

DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE APLICACIÓN EN RIEGO POR GRAVEDAD

Juan Manuel Angeles Hernández^{1*}; Vertario Trejo Segura²; Helene Unland Weiss¹; María Dolores Olvera Salgado¹; Jorge Castillo González¹

¹Coordinación de Riego y Drenaje. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

²Distrito de Riego 011, Alto Río Lerma, Guanajuato. Comisión Nacional del Agua.
Paseo Cuauhnáhuac 8532. Col. Progreso, Jiutepec, Morelos.
C.P. 62550. México. Correo e: jangeles@tlaloc.imta.mx

Introducción

En México se estima que más del 90% de la superficie regada, principalmente en los distritos de riego, se utiliza el método de riego por gravedad. Rendón (2012) indica que durante el año agrícola 2006-2007 del volumen de agua extraído de las fuentes de abastecimiento de los distritos de riego para una superficie total de 2,840,000 ha de riego, de las cuales 2,570,000 ha se regaron por gravedad. De acuerdo con trabajos de evaluaciones realizadas por diferentes instituciones, este método de riego no es muy eficiente debido a pérdidas de agua por percolación profunda y escurrimiento superficial. Bolaños (2001) reporta que en mediciones de campo realizadas en Unidades de riego, para el cultivo de trigo estimó eficiencias de aplicación del 49 %, con una lámina de requerimiento de riego de 47.56 cm y una lámina aplicada de 97 cm. En otros trabajos de eficiencias de aplicación del agua de riego, Mejía (2002) cita a Melgarejo (1997) en donde reporta para cultivos de trigo, maíz y frijol, eficiencias de aplicación del 50 a 70 %, con una media del orden de 60 %. También cita a Palacios (1993) indicando que en el Distrito de riego 011 Alto Río Lerma, se hicieron mediciones de la eficiencia de aplicación y se encontró una media de 56% en cultivos del ciclo otoño-invierno.

Con este panorama del gran porcentaje de superficie agrícola regada con métodos de riego por gravedad parcelaria y sus bajas eficiencias de aplicación, el Gobierno Federal a través de la Comisión Nacional del Agua, ha implantado y le está dando seguimiento al Proyecto de Riego por Gravedad Tecnificado (RIGRAT), teniendo como uno de los principales objetivos el hacer un uso más racional del agua de riego en las parcelas e incrementar la eficiencia de riego a nivel parcelario, y sobretodo, generar una cultura de ahorro del agua.

La información que se maneja sobre la eficiencia en el uso del agua de riego por gravedad a nivel de parcela, como se reporta en diversos documentos, indican valores de eficiencia de aplicación del 40 al 50 % y en el mejor de los casos en sistemas tecnificados del 60 y hasta del 70%; sin embargo, estos datos reportados dependen principalmente de las condiciones de tecnificación de cada sistema de riego. En este sentido, es importante conocer con mayor precisión la eficiencia de aplicación del agua de riego a nivel de la parcela y en el marco del RIGRAT, determinando los requerimientos de riego de los cultivos y la realización de aforos volumétricos parcelarios durante los ciclos otoño-invierno de los años agrícolas 2014-2015 y 2015-2016 en una superficie de riego

de 7,075.6 ha que benefician a 2,023 usuarios de riego de siete Asociaciones Civiles de Usuarios de Riego del Distrito de Riego 011, Alto Río Lerma, Guanajuato, y a partir de ello disponer de información para determinar la eficiencia de aplicación del riego por gravedad.

Objetivo

Determinar la eficiencia de aplicación del riego por gravedad, a través de la estimación del requerimiento de riego de los cultivos y de la medición de la lámina de riego obtenida de aforos volumétricos en parcelas del Distrito de Riego 011 Alto Río Lerma, Guanajuato.

