://www.conveagro.org.pe/node/11010).
11. Espinoza-Ojeda, E. 2003. Evaluación del riesgo a la salud por exposición a arsénico en agua potable en poblados de la costa de H. Caborca, Sonora: Hermosillo, México. Tesis de Maestría. Universidad de Sonora. División de Ingeniería. 79p.
12. FAO, 2003. Descubrir el potencial del agua para la agricultura. Food and Agriculture Organization Roma, Italia: FAO. 72 p. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/006/Y4525S/y4525s00.htm> / (last accessed December 26, 2016).
13. Fimbres, F. A.; Rivas, D. A.; Navarro, A. J. A. 2011. Efecto de la fertirrigación nitrogenada y potásica en el cultivo de espárrago (*Asparagus officinalis* L.) en la región de Caborca, Sonora. *Revista Bio Ciencias.* 13(2): 35-40.
14. FIRA, 2014. Sistema de elaboración de Costos Agropecuarios en su Módulo Agrícola de FIRA. Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura. Disponible en: [www.fira.gob.mx](http://www.fira.gob.mx) / (last accessed September 11, 2015).
15. Fonseca, S. S. E.; Verano, Z. C.; Mariluz, S. J. P. 2012. Huella hídrica del espárrago en Perú. Autoridad Nacional del Agua. Oficina Nacional de Información de Recursos Hídricos. <http://es.calameo.com/read/001271945d27b8c12518b>
16. García, E. 1981. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen para adaptarlo a las condiciones de la república mexicana. UNAM. México. DF. 246 p.
17. García, G. J.; Contreras, L. F.; Usai, D.; Visani, C. 2013. Economic assessment and socio-economic evaluation of water use efficiency in artichoke cultivation. *Open Journal of Accounting.* 2(2): 45-52.
18. García, J. G.; Brunton, J. G. 2013. Economic evaluation of early peach (*Prunus Persica* L. *batsch*) Commercial orchard under different irrigation strategies. *Open Journal of Accounting.* 2(04): 99-106.
19. García, M. J. 2015. Hacia el riego de precisión en el cultivo de fresa en el entorno de Doñana. Tesis Doctoral. Universidad de Córdoba. Escuela Internacional de Doctorado en Agroalimentación. Campus Rabanales. Disponible en: <http://helvia.uco.es/xmlui/bitstream/handle/10396/12639/2015000001120.pdf?sequence=1> / (last accessed October 1, 2015).
20. Garcia-Salazar, J. A.; Mora-Flores, J. S. 2008. Tarifas y consumo de agua en el sector residencial de la Comarca Lagunera. *Región y sociedad [online].* 20(42):119-132. Disponible en: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1870-39252008000200005&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-39252008000200005&lng=es&nrm=iso). [citado 2017-09-20].
21. Gleick, P. H. 2004. Global freshwater resources: Soft-path solutions for the 21st century. *Science.* 302: 1524-1528.

22. González-Robaina, F.; Herrera, P. J.; López, S. T.; Cid, G. L. 2011. Productividad agronómica del agua. *Ingeniería Agrícola*. 1 (2): 76-81.
23. González-Robaina, F.; Herrera, P. J.; López, S. T.; Cid, G. L. 2015. Productividad del agua en algunos cultivos agrícolas en Cuba. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*. 23 (4): 21-27.
24. Hepworth, N. D.; Postigo, J. C.; Güemes, D. B.; Kjell, P. 2010. Drop by drop, understanding the impacts of the uk's water footprint through a case study of peruvian asparagus. *Progressio. CEPES and Water Witness International London*. 99p.
25. Herrera, J. C.; Unland, H.; Pulido, L.; Zavala, M.; Ojeda, W.; De León, B. 2002. Tecnificación y reconversión productiva del distrito de riego 037 Altar-Pitiquito-Caborca, Sonora. Conferencia presentada en el XII Congreso Nacional de Irrigación de la ANEI. Zacatecas, Zac., México.
