



## III CONGRESO NACIONAL DE RIEGO Y DRENAJE COMIIR 2017

Puebla, Pue., del 28 al 30 de noviembre de 2017

### MODELOS PARA OPTIMIZACIÓN DE AGUA DE RIEGO EN ALFALFA CON REPOSO INVERNAL

**Miguel Servín Palestina<sup>1\*</sup>; Gustavo Espinoza García<sup>2</sup>; Ricardo Sánchez Gutiérrez<sup>1</sup>;  
Héctor Gutiérrez Bañuelos<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Campo Experimental Zacatecas. INIFAP. Km. 24.5 Carretera Zacatecas-Fresnillo, CP 98500  
Calera de Víctor Rosales, Zacatecas, México

[servin.miguel@inifap.gob.mx](mailto:servin.miguel@inifap.gob.mx) – 478 108 3927 (\*Autor de correspondencia)

<sup>2</sup>Universidad Autónoma de Zacatecas “Francisco García Salinas” Posgrado en Ciencias de la  
Ingeniería, Unidad Académica de Ingeniería Eléctrica, Zacatecas, México.

<sup>3</sup>Unidad Académica de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Zacatecas,  
México.

#### Resumen

Se evaluaron tres niveles de humedad de agua en el suelo en un cultivo de alfalfa con reposo invernal (T1=5-15 cbar, T2=50-75 cbar y T3 90-110 cbar), con sensores de humedad Watermark<sup>®</sup>. Se hizo un análisis de regresión para variables de rendimiento de materia seca (MS) y productividad de agua de riego (PA) como variables dependientes y evapotranspiración del cultivo (ET<sub>c</sub>) como variable independiente, para el ciclo primavera-verano y se realizó un análisis de optimización que concluye que la alfalfa maximiza su producción de 6.95 t ha<sup>-1</sup> cuando consume ET<sub>cmax</sub>= 288.13 mm. y el valor máximo de PA = 3.77 kg m<sup>-3</sup> se alcanza cuando consume ET<sub>copt</sub> = 132.22 mm presentando un rendimiento óptimo de 5.01 t ha<sup>-1</sup> (MS<sub>opt</sub>). Los modelos obtenidos explican el 61% y 43% de la variación de los datos para rendimiento de materia seca y productividad de agua de riego respectivamente, el análisis multivariado muestra significancia para casi todas las fuentes de variación (P ≤ 0.01) a excepción de la interacción de corte por riego, ya que se observó una disminución de MS a través de tiempo independientemente de la cantidad de agua de riego aplicada con una disminución de hasta 1.13 t ha<sup>-1</sup> entre cada corte.

**Palabras clave adicionales:** evapotranspiración, funciones de respuesta, productividad de agua.



## Introducción

La alfalfa (*Medicago Sativa* L.) es una leguminosa que se siembra en las zonas áridas y semiáridas del norte del país, es utilizada para la alimentación de rumiantes en la industria de carne y leche. En Zacatecas la alfalfa se posiciona como una de las cadenas agrícolas de mayor importancia económica del estado (Sánchez *et al.*, 2013), en los últimos años se sembró un promedio de 253.3767 hectáreas por año y obtuvo una producción aproximada de 23 880.51 toneladas por año (SIACOM, 2010-2015).

Por ser un cultivo perenne su producción se lleva a cabo bajo condiciones de riego (Godoy *et al.*, 1998). Moreno *et al.* (2000) mencionan que el cultivo demanda  $15\ 000\ \text{m}^3\ \text{ha}^{-1}$  de agua de riego. Lo que representa una fuerte presión en los recursos hídricos que cada vez son más escasos y costosos (Castro *et al.*, 2008). Por ejemplo, Zacatecas presenta abatimiento de los acuíferos a una tasa de 1.18 m por año provocando un desequilibrio en la recarga. A pesar que esta leguminosa fija nitrógeno al suelo y produce un forraje de excelente calidad muestra eficiencias en el uso de agua muy bajas comparadas con otras especies forrajeras (Hirth *et al.*, 2001; Steduto *et al.*, 2012). Grimes *et al.* (1992) citado por la FAO ha reportado valores de productividad con valores de  $1.0 - 2.6\ \text{kg}\ \text{m}^{-3}$  (kilogramos de materia seca por metro cubico de agua de riego aplicada) y Brown *et al.* (2005) reportaron valores de hasta  $2.9\ \text{kg}\ \text{m}^{-3}$ .