Materiales y métodos

Los trabajos se realizaron en el área de riego perteneciente al Distrito de riego 011 Alto Río Lerma, Guanajuato, en los siguientes municipios: Salvatierra, Jaral del Progreso, Valle de Santiago, Cortázar, Salamanca, Irapuato y Abasolo. Los principales cultivos del ciclo OI de este distrito de riego son trigo, cebada, avena, tomate de cáscara, garbanzo, lechuga, cebolla, chícharo, frijol, zanahoria, maíz elote y brócoli, en el período de diciembre a mayo.

Requerimiento de riego de los cultivos

La información climatológica utilizada para el cálculo del requerimiento de riego de los principales cultivos del ciclo OI de los años agrícolas 2014-2015 y 2015-2016 del área de estudio corresponde a datos promedios mensuales obtenidos de la red de estaciones agroclimáticas automatizadas del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP). Las estaciones agroclimáticas utilizadas y su ubicación geográfica se presenta a continuación: (a) El Fuerte, ubicada en el municipio de Salamanca, a 1,716 msnm, latitud norte 20°37'26.4" y longitud oeste 101°12'28.3; (b) Las Estacas, ubicada en el municipio de Valle de Santiago, a 1,711 msnm, latitud norte 20°26'14.1" y longitud oeste 101°21'14"; (c) Los Tecolotes, ubicada en el municipio de Apaseo el Alto, a 1,971 msnm, latitud norte 20°26'01.1" y longitud oeste 100°36'01.9"; (d) San Antonio, ubicada en el municipio de Jerécuaro, a 1,989 msnm, latitud norte 20°17'57.5" y longitud oeste 100°34'15.8". Los datos registrados para los períodos de

diciembre de 2014 a mayo de 2015 y de diciembre de 2015 a mayo de 2016.

En la tabla 1 se presentan los datos de temperatura (máxima, mínima y media), velocidad del viento, radiación solar,

humedad relativa y precipitación. También se muestra el valor de la evapotranspiración de referencia, calculada con el método de Penman–Monteith (FAO, 1990,) para el ciclo otoño-invierno de los años agrícolas 2014-2015 y 2015-2016.

Tabla 1. Datos del clima, y evapotranspiración de referencia calculada, para el ciclo OI de los años agrícolas 2014-2015 y 2015-2016.

Mes	Temperatura (°C).			Velocidad del Viento (km hr ⁻¹)	Radiación (W m ⁻²)	Humedad relativa (%)	Precipitación (mm/mes)	(ET ₀) (mm/mes)
	Máx.	Mín.	Media					
2014								
Diciembre	24.1	6.71	18.45	3.12	335.01	59.77	6.2	79.2
2015								
Enero	23.79	6.32	14.55	4.35	397.98	55.42	6.8	96.4
Febrero	24.64	6.64	15.38	4.6	470.15	52.69	10.2	109.9
Marzo	24.89	8.74	16.5	4.06	491.32	62.15	129.2	129.6
Abril	28.97	10.75	19.67	2.85	554.75	53.63	13	153.6
Mayo	28.87	13.42	20.63	2.18	556.49	59.19	67.28	166.3
Dic.	23.68	7.38	15.06	2.19	412.45	62.93	6.30	87.43
2016								
Enero	22.09	5.65	13.53	2.32	413.63	54.30	1.60	91.60
Febrero	24.68	5.21	14.62	3.23	495.16	41.53	0.07	113.00
Marzo	26.10	9.48	17.76	3.68	535.25	45.61	26.47	133.37
Abril	29.83	14.83	22.38	3.57	560.36	30.93	2.00	146.70

ET₀ Evapotranspiración de referencia

Para calcular la Evapotranspiración real del cultivo (ET_r) (Allen *et al.*, 1998), se multiplicó la ET₀ por el coeficiente del cultivo (K_c), adimensional.

$$ET_r = ET_0 \times K_c \dots\dots\dots(1)$$

donde:

ET_r es la evapotranspiración real del cultivo (mm mes⁻¹),

K_c es el coeficiente del cultivo en función de la etapa de su desarrollo.