26. Hoekstra A. Y.; Chapagain A. K. 2004. *Water Footprints of Nations*. UNESCO-IHE. Institute of Water Education. Value of Water. Research Report Series. Serie 16. Volume 1. Appendices. Netherlands.
27. INIFAP. 2010. Guía Técnica para el área de influencia del campo experimental Costa de Hermosillo. Hermosillo, Sonora, México. 220p.
28. Inzunza López, J. O. 2008 Optimización de patrones de cultivo de distritos de riego del noroeste de México. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas* [en línea]. Disponible en: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=455545067005>>. [Fecha de consulta: 4 de septiembre de 2017]
29. IWMI. 2000. World water supply and demand 1995 to 2025 (draft). International Water Management Institute. Colombo. Sri Lanka. Disponible en <http://www.cgiar.org/iwmi/pubs/WWVisn/WWSDOpen.htm>. / (last acceded October 1, 2015).
30. Kijne, J. W.; Barker, R.; Molden, D. J. 2003. Water productivity in agriculture: limits and opportunities for improvement. CABI Publication, Wallingford UK. 332p.
31. Lewis, A. G. 2013. Automated Asparagus Harvester Feasibility Study. Thesis Master of Engineering Management. University of Canterbury. Engineering Management. Available en: <http://ir.canterbury.ac.nz/handle/10092/7442> / (last acceded July 18, 2015).
32. López, T.; Herrera, J.; González, F.; Cid, G. 2011. Modelación de la eficiencia del uso del agua en maíz y frijol en diferentes condiciones de suelo y disponibilidad hídrica. *Ingeniería Agrícola* 1 (1): 24-29.
33. Masari, H., M. (2003). *El agua como recurso*. Disponible en: <http://www.comoves.unam.mx/numeros/articulo/54/el-agua-como-recurso>.
34. Molden, D.; Murray-Rust, H.; Sakthivadivel, R.; Makin, I.; 2003. A water productivity framework for understanding and action, pp.1-18. In: Kijne, J. W.; Barker, R.; Molden, D. J. 2003. Water productivity in agriculture: limits and opportunities for improvement. CABI Publication, Wallingford UK. 332p.
35. Molden, D.; Oweis, T.; Steduto, P.; Bindraban, P.; Hanja, M.; Kijne, J. 2010. Improving agricultural water productivity: Between optimism and caution. *Agricultural Water Management*, 94 (4): 528-535.
36. Montesinos, P.; Camacho, E.; Campos, B.; Rodríguez-Díaz, J. 2011. Analysis of Virtual Irrigation Water. Application to Water Resources Management in a Mediterranean River Basin. *Water Resources Management*. 25 (6): 1635-1651.
37. Olmedo Vázquez, V. M.; Camacho Poyato, E.; Rodríguez Díaz, J. A.; Minjares Lugo, J. L.; Hernández Hernández, M. L. 2017. Determinación de indicadores de gestión en los módulos del Distrito de Riego No. 041, Río Yaqui (Sonora, México). *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina. 49(2): 149-168.
38. Olmedo Vázquez, V. M.; Minjares Lugo, J. L.; Camacho Poyato, E.; Hernández Hernández, M. L.; Rodríguez Díaz, J. A. 2017. Uso del Análisis Envolvente de Datos (DEA) para evaluar la eficiencia de riego en los Módulos del Distrito de Riego No. 041, Río Yaqui (Sonora, México). *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina. 49(2): 127-148.
39. Oyarzún, C.; Nahuelhual, L.; Núñez, D. (2005). Los servicios ecosistémicos del bosque templado lluvioso: producción de agua y su valoración económica. *Ambiente y Desarrollo*. 20(3): 88-95.

40. Padilla Calderón, E. 2012. La construcción social de la escasez de agua: Una perspectiva teórica anclada en la construcción territorial. *Región y sociedad*, 24(SPE. 3), 91-116.
