

USO DE PROGRAMA IRRIMODEL PARA LA PROGRAMACION DE RIEGO POR GOTEO EN EL CULTIVO DE MAÍZ (*Zea mays* L.)

USE OF THE IRRIMODEL SOFTWARE FOR DRIP IRRIGATION PROGRAMMING IN MAIZE CULTIVATION (*Zea mays* L.)

Mendoza-Pérez, C.¹, Sifuentes-Ibarra, E.², Macías-Cervantes, J.², Ramírez-Ayala, C.¹, Flores-Magdaleno, H.¹

¹Colegio de Posgraduados, carretera México-Texcoco, km 36.5, Montecillo, estado de México. C. P. 56230. ²INIFAP-CIRNO-Campo Experimental Valle del Fuerte. Km 1609 Carretera México-Nogales, Juan José Ríos, Guasave, Sinaloa. C.P.8110. Tel. 6878960320.

Autor responsable: candidompl@hotmail.com

RESUMEN

El estado de Sinaloa es el principal productor de maíz (*Zea mays* L.) en México, con 500,000 ha en cultivo anualmente, y producción de cinco millones de toneladas. La agricultura sinaloense está ligada al uso excesivo de insumos como fertilizantes y agua, reduciendo su rentabilidad. En maíz solo se aprovecha 45% del agua de riego, el resto se pierde en el drenaje y percolación profunda, arrastrando fertilizantes móviles como nitrógeno (N). El riego por goteo es el sistema más eficiente en la actualidad; sin embargo, solo se ha utilizado para hortalizas, y su uso en la producción de granos es limitado por desconocimiento del impacto en rendimiento, grado de uso del agua, fertilizantes y costos. En la actualidad se cuenta con una herramienta para la gestión precisa del sistema de riego operado con TIC'S, que puede contribuir a mejorar el rendimiento y uso de insumos (IRRIMODEL), y por ello, se con el fin de conocer los benéficos del riego por goteo en maíz apoyado con el IRRIMODEL, se estableció una parcela de 0.86 ha en suelo arcilloso, con la variedad de ciclo intermedio DK-2038 de maíz. Se registró un requerimiento de riego (Ln) de 52.1 cm y una lámina aplicada (Lb) de 58.9 cm, equivalente a una eficiencia de aplicación (Ea) de 91.18%; Lb en riego convencional fluctuó en 90 cm. La eficiencia del sistema y el aporte nutrimental del suelo permitió aplicar únicamente 212-61-140 unidades de NPK, la dosis media de N en la zona es de 350 unidades para obtener 12 t ha⁻¹. El rendimiento medio obtenido fue 15.6 t ha⁻¹ mejorando la rentabilidad.

Palabras clave: eficiencia de riego, nitrógeno, rendimiento

ABSTRACT

The state of Sinaloa is the main maize producer (*Zea mays* L.) in México, with 500,000 ha grown annually, and production of five million tons. Agriculture in Sinaloa is linked to the excessive use of inputs such as fertilizers and water, reducing its profitability. In maize only 45 % of the irrigation water is taken advantage of, the rest is lost in drainage and deep percolation, dragging mobile fertilizers such as nitrogen (N). Drip irrigation is the most efficient system nowadays; however, it has only been used for vegetables, and its use in grain production is limited by the

lack of knowledge about yield, degree of water use, fertilizers and costs. Currently, there is a tool available for the precise management of the irrigation system operated with ICTs, which may contribute to improving the yield and use of inputs (IRRIMODEL) and, therefore, with the aim of understanding the benefits of drip irrigation in maize supported by IRRIMODEL, a plot of 0.86 ha was established on clay soil, with the maize variety DK-2038 of intermediate cycle. An irrigation requirement (Ln) of 52.1 cm was found and an applied sheet (Lb) of 58.9 cm, equivalent to efficiency of application (Ea) of 91.18 %; Lb in conventional irrigation fluctuated in 90 cm. The efficiency of the system and nutritional contribution of the soil allowed applying only 212-61-140 units of NPK, the mean dose of N in the zone is 350 units to obtain 12 t ha⁻¹. The mean yield obtained was 15.6 t ha⁻¹, improving profitability.