Los valores promedio del coeficiente del cultivo se obtuvieron de (Allen *et al.*, 1998).

Para la determinación del Requerimiento de riego del cultivo se utilizó la ecuación 2 (Allen *et al.*, 1998):

$$RR_c = ET_r - Pe \quad (2)$$

donde:

RR_c es el requerimiento de riego del cultivo (mm mes⁻¹)

Pe es la precipitación efectiva en el período considerado.

Para el cálculo de la precipitación efectiva (Pe), para un intervalo de riego, se aplicó el método del Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos de América (Patwardhan *et al.*, 1990), utilizando el promedio de los datos

de precipitación total de la red de estaciones agroclimáticas automatizadas del INIFAP en el área de estudio.

Aforos volumétricos en parcela

Se realizaron aforos del flujo volumétrico a nivel de la parcela de las áreas de riego de siete Módulos de Riego: Salvatierra, Jaral del Progreso, Valle de Santiago, Cortázar, Salamanca, Irapuato y Abasolo, durante el ciclo OI 2014-2015 y 2015-2016. Los principales métodos de aforo utilizados por el personal técnico responsable del RIGRAT de estos Módulos de riego, fueron: el método de sección y velocidad utilizando el flotador y el molinete de copas, en ambos casos se determinaba la velocidad media del flujo y por separado se determinaba el área promedio de la sección hidráulica. También se utilizó el medidor tipo propela horizontal para determinar el gasto en la descarga de los hidrantes de riego (marca Geysler) y el FlowTracker (marca SonTek) para regaderas y canales (para gasto y velocidad), entre otros. Estas mediciones se realizaron en la entrada de la parcela durante la aplicación de los riegos al cultivo por parte del regador o en su caso por el usuario, la información registrada por parte del técnico entre otros datos fueron: nombre del productor, número de cuenta y subcuenta, superficie regada, cultivo, textura del suelo, fecha de inicio y duración del riego, el gasto promedio y la lámina de riego aplicada.

Eficiencia de aplicación

La eficiencia de aplicación expresada en la ecuación 3, considera la evapotranspiración real del cultivo y la precipitación efectiva, esto es, el requerimiento de riego de los cultivos, referida a la lámina de riego aplicada durante el ciclo del cultivo.

$$Ea = \frac{RRc}{LA} \times 100 \quad \dots \dots \dots (3)$$

Ea Es la eficiencia de aplicación (%),

RRc Es el requerimiento de riego del cultivo (mm)

LA Es la lámina de riego aplicada acumulada (mm).

Análisis y discusión de resultados*Requerimiento de riego del cultivo*

En la tabla 2 se presentan los datos de fecha de siembra, duración del ciclo, la evapotranspiración real del cultivo, la precipitación efectiva y el requerimiento de riego para los diferentes cultivos del ciclo OI 2014-2015 y 2015-2016; de siete Módulos de riego del D.R. 011 Alto Río Lerma, Guanajuato.

Tabla 2. Requerimiento de riego para los cultivos del ciclo OI 2014-2015 y OI 2015-2016 del D.R. 011 Alto Río Lerma, Guanajuato.

