

Optimización del uso del agua de riego en alfalfa sembrada en suelos arcillosos en el Valle Imperial, California, USA

Luis F. Escoboza¹
Khaled M. Bali²
Juan N. Guerrero²
Julio Rodríguez Casas³
Adán Fimbres Fontes³
Adolfo Perez Marquez¹
J. A. Román Calleros¹
María Isabel Escobosa¹
Marco Huez López³
Daniel Araiza Zúñiga¹
Mónica Aviles¹

RESUMEN

El cultivo de alfalfa (*Medicago sativa*) es el más importante en el Valle Imperial California, USA. Durante el periodo de 1977 a 2001, se sembró en promedio 71,592 ha utilizándose un volumen de agua anual de 1.41×10^9 m³ para el riego de este cultivo, donde aproximadamente entre el 15 al 20% del agua aplicada termina como volumen de agua perdida en forma de escurrimiento superficial. El objetivo del presente trabajo es demostrar que al utilizar una metodología de riego mejorada, la alfalfa puede ser regada disminuyendo el volumen de escurrimiento superficial, sin reducir el rendimiento. El estudio se realizó de noviem-

bre del 2000 a agosto del 2003, en una parcela de 32 ha sembrada con alfalfa, en un suelo arcilloso del Valle Imperial. La parcela fue dividida en dos secciones de 16 ha cada una. En una sección se regó utilizando la metodología de riego mejorada (MRM) y la otra sección fue regada utilizando el método de riego común (MRC). Se obtuvieron un total de 22 cortes, en los cuales no hubo diferencia ($P=0.60$) en la producción de alfalfa henificada. El rendimiento medio para MRM fue de 2.21 t ha⁻¹ y de 2.35 t ha⁻¹ en MRC. Las laminas de riego fueron diferentes ($P=0.01$) para los 32 riegos que incluyó la evaluación, utilizándose para MRM una lamina de riego total de 404 cm y, para MRC 529 cm,

¹ Universidad Autónoma de Baja California; Av. Julián Carrillo s/n, Mexicali Baja California México. C.P. 21100.

² Universidad of California, Agricultura & Natural Resources, Cooperative Extensión, Imperial County; 1050 E. Holton Road, Holtville, CA 922503.

³ Universidad de Sonora. Rosales y Luis Encinas. Hermosillo, Sonora. C.P. 83000.

lo que representa 22.2% menos agua en MRM. El escurrimiento superficial para MRM fue de 5.89%, en tanto que para MRC fue de 17.3%.

Palabras clave: *Medicago sativa*, metodología de riego mejorada.

ABSTRACT

Since the economical point of view, and for the seeded surface at Imperial Valley, California, USA, alfalfa (*Medicago sativa*) becomes the most important in the region. During period 1977 to 2001, the alfalfa average seeded surface were 71,592 ha, using an annual irrigation water volume of 1.41×10^9 m³, where approximately, 15% to 20% of the total amount of applied water, represents lost water as surface runoff. The objective of this study is to show that using an improved irrigation method, the alfalfa crop can be irrigated under commercial conditions with a reduction of the surface runoff without affecting final yield. This study was realized during period November 2000, to August 2003, in a 32 ha parcel with alfalfa, in a clay soil at Imperial Valley, California. The experimental plot was divided into two sections of 16 ha each. In one section were used an Improved Irrigation Method (IIM), and in the other section, were used the Common Irrigation Method (CIM). During the study, were obtained a total of 22 alfalfa cuts, in which there was no difference in hay alfalfa yield. With the use of both irrigation methods, the average yield for the IIM was 2.21 ton ha⁻¹, and 2.35 ton ha⁻¹ for CIM. The total amount of applied water, in the 32 irrigations was different ($P=0.01$). For the IIM were applied 404 cm,

and for the CIM were 529 cm, which represents 22.2% less water than CIM. Surface runoff for the IIM was 5.89%, while in CIM was 17.3%.

Key words: *Medicago sativa*, Improved Irrigation Methodology.

INTRODUCCIÓN

Desde el punto de vista económico, así como por la superficie sembrada en el Valle Imperial, California, el cultivo de alfalfa (*Medicago sativa*) es el más importante de la región. Durante el periodo de 1997 al 2001, se sembraron 71,592 ha, utilizándose un volumen de agua de 1.41×10^9 m³ para el riego de este cultivo. (Agricultural Commissioner, 2003).

