



III CONGRESO NACIONAL DE RIEGO Y DRENAJE COMIIR 2017

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

LA EFICIENCIA DE APLICACIÓN Y PRODUCTIVIDAD DEL AGUA EN LOS CULTIVOS DE TRIGO Y CEBADA EN EL D.R. 011 “ALTO RÍO LERMA”, GUANAJUATO

Juan Manuel Angeles Hernández¹; Vertario Trejo Segura²; Helene Unland Weiss¹; María Dolores Olvera Salgado¹; Manuel Carrillo Castillo²

¹Coordinación de Riego y Drenaje. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Paseo Cuahnáhuac 8532. Col. Progreso, Jiutepec, Morelos. C.P. 62550. México.

jangeles@tlaloc.imta.mx – 01 777 239 3600 ext. 214 (*Autor de correspondencia)

²Distrito de Riego 011 Alto Río Lerma, Gto. Comisión Nacional del Agua. Hacienda de Santiago No. 314, Col. Primera Fracción de Crespo, Celaya, Guanajuato. C.P. 38110. México.

Resumen

La importancia que tiene el agua para la producción agrícola hace que cualquier pequeña ganancia relativa en este sector signifique una ganancia importante para otros usos. La productividad del agua es clave para evaluar la eficiencia con la que se utiliza el agua para la producción de alimentos, ésta nos indica la cantidad o el valor del producto sobre el volumen o valor del agua consumida. En este trabajo y bajo el contexto del RIGRAT, en una superficies de 8 106 ha, de 2 412 productores agrícolas pertenecientes a ocho Asociaciones Civiles de Usuarios de Riego del Distrito de Riego 011, Alto Río Lerma, Guanajuato, durante el ciclo otoño invierno de los años agrícolas 2014-2015, 2015-2016 y 2016-2017 se determinaron, con el apoyo de los técnicos RIGRAT, las láminas de riego aplicadas a los cultivos de trigo y cebada, a través de la realización en campo de más de 1 370 aforos volumétricos parcelarios. Los resultados indican una eficiencia de aplicación para el cultivo de trigo de 57.2 %, 60 % y 63.2 %, para la cebada de 46.9 %, 52.7 % y 54.6 % para los ciclos OI de los años agrícolas 2014-2015, 2015-2016 y 2016-2017, respectivamente. La productividad del agua de riego para el trigo fue de 0.86 kg/m³, 0.82 kg/m³ y 0.89 kg/m³, para la cebada de 0.89 kg/m³, 0.93 kg/m³ y 1.02 kg/m³ para el ciclo OI de los años agrícolas 2014-2015, 2015-2016 y 2016-2017, respectivamente. Esta productividad del agua al depender su valor de la lámina de riego aplicada a los cultivos, en el caso de su estimación a gran escala como es el caso de los distritos de riego, su valor puede incrementarse de manera significativa cuando se presentan precipitaciones pluviales durante el ciclo del cultivo, sin embargo, el valor de la productividad es más sensible a la variación del rendimiento del cultivo.

Palabras claves adicionales: lámina de riego parcelaria, rendimiento del cultivo, requerimiento de riego, riego por gravedad tecnificado.



Introducción

Ante la situación actual de escasez y limitación del agua, es imperativo que la agricultura mejore la eficiencia del uso del recurso agua y garantice un incremento sustancial en la productividad de los cultivos. La escasez del agua representa la principal amenaza a la sostenibilidad de la producción de alimentos en muchas zonas del mundo, por lo que resulta muy importante implementar acciones para mejorar su eficiencia y productividad en los cultivos, al tiempo de reducir el impacto negativo sobre el medio ambiente. Para lograr este objetivo, la agricultura de temporal y de riego debe adoptar soluciones de gestión que se basen más en el conocimiento para incrementar la productividad y los ingresos de los agricultores, FAO (2014). Los principios básicos para mejorar la productividad del agua en el campo, a nivel de finca o parcela bajo condiciones de riego, son: i) incrementar los rendimientos de los cultivos por cada unidad de agua transpirada por este y; ii) reducir todas las pérdidas por escurrimiento y percolación en la parcela.