Cultivo	Fecha de siembra	Duración (días)	Evapotranspiración real del cultivo (mm)	Precipitación efectiva (mm)	Requerimiento de Riego (mm)
ciclo otoño-invierno 2014-2015					
Trigo	15 diciembre	150	529.5	150.0	380.7
Cebada	01 diciembre	120	360.5	113.5	272.2
Maíz elote	01 febrero	120	488.2	186.0	316.1
Frijol	01 febrero	90	400.8	154.5	251.3
Garbanzo	01 diciembre	120	348.4	113.5	250.8
Tomate (cáscara)	01 enero	90	304.3	113.8	190.5
Cebolla	01 diciembre	120	382.4	113.5	273.7
Zanahoria	01 diciembre	120	394.2	113.5	279.3
Avena	01 diciembre	140	448	126.8	321.3
Brócoli	01 diciembre	110	337.3	86.5	253.0
Lechuga	01 diciembre	70	182.2	7.2	174.9
Chícharo	01 diciembre	140	490.0	126.8	363.2
ciclo otoño-invierno 2015-2016					
Trigo	01 diciembre	150	520.3	35.4	484.8
Cebada	01 diciembre	120	380.8	32.7	347.4
Maíz elote	01 febrero	120	496.1	87.7	408.4
Frijol	01 febrero	90	345.9	29.2	318.2
Garbanzo	01 diciembre	120	370.2	32.7	336.8
Tomate (cáscara)	01 enero	90	323.1	27.3	295.8
Cebolla	01 noviembre	120	370.6	9.5	361.1
Zanahoria	01 noviembre	120	381.4	9.5	371.9
Avena	01 diciembre	140	471.8	34.0	437.8
Brócoli	01 diciembre	110	361.1	26.0	335.1
Lechuga	01 diciembre	70	191.7	7.8	183.9
Chícharo	01 diciembre	140	514.7	34.0	480.7

El requerimiento de riego fue de 341 mm y de 387.9 mm, en el ciclo OI de los años agrícolas 2014-2015 y 2015-2016, respectivamente. La diferencia de 46.9 mm; se asume, principalmente, a la presencia de diversas precipitaciones pluviales durante los meses de marzo y abril del ciclo OI

2014-2015; aportando una precipitación efectiva adicional de 96 mm comparada con el ciclo OI 2015-2016.

Lámina de riego acumulada

Para el cálculo de la lámina de riego acumulada, se consideró un total de 222 aforos realizados en una superficie dominada de 6,162 ha, con una lámina de riego media de 21.71 cm por riego para el ciclo OI 2014-2015. Y 497 aforos en una superficie dominada de 5,466 ha, con una lámina de riego media de 20.8 cm por riego para el ciclo OI 2015-2016.

La lámina de riego aplicada acumulada fue de 687.3 mm en el ciclo OI 2014-2015 y de 703.8 mm para el ciclo OI 2015-2016, la diferencia fue del 16.5 mm; estas láminas aplicadas responden de manera directa a los requerimientos de riego de cada ciclo, esto es, en el ciclo OI 2014-2015 se tuvo un menor requerimiento de riego, por lo tanto como era de esperarse su lámina de riego aplicada fue menor comparada a la del ciclo OI 2015-2016.

Eficiencia de aplicación

En las tablas 3 y 4 se presenta la información de la superficie establecida, el requerimiento de riego, la lámina de riego aplicada, el número de riegos, la lámina aplicada acumulada y la eficiencia de aplicación, toda esta información a nivel de cultivo, a nivel Módulo de riego y a nivel distrito de riego para los ciclos OI 2014-2015 y 2015-2016, respectivamente.

Los resultados de la eficiencia de aplicación obtenida para el ciclo OI 2014-2015 por Módulo de riego varían desde valores de 43.4% (Módulo Salvatierra) hasta valores de 64.4 % (Módulo Valle), como se muestra en la tabla 3; obteniéndose un promedio ponderado a nivel del distrito de riego de 50.5 %. Para el ciclo OI 2015-2016 (tabla 3) los valores varían desde 51.1 % (Módulo Salvatierra) hasta 68.8 % del Módulo de Riego de Irapuato; obteniéndose un promedio de 55.6 % a nivel del distrito de riego.

Tabla 3. Superficie establecida, requerimiento de riego, lámina aplicada, lamina aplicada acumulada, número de riegos aplicados y la eficiencia de aplicación por cultivo y por Módulo de riego del ciclo OI 2014-2015, del D.R. 011 Alto Río Lerma, Guanajuato.