En esta región, la alfalfa requiere de aproximadamente 16 riegos durante el año, comúnmente con la aplicación de dos riegos entre cada corte. El método de riego utilizado para alfalfa en el Valle Imperial, es de melgas abiertas al pie. Durante un riego común, el flujo de agua derivado a la parcela es cortado generalmente cuando el frente de agua ha alcanzado alrededor del 80% de la longitud de la melga. Bajo este criterio, aproximadamente entre el 15% al 20% del volumen del agua aplicada termina como escurrimiento superficial (Meister et al., 2004). Dado que la región dispone de un volumen de agua limitado, se considera que el método de riego utilizado en alfalfa es ineficiente. Por otro lado, el método de riego mejorado reduce los escurrimientos superficiales a menos del 5% del total del agua aplicada en suelos arcillosos. El método se basa en determinar el tiempo de riego

necesario para reducir al mínimo los escurrimientos superficiales y mejorar la eficiencia del uso del agua. Es una combinación del modelo de balance del volumen y del método de medida entre dos puntos (Elliot y Walter, 1982). Se calcula el tiempo de corte o la distancia de corte para una melga dada, sobre la base de que el volumen total de agua aplicada es igual que el volumen de agua almacenado en la superficie, más el volumen almacenado en el suelo (sub-superficie). Para los suelos arcillosos, el volumen de agua almacenado, es equivalente al volumen de las grietas, y el avance del frente de mojado es lineal (Grismer y Tod, 1994). Durante un riego, el volumen del agua es calculado midiendo el gasto derivado y el tiempo desde que se inicia el riego. El almacenaje superficial se calcula considerando el producto de la lámina promedio, y el área cubierta por el agua. El volumen del almacenaje sub-superficial, es la diferencia entre el agua aplicada y la almacenada en la superficie. El volumen total de agua por aplicar se obtiene al calcular el almacenaje subsuperficial para toda el área regada. (Grismer y Tod, 1994). El objetivo del presente trabajo fue evaluar a nivel comercial en el Valle Imperial, California, USA, una metodología de riego mejorada, propuesta por Grismer y Tod (1994) y por Bali et al. (2001), para demostrar que la alfalfa puede

ser regada bajo condiciones comerciales, disminuyendo el volumen de escurrimiento superficial y las descargas de sedimentos y nutrientes a los drenes agrícolas, sin reducir el rendimiento de la alfalfa henificada.

Podemos concluir que de los 38 riegos estudiados 33 logró el objetivo planteado, 3 riegos (12, 13, 14) estuvieron en la tendencia al logro y en únicamente 2 (8 y 24) no se tuvo un resultado adecuado. Para los 38 riegos evaluados se tuvo el 99.5% de superficie regada promedio. La distancia de corte promedio fue de 73.33%, esto es que el corte de agua a la mega se realizaba cuando el agua llegaba a los 279 m.

MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio se ubica en el Condado de Imperial que geográficamente se localiza en la parte sureste del Estado de California, entre la latitud 32° 40' y 33° 15' norte y entre las longitudes 115° 00' y 116° 05' oeste. Este estudio fue realizado en un predio propiedad de un agricultor cooperante, localizado en la parte sur del Valle Imperial a una latitud norte de 32° 49.075' longitud oeste de 115° 29.277', ubicado a 9 Km al este de la ciudad de El Centro, California.

En Valle Imperial, durante la época de invierno, se presentan temperaturas que oscilan entre 7°C y 25°C con promedio de 16 °C, mientras que durante el verano las temperaturas oscilan entre 26°C y 48°C. De manera general se establece que el rango de temperaturas en la región varía desde -1°C en enero, hasta 48 °C en julio, agosto y parte de septiembre. La temperatura anual promedio es de 22.2°C. La precipitación media anual es de 65 mm, aproxi-

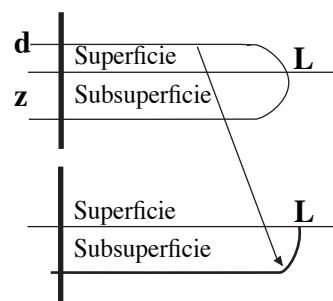
madamente. La humedad relativa varía de 16% al 60% (Mayberry, 2003).