Keywords: irrigation efficiency, nitrogen, yield.

las zonas de temporal impacta en la productividad. Por su ubicación geográfica y dependencia agrícola, el cambio climático puede afectar el desarrollo económico de varias regiones agrícolas del estado de Sinaloa (IMTA-INIFAP, 2010) (Figura 2).

Desafortunadamente, la agricultura sinaloense está ligada a la cultura del uso excesivo de insumos, como el agua, fertilizantes y al monocultivo de maíz, provocando que esta actividad sea cada vez menos rentable, y que la calidad de los recursos naturales se deteriore. En maíz solo se aprovecha 45% del agua que se aplica en las parcelas, es decir, por cada 100 litros de agua que entran a la parcela solo 45 se quedan en la zona de raíces; el resto se pierde en el drenaje, arrastrando fertilizantes móviles y suelo, provocando estrés en los cultivos (IMTA-INIFAP, 2010) (Figura 3).

Los estudios recientes han señalado que el estado de Sinaloa y particularmente la zona norte están registrando efectos de la variabilidad climática (INIFAP, 2010), manifestándose en períodos de sequía, como la registrada entre 1995-2004, o en fenómenos extremos, tales como

INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays* L.) es el cultivo más importante de México desde el punto de vista alimentario, industrial, político y social. La superficie sembrada promedio anual es de 8.4 millones de hectáreas, de las cuales 85.5% es de temporal (7.2 millones de hectáreas), mientras que 1 millón 217 mil ha, se siembran bajo condiciones de riego (14.5%). A nivel nacional, el estado de Sinaloa es el principal productor al establecer anualmente alrededor de 500,000 ha, con una producción de más de 5 millones de toneladas (CONAGUA, 2008); sin embargo, aunque México es uno de los principales productores a nivel mundial, la demanda es superior a su producción, por lo que es uno de los principales países importadores con más de siete millones de toneladas anuales (SIAP-SAGARPA, 2009) (Figura 1).

La agricultura de Sinaloa ha experimentado la presencia de eventos climatológicos extremos con mayor recurrencia y severidad, poniendo a prueba su sostenibilidad. Tal es el caso de las sequías que inducen a restringir dotaciones normales de agua para riego y disminuir la superficie cultivable, y en



Figura 1. Cultivo de maíz (*Zea mays* L.) el más importante en Sinaloa, México.



Figura 2. Daño de sequía provocado en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.).

huracanes intensos, aumento en la intensidad de lluvias, incremento en periodos de altas temperaturas y mayor registro de heladas, como las registradas en febrero de 2011 (Figura 4).

A pesar de que en el norte de Sinaloa se han desarrollado modelos de programación integral y pronóstico de riego en tiempo real para cultivos de papa (*Solanum tuberosum* L.) y maíz, ha sido difícil su adopción en los módulos de riego, debido a que no se había tenido un medio eficaz para ello; sin embargo, con el desarrollo de la tecnología de software e Internet, es posible poner a disposición de los usuarios estas aplicaciones, (Valencia, 2007). A través de la red de Internet es posible tener acceso a datos climáticos en tiempo real, acceder a sistemas computacionales e interactuar con varios tipos de usuarios en forma simultánea (Ojeda *et al.*, 2004). Con el fin de conocer los beneficios del riego por goteo (cintilla) en maíz apoyado con el sistema IRRIMODEL se estableció una parcela de 0.86 ha de suelo arcilloso en terrenos CEVAF-INIFAP.



Figura 3. Uso excesivo de productos químicos en maíz (*Zea mays* L.).

