

GRADOS DÍA Y LA PROGRAMACIÓN INTEGRAL DEL RIEGO EN EL CULTIVO DE PAPA

The Degree Day's and the Integral Programming Irrigation in Potato Crop

Hilario Flores-Gallardo^{1‡}, Waldo Ojeda-Bustamante², Héctor Flores-Magdaleno¹,
Enrique Mejía-Sáenz¹ y Ernesto Sifuentes-Ibarra³

RESUMEN

La papa tiene una alta sensibilidad a los excesos y deficiencias de humedad en el suelo. Con la aplicación del modelo basado en el concepto grados día ($^{\circ}\text{D}$), se obtiene un pronóstico del riego más preciso debido a que este modelo se ajusta automáticamente a las variaciones climáticas locales, lo cual permite determinar con mayor precisión el inicio de cada etapa fenológica del cultivo y sus correspondientes necesidades hídricas, incrementando así las eficiencias de riego. Esta investigación se realizó durante dos años agrícolas para el ciclo otoño-invierno (2005-2006 y 2006-2007) en el norte de Sinaloa, contando con un total de 23 parcelas (746.54 ha) de las cuales 12 fueron experimentales aplicándoles el modelo basado en el concepto grados día y las 11 restantes fueron testigo aplicándoles el sistema de pronóstico del riego en tiempo real (SPRITER-FAO) que utilizan algunos de los módulos de riego del Distrito 075 Río Fuerte. De esta forma se compararon las láminas de riego aplicadas (L_{r_a}) y requeridas (L_{r_r}) por las dos vías de pronóstico, obteniendo la eficiencia, así como la variación en el número de riegos debido a la variabilidad climática. Para el ciclo 2005-2006 y 2006-2007, se obtuvo en parcelas experimentales de 7 y 9 Mg ha⁻¹ más de rendimiento con respecto a las parcelas testigo, respectivamente, así como un 22.2 y 17.5% de mayor eficiencia en los riegos aplicados.

Palabras clave: programación del riego, rendimiento, variabilidad climática.

¹ Colegio de Postgraduados. Programa de Hidrociencias. Campus Montecillo. 56230 Montecillo, estado de México.

[‡] Autor responsable (flores.hilario@colpos.mx)

² Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Paseo Cuauhnáhuac 8532, Col. Progreso. 62550 Jiutepec, Morelos, México.

³ INIFAP-CIRNO-Campo Experimental Valle del Fuerte. Carretera Internacional México-Nogales km 1609. 81110 Gral. Juan José Ríos, Guasave, Sinaloa.

SUMMARY

Potatoes are very sensitive to excesses and deficiencies in soil moisture. Using a model based on the degree day concept let to carry out a better irrigation programming because it takes into account climatic local variations. This let to determine more precisely the beginning of the phenological stages of the crop and their respective water demands, in this way the irrigation efficiency can be increased. This investigation was carried out during two agricultural years for the autumn-winter cycle (2005-2006 and 2006-2007) in the north of Sinaloa. Twenty three plots were used in the study with a total area of 746.54 ha. The degree day's concept model was applied on 12 of these plots and a system called SPRITER-FAO, which is the acronym in Spanish for irrigation forecast system in real time, was applied to the remaining 11 plots. The SPRITER-FAO system is used in some of the irrigation modules of the 075 district Río Fuerte. Irrigation amounts recommended by two systems were compared; also the irrigation efficiency and the number of irrigations were discussed by climatic variability. In the cycle 2005-2006 and 2006-2007, it was obtained in experimental plots 7 and 9 Mg ha⁻¹ more than yield with regard to the remaining plots, respectively, as well 22.2 and 17.5% more efficiency in the applied irrigations.

Index words: irrigation scheduling, yield, climatic variability.

INTRODUCCIÓN

La humanidad ha dependido históricamente del desarrollo de la irrigación para tener una agricultura con bases más seguras para la sociedad y cada uno de sus integrantes (Walker y Skogerboe, 1987). En México se destinan alrededor de 22 millones de ha para la agricultura y de estas, la superficie bajo riego es de 6.4 millones de ha (CONAGUA, 2009). Las grandes zonas de riego se ubican en zonas áridas y semiáridas del país, las cuales

requieren del riego para obtener rendimientos comerciales pero la sequía es el principal evento natural que afecta negativa y recurrentemente a la agricultura, ocasionando de esta forma graves problemas e incertidumbre por su gran impacto en los cultivos que presentan una alta vulnerabilidad a la falta de agua (Flores-Gallardo *et al.*, 2006). La aplicación del riego se realiza de acuerdo al criterio o experiencia del agricultor y al manejo que ofrece cada parcela, ya que la programación científica del riego se realiza aplicando los procedimientos de la FAO por la limitada información experimental generada localmente (Sifuentes-Ibarra *et al.*, 2003). La disponibilidad de agua en estas zonas constituye la principal limitante para la producción agrícola y para la apertura de nuevas áreas de cultivo, ya que al incrementarse la población; la competencia por el agua se intensifica siendo necesarios la conservación, manejo y uso eficiente mediante el mejoramiento de los métodos y dispositivos tanto para distribuir como para aplicar el riego a nivel parcelario (Ojeda-Bustamante *et al.*, 2001).

El cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) ocupa el cuarto lugar en superficie sembrada en México, superado únicamente por los granos básicos: maíz (*Zea mays* L.), frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) y trigo (*Triticum aestivum*); estableciéndose una superficie aproximada a 70 000 ha y se obtiene un rendimiento promedio de 22 Mg ha⁻¹ (SAGARPA, 2006). En el norte de Sinaloa se establecen alrededor de 14 000 ha y se obtiene un rendimiento promedio de 25 Mg ha⁻¹ (CONPAPA, 2003). Este cultivo demanda de labores agronómicas especiales y una aplicación eficiente del riego por su alta sensibilidad a la falta y excesos de humedad en el suelo porque el producto de interés se encuentra en la parte subterránea. Por lo tanto, es importante considerar los factores que afectan el desarrollo y rendimiento del cultivo como el clima, fertilización, humedad del suelo, especie o variedad cultivada, método y eficiencia de aplicación del riego, etapas fenológicas, malezas, plagas y enfermedades (Flores-Gallardo *et al.*, 2007). Dentro de los factores anteriores, como el clima; se estima una variable esencial para el cálculo de los requerimientos de riego del cultivo y que en este caso es la evapotranspiración de referencia ETo (González-Camacho *et al.*, 2008), lo cual se debe a que la planta de papa puede reemplazar cuatro veces al día su contenido de humedad por medio de la transpiración (Curwen, 1989). El objetivo del presente estudio fue obtener mejores eficiencias en la aplicación del riego e incrementar la calidad y producción de papa

mediante la utilización de parámetros de riego calibrados previamente a nivel local para obtener un uso integral del agua (Sifuentes-Ibarra *et al.*, 2003; Flores-Gallardo *et al.*, 2007).

MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación se realizó en el DR-075 Río Fuerte, el cual está ubicado en el norte de Sinaloa (25° 48.89' N, -109° 1.53' O y una altura promedio de 20 m). Se contó con un total de 23 parcelas (Cuadro 1) comerciales con una superficie total de 746.54 ha establecidas en dos ciclos agrícolas otoño-invierno (2005-2006 y 2006-2007); en el primer ciclo agrícola se contó con 10 parcelas experimentales y 8 parcelas testigo, y en el segundo ciclo agrícola se contó con 2 parcelas experimentales y 3 testigo. La programación del riego en las parcelas experimentales se realizó mediante el modelo basado en el concepto grados día (Ecuación 1), el cual se programó en macros desarrollados en Excel con parámetros calibrados y se ajusta automáticamente a las variaciones climáticas de la región, y en las parcelas testigo se utilizó el sistema de pronóstico del riego en tiempo real "SPRITER-FAO", este programa lo utilizan algunos de los módulos de riego del DR-075 y usa parámetros empíricos de la FAO (Doorenbos y Kassam, 1979) para generar pronósticos en base a días calendario requiriendo de ajustes manuales por el técnico del módulo conforme se actualiza la información climática y de humedad (Ojeda-Bustamante *et al.*, 2007). La calendarización del riego se realizó mediante el apoyo de información de la red de estaciones agrometeorológicas del DR-075 (Cuadro 2) de donde se obtuvieron los datos de las variables climáticas para realizar los pronósticos de riego.

El modelo basado en el concepto grados día (Ecuación 1) desarrollado por Ojeda-Bustamante *et al.* (2004) y calibrado así como validado por Flores-Gallardo *et al.* (2007) para las condiciones del Valle del Fuerte fue programado en macros desarrollados en Excel, el cual se apoya adicionalmente en otros modelos para determinar el coeficiente de cultivo (K_c , Ecuación 2), profundidad dinámica de la raíz (R_d , Ecuación 3), máximo déficit permitido (MDP, Ecuación 4) para realizar un pronóstico del riego más preciso de acuerdo al desarrollo de la planta.

$$\begin{aligned} \text{°D} &= T_a - T_{c-\min}, T < T_{c-\max} \\ \text{°D} &= T_{c-\max} - T_{c-\min}, T_a \geq T_{c-\max} \\ \text{°D} &= 0, T_a \leq T_{c-\min} \end{aligned} \quad (1)$$

Cuadro 1. Parcelas establecidas en los ciclos agrícolas otoño-invierno (2005-2006 y 2006-2007).

