

Determinación de la productividad del agua en garbanzo (*Cicer arietinum*) blanco y trigo (*Triticum vulgare*) grano producido en Cajeme, Sonora

NAVARRETE-MOLINA, Cayetano, RÍOS-FLORES, José Luis, TORRES-MORENO, Miriam, TORRES-MORENO, Marco Antonio y CASTAÑO-QUINTERO, Paula Andrea

C. Navarrete`, J. Ríos`, M. Torres``, M. Torres```` y P. Castaño``````

`Universidad Autónoma Chapingo - Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas. Domicilio Conocido Carretera Gómez Palacio – Chihuahua, Bermejillo, Durango, C.P. 35230. Tel. + 52 (871) -7760160.

``SAGARPA, Delegación-Región Lagunera-Subdelegación de Planeación y Desarrollo Rural, Cd. Lerdo, Dgo., Calle Chihuahua No 14OTE. C.P. 35000 México

````Innovación Ambiental para la Conservación y Desarrollo Sustentable A.C. Diego Rivera No.1 Int. 203 Unidad ISSSTE Texcoco Edo de México.

``````Universidad de Córdoba, España. Avenida de Medina Azahara No 5. CP. 14071. Córdoba, España  
ingnavarretem@hotmail.com

F. Pérez, E. Figueroa, L. Godínez, R. Pérez (eds.) Ciencias de la Biología, Agronomía y Economía. Handbook T-II.- ©ECORFAN, Texcoco de Mora, México, 2017.

Abstract

The objective was to determine the water footprint of the cultivation of wheat and white chickpea produced in Cajeme, Sonora, which developed mathematical models that determine the efficiency and productivity of water in both crops. It was determined that total 1,056L kg⁻¹ of wheat and 1,621L kg⁻¹ in white chickpea. Physical productivity indicators were 0.947 kg m⁻³ in wheat and 0.617kg m⁻³ in white chickpea. In wheat crop were used a total of 115.63 m³ of water to generate US\$1 of loss, and chickpea employed a total of 6.84 m³ per dollar of gain. The social productivity was 0.56 jobs hm³ in wheat and 1.16 jobs hm³ in chickpea. It is concluded that white chickpea produced in Cajeme was more efficiency than the wheat in physic and economic terms.

1 Introducción

La agricultura de riego del país, se ha establecido en su mayor parte en las zonas áridas y semiáridas, por esta razón se ha construido un conjunto de obras hidráulicas para almacenar, alumbrar y distribuir el agua que requieren los cultivos agrícolas durante su crecimiento. Actualmente el reto al que se enfrenta esta actividad consiste en alcanzar mayores índices de eficiencia de los volúmenes derivados, para combatir estratégicamente el peligro creciente, de tener menos disponibilidad en cantidad y calidad de agua para los diferentes usos (CONAGUA, 2007). La agricultura en la actualidad se enfrenta a varios retos de sustentabilidad económica y ecológica. En este contexto, zonas de riego del Noroeste de México, sobre todo las de bombeo, hacer un uso más eficiente de los recursos, principalmente del agua, así como de elevar la productividad y eficiencia de la misma (INIFAP, 2004). En este sentido las regiones del noroeste de México, particularmente el estado de Sonora, de gran tradición cerealera, donde el 53% de sus superficie agrícola se siembra de trigo y garbanzo. Particularmente en el Distrito Cajeme, Sonora, el SIAP (2014) reportó un total de 269,323.69 hectáreas, de las cuales el 73.70% se estableció de trigo y garbanzo, lo que representó el 53.72% del Valor Bruto de la Producción (VBP) de esa región agrícola.

Sin embargo, de acuerdo con el INIFAP (2004), a nivel estatal los productores han tenido que balancear, su actividad agrícola con otras opciones de cultivo, como frutas y hortalizas que puedan comercializarse en los mercados internacionales. En este sentido el garbanzo posee características agronómicas que le asignan ventajas sobre otros cultivos como el trigo, por lo que se ha convertido en uno de los pilares económicos de la zona del noroeste, ya que combina el bajo requerimiento de agua, con una buena adaptación al clima desértico, además de tener buenos precios de mercado, por lo que se le ha considerado una buena opción en esa región para la producción (INIFAP, 2004), aunado a todo lo anterior la FAO (2003), menciona que a fin de lograr un 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.

1.1 Metodología

1.1.1 Fuentes de información

Se utilizaron como datos base, mediante los cuales se obtuvieron todas y cada una de las demás variables, las cifras de superficie cosechada, producción física anual, precios por tonelada (dividiendo el Valor Bruto de la Producción entre la producción física anual), reportados para el Distrito de Riego DRR- 148, Cajeme Sonora, por el SIAP para el ciclo agrícola 2012, del SIAP y los costos por hectárea y número de jornales por hectárea reportados por FIRA en el 2012, obtenidos a través del Sistema de elaboración de Costos Agropecuarios en su Modulo Agrícola de FIRA para el cultivo de trigo grano y garbanzo blanco.