MATERIALES Y METODOS

El estudio se desarrolló durante el ciclo otoño invierno 2012-2013 en el Campo Experimental del Valle del Fuerte (CEVAF) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestal, Agrícola y Pecuaria (INIFAP), ubicada en el norte de Sinaloa (25° 45' 49" N, 108° 51' 41" O) a una altitud de 32 m. El suelo es textura arcillosa con una humedad volumétrica aprovechable de $0.155 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$. Se encuentra localizado en la parte central del distrito de riego 075 Río Fuerte colindando con los distritos de 063 Guasave y 076 Valle del Carrizo. El cultivo se sembró en húmedo el 10/11/2012 en una superficie de 0.86 ha bajo riego por goteo,

utilizando la variedad DK-2038 del ciclo intermedio. Se aplicó una fertilización base previo a la siembra 200 kg ha^{-1} urea y 100 kg ha^{-1} MAP y la complementaria se aplicó en los riegos de auxilio.

Programación de los riegos
Los riegos de auxilio se llevaron a cabo con el programa IrriModel 2.0 para determinar el momento oportuno, requerimiento de riego (L_n) y el tiempo de riego,

aplicando totalmente las recomendaciones. Este software opera bajo internet y pronostica en tiempo real, en función del desarrollo fenológico del cultivo, acumulación de grados día crecimiento (GDC) y humedad del suelo. El sistema estima diariamente los parámetros de calendarización en función de los grados día acumulados (Ojeda *et al.*, 2006). El costo del equipo de fertirriego es variable; se pueden instalar equipos individuales o para un grupo de usuarios de un pozo de riego. Esta última forma es más económica. Influyen varios aspectos en el costo, que dependen de las condiciones del terreno, el cultivo, las necesidades de adecuación para la



Figura 4. Daños provocados por eventos extremos como heladas en maíz (*Zea mays* L.) y frijol (*Phaseolus vulgaris* L.).

conducción del agua, el calibre de la cintilla, entre otros; no obstante, un equipo individual puede tener un costo cercano a 35 mil pesos por ha. Los costos que se indican aquí incluyeron el equipo completo de fertirriego para una hectárea. También es conveniente indicar que la cintilla puede durar hasta tres años; la manguera de conducción y el cabezal, siete años o más, y la recuperación de la inversión dependerá del aumento logrado en la producción y el ahorro de agua y energía.

Análisis de sustentabilidad y rentabilidad

La aplicación del agua mediante el riego por goteo es muy importante para mejorar la productividad de los cultivos. La disminución en la disponibilidad de agua apta para la agricultura resulta de un exceso de agua empleada en cada riego, con una consecuente sobreexplotación de los mantos acuíferos, dando como resultado una agricultura poco sostenible. En este contexto el riego debe convertirse en una fuente importante para la producción de alimentos y no en un factor de contaminación y erosión del suelo, del agua y medio ambiente. Bajo esta perspectiva, el agua debe ser un factor que contribuya a incrementar el rendimiento de los cultivos y, al mismo tiempo, disminuir los niveles de contaminación en los acuíferos por la aplicación excesiva de

fertilizantes, principalmente los nitrogenados; para ello es necesaria la difusión de tecnología que conlleve a la implementación y adopción de sistemas de riego más eficientes, como el riego por goteo, el cual permite un ahorro significativo de agua, mayor uniformidad en su aplicación, evita la erosión de los suelos y disminuye la presencia de malezas, plagas y enfermedades. Cuando se combina con la aplicación de nutrientes mejora de manera significativa los rendimientos y la calidad de las cosechas, aumentando así la productividad del agua.

Riegos programados

El Cuadro 1 muestra el calendario de los riegos generados con el software IrriModel 2.0, usando los datos históricos de clima de años anteriores. En el calendario se pueden ver las recomendaciones generadas por el programa, como son: número de riegos, fecha del riego, láminas de riego Ln y Lb, tiempos que debe durar el riego, etapa fenológica y grados día acumulados (GDA) del cultivo.

La programación de los riegos de auxilios se realizó en el programa IrriModel 2.0, donde se aplicó un total de 18 riegos, incluyendo el riego inicial o de asiento, con una Ln de 52.1 cm, Lb de 58.9 cm, con intervalos de

Cuadro 1. Plan de riegos generados en el programa IrriModel 2.0 usando datos de clima histórico.