Módulo de Riego/Cultivo	Superficie establecida (ha)	Requerimiento de riego (mm)	Lámina aplicada (mm)	Número de riegos	Lámina aplicada acumulada (mm)	Eficiencia aplicación (%)
Salvatierra	709.64	323.0	256.00	2.91	744.6	43.4
Trigo	357.08	380.7	256	3.06	783	48.6
Cebada	130.98	272.2	256	2.91	745	36.5
Maíz	63.21	316.1	256	2.24	573	55.1
Tomate de cáscara	48.96	190.5	256	3.43	878	21.7
Garbanzo	37.99	250.8	256	1.01	259	97.0
Frijol	39.48	251.3	256	3.75	960	26.2
Zanahoria	25.94	279.3	256	2.94	753	37.1
Cebolla	6.00	273.7	256	3.00	768	35.6
Jaral del Progreso	740.01	309.3	225.0	2.97	668.8	46.3
Cebada	461.30	272.2	225	3.00	675	40.3
Trigo	255.90	380.7	225	3.00	675	56.4
Garbanzo	14.40	250.8	225	1.00	225	111.5
Cebolla	8.41	273.7	225	4.00	900	30.4
Valle de Santiago	945.00	312.9	179.00	2.71	485.7	64.4
Cebada	581.15	272.2	179	2.70	483	56.3
Trigo	355.48	380.7	179	2.76	494	77.1
Garbanzo	7.93	250.8	179	1.60	286	87.6
Avena	0.44	321.3	179	3.00	537	59.8
Cortázar	850.81	336.1	194.00	3.89	754.6	44.5
Trigo	521.33	380.7	194	3.95	766	49.7
Cebada	286.01	272.2	194	3.77	731	37.2
Lechuga	27.09	174.9	194	4.00	776	22.5

Módulo de Riego/Cultivo	Superficie establecida (ha)	Requerimiento de riego (mm)	Lámina aplicada (mm)	Número de riegos	Lámina aplicada acumulada (mm)	Eficiencia aplicación (%)
Cebolla	6.79	273.7	194	4.00	776	35.3
Chícharo	4.35	363.2	194	4.00	776	46.8
Avena	2.10	321.3	194	3.00	582	55.2
Frijol	1.60	251.3	194	4.00	776	32.4
Garbanzo	1.54	250.8	194	4.00	776	32.3
Salamanca	985.00	363.8	245.40	2.86	702.1	51.8
Trigo	831.89	380.7	245.4	2.97	729	52.2
Cebada	153.11	272.2	245.4	2.27	557	48.9
Irapuato	975.85	366.5	220.30	3.09	681.6	53.8
Trigo	852.61	380.7	220.3	3.13	690	55.2
Cebada	116.78	272.2	220.3	2.89	637	42.8
Tomate de cáscara	6.46	190.5	220.3	2.00	441	43.2
Abasolo	955.00	361.5	207.60	3.80	789.2	45.8
Trigo	781.28	380.7	207.6	3.98	826	46.1
Cebada	162.89	272.2	207.6	3.00	623	43.7
Avena	10.83	321.3	207.6	3.00	623	51.6
Total	6,161.31	341.0	217.1	3.18	687.3	50.5

Se observa que en el ciclo OI 2014-2015 la baja eficiencia de aplicación del riego va acompañada de un requerimiento de riego menor, ya que durante los meses de marzo y abril del 2015 se presentaron diversas precipitaciones pluviales que disminuyeron el requerimiento de riego de los cultivos, pero

sin embargo, el productor continuó con la misma dinámica de aplicación de los riegos. Se sabe que si el riego ya está solicitado, el usuario "asegura" el nivel de humedad para su cultivo, aplicando el riego, aun cuando se presenten precipitaciones pluviales suficientes para cubrir el requerimiento de riego.

Tabla 4. Superficie establecida, requerimiento de riego, lámina aplicada, lamina aplicada acumulada, número de riegos aplicados y la eficiencia de aplicación por cultivo y por Módulo de riego del ciclo OI 2015-2016, del D.R. 011 Alto Río Lerma, Guanajuato.