Las fuentes de datos son de carácter secundario, ya que se usaron datos del Anuario Estadístico de la Producción Agrícola, ciclo 2012, del SIAP (Sistema de Información Agropecuaria y Pesquera), específicamente cifras de superficie cosechada, producción física anual, Precio Medio Rural (PMR), y rendimientos físicos por ha para el cultivo de trigo y garbanzo grano, la segunda fuente, es FIRA, que a través de su página electrónica se obtuvo el costo total por hectárea, con cada uno de sus rubros constitutivos: preparación del suelo, siembra y fertilización, labores de cultivo, Riego, fitosanidad, cosecha, costo financiero y diversos. Asimismo, los costos de producción por hectárea de FIRA, considera el volumen neto de agua irrigada al cultivo, por lo que para obtener la lámina neta de riego, se dividió ese volumen de agua entre 10,000, así, la lámina neta se dio en metros lineales, y como FIRA maneja el volumen ya neto aplicado por hectárea al cultivo, no se sometió la lámina de riego a ningún porcentaje de eficiencia, se insiste, en tanto FIRA le consigna ya como volumen neto de agua aplicado.

1.1.2 Ecuaciones matemáticas empleadas y variables

Se analizaron las variables que se enlistan a continuación:

La cantidad de kg producidos por metro cúbico de agua (Kg m^{-3}), generada por el modelo:

$$\text{kg m}^{-3} = 10^{-1} * (\text{RF}/\text{LR}) \quad (1)$$

Dónde RF = rendimiento físico por hectárea (en ton ha^{-1}), LR = Lámina de Riego.

La cantidad de agua irrigada necesaria para producir un kg de producto físico, generada por el modelo:

$$\text{Litros kg}^{-1} = 10^4 * (\text{LR}/\text{RF}) \quad (1.1)$$

La cantidad de ganancia en dólares norteamericanos producida por cada hectómetro cúbico de agua irrigada, generada por el modelo:

$$\text{USD\$ de ganancia hm}^{-3} = 10^2 * g * \text{LR}^{-1} \quad (1.2)$$

Dónde: g = ganancia por ha. $g = \text{RM} - c = \text{RF} (p) - c$, RM = Rendimiento monetario o ingreso por hectárea, “p” es el PMR y “c” es el coste por hectárea.

La cantidad de agua irrigada (en m^3) necesaria para producir USD\$1 de ganancia, generada por el modelo:

$$\text{m}^3 \text{g}^{-1} = 10^4 \text{LR g}^{-1} \quad (1.3)$$

Dónde: 10^4 son los 10,000 m^2 de una ha.

La cantidad de empleos permanentes “E” asociados al uso de un hectómetro cúbico (hm^3) de agua usada en el riego, generado por el modelo:

$$\text{Empleos hm}^{-3} = (25/72) * (\text{J}/\text{LR}) \quad (1.4)$$

Dónde: J = número de jornales por hectárea. 1 Jornal = 8 horas de trabajo al día, se supone a priori, que una persona trabaja 6 jornadas a la semana durante 48 semanas al año, equivalente a 288 jornadas año⁻¹; $(25/72)$ es la simplificación de la regla de tres, en la que se tiene, arriba a la izquierda, a “ J ” y a su derecha la cantidad de metros cúbicos irrigados por hectárea (igual al producto de 10,000 m por la Lámina de riego “LR” en metros) y abajo, del lado izquierdo a “E” y a su lado derecho 1,000,000 de m³.

Índice de apropiación privada de ganancias en relación al precio pagado por el agua, generado por el modelo:

$$g / \text{precio del agua} = g \text{ m}^{-3} / \text{costo por m}^3 \text{ de agua} \quad (1.5)$$

Dónde: el “precio del agua” es la división del rubro de “Riego” dentro de los componentes o rubros en la estructura de costos “c” de producción por hectárea. Se analizaron además otras variables referentes a la productividad del capital y de la fuerza laboral, las cuales fueron las siguientes:

De la productividad del capital:

Relación Beneficio-Costo (RB/C), estimada por el modelo:

$$RB/C = RM / c \quad (1.6)$$

Tasa de ganancia, estimada por el modelo:

$$\text{Tasa de ganancia} = (RM - c) / c \quad (1.7)$$

Número de empleos “E” generados por cada millón de dólares, estimado por el modelo:

$$E / \text{millón de USD} = (10^6 * (J / (288))) / c \quad (1.8)$$

Dónde: 10^6 es un millón de dólares norteamericanos.

Punto de equilibrio “PE”, estimado por el modelo:

$$PE = c / RM = \text{Costo ha}^{-1} / RM \text{ ha}^{-1} \quad (1.9)$$

De la productividad del capital:

Cantidad de horas “h” invertidas de trabajo por hectárea, “h ha⁻¹”, estimado por el modelo:

$$h \text{ ha}^{-1} = J * 8 \quad (1.10)$$

Cantidad de horas de trabajo invertidas por tonelada, “h ton⁻¹”, estimada por el modelo:

$$h \text{ ton}^{-1} = J * 8 / RF \quad (1.11)$$

Kilogramos producidos por hora de trabajo, “kg h⁻¹”, estimada por el modelo:

$$Kg \text{ h}^{-1} = 10^3 RF / (J * 8) \quad (1.12)$$

Dónde: 10^3 es para convertir RF, en ton ha^{-1} , a kg ha^{-1} .