La cantidad de veces que la alfalfa se puede cosechar durante un año depende de las condiciones climáticas y de manejo (Teixeira *et al.*, 2007). Al igual que la genética, el manejo juega un papel predominante en el reposo invernal, además el agua y fertilizante son importantes para que el cultivo almacene energía en raíz y corona, para mantenerse en estado latente durante el periodo de bajas temperaturas y heladas invernales que facilitarán rebrotar en primavera (Rossanigo, 1997). En el reposo invernal, latencia o dormancia el cultivo acumulara suficiente energía que será utilizada en el desarrollo posterior es decir el cultivo se presenta con más vigor en los siguientes cortes.

Por ser un cultivo de alto requerimiento hídrico, los altos costos de extracción y la disponibilidad del agua de riego son factores limitantes para su producción (Servín, 2015). Por tal razón, se requiere disminuir en número de cortes para minimizar el volumen de agua requerido y de una aplicación del agua entre cada corte en el momento oportuno y la cantidad necesaria para satisfacer los requerimientos hídricos del cultivo y lograr un rendimiento óptimo (Inzunza *et al.*, 2006).

Uno de los enfoques clásicos para llevar a cabo la optimización del agua consiste en analizar la respuesta del cultivo a diferentes grados de déficit hídrico; también, obtener las relaciones funcionales que permiten maximizar el rendimiento por unidad de agua utilizada, así como estimar la producción del cultivo cuando este recurso es restringido (Reck y Overman, 1996; Llewelyn y Featherstone, 1997; Reza *et al.*, 2001). Actualmente no se conocen con precisión dichos requerimientos y el manejo de riego se realiza de manera empírica, lo que implica que en ocasiones se proporcionen volúmenes



excesivos, o laminas deficientes, propiciando bajo rendimiento de materia seca (Sammis, 1981; Abdul *et al.*, 1982).

No obstante, el objetivo del presente estudio es desarrollar un modelo de optimización de agua de riego para el cultivo de alfalfa en el ciclo primavera-verano sometido a reposo invernal en zonas áridas templadas e incrementar la eficiencia en el uso de agua de riego.

## **Materiales y métodos**

El trabajo se llevó a cabo en terrenos del Campo Experimental Zacatecas (CEZAC), ubicado a 22° 54' LN y 102° 39' LO y una altitud media de 2,197 msnm. La alfalfa se sembró el 26 de noviembre del 2015 con la variedad CUF 101 con una densidad de siembra de 60 kg ha<sup>-1</sup> usando sembradora tipo billion, estableciendo parcelas de validación.

Para este ciclo de cultivo se establecieron tres niveles de tensión en el suelo medidos mediante el uso de sensores de humedad marca Watermark<sup>®</sup> previamente calibrados para la zona de estudio, colocados a 30 y 60 cm de profundidad por triplicado en cada parcela y un total de seis sensores por parcela experimental. T1 = de 5-15, T2=50-75 y T3=90-110 Cbar de lectura del sensor.

El riego se aplica cuando el sensor colocado a 30 cm. llega a su límite máximo y se recupera la humedad hasta su límite más bajo para cada tratamiento. El agua se aplica con un sistema de riego sub-superficial con cintilla auto-compensada calibre 8 mil, enterrada a 20 cm de profundidad del suelo a 40 cm de separación entre líneas regantes y emisores con un espaciamiento de 20 cm y un gasto de 1 lph. El periodo de reposo invernal inicio el 24 de octubre de 2016 (último corte del año 2016), el día 16 febrero del 2017 se realizó el corte de estandarización, posteriormente se condujo el experimento hasta los siguientes cortes.

Previo al arranque se realizó un muestreo gravimétrico para determinar la humedad residual y llevar cada uno de los tratamientos a 100%, 80% y 40% de humedad aprovechable (Palacios, 2002) para T,1 T2 y T3 respectivamente, cabe mencionar que previo al corte de estandarización se dejó en reposo el cultivo por 115 días únicamente con láminas de mantenimiento de aproximadamente 184.8 mm y un rendimiento de materia seca de 2.62 t ha<sup>-1</sup>.

Posteriormente al arranque del experimento se realizó el riego de acuerdo a la lectura de los sensores y se corroboraron los volúmenes aplicados (VR) en cada riego mediante un medidor volumétrico instalado en el cabeza de descarga del sistema de riego, entre cada corte se fertilizó con 20 kg N (la primer semana después del corte como fuente Urea) y 40 litros de ácido fosfórico al 85% (a los 15-20 días después del corte), dosis por hectárea.