El tipo de suelo donde se desarrolló el estudio, es serie Imperial, Holtville-Glenbar arcillo-arenoso y contiene 60-70% de la fracción arcilla del tipo montmorillonita. La capa superficial de suelo es arcillo-limoso con 2.14 a 2.74 m de espesor y descansa sobre un estrato arenoso. La capa de arcilla presenta muy baja permeabilidad y la salinidad del suelo es variada con un promedio en los extractos de saturación de 2 a 12 dS m^{-1} y una relación de adsorción de sodio (RAS) de 5 a 15. Los valores de velocidad de infiltración básica del suelo varían desde 0.1 cm h^{-1} hasta 0.6 cm h^{-1} (Román, 1990).

Las pruebas de campo realizadas durante el estudio, fueron diseñadas para evaluar el método mejorado de riego en la eficiencia del uso del agua y en la cantidad de fósforo (P) y nitrógeno (N) soluble contenidos en el agua de escurrimiento superficial. Para el análisis estadístico, entre MRM y MRC, se utilizó la prueba de “t” de Student para las láminas de riego y rendimiento de alfalfa henoificada, en tanto que la prueba de chi-cuadrada (χ^2), para el porcentaje de área regada en las melgas. El cultivo fue establecido en un lote de 32 hectáreas, siguiendo las recomendaciones de la Universidad de California (Meister et al., 2004). En el mes de octubre del 2000, se sembró la variedad Highline con una densidad de 34 kg ha^{-1} de semilla, en melgas de 31 m de ancho y 381 m de largo. La fuente de fertilización para nitrógeno y fósforo fue de P_2O_5 (11-52-0), del cual se realizó una sola aplicación en presembrado, a razón de 560

kg ha^{-1} , lo que equivale a 61.6 kg de N y 291 kg de fósforo. No se realizaron aplicaciones posteriores durante todo el ciclo de producción del cultivo de acuerdo a recomendaciones de Meister et al. (2004).

Figura 1. Esquema de melgas regadas en suelos arcillosos.



La programación del riego fue definida por el productor, de acuerdo a su programa de corte y manejo del cultivo. En ambas partes se aplicaron las mismas prácticas de manejo aplicando los tres primeros riegos durante el establecimiento del cultivo, entre la época de siembra en octubre de 2000 y el primer corte en febrero de 2001. Posteriormente, a partir del cuarto riego, en 16 ha del lado norte se aplicó la técnica de riego común (MRC) que se utiliza en el Valle Imperial por los productores, con un escurrimiento superficial del 15-20% del agua aplicada a la parcela. Las otras 16 ha del lado sur fueron regadas utilizando el método mejorado de riego (MRM) para reducir la descarga de escurrimiento superficial a cerca de 5% del agua aplicada de acuerdo a Bali et al. (2001) y Grismer y Tod (1994). Ambos lados de los campos fueron regados en forma secuencial requiriéndose un promedio de 1.8 riegos por cor-

te. El método contempla que el agua almacenada en la superficie, es el producto de la profundidad promedio del agua y el área que esta cubre. Similarmen te el volumen que se almacena por debajo de la superficie es esencialmente el volumen de las grietas del suelo (Figura 1).

El caudal y la calidad del agua entregada proveniente del Río Colorado, fueron medidos en cada riego, evaluándose también, la calidad y la cantidad de agua considerada como escurrimiento superficial. Para medir los gastos (Q), fueron utilizados un medidor trapezoidal y uno de garganta larga, para medir el agua de entrada y salida respectivamente. Ambos medidores estaban provistos de una escala donde en forma visual podía medirse directamente el flujo de agua y además se les instaló un medidor digital con el cual se registraba en forma electrónica el gasto en cada medidor (Tabla 1). Para obtener el gasto de entrada para cada melga, el gasto por melga resultaba de dividir el flujo de agua que llegaba a la parcela entre el número de melgas que estaban regándose, esto se podía lograr ya que el canal de riego estaba revestido y contaba con compuertas individuales

en cada melga y estas se regulaban para que el gasto fuera igual para todas ellas.

El modelo se corrió en un programa de cómputo (Bali et al., 2001), que considera las aplicaciones prácticas del método descrito con anterioridad. El programa fue construido en unidades del Sistema Inglés y fue adaptado para utilizarse en el sistema Métrico Decimal, (Tabla 2).

Para determinar la distancia de corte se realizaron las siguientes prácticas, para el largo de la melga de 381 m.