Ganancia generada por hora de trabajo, estimada por el modelo:

$$\text{USD de ganancia h}^{-1} = g/(J*8) \quad (1.13)$$

Ganancia generada por trabajador, generada por el modelo:

$$\text{USD de ganancia trabajador}^{-1} = 288 * g * J^{-1} \quad (1.14)$$

1.2 Resultados

1.2.1 Producción, precios, ingreso, costo y rentabilidad en el cultivo de trigo y garbanzo grano irrigado por bombeo en Cajeme, Sonora, ciclo agrícola OI 2013

De acuerdo las cifras del SIAP (2013), a nivel nacional en ese año se cosecharon un total de 20, 710, 981.57 hectáreas, de las cuales 115, 550.88 fueron de garbanzo grano, lo que representa el 0.6% de la superficie nacional cosechada, mientras que de trigo grano se cosecharon un total de 634,240.99 hectáreas, lo que representó el 3.1% de la superficie total. Asimismo, el Valor Bruto de la Producción (VBP) generado por todo el sector agrícola fue de \$395,508.06 millones de pesos corrientes, de los cuales el cultivo de garbanzo blanco representó el 0.7% (\$2, 622.67 millones de pesos), mientras el trigo representó el 3.0% (\$11, 923.68 millones de pesos) del VBP a nivel nacional.

Desagregando esas cifras a nivel estatal, se observa que en todo el estado de Sonora se cosecharon un total de 573, 765.63 hectáreas, de las cuales 24, 657 hectáreas cosechadas fueron de garbanzo blanco (4.3%), y 304, 547.50 hectáreas cosechadas de trigo grano lo que representó el 53.1% de la superficie cosechada a nivel estatal. Asimismo la agricultura a nivel estatal generó un total de \$27, 125.28 millones de pesos, de los cuales el 3.2% (\$862.54 millones de pesos) fueron generados por el cultivo de garbanzo y 27.2% (\$7, 384.39 millones de pesos) de trigo grano.

Asimismo, según las cifras del SIAP (2013), a nivel regional en Cajeme, Sonora, ese año se cosecharon un total de 201, 179.04 hectáreas, de las cuales 10,110 fueron de garbanzo grano, lo que representa el 41.0% de la superficie estatal cosechada de garbanzo, mientras que de trigo grano se cosecharon un total de 191, 068.00 hectáreas, lo que representó el 62.7% de la superficie cosechada de trigo grano a nivel estado. Asimismo, el Valor Bruto de la Producción (VBP) generado por todo el sector agrícola fue de \$4, 839.72 millones de pesos corrientes, de los cuales el cultivo de garbanzo blanco representó el 40.3% (\$347.36 millones de pesos) del valor generado a nivel estatal, mientras el trigo representó el 65.5% (\$4, 839.72 millones de pesos) del VBP generado a nivel estatal.

Como ya se mencionó en el párrafo anterior en Cajeme se cosecharon un total de 201,178 hectáreas, de las cuales 10, 110 fueron de garbanzo blanco (5%), mientras el restante 95% fueron cosechadas de trigo grano (191,068 hectáreas), mismas que produjeron un total de 26,125.50 toneladas de garbanzo blanco y 1,357, 042 toneladas de trigo grano. El Valor Bruto de la Producción que generaron estos dos cultivos para la región de Cajeme, Sonora fue de US\$310.3 millones de dólares, US\$20.78 millones generados por el cultivo de garbanzo y US\$289.54 millones generados por el cultivo de trigo grano.

Respecto del rendimiento físico, se observa en la Tabla 1 que en conjunto se produjeron 6.9 ton ha⁻¹ de grano (trigo y garbanzo), sin embargo al desglosar cifras se observa que el trigo tuvo un rendimiento de 7.10 ton ha⁻¹, mientras el garbanzo blanco tuvo rendimientos promedio de 2.58 ton ha⁻¹ para ese ciclo agrícola, lo que indica que el cultivo de trigo tuvo mejores rendimientos ese año (Tabla 1).