El corte se realizó manualmente con tres sub-muestras aleatorias dentro de cada tratamiento con ayuda de un cuadro de 1 x 1 m. Las variables evaluadas son: forraje



verde (FV) del cual se tomó una submuestra de 300 gr por c/u y fue llevada a una estufa de secado donde se dejó a 65°C durante 48 horas para calcular el porcentaje de materia seca y estimar el rendimiento de materia seca por ha (MS), eficiencia en el uso de agua (EUA): que es la relación de MS en kilogramos y el volumen de agua de riego en metros cúbicos aplicado para cada corte y productividad del agua (PA): que es la relación de MS y la sumatoria de lámina de riego más precipitación efectiva es decir Evapotranspiración del cultivo (ETc) para cada tratamiento.

Los datos se analizaron mediante medidas repetidas por ser datos recogidos en varios puntos en el tiempo y espacio en las mismas unidades experimentales (Freund *et al.*, 1986; Littel, 1989), mediante un procedimiento discriminante de Fisher y el estadístico Lambda de Wilks. Posteriormente se relacionó el número de corte (excepto el primero) con el rendimiento de materia seca para determinar la disminución del rendimiento por efecto de reposo invernal en cada tratamiento. La función de respuesta del cultivo a los diferentes niveles de humedad, se obtuvo mediante análisis de regresión, al relacionar los datos observados de MS ( $t\ ha^{-1}$ ) y PA ( $kg\ m^{-3}$ ) como variables dependientes y ETc (mm) como variable independiente y se realizó mediante una regresión en SAS con el procedimiento Stepwise, seleccionando el modelo que presento mejor ajuste. (SAS, 2003). Para obtener la lámina de riego que maximiza el rendimiento de forraje seco de alfalfa ( $ETc_{max}$ ) y la lámina de riego que presenta el valor más alto de productividad de agua y rendimiento óptimo ( $ETc_{opt}$ ), se realizó un análisis de optimización con la teoría de máximos y mínimos del cálculo diferencial e integral (Steel *et al.*, 1997).

## Resultados y discusión

En la Tabla 1 se muestra las láminas de riego aplicada para cada tratamiento y la materia seca en cada uno de los cortes en el ciclo P-V, así como algunas variables climáticas y los días después de cada corte a partir del 16 de febrero del 2017 que fue el corte de estandarización, donde se observa que a menor temperatura media incrementan los días entre cada corte a excepción del último corte que se vio afecto por las altas precipitaciones y por consiguiente una disminución en la radiación solar que llega al cultivo esto afectando la temperatura promedio diaria.

**Tabla1.** Rendimiento de materia seca y láminas de riego en alfalfa en el ciclo P-V con tres niveles de humedad en el suelo en su segundo año de establecimiento.

Corte	DDC	Tmed (°C)	Pe (mm)	Lámina de riego (mm)			Materia seca ( $t\ ha^{-1}$ )		
				R1	R2	R3	T1	T2	T3
C1*	115	12.3	5.7	184.8	184.8	184.8	2.62	2.62	2.62
C2	63	14.76	12.45	261.53	253.76	146.55	7.67	7.08	6.72
C3	42	20.34	0	248.64	157.95	136.3	6.35	6.64	5.27
C4	34	21.1	38.62	228.94	132.68	112.85	5.38	5.38	4.88
C5	37	18.75	79.65	53.15	38.27	6.38	3.75	3.98	3.76
C6	55	17.9	79.65	94.06	190.32	74.23	3.75	3.98	3.76
Total			<b>216.07</b>	<b>1071.12</b>	<b>957.78</b>	<b>661.11</b>	<b>29.52</b>	<b>29.68</b>	<b>27.01</b>

DDC: Días después de corte, Pe=precipitación efectiva entre corte. \* Datos Estimados, Láminas base a las horas de riego y tasa horaria; Rendimiento con número de pacas por superficie experimental.

También se puede observar una tendencia hacia la baja de rendimiento entre cada corte, es decir, una disminución de MS a través del tiempo, esto se puede atribuir al



reposo invernal que fue sometido el cultivo previo al corte de estandarización. Con lo que respecta a la sumatoria de MS el T2 presenta los valores máximos con 29.68 t ha<sup>-1</sup> por año, valores superiores a los promedios reportados en el estado con valores de MS de 17.99 t ha<sup>-1</sup> por año (SIACOM, 2015), aplicando 957.78 mm de lámina de riego.