1. Se colocó una estaca a 91 m desde la entrada del agua, a la melga.
2. Se puso una segunda estaca 183 m desde la entrada del agua.
3. Se colocó una tercera estaca a 305 m desde la entrada de agua.
4. Se tomó el tiempo que tarda el agua en llegar desde la primera a la segunda estaca (min).
5. Se utilizó el programa de riego para estimar la distancia de corte.
6. Se tomaba la tercera estaca como punto de referencia para cortar el agua.

Tabla 1. Instrumentos analíticos y métodos para medir el caudal de agua de entrada y salida de la parcela, sus rangos de operación y especificaciones.

Parámetro	Método	Unidades	Detección límite	Sensibilidad	Precisión	Exactitud
Agua entregada	Vertedor Trapezoidal	cfs	0 a 25	0.5 cfs	±4%	±10%
Agua de salida	Vertedor de garganta larga	cfs	0 a 9	0.2 cfs	±5%	±10

Tabla 2. Programa de riego en excel (Bali et al., 2001).

	A	B	C	D	E	F	G	H	
1	Archivo:	M RM							
2	Fecha de Riego:								
3	Parcela:								
4	M elga o grupo No.								
5	Características de campo:								
6		Longitud de M elga (m)				L=	381		
7		Ancho de M elga (m)				W =	31		
8		Pendiente m elga (m /m)				S=	0.002		
9		Coeficiente Rugosidad							
10		Coef.M adurez del cultivo				n=	0.031		
11		(n= .014-.017 Cult.Recien Plant.)							
12		(n= .017-.031 Cultivos M aduros)							
13	Datos de campo:								
14		G asto por m elga (lps)				Q=	113		
15		Tiem po de avance (m in)				t=	39		
16		D istancia de avance (m)				Lx=	91		
17	*****								
18	** Lrp=	Lam ina infiltrada prom edio estim ada				6.62	cm	**	
19	** Va=	Velocidad de Avance				2.3	m/min	**	
20	** T=	Tiem po estim ado de corte del riego				115	minutos	**	
21	****DEC=	D istancia estim ada de corte				269	m	**	
22	*****								
23									
24	W =	G7							
25	S=	G8							
26	n=	G10							
27	Q=	G14							
28	t=	G15							
29	Lx=	G16							
30	Va=	G16/G15							
31	Lrp=	$12 * (((G14/28.31) * G15 * 60) - (G16 * 3.28) * (G7 * 3.28) * (((G14/28.31) * G10) /$							
32		$(1.486 * (G7 * 3.28) * (G8^{0.5}))^{0.6}) / ((G16 * 3.28) * (G7 * 3.28)) * 2.54$							
33	T=	$((G6 * 3.28) * (G7 * 3.28) * (H18 / 2.54)) / ((G14 / 28.31) * 60 * 12)$							
34	DEC=	H19 * H20							
35									

Para obtener el tiempo de avance, se tomaban los tiempos en que el agua llegaba a la primera estaca y la segunda estaca, con la diferencia de estos tiempos, se obtenía t, con la diferencia de distancias entre la primera estaca y la segunda se obtenía Lx, con estos dos datos y con el gasto por melga Q, se alimentaba el modelo, el cual estima:

Rango de velocidad de avance ($m \cdot min^{-1}$), Profundidad de infiltración Promedio (cm), tiempo estimado de corte (min) y distancia estimada de corte (m). La distancia de corte se calculaba para regar el 100% del área de la melga (381 m), con un escurrimiento superficial al pie de la melga igual o menor del 5% del agua aplicada. El porcentaje

Tabla 3. Porcentaje de área regada estimada (CAL), por el modelo (Bali et al, 2001), y porcentaje de área regada observada (OBS), prueba χ^2 para determinar la bondad de ajuste de el área regada por riego.