Módulo de Riego/Cultivo	Superficie establecida (ha)	Requerimiento de riego (mm)	Lámina aplicada (mm)	Número de riegos	Lámina aplicada acumulada (mm)	Eficiencia aplicación (%)
Salvatierra	460.60	409.1	216.5	3.5	746.3	54.8
Trigo	218.00	484.4	200.0	4.1	810	59.8
Cebada	121.00	347.4	220.0	3.0	651	53.3
Avena	3.00	321.3	190.0	3.0	570	56.4
Zanahoria	35.70	371.9	260.0	3.2	832	44.7
Tomate de cáscara	23.60	295.8	210.0	3.8	800	37.0
Frijol	20.50	318.2	300.0	4.8	1437	22.1

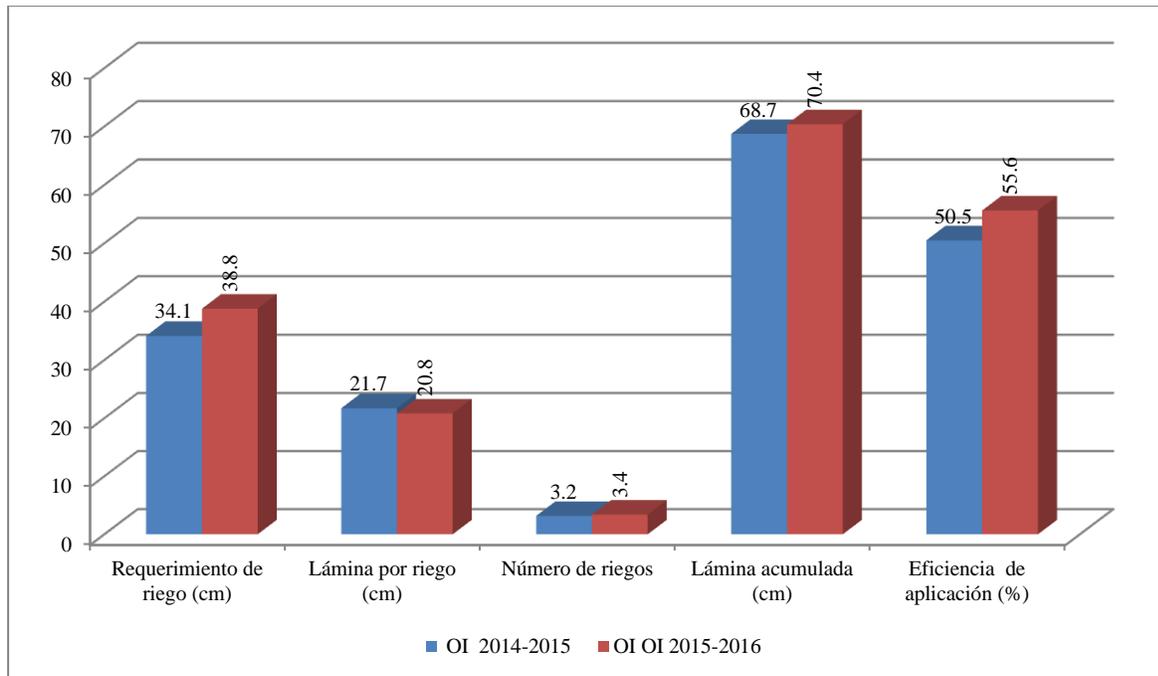
Módulo de Riego/Cultivo	Superficie establecida (ha)	Requerimiento de riego (mm)	Lámina aplicada (mm)	Número de riegos	Lámina aplicada acumulada (mm)	Eficiencia aplicación (%)
Garbanzo	38.80	336.8	220.0	1.0	222	151.6
Jaral del Progreso	752.82	354.2	215.3	3.0	651.1	54.4
Trigo	42.40	484.4	204	4.0	816	59.4
Cebada	677.80	347.4	216	3.0	648	53.6
Garbanzo	1.71	336.8	235	1.0	235	143.3
Frijol	19.31	318.2	208	2.0	416	76.5
Brócoli	11.60	335.1	227.6	3.0	683	49.1
Valle de Santiago	948.99	361.4	202.0	3.2	656.9	55.0
Trigo	97.66	484.4	216	3.9	847	57.2
Cebada	846.13	347.4	200	3.2	637	54.5
Frijol	3.3	318.2	212	2.0	424	75.0
Garbanzo	1.9	336.8	212	1.0	212	158.9
Cortázar	716.29	402.5	218.0	3.4	734.4	54.8
Trigo	308.93	484.4	213	3.9	830	58.4
Cebada	375.23	347.4	230	3.0	690	50.3
Cebolla	10.12	375.6	144	3.0	433	86.8
Garbanzo	3.00	336.8	274	1.0	274	122.9
Lechuga	19.01	183.9	97	3.0	291	63.2
Salamanca	914.37	398.2	239.8	3.3	779.8	51.1
Trigo	356.11	484.4	240.7	3.7	891	54.4
Cebada	551.64	347.4	239.2	3.0	718	48.4
Garbanzo	6.62	336.8	240	3	720	46.8
Irapuato	733.95	379.7	167.0	3.3	551.8	68.8
Trigo	222.71	484.4	168.0	4.0	672	72.1
Cebada	435.69	347.4	166.5	3.0	500	69.5
Frijol	10.07	318.2	166.5	3.0	500	63.7
Tomate de cáscara	26.95	295.8	166.5	3.0	500	59.2
Cebolla	6.25	375.6	166.5	3.0	500	75.2
Lechuga	32.28	183.9	166.5	3.0	500	36.8
Abasolo	939.34	416.3	198.5	4.0	794.0	52.4
Trigo	468.20	484.4	198.5	4.0	794	61.0
Cebada	464.38	347.4	198.5	4.0	794	43.8
Avena	6.76	437.8	198.5	4.0	794	55.1
Total	5,466.36	387.9	208.2	3.39	703.8	55.6