41. Pineda-Pablos, N.; Salazar-Adams. A. 2010. Managing Water Amid Rapid Urbanization: Mexico's North Borderlands. *Water and Sustainability in Arid Regions*. 2010: 245-260.
42. Ramírez-Vallejo, J.; Rogers, P. 2010. Failure of the virtual water argument: Possible explanations using the case study of Mexico and NAFTA. In *Global Change: Impacts on Water and food Security*. Springer Berlin Heidelberg. pp 113-126.
43. Rao, S. S.; Singh, Y. V.; Regar, P. L.; Chand, K. 2010. Effect of micro-irrigation on productivity and water use of cumin (*Cuminum cyminum*) at varying fertility levels. *Indian Journal of Agricultural Science*. 80(6): 507-5011.
44. Reyes, M. A.; Quintero, S. M. A. 2009. Problemática del agua en los distritos de riego por bombeo del estado de Sonora. *Revista Digital Universitaria*. 10(4): 2-19.
45. Ríos, F. J. J.; Torres, M. M.; Ruiz, T. J. 2014. Eficiencia física, económica y social del agua subterránea para riego en Chile en el DR-017. Comarca Lagunera. En: Godínez, M. L.; Figueroa, H. E.; Pérez, S. F.; Sepúlveda, J. D.; García, N. R. M.; Márquez, B. S. R.; y Mamani, O. C. I. (editores). *Aportaciones en Ciencias Agronómicas y Ambientales*. Chapingo, México.
46. Ríos, F. J. L.; Torres, M. M.; Castro, F. R.; Torres, M. M. A.; Ruiz, T. J. 2015. Determinación de la huella hídrica azul en los cultivos forrajeros del DR-017, Comarca Lagunera, México. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo*. 47(1): 93-107.
47. Ríos, F. J. L.; Torres, M. M.; Ruiz, T. J.; Torres, M. M. A.; Cantú, B. J. E. 2015. Evaluación productiva, económica y social del agua de riego de durazno (*Prunus persica* L. Batsch) en Zacatecas (México). *Avances en Investigación Agropecuaria*. 19(2): 97-109.
48. Ríos, F. J. L.; Torres, M. M.; Ruiz, T. J.; Torres, M. M. A. 2016. Eficiencia y productividad del agua de riego en trigo (*Triticum vulgare*) de Ensenada y Valle de Mexicali, Baja California, México. *Acta Universitaria*. 26(1):20-29.
49. Ríos, F. J. J.; Jacinto, S. R.; Torres, M. M. A.; Torres, M. M. 2017. Huella hídrica del cultivo de cebolla producida en el DR005 Delicias, Chihuahua. En: Pérez, S. Francisco, Figueroa; H. Esther; Godínez, M. Lucila; Salazar, M. Raquel. 2017 (Directores-editores ). *Rentabilidad de la Producción Agrícola en México. Handbook T-I. Ciencias de la Economía y Agronomía, Vol.1*. Chapingo, México.
50. Ríos, F. J. L.; Torres, M. M.; Torres, M. M. A. 2017. Productividad agrícola del agua en nogal pecanero del norte de México. Casos: Comarca Lagunera y Delicias, Chihuahua. Editorial Académica Española. Saarbrucken, Alemania.
51. Ríos, F. J. L.; Torres, M. M.; Torres, M. M. A; Cantú, B. J. E. 2017. Eficiencia y productividad del cultivo de frijol en un sistema de riego por bombeo en Zacatecas, México. *Revista Ciencia ergo sum*. Universidad Autónoma del Estado de México. Universidad Autónoma del Estado de México, México. 2(2):152-163.
52. Rodríguez, J.; Kern, W.; May, D. E. 2014. Analyzing the incidence of labour cost on organic production: implications on competitiveness. *Quarterly Journal of Business Studies*. 1(4): 141-148.