Riego	fecha	*Dist. CAL	Longitud de la melga de riego de r OBS												Promedio		χ^2	P=		
			MELGAS												Distancia regada	% área regada				
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12						
4	15-03-01	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	100.0	0.19	0.00
5	18-04-01	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	100.0	0.19	0.00
6	02-05-01	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	100.0	0.19	0.00
7	21-05-01	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	100.0	0.19	0.00
8	03-06-01	381	381	381	330	381	381	381	381	381	370	381	381	381	376	376	376	98.6	7.14	0.21
9	21-06-01	381	381	381	381	381	381	381	381	381	350	381	381	356	376	376	376	98.8	4.16	0.04
10	16-07-01	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	330	377	377	377	98.9	0.19	0.00
11	30-07-01	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	100.0	0.19	0.00
12	21-08-01	381	381	381	381	381	381	381	381	381	340	381	381	356	376	376	376	98.6	6.05	0.13
13	12-09-01	381	381	340	381	381	381	381	380	381	381	381	360	370	375	375	375	98.4	5.89	0.12
14	03-10-01	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	100.0	0.19	0.00
15	20-10-01	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	100.0	0.19	0.00
16	18-11-01	381	360	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	379	379	379	99.5	0.19	0.00
17	14-01-02	381	381	381	381	381	350	381	381	381	381	381	360	380	377	377	377	98.8	3.68	0.02
18	15-03-02	381	360	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	379	379	379	99.5	0.19	0.00
19	14-04-02	381	381	381	381	381	381	381	381	381	365	365	365	381	377	377	377	99.0	2.02	0.00
20	05-05-02	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	100.0	0.19	0.00
21	03-06-02	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	100.0	0.19	0.00
22	18-06-02	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	100.0	0.19	0.00
23	07-07-02	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	100.0	0.19	0.00
24	19-07-02	381	381	381	330	381	381	381	381	381	380	381	381	381	377	377	377	98.9	6.83	0.19
25	03-08-02	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	100.0	0.19	0.00
26	20-08-02	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	100.0	0.19	0.00
27	11-09-02	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	100.0	0.19	0.00
28	01-10-02	381	381	381	350	381	381	381	381	381	381	381	381	360	377	377	377	98.9	3.68	0.02
29	31-10-02	381	381	350	381	360	381	381	381	381	381	381	381	381	377	377	377	98.9	3.68	0.02
30	30-11-02	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	100.0	0.19	0.00
31	15-01-03	381	381	381	381	381	381	340	381	381	381	381	381	381	378	378	378	99.1	4.41	0.04
32	11-03-03	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	100.0	0.19	0.00
33	30-03-03	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	100.0	0.19	0.00
34	23-04-03	381	381	360	365	360	360	365	381	381	381	381	381	381	373	373	373	97.9	0.19	0.00
35	04-05-03	381	381	350	360	381	381	381	381	381	381	381	381	381	377	377	377	98.9	3.68	0.02
36	23-05-03	381	381	381	350	381	381	381	381	380	380	360	381	350	374	374	374	98.1	6.21	0.14
37	06-06-03	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	100.0	0.19	0.00
38	21-06-03	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	100.0	0.19	0.00
39	07-07-03	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	100.0	0.19	0.00
40	24-07-03	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	381	100.0	0.19	0.00
41	13-08-03	381	381	381	381	360	381	381	381	381	381	381	381	381	379	379	379	99.5	1.16	0.00
* La distancia de corte de riego calculada (CAL) fue para todos los riegos en base a cubrir toda la longitud de la melga de 381 m																Media=	99.5			

del área regada se obtenía midiendo después de cada riego la longitud de la melga que quedaba sin regar y por diferencia de la longitud total de la melga se obtenía la longitud regada y esta se expresaba por ciento.

Una vez que se estableció el cultivo, a partir del segundo corte de alfalfa, se evaluaron 22 cortes, de febrero de 2001 hasta agosto de 2003 (Tabla 5) contándose las pacas por cada melga, y seleccionándose una al azar la cual se pesaba, y se de-

terminaba la humedad. Posteriormente, se calculó el rendimiento de acuerdo con Putnam (2002) multiplicando el peso obtenido por el número de pacas por melga, expresándolo en kg ha^{-1} de heno al 10% de humedad.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Pruebas de riego

De acuerdo a la metodología propuesta por Bali et al. (2001), en cada riego se calcularon las distancias de corte de agua para regar el 100% del área de la melga con reducción de los escurrimientos, la eficiencia del método se media después del riego midiendo el porcentaje del área regada de 12 melgas evaluadas. En el caso de los riegos 8 ($P=0.21$) y 24 ($P=0.1$), no se logró regar la totalidad del área, debido, que para estos riegos, los gastos presentaron una variación en la entrega del 25%, lo que pudo afectar la predicción del modelo en la distancia de corte. Para los riegos 12 ($P=0.13$), 13 ($P=0.12$) y 36 ($P=0.14$), las melgas que no tuvieron escurrimiento superficial posiblemente, se debió a que alguna de las tomas no fue calibrada adecuadamente. Podemos concluir que de los 38 riegos estudiados 33 se logró el objetivo planteado, 3 riegos (12, 13, 14) estuvieron en la tendencia al logro y únicamente 2 (8 y 24) no se tuvo un resultado adecuado. Para los 38 riegos evaluados se tuvo el 99.5% de superficie regada promedio (Tabla 3). La distancia de corte promedio fue de 73.33%, esto es que el corte de agua a la mega se realizaba cuando el agua llegaba a los 279 m. Estos resultados son coincidentes con Bali

et al. (2001), Grismer y Bali (2001). Por lo anterior podemos asegurar que el modelo, predice adecuadamente la distancia del corte de riego.