Número	Parcelas	Variedad	Superficie ha	Sistema de riego	Ciclo agrícola
1	Torres	atlantic	77.85	Gravedad	2005-2006
2	Cave	alpha	10.00	Gravedad	2005-2006
3	La Pinera	atlantic	54.90	Gravedad	2005-2006
4	Las Olivas	alpha	118.32	Aspersión	2005-2006
5	Vargas	atlantic	48.00	Gravedad	2005-2006
6	Las 30	atlantic	28.63	Gravedad	2005-2006
7	Guamuchilito	alpha	16.00	Gravedad	2005-2006
8	Chispas	alpha	15.00	Gravedad	2005-2006
9	El Campo	alpha	20.00	Gravedad	2005-2006
10	Zapotillo	alpha	104.00	Aspersión	2005-2006
11	Km. 24*	mundial	15.00	Gravedad	2005-2006
12	Ejido Plan de Ayala 1*	alpha	9.00	Gravedad	2005-2006
13	Ejido Plan de Ayala 2*	alpha	5.35	Gravedad	2005-2006
14	Ejido Plan de Ayala 3*	alpha	9.50	Gravedad	2005-2006
15	Ejido 9 de Diciembre 1*	alpha	9.80	Gravedad	2005-2006
16	Ejido 9 de Diciembre 2*	alpha	9.80	Gravedad	2005-2006
17	Ejido Flores Magón 1*	alpha	18.09	Gravedad	2005-2006
18	Ejido Flores Magón 2*	alpha	18.09	Gravedad	2005-2006
19	Vargas	atlantic	48.00	Gravedad	2006-2007
20	Las Olivas	FL1867	118.32	Aspersión	2006-2007
21	Km. 24*	FL1867	15.00	Gravedad	2006-2007
22	Ejido 9 de Diciembre*	alpha	9.80	Gravedad	2006-2007
23	Ejido Flores Magón 2*	alpha	18.09	Gravedad	2006-2007
	Total		746.54		

* Parcelas testigo.

donde:

$^{\circ}D$ = grados día

T_a = temperatura ambiental diaria

T_{c-max} y T_{c-min} = temperatura máxima y mínima del aire, respectivamente las cuales son los umbrales en que se desarrolla la planta de papa (29 y 2 $^{\circ}C$).

$$K_c = K_{max} \operatorname{erfc} \left\{ \left(\frac{X - X_{max}}{\alpha_1} \right)^2 \right\}$$

Si $K_c < K_{co}$, entonces $K_c = K_{co}$ (2)

donde:

K_c = coeficiente de cultivo

K_{co} = coeficiente de cultivo inicial

K_{max} = coeficiente de cultivo máximo

erfc = función complementaria del error

X = variable auxiliar que depende de los $\Sigma^{\circ}D$

α_1 = parámetro de regresión

$$R_d = R_{do} + (R_{dmax} - R_{do}) \left\{ 1 - \exp \left(- \frac{\Sigma^{\circ}D^2}{\alpha_2} \right) \right\} \quad (3)$$

donde:

R_d = profundidad dinámica de la raíz

R_{do} = profundidad inicial de la raíz

R_{dmax} = profundidad máxima de la raíz

α_2 = parámetro de regresión

$\Sigma^{\circ}D$ = grados día acumulados

$$MDP = \alpha_3 + \alpha_4 K_c \quad (4)$$

donde:

MDP = máximo déficit permitido

α_3 y α_4 = parámetros de regresión, respectivamente

K_c = coeficiente del cultivo

Cuadro 2. Datos de localización de la red de estaciones agrometeorológicas del DR-075 Río Fuerte.

Estación	Código	Longitud		Latitud	Altitud
		Oeste	Norte		Metros
Guasave	3115	108° 29' 45''	25° 31' 47''		20
Río Fuerte	3845	108° 34' 31''	25° 35' 13''		18
Leyva Solano	3557	108° 37' 37''	25° 38' 18''		126
Ruiz Cortines	3843	108° 45' 20''	25° 39' 15''		31
Batequis	3545	108° 48' 41''	25° 45' 49''		32
Santa Rosa 1	3765	108° 57' 21''	25° 45' 03''		40
Santa Rosa 2	9610	108° 52' 03''	25° 51' 16''		61
Taxtes	3543	108° 56' 53''	25° 54' 30''		59
Sevelbampo	3699	109° 06' 25''	25° 52' 04''		126
Pascola	3530	109° 12' 26''	25° 50' 53''		112
Mavari	3773	109° 18' 05''	25° 54' 06''		24
Cahuinahua	3660	109° 07' 34''	25° 56' 32''		54
Juncos	3553	108° 39' 09''	25° 43' 00''		14
Nohme	3528	108° 49' 06''	25° 56' 58''		41

De acuerdo al sistema de riego varían los parámetros de regresión α (Cuadro 3), por lo cual fue importante la utilización de parámetros calibrados previamente por Sifuentes-Ibarra *et al.* (2003) para dos sistemas de riego en el Valle del Fuerte y calibrados posteriormente para las condiciones predominantes de cada parcela (Flores-Gallardo *et al.*, 2007).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para llevar a cabo la validación del modelo grados día, así como la aplicación y gestión oportuna del riego ante los productores agrícolas, fue necesario contar con la cooperación de los módulos de riego generando un proceso muy importante sobre la gestión del riego (Figura 1).

Cuadro 3. Parámetros utilizados para la calendarización y pronóstico del riego en el cultivo de papa en el norte de Sinaloa.

Parámetro	Valor
K_{max}	1.30
K_{co}	0.20
X_{Kmax}	0.60
R_{do}	0.35 m
R_{dmax}	0.70 m
$\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2$	2100 °D, 0.45, 600 °D
α_3	0.50 (gravedad), 0.45 (aspersión)
α_4	0.10

En los Cuadros 4 y 5 se presenta un ejemplo del pronóstico realizado con el modelo grados día en comparación con el SPRITER-FAO para una misma parcela pero la cual fue establecida en diferentes fechas de siembra y ciclo agrícola. Se puede observar la lámina neta (L_n) por aplicarse al cultivo por cada método, en donde también se puede observar la variación de los requerimientos de riego con respecto a cada método y además, se muestra la precisión del modelo grados día pronosticando menos lámina de riego por su ajuste automático a las variabilidad climática que se presentó en la región y de acuerdo al desarrollo del cultivo.