Para EUA y PA que el T3 sobresalió ( $p \leq 0.05$ ) con valores de 4.09 y 3.08 kg m<sup>-3</sup> respectivamente. (Tabla 2) valores superiores a los reportados por Sánchez *et al.* (2017) donde evaluó 5 variedades, con riego subsuperficial y riego por inundación donde sus valores reportados son 2.44 y 1.3 kg m<sup>-3</sup> respectivamente.

**Tabla 2.** Eficiencia en el uso de agua de riego y productividad de agua en alfalfa en el ciclo P-V con tres niveles de humedad en el suelo en su segundo año de establecimiento.

Corte	T1		T2		T3	
	EUA (kg m <sup>-3</sup> )	PA (kg m <sup>-3</sup> )	EUA (kg m <sup>-3</sup> )	PA (kg m <sup>-3</sup> )	EUA (kg m <sup>-3</sup> )	PA (kg m <sup>-3</sup> )
C1*	1.42	1.38	1.42	1.38	1.42	1.38
C2	2.79	2.66	2.93	2.80	4.59	4.23
C3	4.20	4.20	2.55	2.55	3.87	3.87
C4	4.05	3.14	2.35	2.01	4.32	3.22
C5	10.40	3.38	7.06	2.82	58.93	4.37
C6	2.09	1.47	3.99	2.16	5.07	2.44
<b>Total</b>	<b>3.10</b>	<b>2.53</b>	<b>2.76</b>	<b>2.29</b>	<b>4.09</b>	<b>3.08</b>

EUA: Eficiencia en el uso de agua; PA: Productividad del agua. \* Corte de estandarización, datos Estimados, laminas base a las horas de riego y tasa horaria; rendimiento con número de pacas por superficie experimental.

En la Tabla3 se muestra un análisis multivariado de los cinco cortes de alfalfa (excepto C1), para los tres tratamientos de riego, los valores del estadístico Lambda de Wilks que mide el poder discriminante de las fuentes de variación, son muy cercanos a 0 por lo que el riego y los cortes son altamente discriminantes es decir que tiene independencia y son significativos ( $P < 0.05$ ). Al analizar el corte 2 con respecto al riego, se observa que el riego 2 presenta valores más bajos de lambda por lo que se deduce que es el mejor tratamiento, con lo que respecta a la interacción de cortes y riego no presento diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) debido a que el tratamiento disminuye a través del tiempo independientemente de riego o cantidad de agua aplicada.

**Tabla3.** Análisis multivariado (MANOVA) de tres niveles de humedad en el suelo para cuatro cortes en el cultivo de alfalfa en su segundo año de establecimiento en Zacatecas, México.

Fuente de variación	N gl <sup>x</sup>	D gl <sup>y</sup>	Lambda*	F-valor	P > F
Igual efecto del corte en todos los riegos	3	6	0.03700	52.05	0.0001
"C2 vs otros" para todos los riegos	1	6	0.06379	88.06	0.0001
Interacción Cortes x Riego	6	10	0.12202	3.10	<b>0.0551</b>
"C2 vs otros" por riego	2	5	0.20302	9.81	0.0186
Igual efecto de corte en cada riego	9	10	0.00842	6.72	0.0033
"C2 vs otros" por cada cortes	3	4	0.02838	45.65	0.0015
Igual efecto de corte para Riego 1	3	6	0.09609	18.81	0.0019
"C2 vs otros" para Riego 1	1	6	0.21414	22.02	0.0034
Igual efecto de corte para riego 2	3	6	<b>0.03806</b>	50.55	0.0001
"C2 vs otros" para Riego 2	1	6	<b>0.06404</b>	87.69	0.0001
Igual efecto de corte para riego 3	3	6	0.11804	14.94	0.0034
"C2 vs otros" para Riego 3	1	6	0.15536	32.62	0.0012

<sup>x</sup>Ngl grados de libertad de numerador, <sup>y</sup>Dgl grados de libertad de denominador, \*Wilk's Lambda



En la figura 1 se muestra la materia seca por cortes donde se observa una disminución del rendimiento a través del tiempo independientemente del tratamiento de riego y una disminución de 1.13, 1.02 y 0.73 de MS ( $t\ ha^{-1}$ ) para T1, T2 y T3, respectivamente por lo que se puede atribuir al efecto del reposo invernal.