Tabla 1 Superficie, producción física anual, Valor Bruto de la Producción (VBP), Relación Beneficio-Costo (R B/C), horas de trabajo por tonelada, empleo generado y agua usada en el riego en el cultivo de garbanzo y trigo grano producidos en Cajeme, Sonora. OI 2012-2013

| Variable macroeconómica | Trigo, Cajeme BFM. Mp | Garbanzo, Cajeme BFM. Mp | Total |
|---|-----------------------|--------------------------|--------------|
| a) Superficie cosechada (ha) | 191,068.00 | 10,110.00 | 201,178.00 |
| b) Producción anual (ton) | 1,357,042.00 | 26,125.50 | 1,383,167.30 |
| c) VBP (millones de US\$) | \$ 289.54 | \$ 20.78 | 310.30 |
| d) Rendimiento físico "RF" (ton/ha) = b/a | 7.10 | 2.58 | 6.90 |
| e) Precio (US\$) /ton = 1000000*c/b | \$ 213.40 | \$ 795.40 | \$ 224.40 |
| f) Ingreso (US\$) /ha =d*e | \$ 1,515.00 | \$ 2,055.00 | 1,542.50 |
| g) Costo (US\$) /ha | \$ 1,580.00 | \$ 1,443.00 | 1,573.30 |
| h) Costo (US\$) /ha sin renta del suelo | \$ 1,161.00 | \$ 1,024.00 | 1,154.60 |
| i) Ganancia (US\$) /ha= f-g | \$ -65.00 | \$ 613.00 | - 30.80 |
| j) Relación Beneficio/Costo = f / g | 0.96 | 1.42 | 0.98 |
| k) # de jornales "J" /ha | 1.20 | 1.40 | 1.20 |
| l) kg / jornada = 1000 d/k | 5,919.00 | 1,846.00 | 5,681.90 |
| m) Costo (US\$) /ton = g/d | \$ 222.00 | \$ 558.00 | 228.80 |
| n) Ganancia (US\$) /jornada = i /k | \$ -54.00 | \$ 438.00 | - 25.50 |
| o) Lámina neta de Riego (LR) en m | 0.75 | 0.42 | 0.70 |
| p) Volumen de agua usado / ha (m ³) | 7,500.00 | 4,190.00 | 7,333.70 |
| q) Volumen de agua usado en toda la superficie cosechada (hm ³) | 1,433.01 | 42.36 | 1,475.40 |
| r) Ganancia monetaria total (Millones de US\$) | \$ -12.39 | \$ 6.20 | - 6.20 |
| s) Total de jornales al año | 229,282.00 | 14,154.00 | 243,435.60 |
| t) Número de empleos permanentes/año | 796.00 | 49.00 | 845.30 |
| u) Capital invertido en la producción (millones de US\$) | \$ 301.94 | \$ 14.58 | 316.50 |

Fuente: Elaboración propia en base a cifras de FIRA (2013)

Por otro lado, la misma Tabla 1, muestra el precio por tonelada de cada uno de los dos cultivos, encontrándose que el trigo tuvo un precio de US\$213.4 tonelada, mientras el garbanzo grano alcanzo los US\$795.4 tonelada, lo que indica que el cultivo de garbanzo tuvo un precio 272% mayor que el alcanzado por el trigo en Cajeme, Sonora. Esta diferencia de precios por tonelada provoco que el ingreso por hectárea en el garbanzo alcanzara los US\$2,055 dólares por hectárea, mientras el cultivo de trigo obtuvo US\$1, 515 dólares por hectárea, durante ese ciclo agrícola. Por otro lado, el costo por hectárea indica que mientras en garbanzo blanco fue de US\$1,443 dólares por hectárea, en trigo fue de US\$1,580 dólares por hectárea, lo que indica que el costo por hectárea en el cultivo de garbanzo fue 8.7% menor que el costo en el cultivo de trigo. Estas diferencias en los costos de producción por hectárea y los ingresos por hectárea, se expresan en las diferente Relación Beneficio Costo (R B/C) que tuvieron los cultivos, mientras el garbanzo tuvo una R B/C igual a 1.42, el trigo tuvo un indicador igual a 0.96, lo que indica que mientras el productor dedicado a producir garbanzo de cada dólar invertido, obtuvo ese dólar y 0.42 dólares adicionales, es decir; la producción de garbanzo fue rentable, mientras que el productor dedicado a la producción de trigo, solo recupero 0.96 dólares de cada peso invertido, lo que implica que durante ese ciclo agrícola la producción no fue rentable.

En este punto es importante mencionar que estos indicadores de rentabilidad están considerados para productores que en dado momento están rentando la tierra, sin embargo, en el supuesto que el productor fuera dueño de la tierra, el indicador R B/C para el cultivo de trigo sería de 1.30 y de 2.01 en el caso del garbanzo. Otra de las variables indicadas en la Tabla 1, es el número de jornales por hectárea, detallando que mientras en el cultivo de garbanzo se emplearon 1.40 jornales por hectárea en el cultivo de trigo se emplearon 1.20 jornales por hectárea, de allí que de acuerdo con los cálculos realizados se estime que durante ese ciclo agrícola para toda la superficie cosechada se emplearan un total de 14, 154 jornales en el cultivo de garbanzo (lo que representa 49 empleos permanentes al año), mientras que el cultivo de trigo requirió un total de 229, 282 jornales, mismos que representaron 796 empleos permanentes.