Se realizó un análisis de los pronósticos de riego efectuados por los dos métodos: grados día y SPRITER-FAO en el ciclo agrícola otoño-invierno (2005-2006), en donde se muestran las láminas aplicadas (L_r) y requeridas (L_r) en la Figura 2, con lo cual se obtiene la eficiencia del riego (Figura 3).

También se presenta el mismo análisis de los pronósticos de riego efectuados por los dos métodos: grados día y SPRITER-FAO en el ciclo agrícola otoño-invierno (2006-2007), en donde se muestran las láminas aplicadas (L_r) y requeridas (L_r) en la Figura 4 con lo cual se obtiene las eficiencias de los riegos (Figura 5).

Con el modelo basado en el concepto grados día, el cual se utilizó en las parcelas experimentales, se obtuvo un rendimiento promedio de 36 Mg ha⁻¹ en el ciclo 2005-2006 y de 33 Mg ha⁻¹ en el ciclo 2006-2007 con tubérculos predominantes de primera y segunda clase,

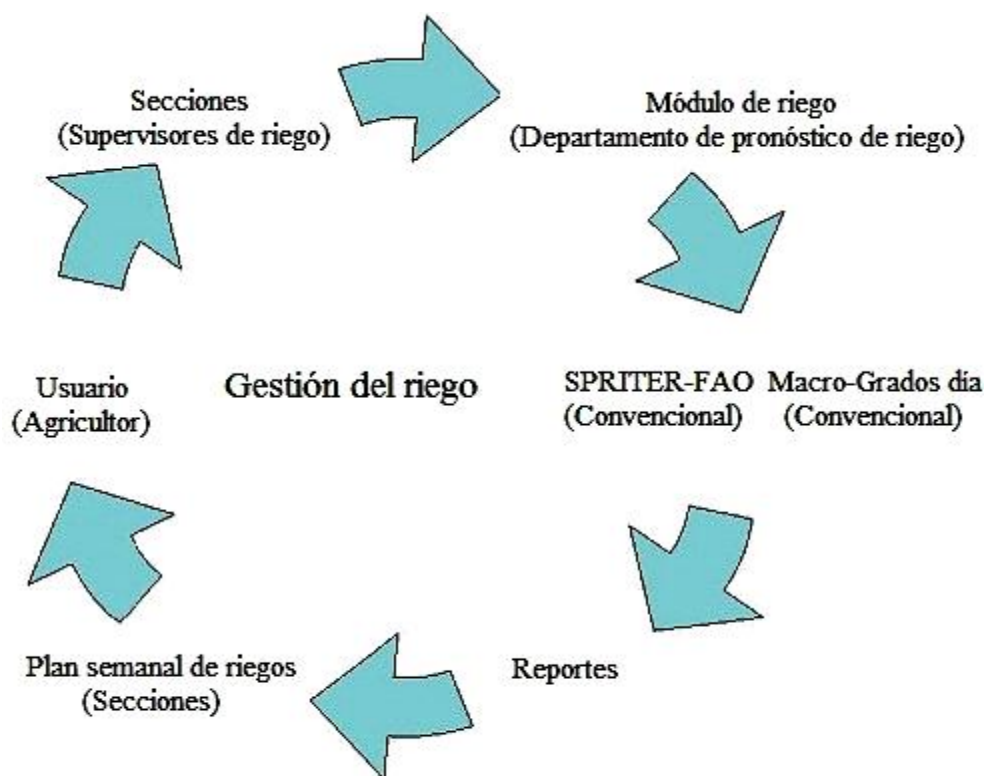


Figura 1. Gestión del riego con el modelo grados día y SPRITER-FAO en los módulos de riego.

comparado con el riego pronosticado con el método SPRITER-FAO que se utilizó en las parcelas testigo se obtuvo un rendimiento promedio de 29 Mg ha⁻¹ en el ciclo 2005-2006 y de 24 Mg ha⁻¹ en el ciclo 2006-2007.

CONCLUSIONES

- La calendarización y pronóstico del riego en forma científica mediante el modelo basado en el concepto grados día, mostró ser un factor de gran importancia en

la producción del cultivo de papa debido a que se mantuvo un adecuado balance de humedad en el suelo sin estresar el cultivo. Esto se debe a que la programación del riego utilizando los parámetros de coeficiente de cultivo (K_c), profundidad dinámica de la raíz (R_d) y máximo déficit permitido (MDP) pueden generar discrepancias y desfases importantes utilizando el método SPRITER-FAO como consecuencia de que en los módulos de riego no se actualiza la base de datos y parámetros de calendarización utilizados por

Cuadro 4. Comparación de los dos métodos en la parcela experimental Vargas (superficie: 48 ha, variedad atlantic, riego superficial y fecha de siembra del 8 de octubre de 2005).