No.	Fecha de riego	Días al riego	Intervalo (días)	Ln (cm)	Lb (cm)	Tr (h)	GDA	Etapas fenológicas
1	15/10/2012	0	0	7	10.5	4	0	Pre-siembra
2	13/11/2012	3	3	0.22	0.24	0.75	47.817	Siembra
3	03/12/2012	23	20	1.19	1.25	3.98	275.43	2 Hojas
4	24/12/2012	44	21	2.02	2.13	6.77	447.21	6 Hojas
5	07/01/2013	58	14	2.18	2.30	7.31	520.58	8 Hojas
6	18/01/2013	69	11	2.16	2.28	7.25	554.55	8 Hojas
7	28/01/2013	79	10	2.42	2.54	8.10	636.39	12 Hojas
8	06/02/2013	88	9	2.31	2.43	7.75	697.27	Flor Masculina
9	14/02/2013	96	8	2.54	2.67	8.51	741.79	Flor Masculina
10	21/02/2013	103	7	2.45	2.58	8.22	786.57	Flor Masculina
11	27/02/2013	109	6	2.25	2.37	7.53	811.1	Flor Masculina
12	04/03/2013	114	5	2.37	2.50	7.96	848.77	Jiloteo
13	10/03/2013	120	6	2.40	2.52	8.04	902.09	Jiloteo
14	15/03/2013	125	5	2.48	2.61	8.30	940.1	Jiloteo
15	20/03/2013	130	5	2.43	2.56	8.15	990.42	Grano Acuoso
16	25/03/2013	135	5	2.51	2.65	8.43	1040.9	Grano Acuoso
17	30/03/2013	140	5	2.51	2.64	8.42	1095.1	Grano Acuoso
18	04/04/2013	145	5	2.66	2.80	8.91	1152.6	Grano Lechoso
	Total		8.06	52.63	55.40		1152.62	

Ln=lamina neta, Lb=lamina bruta, Tr=tiempo de riego, GDA=grados día acumulado.

riego de 4-16 días, con un volumen total de 5070 m³, una eficiencia de aplicación de 91.18%, comparando el riego convencional que fluctúa en 45%. El Cuadro 2 muestra los conceptos y costos de producción de maíz en riego por goteo en el norte de Sinaloa, los cuales incluyen costos de instalación de la cintilla de \$600.00, pago del regador \$2160.00 y el costo de la energía eléctrica \$3000.00 pesos, resultando en un total de \$29,303.95. Es importante mencionar que no se considera la inversión inicial del equipo de goteo.

En el Cuadro 3 se pueden observar los costos de producción usados en el ciclo agrícola de maíz bajo riego convencional (rodado), donde se resume el costo de cada concepto o actividad que se desarrolló, y el costo total de producción fue de \$23930.35 pesos, es decir, \$5373.7 menor que el sistema bajo riego por goteo.

El Cuadro 4 presenta la estadística histórica de la superficie sembrada, cosechada y el rendimiento obtenido en los últimos siete años en Sinaloa, donde se observa que en el ciclo OI 2009-10 se registró el mejor rendimiento, que fue de 10.58 t ha⁻¹, comparando con el ciclo OI 2010-11, donde el rendimiento fue de 7.6 t ha⁻¹; en ese

Cuadro 2. Costo de producción de maíz (*Zea mays* L.) con riego por goteo, sin considerar costo del equipo.

Concepto	Costo Total goteo
Preparación del terreno	2063
Siembra	10255
Fertilización	5790.7
Labores culturales	1275
Riegos	6184.25
Control de plagas y enfermedades	950
Cosecha	2586
Total	29103.95

Cuadro 3. Costo de producción para maíz con el sistema convencional (rodado).

Concepto	Costo Total
Preparación del terreno	2833
Siembra	10346
Fertilización	5114
Labores culturales	1548
Riegos	1504.25
Control de plagas y enfermedades	350
Cosecha	2235
Total	23930.25

mismo año se siniestro 451, 251 ha por la helada que se registró el 4 de febrero 2011.