Visto desde otra ángulo, la superficie de trigo y garbanzo grano requirió 1, 475.5 hectómetros de agua (1, 433.01 hm³ para el cultivo de trigo y 42.36 hm³ para cultivar garbanzo grano), lo que implicaría un gasto de 7,500 m³ por hectárea en trigo y 4, 190 m³ en garbanzo, considerándose lamina neta de riego, señalada en la Tabla 1.1 (con base en cifras de costos de producción por ha de FIRA), de 0.419 cm en garbanzo grano y 0.75 cm en trigo grano, que al multiplicarse por la superficie cosechada arrojó el volumen de agua mencionado.

De acuerdo con la Tabla 1.1, muestra la estructura de costos absolutos y relativos en el cultivo de trigo grano y de garbanzo blanco en Cajeme, Sonora. De esa fuente se observa que el costo por hectárea en garbanzo fue de US\$1, 443 dólares por hectárea, es decir; \$24, 113 pesos por hectárea. Desglosando estas cifras se observa que la renta del suelo representó el 29% (\$7,000 pesos) del costo total, la fitosanidad representó el 13.4% (\$3, 227 pesos).

Por otro lado en el cultivo de trigo la renta del suelo representó 26.5% (\$7,000 pesos) del costo total, seguido de la fertilización con 19.2% (\$5,078 pesos) del costo total y de conceptos diversos 13.1% (\$ 3,469 pesos). Este mismo análisis nos muestra que el costo del riego representó en términos relativos el 3.9% (\$940 pesos ha⁻¹) en el cultivo de garbanzo y 6% (\$1,575 pesos ha⁻¹) en el trigo, lo que implica que el costo por metro cúbico fue de US\$ 0.012 en trigo y de US\$ 0.011 en garbanzo, este indicador es de suma importancia en tanto que comparado con otras áreas agrícolas, el costo del agua es de € 0.21 m⁻³ (lo que equivale a \$ 3.94 m⁻³) (Salvador, *et al.*, 2011).

El costo del agua es un índice particularmente importante sobre todo en regiones áridas y semiáridas donde la superficie de cultivos tiende a expandirse.

Este índice por lo tanto indica las estrategias de riego a seguir y los cultivos que serían competitivos bajo determinadas circunstancias.

Estos valores evidencian que el precio del agua en las regiones del norte de México es muy bajo comparado con otras regiones agrícolas del mundo, lo que contribuye con un uso ineficiente del recurso, además de que estos precios no evidencian el valor real del agua, pues de acuerdo con Takele y Kallenbach, (2001), los precios del agua son importantes para la mejora de la demanda y de la conservación de este recurso.

Tabla 1.1 Costos de producción por hectárea en el cultivo de garbanzo y Trigo en Cajeme, Sonora. OI 2012-2013. B = bombeo; G = gravedad; F = fertilizado; M = semilla mejorada; mp = maquinaria propia

| Concepto | Términos absolutos | | | Estructura porcentual | | |
|---|-----------------------|--------------------------|-----------|-----------------------|-------------------|----------|
| | Trigo, Cajeme BFM. Mp | Garbanzo, Cajeme BFM. Mp | Promedio | Trigo, BFM. MP | Garbanzo, BFM. Mp | Promedio |
| Preparación del terreno | \$ 2,351 | \$ 2,761 | \$ 2,372 | 8.9% | 11.5% | 9.0% |
| Siembra | \$ 1,890 | \$ 2,914 | \$ 1,941 | 7.2% | 12.1% | 7.4% |
| Fertilización | \$ 5,078 | \$ 3,096 | \$ 4,978 | 19.2% | 12.8% | 18.9% |
| Labores culturales | \$ 190 | \$ 430 | \$ 202 | 0.7% | 1.8% | 0.8% |
| Riegos | \$ 1,575 | \$ 940 | \$ 1,543 | 6.0% | 3.9% | 5.9% |
| Fitosanidad | \$ 2,517 | \$ 3,227 | \$ 2,553 | 9.5% | 13.4% | 9.7% |
| Cosecha, selección y empaque | \$ 890 | \$ 890 | \$ 890 | 3.4% | 3.7% | 3.4% |
| Comercialización | \$ 780 | \$ 264 | \$ 754 | 3.0% | 1.1% | 2.9% |
| Diversos | \$ 3,469 | \$ 1,789 | \$ 3,385 | 13.1% | 7.4% | 12.9% |
| Subtotal | \$ 18,740 | \$ 16,311 | \$ 18,618 | 70.9% | 67.6% | 70.8% |
| Costo financiero | \$ 674 | \$ 802 | \$ 680 | 2.6% | 3.3% | 2.6% |
| Renta del suelo por ciclo (\$/ha) | \$ 7,000 | \$ 7,000 | \$ 7,000 | 26.5% | 29.0% | 26.6% |
| Costo total por ha (MX\$) | \$ 26,414 | \$ 24,113 | \$ 26,298 | 100.0% | 100.0% | 100.0% |
| Costo total por ha (US\$) | \$ 1,580.26 | \$ 1,443 | \$ 1,573 | | | |
| Volumen usado de agua por ha (Miles de m ³) | 7.50 | 5.00 | 7.37 | | | |
| Precio del m ³ (pesos mexicanos) | \$ 0.21 | \$ 0.19 | \$ 0.21 | | | |
| Precio del m ³ (US\$) | \$ 0.012 | \$ 0.011 | \$ 0.012 | | | |