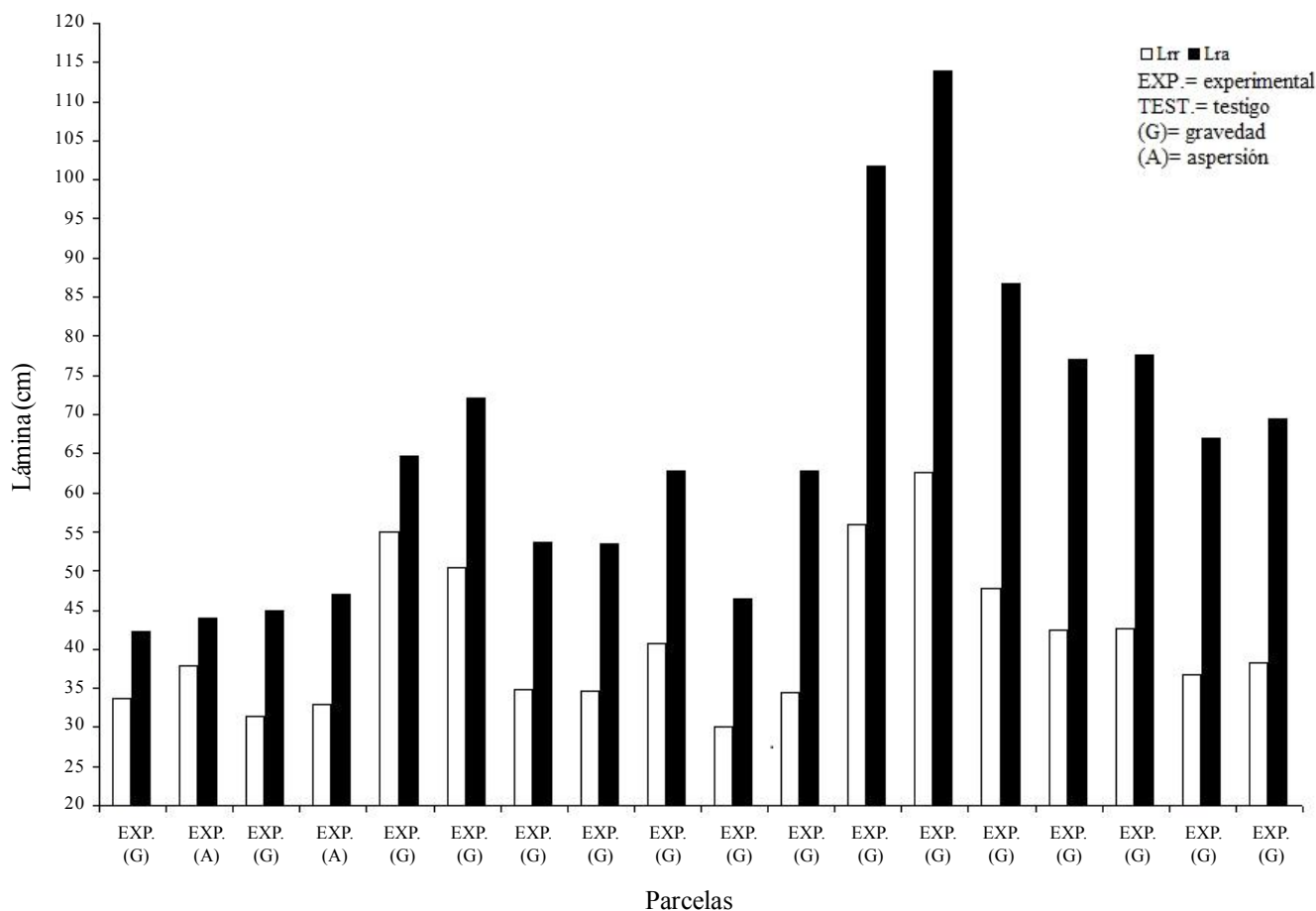
Número de riegos	Grados día (°D)				SPRITER-FAO			
	Fecha	Intervalo de riegos	Días después de siembra	Lámina neta	Fecha	Intervalo de riegos	Días después de siembra	Lámina neta
		d		mm		d		mm
Riego asiento	Sept. 15, 2005	0	-23	100.47	Sept. 15, 2005	0	-23	130.13
2	Nov. 11, 2005	58	35	39.81	Nov. 5, 2005	51	28	51.87
3	Nov. 27, 2005	16	51	40.13	Nov. 23, 2005	18	46	52.33
4	Dic. 14, 2005	17	68	40.88	Dic. 1, 2005	17	63	54.99
5	Ene. 4, 2005	21	89	44.50	Dic. 31, 2005	21	84	57.92
	Total			265.78	Total			347.23

Cuadro 5. Comparación de los dos métodos en la parcela experimental Vargas (superficie: 48 ha, variedad atlantic, riego superficial y fecha de siembra del 13 de octubre de 2006).