Rendimiento promedio obtenido en los últimos 3 años en el (CEVAF)

En la Figura 5 se observa el rendimiento obtenido en los últimos tres años en el Campo Experimental Valle del Fuerte. En el ciclo 2010-11 se obtuvo un rendimiento de 9.5 t ha⁻¹, que fue la re-siembra después de la helada de 4 de febrero. Para el ciclo 2011-12 el rendimiento fue de 11.18 t ha⁻¹ y la siembra se realizó el 2 de diciembre. Para el ciclo 2012-13, el rendimiento fue 11.5 t ha⁻¹ y la fecha de siembra se realizó el 10 de diciembre; en los tres ciclos se manejó con riego por rodado.

La Figura 6 muestra el comportamiento del precio maíz en los últimos 10 años en Sinaloa, donde se observa que a partir de 2000 hasta 2006 el precio se mantuvo casi constante; después hubo un incremento hasta 2009; en 2010 se registró una caída, pero para 2010-2012 incrementó 25%.

Metodología de la fertilización

Previo a la siembra se realizó un muestreo de suelo a 30 cm de profundidad para conocer su nivel de fertilidad. El análisis de suelo del lote reportó los siguientes valores:

Cuadro 4. Superficie sembrada, cosechada y el rendimiento obtenido en los últimos siete años en Sinaloa.

Ciclo Agrícola	Superficie (ha)			Producción (t)	Rendimiento (t ha ⁻¹)
	Sembrada	Cosechada	Siniestrada		
2005-06	416,565	415,365	1,200	4,112,885	9.902
2006-07	481,849	480,196	1,653	4,743,720	9.879
2007-08	507,350	486,593	20,757	4,960,399	10.194
2008-09	469,182	469,026	136	4,917,094	10.48
2009-10	471,247	471,118	129	4,987,506	10.58
2010-11	819,756	368,504	451,251	2,829,608	7.679
2011-12	365,741	351,627	14,114	3,631,913	10.329

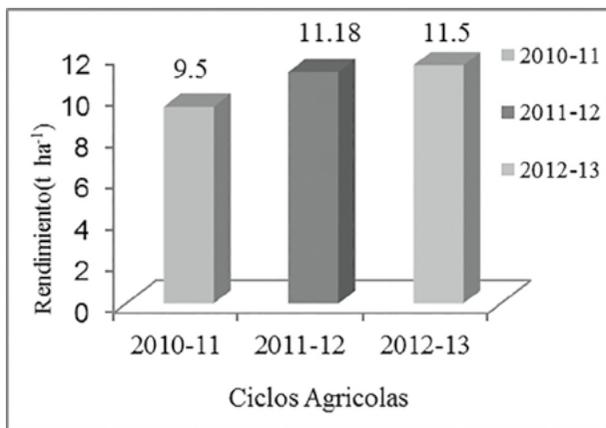


Figura 5. Rendimiento promedio de maíz (*Zea mays* L.) obtenido en tres años.

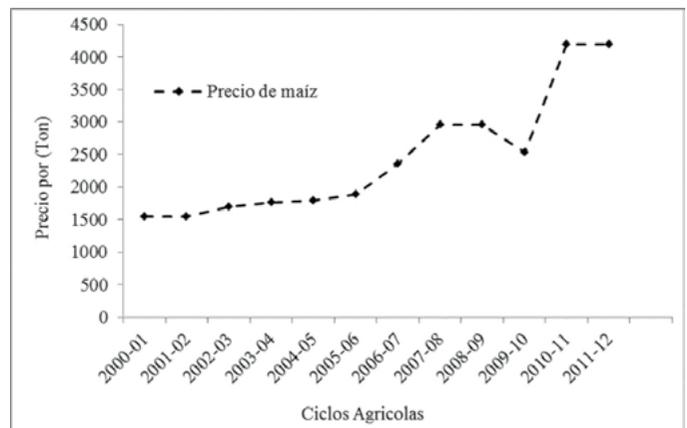


Figura 6. Precio de maíz (*Zea mays* L.) registrado en los últimos 10 años en Sinaloa.

materia orgánica, 0.82; nitrógeno, 0.005 %; fósforo, 0.0063 %; potasio, 0.08 %; calcio, 0.5840 %; magnesio, 0.1464 %; hierro, 0.0002 %; y azufre, 0.0045%. Posteriormente procedió a calcular las dosis nutrimentales de utilizando la siguiente ecuación (INIFAP, 2005).

$$Dosis = \frac{Demanda - Suministro}{Eficiencia}$$

Donde: *Demanda* representa la demanda diaria de cada nutrimento (Kg ha día⁻¹), *Suministro* se refiere al aporte nutrimental del suelo en (kg ha⁻¹), estimado a partir del análisis del mismo y la *Eficiencia* al grado de aprovechamiento del nutrimento que depende del sistema de riego, suelo, fuente de fertilizantes, entre otras, y su valor oscila de 0 a 100%.