Las laminas de riego aplicadas acumuladas fueron diferentes ($P=0.01$) para MRM y MRC (Tabla 4). Durante el periodo de estudio a partir del segundo corte del cultivo, al utilizar MRM se aplicó solo una lámina de 404 cm y en la parte donde se utilizó MRC se aplicaron 529 cm. Lo anterior representa una diferencia de 125 cm, obteniéndose un ahorro de agua de 22.22% al utilizar MRM. Lo anterior significa que para MRM se utilizó una lámina anual promedio de 154 cm y para MRC se utilizó una de 198 cm obteniéndose un ahorro de 44 cm de lámina de agua con MRM. Si esto lo comparamos con el promedio del Valle Imperial que es de 198 cm anuales, se concluye que los datos obtenidos con el MRC coinciden con el promedio regional, y que si utilizáramos MRM en toda la superficie sembrada con Alfalfa en el Valle Imperial, se podría obtener un ahorro de agua de $351 \times 10^6 \text{ m}^3$ anuales, que podrían utilizarse en otras aplicaciones.

Las producciones de alfalfa henificada, obtenidas en ambos lados de la parcela MRM y MRC fueron iguales ($P=0.60$) en los 22 cortes (Tabla 4), a pesar de que hubo una reducción significativa de los escurrimientos superficiales para MRM y descarga de fosfatos a los drenes (Tabla 5). El rendimiento promedio anual para MRM fue de 17.49 t ha^{-1} y para MRC de 18.57 t ha^{-1} , comparado con el promedio del Valle imperial de 16.84 t ha^{-1} , tenemos que las dos metodologías de rie-

Tabla 4. Calendario de corte de alfalfa, número de riegos por corte, lamina de riego en cm utilizada entre cada corte, rendimientos de alfalfa en toneladas por hectárea (ton/ha) por corte e índice de eficiencia de riego por corte ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)

Corte No.	Fecha de Corte	No. riegos por corte	Lr	Lr	Rend. 10% humedad		IEU	IEU
			MRM cm	MRC cm	MRM $\text{ton}\cdot\text{ha}^{-1}$	MRC $\text{ton}\cdot\text{ha}^{-1}$	MRM $\text{kg}\cdot\text{m}^3$	MRC $\text{kg}\cdot\text{m}^3$
no evaluado 1	23-02-01	3	38.10	38.10	2.40	2.40	0.63	0.63
2	10-04-01	1	7.73	10.54	2.71	3.33	3.50	3.16
3	15-05-01	2	20.45	22.59	3.62	3.93	1.77	1.74
4	11-06-01	2	21.27	23.52	3.22	3.34	1.51	1.42
5	11-07-01	1	10.97	11.78	2.55	2.67	2.33	2.27
6	14-08-01	2	23.48	29.88	2.95	2.81	1.26	0.94
7	22-09-01	2	23.80	28.67	1.88	2.12	0.79	0.74
8	06-11-01	2	23.45	27.74	1.62	1.78	0.69	0.64
9	11-01-02	1	8.99	10.81	1.04	0.94	1.16	0.87
10	11-03-02	1	10.17	14.25	1.93	2.41	1.90	1.69
11	28-04-02	2	22.24	27.85	2.02	2.51	0.91	0.90
12	28-05-02	1	10.63	13.91	2.55	2.73	2.40	1.96
13	29-06-02	2	23.55	27.12	3.33	3.43	1.42	1.27
14	28-07-02	2	20.94	27.55	2.59	2.54	1.24	0.92
15	03-09-02	2	22.13	27.95	1.79	1.75	0.81	0.63
16	16-10-02	2	20.20	30.33	1.33	1.42	0.66	0.47
17	04-01-03	2	19.92	25.59	0.78	0.76	0.39	0.30
18	28-02-03	1	9.34	12.55	1.45	1.54	1.55	1.22
19	13-04-03	2	20.10	23.04	1.94	1.93	0.96	0.84
20	14-05-03	2	17.90	31.28	1.98	2.42	1.10	0.77
21	15-06-03	2	20.71	31.81	3.49	3.68	1.68	1.16
22	18-07-03	2	22.82	31.59	3.02	2.76	1.32	0.87
23	25-08-03	2	23.22	38.23	0.80	0.85	0.35	0.22
PROMEDIO		1.8	18.36	24.03	2.21	2.35		
SUMA			404	529	48.59	51.66		
PROMEDIO ANUAL			154	198	17.495	18.567	1.20 ^a	0.98 ^b
Agua ahorrada			44.00	cm				
Agua ahorrada			22.22	%				
Aumento IEU			23.07	%				