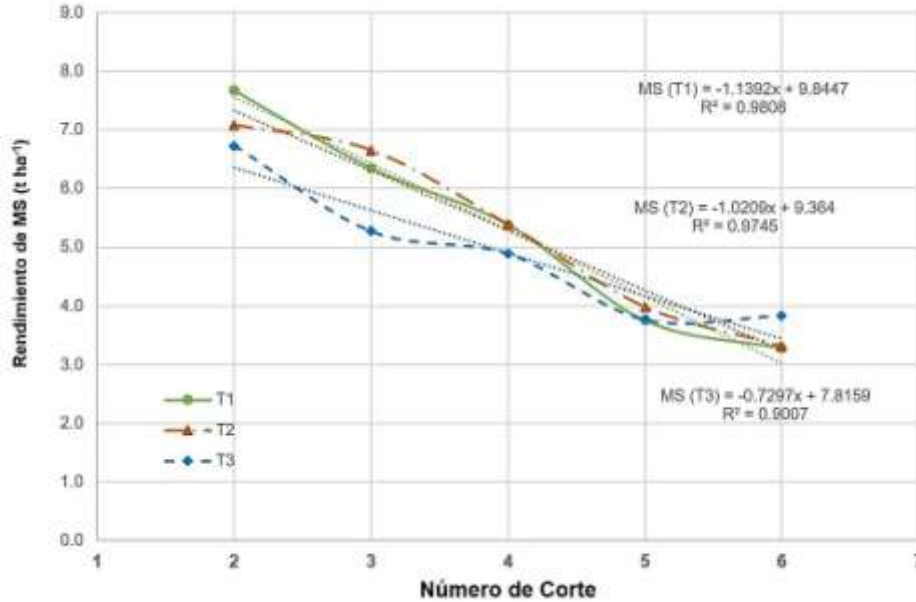


Figura 1. Relación de rendimiento de materia seca vs cortes del cultivo de alfalfa para forraje a 10% de floración.

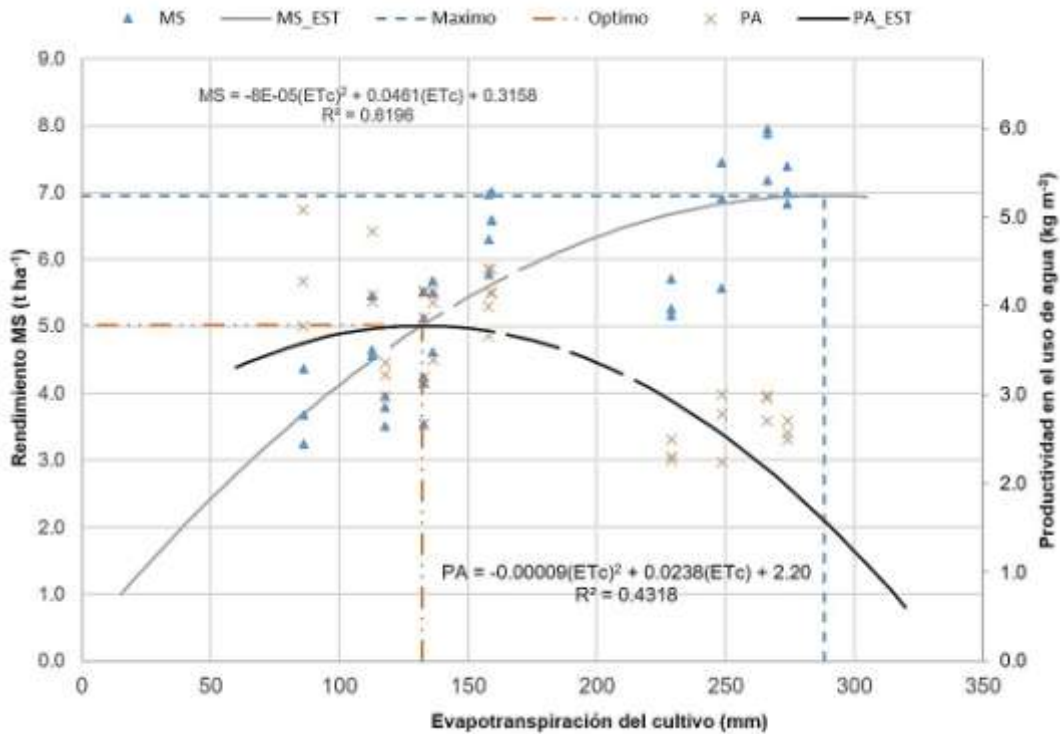


Figura 1. Relación de rendimiento de materia seca y productividad de agua del cultivo de alfalfa para forraje a 10% de floración en Zacatecas, México.