La lámina de riego acumulada aplicada a los cultivos establecidos en los ciclos OI 2014-2015 y 2015-2016, por Módulo de riego. Se observa que los Módulos de riego que

presentan menor lámina de riego acumulada durante los dos ciclos analizados son el Módulo Valle e Irapuato, y los de mayor lámina acumulada los Módulos de Abasolo, Salvatierra, Salamanca y Cortázar.

La eficiencia de aplicación a nivel de Módulo de riego, es mayor en el ciclo OI 2014-2015 se tuvo en el Módulo Valle de Santiago, los de más baja eficiencia los Módulos de Salvatierra, Cortázar y Abasolo. Para el ciclo OI 2015-2016 el Módulo Irapuato es el que presentó una eficiencia de aplicación mayor, y los de menor eficiencia los Módulos Salamanca y Abasolo.

En la Gráfica 1 se presenta un comparativo del requerimiento de riego, la lámina de riego por evento, el número de riegos promedio por Módulo de riego, lámina de riego acumulada y la eficiencia de aplicación promedio a nivel del distrito de riego 011 Alto Río Lerma, Guanajuato.



Gráfica 1. Requerimiento de riego (cm), lámina aplicada por riego (cm), Lámina acumulada (cm) y eficiencia de aplicación (%) ponderada para los cultivos establecidos en el ciclo OI 2014-2015 y 2015-2016, del Distrito de Riego 011 Alto Río Lerma, Guanajuato.