^a Superscriptos con la misma letra son iguales ($P>.10$)

go fueron superiores a la media regional. Por lo anterior, podemos concluir, que la producción de alfalfa no fue afectada al utilizar la práctica de riego mejorada.

CONCLUSIONES

El uso del método mejorado de riego dio lugar a una reducción significativa en la cantidad de agua utilizada. En este trabajo, la metodología utiliza-

Tabla 5. Porcentaje de agua de escurrimientos superficiales con respecto al gasto de entrada. Carga total de sedimentos por ha (kg/Riego), carga total de fósforo por riego por ha (kg/Riego) y el promedio de CE.

Parámetro	MRM	MRC
% de agua de la salida Con respecto a la aplicada	5.89 ^a	17.36 ^b
Carga total del sedimento en el agua de salida kg/riego	9.84 ^a	34.63 ^b
PO ₄ ⁻³ Total carga kg/riego	0.144 ^a	0.508 ^b
CE dS m ⁻¹	1.20 ^a	1.18 ^a

^a por renglón, valores con la misma letra, estadísticamente son iguales (p>0.10).

da para reducir los escurrimientos superficiales, no tuvo efectos significativos en la producción de alfalfa henificada. Todos estos datos concuerdan con el trabajo realizado por Bali et al 2001, por lo que se puede concluir que esta metodología puede ser aplicada a parcelas comerciales del Valle Imperial.

BIBLIOGRAFÍA

- Agricultural Commissioners. 2003. California Agricultural Statics Service. Summary of county Reports Imperial County. www.ucce.ucdavis.edu/counties/commun/countyagreports.pgl
- Bali, K. M. 2002. Reduced Pollution with Proper Fertilizer Timing. University of California. Agriculture & Natural Resources. Cooperative Extension, Imperial County. <http://ucanr.prg/delivers>. Febrero 12 de 2007.
- Bali, K. M., Grismer M. E., and I. C. Tod. 2001. Reduced-Runoff Irrigation of Alfalfa in Imperial Valley, California. American Society of Civil Engineers, Journal of Irrig. & Drain. Engr. Vol. 127, No. 3, 123-130.
- Bali, K. M., Escoboza, L.F., Guerrero, J. N., Stutes, M. D., and Dos Santos, A. 2002. Reduction of Sediment and Phosphorous Losses Through the Application of Polyacrylamide in Surface Irrigated Vegetable Crops.
- Elliot, R.L. and W.R. Walker. 1982. Field evaluation of furrow infiltration and advance functions. TRANSACTIONS of ASAE. 25(2):396-400.
- Grismer M. E. and Bali, K. M. 2001. Reduced-Runoff Irrigation of Sudan Grass Hay, Imperial Valley, California. American Society of Civil Engineers, J. Irrig. & Drain. Engr. Vol. 127, No. 5, 319-323.
- Grismer, M. E. and I. C. Tod. 1994. Field evaluation helps calculate irrigation time for cracking clay soils. Cal. A. 48(4):33-36.
- Meister, H. K., Bali, K. M., Natwick, E. T., Turini, T., and Guerrero, J. N. 2004. Guidelines

to production, costs and practices for Imperial County-Field crops. UCCE_Imperial County Circular 104-F. <http://ceimperial.ucdavis.edu>.

Putnam, D. 2002. Prácticas Agronómicas y Calidad de Forraje en Alfalfa. VI Congreso Internacional de Ciencias Agrícolas. Mexicali, Baja California. México.

Román, C. J. 1990. Origen y Desarrollo de Dos Áreas de Riego. Colegio de La Frontera Norte. Tijuana, Baja California, México.