Fuente: Elaboración propia con base en los costos de producción por hectárea de FIRA 2013

1.2.2 Indicadores de productividad del agua en trigo grano y garbanzo blanco producidos en Cajeme, Sonora

El análisis de la productividad del agua se observa en la Tabla 1.2, el cual 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 (García *et al.*, 2013; Lorite *et al.*, 2012; Romero *et al.*, 2006), sin embargo en México existe muy poca información y en algunos cultivos nula información al respecto. En el presente estudio el indicador de eficiencia física del cultivo de trigo en Cajeme fue 0.947 kg m⁻³, encontrándose un índice menor en el garbanzo blanco producido en esa misma región con 0.617 kg m⁻³, lo que muestra una menor eficiencia del cultivo de garbanzo para convertir el agua en grano, ya que empleó un total de 1,621 L kg⁻¹, en comparación con el cultivo de trigo que empleó 1,056 L kg⁻¹ (Tabla 1).

Sin embargo, los valores del índice de productividad física del trigo grano son similares a los determinados por Usman *et al.*, (2012) quienes para Rechna Doab y Punjab, en Pakistan determinaron un índice de 0.94 kg m⁻³ en trigo grano, mientras que Shabbir *et al.*, (2012), determinaron un promedio de 0.43 kg m⁻³, indicador que estaría por debajo del determinado en Cajeme, Sonora. Otros autores, como Brauman *et al.* (2013) reportaron índices de 0.9 kg m⁻³ para Estados Unidos y 1.3 kg m⁻³ en China, por otro lado Aiken *et al.*, (2013), determinaron un índices que oscilaron entre 0.28 – 0.62 kg m⁻³. Lo que indica que en la región analizada, presenta niveles de productividad del agua equiparables a los de otras regiones productoras de trigo sin embargo aún deben de aplicarse mejoras en la gestión del agua de riego con las cuales se incremente la productividad del agua en el cultivo de trigo grano.

Mientras en el caso del garbanzo González *et al.*, (2014) en Cuba la productividad física del garbanzo oscilo entre 0.34-1.27 kg m⁻³, mientras en maíz está vario entre 2.03 – 16.43 kg m⁻³, lo que indica que en las regiones del noroeste de México se deben aun realizar grandes esfuerzos para elevar la productividad del garbanzo blanco.

El indicador de la variable ganancia por hectómetro, muestra que en el cultivo de trigo grano producido en Cajeme, Sonora se requirieron en promedio 115.63 m³ para generar US\$1 dólar de perdida (el indicador fue -115.63), mientras en el cultivo de garbanzo se emplearon un total de 6.84 m³ para generar un dólar de ganancia. Visto de otra forma, implica que en el caso del garbanzo blanco se generó una ganancia de US\$146,276.84 dólares por cada hectómetro cúbico empleado en el riego, mientras en el caso del trigo se perdió US\$8,648.39 dólares por cada hectómetro cúbico empleado en el riego del cultivo (Tabla 1.2).

A pesar de la importancia de este tipo de indicadores la información que existe sobre la eficiencia económica generada por metro cúbico empleado en riego es escasa. Existen algunos trabajos desarrollados en el mediterráneo para hortalizas, frutales, cereales y oleaginosas; en este sentido, algunos autores determinaron en trigo que la utilidad bruta fue de € 0,23 m⁻³ (lo que equivale a US\$ 0,26), mientras que en girasol y maíz grano fue de € 0,53 m⁻³ (equivalente a US\$ 0,59) (García *et al.*, 2013; Romero *et al.*, 2006), mientras que Al-Qunaibet y Ghanem, (2014) para la región de Riyadh, Arabia Saudita US\$1.51 m⁻³ para el trigo grano.

Lo anterior muestra que el cultivo de trigo grano resulto económicamente improductivo en relación con el trigo que se produce en otras regiones del mundo, dado que empleo gran cantidad de agua en la región (1,433.01 hectómetros de agua), aunado a que la Relación Beneficio/Costo de la producción de trigo fue negativa ubicarse en 0.96. Por otro lado, se debe tomar en cuenta que la cantidad de agua que se requiere invertir para generar \$1 dólar, pues de acuerdo con los resultados, 115.63 m³ de agua para generar \$1 dólar de utilidad bruta, que en este caso fue perdida, por lo que se deduce que aun cuando se incrementara la inversión de agua para la producción de trigo, la rentabilidad del cultivo no estaría favoreciendo el ingreso generado, lo que implica un uso improductivo del agua.