Fertilización total aplicada en el cultivo

En el Cuadro 5 se observa la fertilización aplicada de acuerdo con el resultado del análisis de laboratorio. El suelo aportó 155-174-276 unidades de N-P-K y con base en esos datos solamente se aplicó en el cultivo 212-61-140 unidades de N-P-K, respectivamente, utilizando fuentes de urea, fosfato monoamónico y sulfato de potasio.

El rendimiento se evaluó el 21/05/13, que corresponde a 192 días después de siembra (1734 GDC), en cinco sitios representativo de muestreos ubicados en los dos

surcos centrales, de cinco metros de largo en una área de 7.6 m² y se cosechó el 21 de junio de 2013.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 7 se observa en la parcela de maíz riego por goteo se obtuvo un rendimiento de 15.6 t ha⁻¹, comparando con el manejo tradicional bajo riego por rodado que se tuvo un rendimiento de 11.5 t ha⁻¹.

La Figura 8 muestra el rendimiento del cultivo en los sistemas de riego goteo y rodado en función de la productividad del agua (PA) aplicada en m³, donde el primero registró su máximo potencial productivo de 2.6 kg m⁻³, comparando con el riego rodado, con una productividad de 1.74 kg m⁻³. Esto significa que para alcanzar el máximo potencial de rendimiento no debe haber estrés hídrico en las etapas más críticas como la floración (R1) que puede afectar mermas en el rendimiento.

CONCLUSIONES

Se cuenta con una plataforma computacional basada en TIC's, robusta y calibrada para maíz bajo riego por goteo, la cual demostró su funcionalidad, dando como resultado un mejor crecimiento y desarrollo del cultivo. Se aumentó en 40 % la eficiencia de aplicación y productividad del agua, y en similar proporción la eficiencia del uso de fertilizantes nitrogenados. Se registró un incremento de entre 2 y 3 t ha⁻¹ en rendimiento

Cuadro 5. Fertilización total aplicada en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.)

Fuente de fertilizantes (N-P-K)	Dosis (kg ha ⁻¹)	Unidades (kg ha ⁻¹)		
		N	P	K
46-00-00	432	199	0	0
11-52-00	117	13	61	0
00-00-50	200	0	0	140
Aporte del suelo	172.5	155	174	276
Total		367	235	416

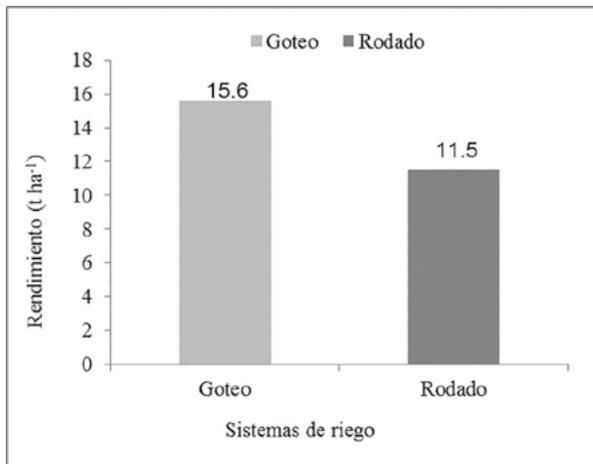


Figura 7. Rendimiento promedio obtenido en los dos sistemas de riego.

equivalente a 16% y 25% mayor con respecto al sistema tradicional, haciendo factible su inversión con equipos de riego por goteo austeros. Para tener éxito en este tipo de tecnología es fundamental la capacitación del usuario y el mantenimiento de la plataforma computacional, ya que en riego por goteo el nivel de sensibilidad es alto.