Se relacionaron los datos del corte 2 al corte 5 (corte 6 se descartó por que se controló la humedad del suelo por efecto de la precipitación) y se observó que entre variables existió una relación de tipo cuadrática con rendimientos crecientes y decrecientes, al igual que la productividad en función de  $ET_c$ . Los modelos obtenidos para MS y PA presentaron un ajuste aceptable y todos sus coeficientes de regresión fueron significativos ( $P \leq 0.01$ ) (Figura 2). También se agregaron las líneas de tendencia de los datos, y se muestra un punto máximo de rendimiento y un punto máximo de productividad, donde se intersectan ambas curvas se encuentra el punto óptimo en el cual se obtiene la máxima productividad del agua sin poner en riesgo el rendimiento.

Con los modelos de MS y PA el análisis de optimización permite deducir que la alfalfa maximiza su producción a  $6.95 \text{ t ha}^{-1}$  ( $MS_{\max}$ ), cuando consume  $ET_{c_{\max}} = 288.13 \text{ mm}$ . y el valor máximo de productividad del agua de  $3.77 \text{ kg m}^{-3}$  se alcanza cuando consume  $ET_{c_{\text{opt}}} = 132.22 \text{ mm}$  presentando un rendimiento óptimo de  $5.01 \text{ t ha}^{-1}$  ( $MS_{\text{opt}}$ ). Los modelos obtenidos explican el 61% y 43% de la variación de los datos para rendimiento de materia seca y productividad de agua de riego respectivamente, el resto se debió a todas las variables no controladas en este experimento. Allen (2006) menciona que cuando un cultivo es sometido a estrés hídrico el agotamiento del agua será lo suficientemente alto como para limitar la evapotranspiración a valores menores que su potencial, por lo que la evapotranspiración del cultivo comenzará a disminuir en proporción a la cantidad de agua remanente en la zona radicular.

## Conclusiones

Los modelos cuadráticos fueron los que mejor representaron el rendimiento de materia seca y la productividad de agua. Al aportar más de 288.13 mm de agua en cada corte ( $R+Pe$ ) el rendimiento de alfalfa se ve afectado, y que se puede hacer un uso eficiente de agua cuando se aportan únicamente 132.22 mm, lo que permite optimizar los recursos hídricos. Aunque no hay que dejar de un lado la calidad forraje y su efecto con la lámina aplicada.

El efecto del reposo invernal favorece la producción de materia seca y la eficiencia del agua por lo que se recomienda dar únicamente seis cortes por año.

El modelo de MS que explica en un 61% de la demanda hídrica del cultivo para un clima árido templado en el ciclo P-V será de gran utilidad para hacer una planeación del ciclo agrícola de acuerdo a disponibilidad de agua y la demanda hídrica del cultivo.

## Referencias bibliográficas

- Abdul-Jabbar, A. S., Sammis, T. W. & Lugg, D. G. (1982). Effect of moisture level on the root pattern of alfalfa. *Irrigation Science*, 3(3): 197-207.
- Allen, R. G. (2006). Evapotranspiración del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos (Vol. 56). Food & Agriculture Org.