Número de riegos	Grados día (°D)				SPRITER-FAO			
	Fecha	Intervalo de riegos	Días después de siembra	Lámina neta	Fecha	Intervalo de riegos	Días después de siembra	Lámina neta
Riego asiento	Sept. 18, 2006	0	-28	100.47	Sept. 18, 2006	0	-25	136.24
2	Nov. 18, 2006	65	37	37.11	Nov. 9, 2006	52	27	72.93
3	Dic. 6, 2006	18	55	36.01	Nov. 25, 2006	16	43	80.93
4	Dic. 24, 2006	18	73	36.16	Dic. 8, 2006	13	56	83.66
5	Ene. 31, 2007	38	111	44.51	Dic. 22, 2006	14	70	77.22
Total				254.26	Total			450.97

el programa, lo cual genera dichas discrepancias pero aun así los agricultores no siguen la recomendación del sistema y utilizan un criterio empírico para aplicar los riegos. Por lo tanto, el uso del modelo grados día en la calendarización y pronóstico del riego resultó ser una excelente herramienta para normalizar los parámetros

de calendarización del cultivo a las condiciones temporales del clima, ya que las estimaciones a través del modelo se ajustan automáticamente y debido a la amplia gama de fechas en que se establece el cultivo de papa en el Valle del Fuerte es recomendable usar el modelo grados día porque con el método SPRITER-FAO,

**Figura 2. Lámina de riego aplicada (L_r) y requerida (L_r) durante el ciclo 2005-2006.**

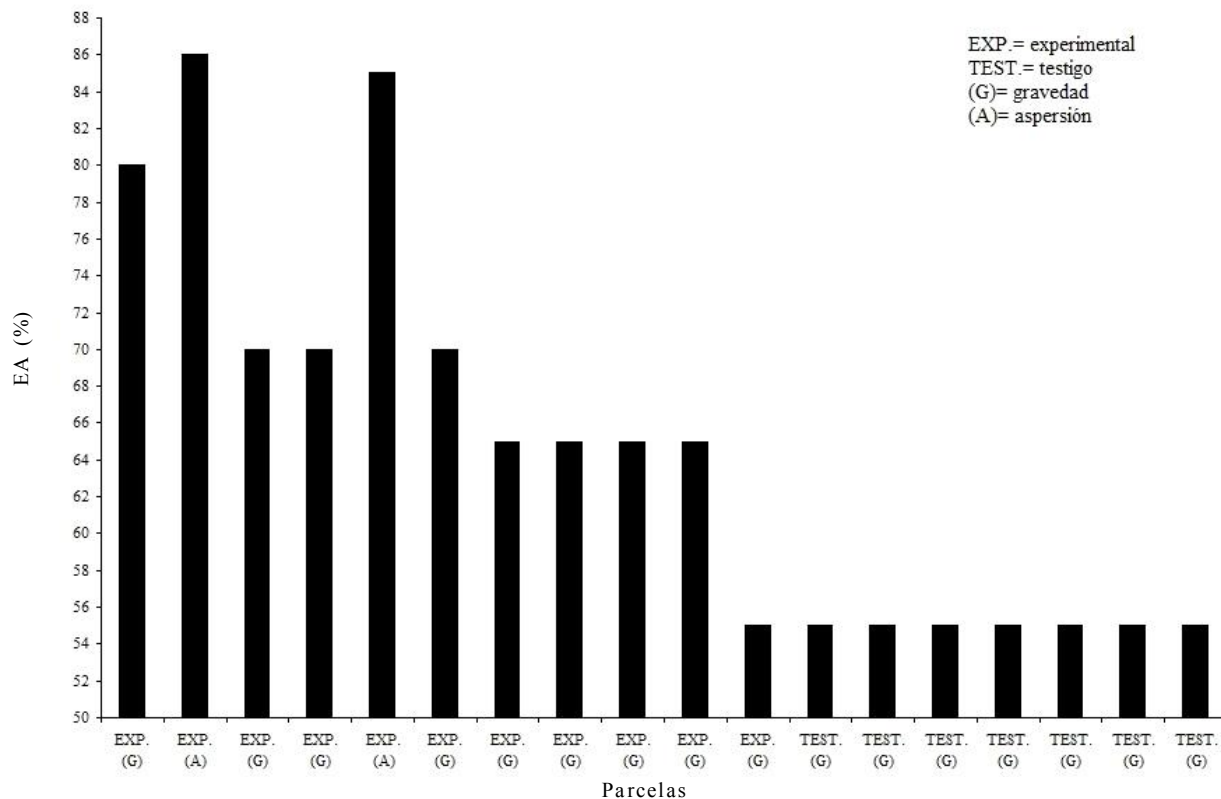


Figura 3. Eficiencia de aplicación (EA) de los riegos durante el ciclo 2005-2006.