LITERATURA CITADA

- Bessembinder J.J.E.P.A., Leffelaar-Dhinwal A.S., Ponsione T.C. 2005. which crop and which drop, and the scope for improvement of water productivity. *Agric. Water manager* 73 (2):113-130.
- Bolaños G.M., Palacios V.E., Scott C., Exebio A.G. 2001. Estimación del volumen de agua usado en una zona de riego mediante una imagen satélite e información complementaria. *Agrociencias* 35 (6): 589-597.
- CONAGUA. 2008. Comisión Nacional del Agua. Estadísticas Agrícolas de los Distritos de Riego. Año agrícola 2007/08. Ed. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 297 pp.
- CONAGUA. 2009. Comisión Nacional del Agua. Estadísticas agrícolas de los distritos de riego. Secretaria del medio ambiente y recursos naturales, Tlalpan, México, D.F. 389 pp.
- Martin E.C. 2001. Como determinar la cantidad de agua de riego aplicada a una parcela. *Boletín Extensión Arizona Cooperative*. The University of Arizona. Tucson, Arizona. 3 pp.

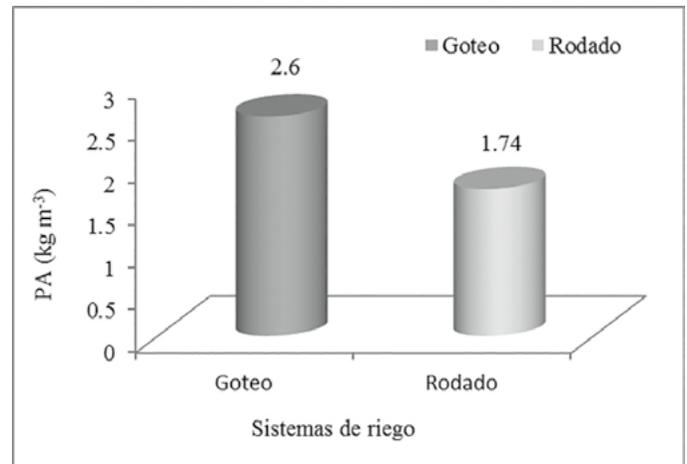


Figura 8. Productividad del agua obtenida en los dos sistemas de riego.

- Muños P.D., Hernández R.G. 2004. Situación actual y perspectiva del maíz. Sistema de información y estadística agroalimentaria y pesquera (SIAP-SAGARPA), México, D.F. 136 pp.
- Nadal A., Wise T.A. 2005. Los costos ambientales de la liberación agrícola: el comercio de maíz entre México y EE.UU. en el marco del NAFTA. *In: Globalización y medio ambiente: lecciones desde las Américas*.
- Ojeda B.W., Sifuentes I.E., Íñiguez C.M., Montero M.M.J. 2011. Impacto del cambio climático en el desarrollo y requerimientos hídricos de los cultivos. *Agrociencia* 45: 1-11.
- Ojeda B.W., Sifuentes I.E. Unland W.H. 2006. Programación integral del riego en maíz en el norte de Sinaloa. *Agrociencias* 40: 13-25. Montecillos, Edo. México.
- Sifuentes I.E., Macías C.J., Quintana Q.J.G., González C.V.M. 2012. IrriModel 1.0: programación integral y gestión del riego a través de internet. Folleto técnico: INIFAP-CIRNO-CEVAF: 52 pp.
- Sifuentes I.E., Ojeda B.W., Macías C.J., Corral V.R.A., Mendoza P.C. 2013. La calendarización del riego en maíz bajo condiciones de sequía en Sinaloa. Folleto técnico: Fundación Produce Sinaloa A.C.39 pp.
- Sifuentes I.E., Macías C.J., Mendoza P.C., Corral V.R.A., Quintana Q.J.G. 2012. Siembra directa y eficiencia en el uso del agua en maíz, en el norte de Sinaloa. *Memorias del XXXVII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo*. Zacatecas.