53. Rojas, E. B.; Delgado, G. B.; Manzano, L. A. V.; Ramírez, M. V.; Hernández, M. A. J. 2013. El uso eficiente del agua en la producción de maíces nativos de color en Xalostoc, Morelos, México. *Ambiente y Desarrollo*. 17 (3): 99-110.
54. 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.
55. Salazar, B. 2012 El secreto del boom del espárrago: La sobreexplotación del agua, <http://larevistaagraria.org/sites/default/files/revista/LRA139/El%20secreto%20del%20boom%20del%20esparrago.pdf>
56. Seckler, D., Upali, M.; Molden, D.; De Silva, R.; Barker, R. 1998. World water demand and supply, 1990 to 2025: Scenarios and Issues. Research Report 19. International Water Management Institute: Colombo, Sri Lanka. 40p. Disponible en: [http://protosh2o.act.be/VIRTUELE\\_BIB/Water\\_in\\_de\\_Wereld/ALG-Algemeen/W\\_ALG\\_E22\\_World\\_Water.PDF](http://protosh2o.act.be/VIRTUELE_BIB/Water_in_de_Wereld/ALG-Algemeen/W_ALG_E22_World_Water.PDF) / (last acceded December 25, 2015).

57. SIAP. 2014. Anuarios estadísticos de la producción agropecuaria. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. SAGARPA-SIAP. Disponible en <http://www.siap.gob.mx/> / (last acceded August 25, 2015).
58. SIAP. 2015. [Infosiap.siap.gob.mx/aagricola\\_siap\\_gb/icultivo/index-jsp](http://infosiap.siap.gob.mx/aagricola_siap_gb/icultivo/index-jsp)
59. Steduto, P.; Hsiao, T. S.; Fereres E. 2007. On the conservative behavior of biomass water productivity. *Water productivity: Science and Practice. Irrigation Science.* 25:189-207.
60. Takele, E.; Kallenbach, R. 2001. Analysis of the impact of alfalfa forage production under summer water-limiting circumstances on productivity, agricultural and growers returns and plant stand. *Journal of Agronomy and Crop Science.* 187(1): 41-46.
61. Teixeira, A. D. C.; Bassoi, L. H. 2009. Crop water productivity in semi-arid regions: from field to large scales. *Ann. Arid Zone.* 48: 1-13.
62. Vega-Granillo, E. L.; Cirret-Galán, S.; De la Parra-Velazco, M. L.; Zavala-Juárez, R. 2011. Hidrología de Sonora, México, In: Calmus, Thierry ed., *Panorama de Geología de Sonora, México.* Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Boletín 118: 267- 298. Disponible en [http://www.geologia.unam.mx:8080/igl/pubs/boletin/bol118/\(8\)Vega.pdf](http://www.geologia.unam.mx:8080/igl/pubs/boletin/bol118/(8)Vega.pdf) / (last acceded November 12, 2016).
63. Velázquez, G. G. 2014. Los pueblos indígenas en México contra las nuevas formas de despojo. El caso de los yaquis en Sonora. *Territorios en disputa.* 269 p.
64. Viets, F. G. 1966. Increasing water use efficiency by soil management. In *plant environment and efficient water use.* Guilford RD., Madison, USA: American Society of Agronomy, Soil Science Society of America. 295 p.
65. Wilder, R. 2002. In name only: water policy, the state, and ejidatario producers in northern Mexico. <http://arizona.openrepository.com/arizona/handle/10150/280078> / (last acceded October 2, 2015).
66. World Wildlife Fund. 2013. Estado del arte de la medición de la huella hídrica a nivel nacional e internacional. WWF. Perú. p. 113.
67. Zwart, S. J.; Bastiaanssen W. G. M. 2004. Review of measured crop water productivity values for irrigated wheat, rice, cotton and maize. *Agricultural Water Management.* 69. 115-133.