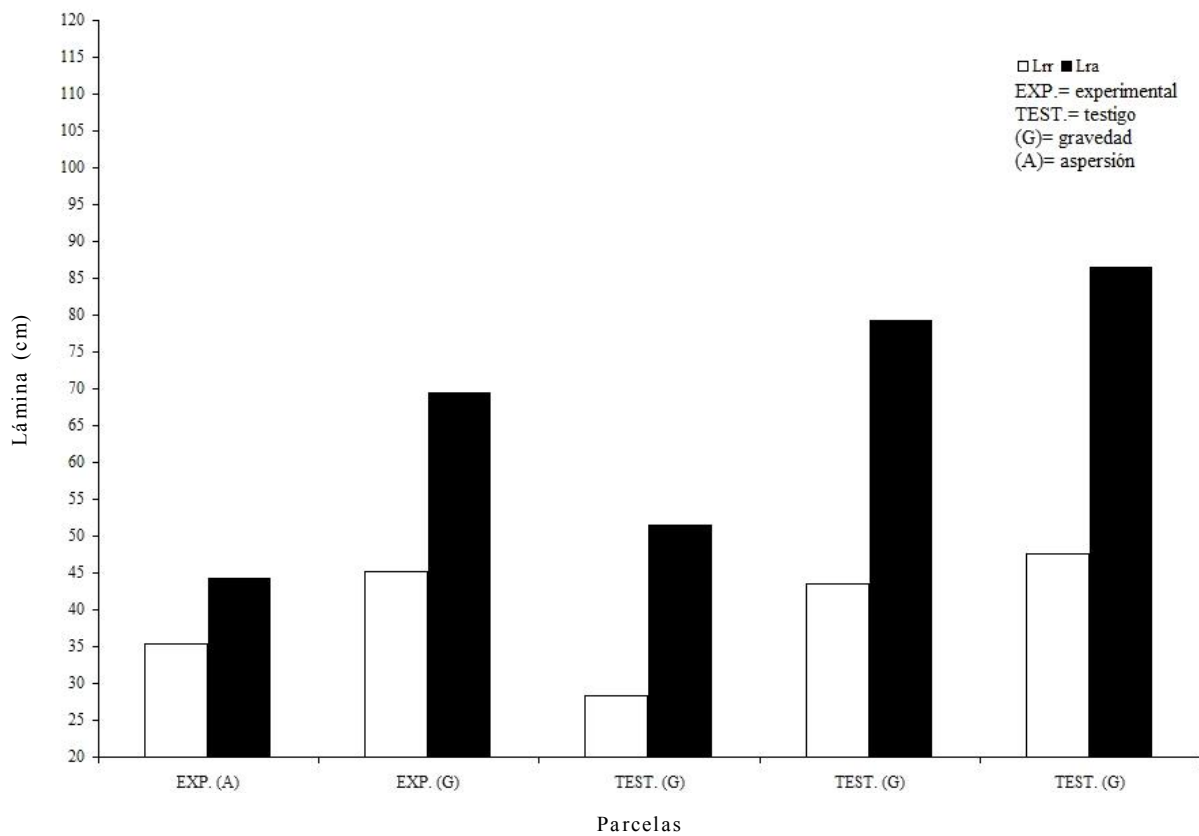


Figura 4. Lámina de riego aplicada (Lr_a) y requerida (Lr_r) durante el ciclo 2006-2007.