Los valores reportados de productividad del agua de riego son muy variados, dependiendo principalmente de la fuente de abastecimiento del agua. Por ejemplo, el agua extraída de fuentes subterráneas en donde la conducción del agua hasta la parcela generalmente es de una longitud mínima, se espera que la productividad del agua sea alta. Ríos *et al.* (2016), reporta que en trabajos de eficiencia y productividad del agua de riego realizados en Ensenada y en el Valle de Mexicali, en Baja California, México; la productividad del agua fue $3.11 \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$ (0.32 kg m^{-3}) en Ensenada y de $1.498 \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$ (0.67 kg m^{-3}) en el Valle de Mexicali. Un análisis internacional ha indicado que la máxima productividad alcanzable (para granos) en sistemas actuales, el cultivo de trigo probablemente sea alrededor de 2.2 kg/m^3 (Sadras & Angus, 2006). En el caso de la cebada, la eficiencia de la relación rendimiento-transpiración del cultivo (WPY/Tr), ha reportado valores de 1.2 a 1.4 kg/m^3 , FAO (2011).

En México, se estima que en 90% de la superficie regada principalmente en los distritos de riego, se utiliza el método de riego por gravedad, y 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, debido principalmente a las características intrínsecas a su forma de aplicación y que además en muchos casos se requiere humedecer la parte más alta del surco, acentuado todo esto generalmente a la falta de nivelación de tierras, longitudes de riego muy grandes, pequeños gastos por surco y ancho de tendida de riego muy grandes, o bien porque el regador no está al pendiente de la aplicación del riego. Con este panorama del gran porcentaje de superficies 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 implementado el 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. Sin embargo, para que los productores agrícolas vean y sientan un beneficio real en sus ingresos económicos, es necesario que los rendimientos de los cultivos se incrementen,



y sí esto se logra con el mismo o con menor volumen de agua; se estará incrementando también la productividad del agua de riego.

El Distrito de Riego 011 “Alto Río Lerma”, tiene un área dominada con infraestructura hidroagrícola de 116 930.4 ha y 25 686 usuarios; distribuido en 11 Módulos de Riego. El Módulo de Riego 01 Acámbaro tiene una área dominada de 8 440.4 ha y 1 975 usuarios; el Módulo de Riego 02 Salvatierra con una área de 16 303.5 ha y 6 028 usuarios; el 03 Jaral con 6 745.6 ha y 1 507 usuarios; el 04 Valle con 13 358.8 ha y 2 351 usuarios; el 05 Cortázar con 18 370.3 ha y 3 368 usuarios; el 06 Salamanca con 16 436.7 y 3 063 usuarios; el 07 Irapuato con 8 366.2 ha y 1 350 usuarios; el 08 Abasolo con 18 521.2 ha y 3 439 usuarios; el 09 Huanímaro con 3 859.3 ha y 1 039 usuarios; el 10 Corralejo con 1 575.2 ha y 342 usuarios; y finalmente el Módulo de Riego 011 La Purísima con 4 953.2 ha y 1 224 usuarios de riego.

En el marco del RIGRAT, con la realización de aforos volumétricos parcelarios para determinar la lámina de riego y el volumen de agua aplicada a los cultivos durante el ciclo otoño-invierno de los años agrícolas 2014-2015, 2015-2016 y 2016-2017 en una superficie de riego de 8 106 ha que benefician a 2 412 usuarios de riego de ocho Asociaciones Civiles de Usuarios de Riego del Distrito de Riego 011, Alto Río Lerma, Guanajuato, es posible determinar a gran escala la eficiencia de aplicación y la productividad del agua de riego de los principales cultivos como trigo y cebada, que representan para este distrito más del 90 % de la superficie cosechada durante el ciclo otoño invierno.

Por los costos asociados a los trabajos de campo, la mayoría de los trabajos sobre determinación de láminas de riego, de eficiencias de aplicación y de productividad del agua se concentran en la evaluación puntual de algunas parcelas sin considerar la importancia que tiene su determinación para grandes superficies. Existe una alta variabilidad en la determinación o estimación de las láminas de riego aplicadas para grandes zonas de riego debido por un lado a la alta variabilidad en el tipo de textura del suelo, al cultivo y fecha de siembra, al nivel de escala de la superficie considerada, que hace que los productores varíen el número de riegos aplicados a los cultivos, por otro lado, a la variación en los resultados de los aforos volumétricos realizados por el personal técnico de campo. Por lo cual son necesarios realizar estudios de campo a gran escala para tener elementos e indicadores técnicos del nivel de eficiencia en el uso y productividad del agua en la agricultura de riego. El objetivo del presente trabajo consiste en determinar la eficiencia de aplicación y la productividad del agua de riego por gravedad, en los cultivos de trigo y cebada del Distrito de Riego 011 “Alto Río Lerma”, Guanajuato.