La lámina de riego aplicada por evento fue de 21.71 cm y de 20.82 cm para los ciclos OI 2014-2015 y 2015-2016, respectivamente, esto es del orden de 8.9 mm de lámina de agua por riego menor en el último ciclo OI, es decir, hubo una reducción en la lámina de riego aplicada por evento. Con respecto al número de riegos aplicados fue de 3.18 y de 3.39, y la lámina de riego acumulada de 68.73 cm y de 70.38 cm para los ciclos OI 2014-2015 y 2015-2016, respectivamente, siendo consistente el número de riegos y la lámina de riego acumulada con el requerimiento de riego de cada ciclo, esto es, el ciclo OI 2015-2016 presentó mayor requerimiento de riego y por lo tanto mayor número de riegos y una lámina de riego acumulada mayor. Los resultados sobresalientes son la lámina de riego acumulada con respecto al requerimiento de riego de los cultivos para cada uno de los dos ciclos OI 2014-2015 y 2015-2016; mientras que los requerimientos de riego son de 341 mm y 388 mm, las láminas acumuladas aplicadas fueron de 68.73 cm y de 70.38 cm; prácticamente lo doble de lo requerido.

Los valores de las eficiencias de aplicación a nivel distrito de riego fueron del 50.5 % y de 55.6 % para los ciclos OI 2014-2015 y 2015-2016, respectivamente.

Conclusiones

1. Se determinaron las eficiencias de aplicación del riego de los ciclos OI 2014-2015 y 2015-2016 con información de los requerimientos de riego de los cultivos y con las láminas de riego obtenidas a partir de aforos volumétricos realizados a nivel de parcela en siete Módulos de riego del Distrito de Riego 011 Alto Río Lerma, Guanajuato.
2. La eficiencia de aplicación obtenida a nivel del distrito de riego, con base en los requerimientos de riego calculados y en las láminas de riego aplicadas a nivel de parcela en los ciclos OI 2014-2015 y 2015-2016 fue del 50.5 % y del 55.6 %, respectivamente.
3. La eficiencia de aplicación del riego del 50.5% del ciclo OI 2014-2015 va acompañada de un requerimiento de riego de los cultivos de 34.1 cm, el cual es menor a la del ciclo OI 2015-2016, debido a que durante los meses de marzo y abril del 2015 se presentaron precipitaciones pluviales que disminuyeron el requerimiento de riego de los cultivos, sin embargo, el productor continuó con la misma dinámica de aplicación de los riegos.

Referencias bibliográficas

Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., Smith, M. 1998. Crop Evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements – FAO Irrigation and Drainage Paper 56. FAO. Roma, Italia.

Bolaños González M., Palacios Vélez E. Scott Christopher, Exebio García A. 2001. Estimación del volumen de agua usado en una zona de riego mediante una imagen de satélite e información complementaria. *Agrociencia*, vol. 35, núm. 6, noviembre-diciembre. Pp. 589-597. Colegio de Postgraduados. Texcoco, México.

FAO 1990. Expert consultation on revision of FAO methodologies for crop water requirements. FAO. Roma, Italia.

Mejía Saénz E., Palacios Vélez E., Exebio García A., Santos Hernández A. L. 2002. Problemas operativos en el manejo del agua en distritos de riego. *Revista Terra*, Volumen 20, Número 2. Universidad Autónoma Chapingo. México.

Melgarejo G., M. 1997. Evaluación del servicio de riego en el Módulo Salvatierra del DR 011, Alto Río Lerma, Guanajuato. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.

Palacios V. E. y Exebio G. A. 1993. Métodos de distribución y eficiencias en el uso del agua en los sistemas de riego. Diplomado uso eficiente del Agua y la energía. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.

Quiñones Pedroza H.E. 1997. Manual para diseño de zonas de riego pequeñas. Capítulo 1. Tecnificación del riego. Subcapítulo 1.2 Necesidades hídricas de los cultivos, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Jiutepec, Morelos. México.

Rendón Pimentel L., Saucedo H., Fuentes Ruíz C. 2012. Riego por gravedad. Capítulo 7. Diseño del riego por gravedad. Facultad de Ingeniería Universidad Autónoma de Querétaro.

Patwardhan, A. S., Nieber, J. L., Johns, E. L., 1990. Effective Rainfall Estimation Method. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. Vol. 116, No. 2. ASCE Paper No. 24519, pp. 182-193.