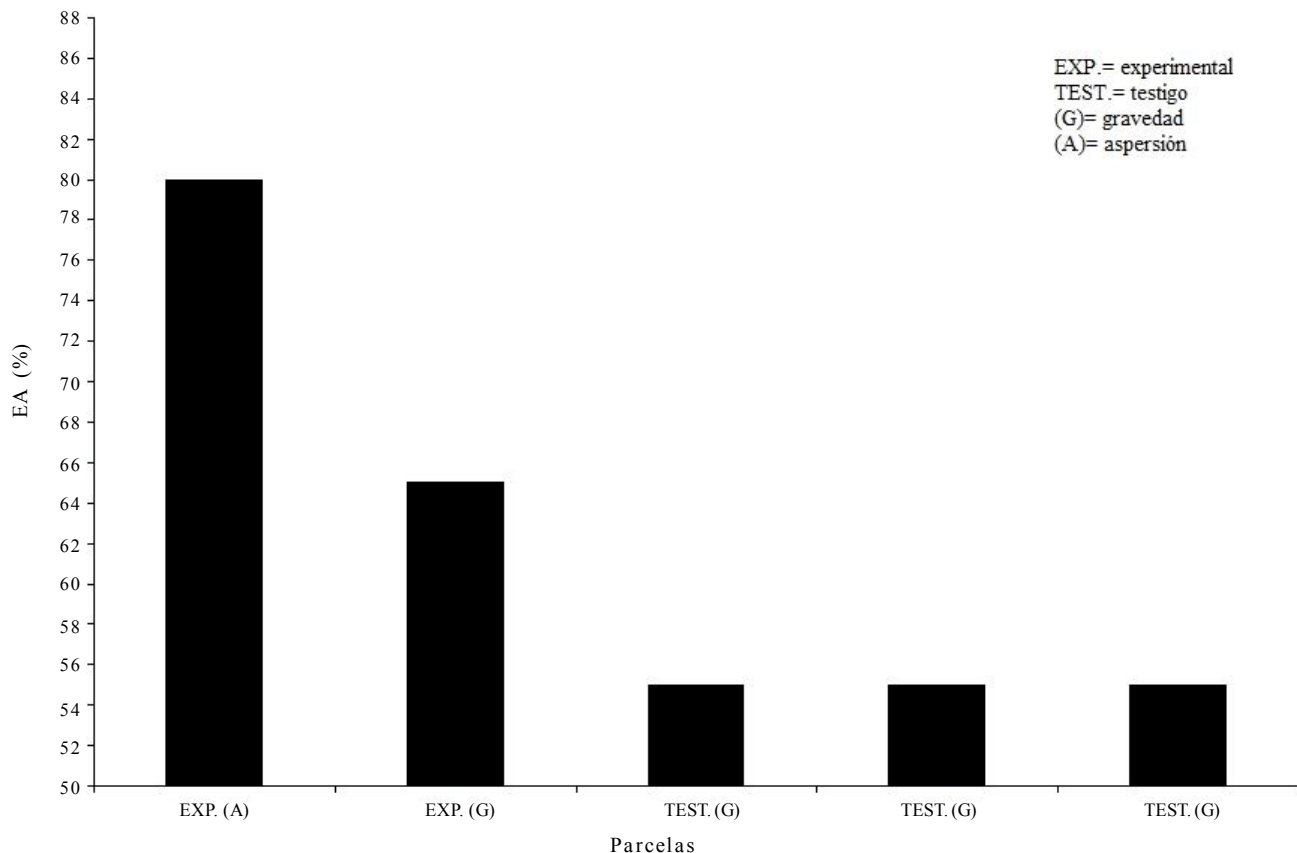


Figura 5. Eficiencia de aplicación (EA) de los riegos durante el ciclo 2006-2007.

el técnico del módulo de riego se ve en la necesidad de ajustar los calendarios manualmente para las diferentes fechas de siembra y reducir las desfases, lo cual genera una mala precisión del pronóstico del riego debido a variabilidad climática interanual.

- Al método SPRITER-FAO se le deben incorporar algunas mejoras como los grados días para expresar los parámetros de calendarización del riego, aprovechando las bondades que ofrece y no sea manual el ajuste de los calendarios de riego para cada cultivo evitando las discrepancias que aún se tienen en los pronósticos. Con estas bases, los módulos de riego pueden manejar de una forma más eficiente e integral el recurso agua durante los siguientes ciclos agrícolas y además, es importante manejar adecuadamente los sistemas de riego mediante evaluaciones previas en las eficiencias de aplicación y distribución del riego en la parcela para obtener un mejor manejo del agua porque este tipo de modelos no tendrían el impacto esperado al momento de pronosticarse el riego si en campo no se ejecuta correctamente.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Fundación Produce Sinaloa, A.C., a la Universidad Autónoma de Sinaloa y a la A.U.P.A. Santa Rosa Módulo III-1, A.C. por las facilidades brindadas para llevar a cabo el presente estudio así como al programa de Hidrociencias del Colegio de Postgraduados por financiar la presente publicación.

LITERATURA CITADA

- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). 2009. Estadísticas agrícolas de los distritos de riego "Año agrícola 2007-2008". México, D. F.
- CONPAPA (Comité Nacional Productores de Papa). 2006. Importancia de la cadena productiva de papa. México, D. F.
- Curwen, D. 1989. Water management. pp. 67-75. In: R. Rowe (ed.). Potato health management. APS Press. St. Paul, MN, USA.
- Doorenbos, J., A. H. Kassam, and C. I. M. Bentvelsen. 1979. Yield response to water. Irrigation and drainage. Paper no. 56. FAO. Rome, Italy.
- Flores-Gallardo, H., W. Ojeda-Bustamante y E. Sifuentes-Ibarra. 2006. Estudio retrospectivo de la sequía en el norte de Sinaloa. multi-CIENCIA 1: 15-20.

- Flores-Gallardo, H., E. Sifuentes-Ibarra y W. Ojeda-Bustamante. 2007. Pronóstico del riego en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) bajo un modelo basado en el concepto grados día (°D). *multi-CIENCIA* 2: 24-30.
- González-Camacho, J. M., R. Cervantes-Osornio, W. Ojeda-Bustamante e I. López-Cruz. 2008. Predicción de la evapotranspiración de referencia mediante redes neuronales artificiales. *Ing. Hidrául. Méx.* 23: 127-138.
- Ojeda-Bustamante, W., M. G. Carrillo y M. V. Ángeles. 2001. El riego por pivote central. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Jiutepec, Morelos.
- Ojeda-Bustamante, W., E. Sifuentes-Ibarra, D. C. Slack, and M. Carrillo. 2004. Generalization of irrigation scheduling parameters using the growing degree days concept: application to a potato crop. *Irrig. Drain.* 53: 251-261.
- Ojeda-Bustamante, W., J. M. González-Camacho, E. Sifuentes-Ibarra, E. Isidro, and L. Rendón-Pimentel. 2007. Using spatial information systems to improve water management in Mexico. *Agric. Water Manage.* 89: 81-88.
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Rural). 2006. Comportamiento del mercado de papa en México. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Rural. México, D. F.
- Sifuentes-Ibarra, E., W. Ojeda-Bustamante, P. Vázquez-Ruiz y A. Gutiérrez-Hernández. 2003. Manejo del agua en módulos de riego bajo condiciones de escasez de agua: aplicación al distrito de riego 075. Fundación Produce Sinaloa, A.C. Culiacán, Sinaloa.
- Walker, W. R. and G. V. Skogerboe. 1987. *Surface irrigation "Theory and practice"*. Prentice-Hall. Utah State University. Logan, UT, USA.