El índice denominado apropiación privada de ganancias, muestra la relación que existe entre el ingreso generado y el precio del metro cúbico. Así el índice para el trigo producido en Cajeme fue -0.69, lo que indica que de cada dólar que el productor de trigo grano pagó por metro cúbico de agua, se obtuvo solamente en retorno \$0.69 centavos de ese dólar.

Por otro lado en el cultivo de garbanzo se obtuvo un índice de \$13.01; lo que indica que el cultivo fue mucho más productivo en términos económicos que el trigo grano, ya que de cada dólar que se invirtió en el riego de garbanzo, el productor obtuvo US\$12.01 dólares de retorno. En este sentido De Estefano y Llamas (2012), determinaron un indicador de € 0.24 m⁻³ promedio para cereales. Por ello García (2015) 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.

Tabla 1.2 Indicadores de la productividad del suelo, del agua, del capital y de la fuerza laboral en la producción del cultivo de garbanzo y trigo grano producido en Cajeme, Sonora

| Variable Económica | Expresado en: | Trigo, Cajeme
BFM. Mp | Garbanzo, Cajeme
BFM. Mp | Ambos
cultivos |
|---|---|--------------------------|-----------------------------|-------------------|
| Indicadores de Huella hídrica: | | | | |
| Huella hídrica física : Productividad física del agua de riego | kg m ⁻³ | 0.947 | 0.617 | 0.932 |
| Huella hídrica física : Eficiencia física del agua de riego | litros kg ⁻¹ | 1,056 | 1,621 | 1,073 |
| Huella hídrica económica: Productividad económica del agua de riego | USD\$ de ganancia hm ⁻³ | \$ -8,648.39 | \$146,276.84 | \$ 4,176.99 |
| Huella hídrica económica: Eficiencia económica del agua de riego | m ³ de agua por USD\$1 de ganancia | \$ -115.63 | \$ 6.84 | \$ 239.41 |
| Huella hídrica social: Productividad social del agua de riego | Empleos hm ⁻³ | 0.56 | 1.16 | 0.57 |
| Índice de apropiación privada de ganancias en relación al precio pagado por el agua | adimensional | - 0.69 | 13.01 | - 0.33 |
| Productividad social del capital (empleos generados por cada millón de USD) | Empleos / millón US\$ | 2.64 | 3.37 | 2.67 |
| Punto de equilibrio "PE" | Ton ha ⁻¹ | 7.406 | 1.814 | 7.013 |
| Rendimiento físico / PE | base 1 | 0.96 | 1.42 | 0.98 |
| Productividad laboral: | | | | |
| Horas de trabajo invertidas por ha | h ha ⁻¹ | 9.6 | 11.2 | 9.7 |
| Horas de trabajo invertidas por ton | h ton ⁻¹ | 1.4 | 4.3 | 1.4 |
| Kilogramos producidos por hora de trabajo | kg h ⁻¹ | 739.8 | 230.7 | 710.2 |
| Ganancia generada por hora de trabajo | US\$ h ⁻¹ | \$ -6.76 | \$ 54.72 | \$ -3.18 |
| Ganancia generada por trabajador | US\$ trabajador ⁻¹ | \$ -15,567 | \$126,082 | \$ 7,331 |

Fuente: Elaboración propia

1.2.3 Indicadores de eficiencia social

En cuanto a la eficiencia social del agua, que es la cantidad de empleos generados por hectómetro de agua, en el cultivo de trigo el indicador fue 0.56 empleos hm⁻³ y 1.16 empleos hm⁻³ en el cultivo de garbanzo. 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 o cereales. En este sentido, García *et al.*, (2013) determinaron un índice que oscilo 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, mientras que Ríos *et al.*, (2015) determinaron un promedio para cultivos forrajeros en la Comarca Lagunera de 0.048 empleos hm⁻³ oscilando de 0.037 empleos hm⁻³ en alfalfa y 0.076 empleos hm⁻³. La productividad horaria, es decir; la cantidad de horas de trabajo que se invierten por tonelada de producto (trigo grano), indica que en promedio se requirieron 1.4 h ton⁻¹, lo que indica que para producir una tonelada de trigo se requieren invertir 1.4 horas de trabajo, mientras que en el cultivo de garbanzo el indicador fue 4.3 h ton⁻¹, lo que indica que el cultivo de trigo es más productivo, al emplear menos horas de trabajo para generar una tonelada de grano. De acuerdo con (Dorward, 2013), existen otras dos formas de expresar la productividad laboral, para los indicadores estructurales, pudiendo ser medida por el valor bruto de la producción generado en relación con el número de personas empleadas, por el número de horas trabajadas. Así, se determinó que cada trabajador dedicado a la producción de trigo grano en Cajeme, Sonora agregó al valor de esa cadena productiva US\$126, 082 dólares en ese ciclo agrícola, mientras en el caso del trabajador dedicado a producir trigo se agregó -US\$15, 567 dólares por trabajador. Estos índices se encuentran estrechamente relacionados con la cantidad de trigo y garbanzo producido así como por el precio de mercado.