- Blum, A., 1996. Crop responses to drought and the interpretation of adaptation. *Plant Growth Regul.* 20, 135–148.
- Brown, H. E., Moot, D. J. & Pollock, K. M. (2005). Herbage production, persistence, nutritive characteristics and water use of perennial forages grown over 6 years on a Wakanui silt loam. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 48, 423-439.
- Castro, P. M., Aguilar, M. F., Quevedo, N. A., Kleisinger, S., Tijerina, C. L. y Mejia, S. E. (2008). Sistema de riego automatizado en tiempo real con balance hídrico, medición de humedad del suelo y lisímetro. *Agric. Téc. Méx.* 34(4):459-470.
- Freund, R.J., R.C. Littell, and P.C. Spector. 1986. SAS system for linear models. A guide to the ANOVA and GLM procedures. SAS Institute, Inc., Cary, N.C.
- Godoy, A. C., Torres, E. C. A., Reyes, J. I. y Valdez, R. V. M. (1998). Sistemas de irrigación y eficiencia en el uso del agua. Informe técnico. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Matamoros, Coahuila.
- Grimes, D. W., Wiley, P. L. & Sheesley, W. R. (1992). Alfalfa Yield and Plant Water Relations with Variable Irrigation. *Crop Science* 32: 1381-1387.
- Hirth, J. R., Haines, P. J., Ridley, A. M. & Wilson, K. (2001). Lucerne in crop rotation on the Riverine Plains. 2. Biomass and grain yields, water use efficiency, soil nitrogen, and profitability. *Aust J Agric Res*, 52 (2):279-293.
- Inzunza, I. M. A., Villa, C. M., Catalán, V. E. A. y Mendoza, M. S. F. (2006). Modelo para estimar el rendimiento de maíz en función de la humedad del suelo. *Terra Latinoamericana*, 24(2): 179-185.
- Littell, R.C. 1989. Statistical analysis of experiments with repeated measurements. *Hort-Science* 24:37-40.
- Llewelyn, R. V., & Featherstone, A. M. (1997). A comparison of crop production functions using simulated data for irrigated corn in western Kansas. *Agric. Systems*, 54(4): 521-538.
- Moreno, L., García, D. y Faz, R. (2000). Producción y utilización de la alfalfa en zona norte de México. Libro técnico No. 2. Campo Experimental La Laguna. CIRNOC. INIFAP. pp. 63-78.
- Palacios, V. E. (2002). ¿Por qué, cuándo, cuánto y cómo regar?: para lograr mejores cosechas. Trillas, México, DF, p. 214.
- Reca, J., Roldán, J., Alcaide, M., López, R. & Camacho, E. (2001). Optimization model for water allocation in deficit irrigation systems. I. Description of the model. *Agric. Water Manage*, 48(2): 103-116.





- Reck, W. R. & Overman, A. R. (1996). Estimation of corn Response to water and applied nitrogen. *J. PlantNutr*, 19(1): 201-214.
- Rossanigo, R. (1997) Panorama varietal; plagas, control malezas; utilización y manejo. Sitio Argentino de Producción Animal. Invernada bovina en zonas mixtas. Agro 2 de Córdoba. Capítulo I: 6-36. INTA, Centro Regional Córdoba, EEA Marcos Juárez ([www.produccion-animal.com.ar](http://www.produccion-animal.com.ar)).
- Sammis, T. W. (1981). Yield of alfalfa and cotton as influenced by irrigation. *AgronomyJournal*, 73(2): 323-329.
- Sánchez, B., Zegbe, J. A., Rumayor, R. A. F. y Moctezuma, G. (2013). Estructura económica competitiva del sector agropecuario de Zacatecas: un análisis por agrocadenas. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 17(33), 552-563.
- Sánchez, R.A., Servin, M., Gutiérrez, H., Serna, A. (2017) Eficiencia en el uso del agua de variedades de alfalfa (*Medicago sativa L.*) con sistema de riego subsuperficial *Rev Mex CiencPecu*, 8(4):429-435.
- SAS, (2003) User Guide. Statistical Analysis System. Inc. Cary, NC. versión 9.3.
- Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera SIAP (2010-2015), en la sección de Anuario Estadístico de la producción Agrícola. Recuperado de [http://infosiap.siap.gob.mx/agricola\\_siap\\_gb/ientidad/index.jsp](http://infosiap.siap.gob.mx/agricola_siap_gb/ientidad/index.jsp). Consulta en línea el 30/06/2017 y 03/07/2017.
- Servin, M. (2015). Sistema para programar y calendarizar el riego de los cultivos en tiempo real. Tesis de Maestría, Colegio de Potsgradudados, Texcoco México.
- Steduto, P., Hsiao, T., Fereres E. y Raes, D. (2012). Respuesta del rendimiento de los cultivos al agua. FAO Roma, 2012, Estudio FAO: Riego y Drenaje 66, ISSN 0254-5284.
- Steel, R.G., Torrie, J.H. & Dickey M. (1997). Principles and procedures of statistics. A biometrical approach. Third edition. New York, the McGraw-Hill Companies.
- Teixeira, R. M., de Sosa, J. M., Valadares S. de C., Soares, A., Jorge, A. y dos Santos, D. (2007). Consumo, digestibilidad y rendimiento de novillos alimentados con cáscara de café en sustitución del silaje de maíz. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 36 (4) 968-977.