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, para la producción de trigo grano en Cajeme, Sonora fue de $-US\$6.76 h^{-1}$, lo que indica que este cultivo fue improductivo en relación al garbanzo grano, mismo que generó $US\$54.72 h^{-1}$, lo que indica que en términos económicos el garbanzo fue el que mostró ser más productivos en la utilización del agua.

En la misma Tabla 1.2 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) es de 7.40 ton ha^{-1} en el caso del trigo y de 1.81 ton ha^{-1} para el garbanzo blanco producidos en Cajeme. Tomando en consideración la producción obtenida en cada uno de los cultivo, se observa que el trigo grano se ubicó por debajo del punto de equilibrio, con $7.102 \text{ ton ha}^{-1}$, lo que lo ubica como cultivo económicamente improductivo, mientras que el cultivo de garbanzo blanco se ubicó por encima del punto de equilibrio con $2.584 \text{ ton ha}^{-1}$. La variable que evalúa la vulnerabilidad crediticia del cultivo, desde la perspectiva de cuántas veces cubre el rendimiento físico por hectárea al punto de equilibrio. De esa forma, la Tabla, 3 indica que en el caso del trigo, el rendimiento físico por hectárea ($7.102 \text{ ton ha}^{-1}$), alcanzó a cubrir 0.96 veces las $7.406 \text{ ton ha}^{-1}$ que tuvo como punto de equilibrio; es decir al cultivo de esta región le faltó producir $0.304 \text{ ton ha}^{-1}$ para recuperar solamente lo invertido. Mientras que en el caso del garbanzo blanco alcanzo a cubrir solo 1.42 veces su punto de equilibrio, lo cual también nos indica que el cultivo tuvo una Relación Beneficio/Costo igual a 1.42, lo que implica que en Cajeme, durante ese ciclo agrícola solo el garbanzo fue económicamente productivo.

1.3 Conclusiones

Se concluye que el garbanzo blanco producido en Cajeme, Sonora mostró indicadores de eficiencia y productividad económico y social superiores a los determinados en el cultivo de trigo.

1.4 Referencias

- Aiken, R. M., O'Brien, D. M., Olson, B. L., & Murray, L. (2013). Replacing fallow with continuous cropping reduces crop water productivity of semiarid wheat. *Agronomy Journal*, 105(1), 199-207.
- Al-Qunaibet, M. H., & Ghanem, A. M. (2014). Economic Efficiency in Wheat Production, Riyadh Region, Saudi Arabia. *Life Science Journal*, 11(12).
- Brauman, K. A., Siebert, S., & Foley, J. A. (2013). Improvements in crop water productivity increase water sustainability and food security—a global analysis. *Environmental Research Letters*, 8(2), 24-30.
- CNA. (2007). Comisión Nacional del Agua. Determinación de la Disponibilidad de Agua en el Acuífero 2605 Caborca, Estado de Sonora. CONAGUA, 31p.
- De Stefano, L., & Llamas, M. R. (Eds.). (2012). Water, agriculture and the environment in Spain: can we square the circle? CRC Press. 301p.
- FAO. (2003) Descubrir el potencial del agua para la agricultura Capítulo 3. Por qué la productividad del agua es importante para el desafío global del agua. Ed. Departamento de Desarrollo Sostenible. Roma, Italia. 2003.

- García, J. G., López, F. C., 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.
- 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 e idA3. Campus Rabanales. Marzo 2015.
- González, R. F.; Herrera, P. J.; López, S. T.; Cid, L. G. 2014. Productividad del agua en algunos cultivos agrícolas en Cuba. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 23(4), 21-27.
- INIFAP. (2004). El Cultivo de garbanzo blanco en Sonora. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional del Noroeste. Campo experimental Costa de Hermosillo. Libro Técnico No 6. 290p.
- Lorite, I. J., García-Vila, M., Carmona, M. A., Santos, C., & 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.
- 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. *Rev. FCA UNCUYO*, 47 (1), 93-107.
- Romero, P., García, J., & Botía, P. (2006). Cost–benefit analysis of a regulated deficit-irrigated almond orchard under subsurface drip irrigation conditions in Southeastern Spain. *Irrigation Science*, 24(3), 175-184.
- Salvador, R.; Martínez, C. A.; Cavero, J. and Playán, E. (2011). Seasonal on Farm Irrigation Performance in the Ebro Basin (Spain): Crops & Irrigation Systems. *Agricultural Water Management*. 98 (4): 577 – 587.
- Shabbir, A., Arshad, M., Bakhsh, A., Usman, M., Shakoor, A., Ahmad, I., & Ahmad, A. (2012). Apparent and real water productivity for cotton-wheat zone of Punjab, Pakistan. *Pak. J. Agri. Sci*, 49(3), 357-363.
- 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.
- Usman, M., Kazmi, I., Khaliq, T., Ahmad, A., Saleem, M. F., & Shabbir, A. (2012). Variability in water use, crop water productivity and profitability of rice and wheat in Rechna Doab, Punjab, Pakistan. *J. Animal Plant Sci*, 22(4), 998-1003