Materiales y métodos

El trabajo se realizó en el Distrito de riego 011 Alto Río Lerma, Guanajuato. El clima en la región donde se ubica el área de estudio es templado sub-húmedo con lluvias en verano, con una precipitación media anual de 744.4 mm, temperatura media anual entre los 18 a 20 °C, un rango de heladas de 10 a 20 días, con ocurrencia de noviembre a febrero. Durante el periodo mayo a octubre se concentra aproximadamente 91.3% en



promedio de la precipitación total, aportando una cantidad considerable de agua al ciclo agrícola denominado segundos cultivos, el restante 8.7% de la precipitación se presenta en los meses de noviembre de abril, una cantidad mínima aportada por la lluvia a los cultivos del ciclo otoño-invierno.

El área de influencia de este trabajo son 2 412 parcelas, distribuidas en zonas compactas de 8 de los 11 módulos de riego que conforman este distrito, los módulos participantes son: Acámbaro, Salvatierra, Jaral del Progreso, Valle de Santiago, Cortázar, Salamanca, Irapuato y Abasolo. Los cultivos del ciclo otoño-invierno (OI) de este distrito de riego son trigo, cebada, avena, tomate de cáscara, garbanzo, lechuga, cebolla, chícharo, frijol, zanahoria, maíz elote y brócoli. Los dos principales cultivos del ciclo OI de este distrito de riego son trigo y cebada. La superficie promedio anual sembrada de estos cultivos en este ciclo en el período de 1997 a 2012 fue de 54 379 ha (trigo con 27 420 ha y cebada con 26 959 ha) de una superficie total sembrada en este período de 61,845 ha, representando un 88 % entre estos dos cultivos. En este mismo periodo el rendimiento promedio de trigo y cebada fue 6.5 ton/ha y 6.1 ton/ha, respectivamente.

Requerimiento de riego de los cultivos

Los datos de clima utilizados para el cálculo del requerimiento de riego de los cultivos para el ciclo OI de los años agrícolas 2014-2015, 2015-2016 y 2016-2017 del Distrito de Riego 011 “Alto Río Lerma”, Guanajuato, corresponden a datos promedios mensuales obtenidos de la red de estaciones agroclimáticas automatizadas del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP), se consideraron las siguientes estaciones: *El Fuerte, Las Estacas, Los Tecolotes, y San Antonio*; con datos de diciembre de 2014 a mayo de 2015, de diciembre de 2015 a mayo de 2016 y de diciembre de 2017 a mayo de 2017.

La Evapotranspiración de referencia (ET_o) se determinó por el método de Penman–Monteith (FAO, 1990), se utilizaron los valores promedios mensuales de las siguientes variables climatológicas: temperatura mínima y máxima, humedad relativa, radiación solar y velocidad del viento. Para calcular la Evapotranspiración real (ET_r), se multiplicó la ET_o por el coeficiente del cultivo (K_c), adimensional.

$$ET_r = ET_o \times K_c \quad (1)$$

Para el cálculo de la precipitación efectiva (P_e) se aplicó el método del Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos de América (USSCS), utilizando el promedio de los datos de precipitación total de la red de estaciones agroclimáticas automatizadas del INIFAP.

En la tabla 1 se presentan los datos de clima como temperatura (máxima, mínima y media), velocidad del viento, radiación solar, humedad relativa, precipitación, y la precipitación efectiva calculada, así como la evapotranspiración de referencia; para el ciclo otoño invierno de los años agrícolas 2014/15, 2015/16 y 2016/17; considerada



para el área de influencia de ocho Módulos de riego del D.R. 011 “Alto Río Lerma”, Guanajuato.

Tabla 1. Datos de clima promedio considerados para el D.R.011 “Alto Río Lerma”, Gto., ciclos OI 2014/15, OI 2015/16 y OI 2016-2017.

Mes	Temperatura (°C).			Velocidad del Viento (km/hr)	Radiación (W/m ²)	Humedad relativa (%)	Precipitación efectiva (mm)	(ETo) (mm)
	Máxima	Mínima	Media					
2014								
Diciembre	24.1	6.71	18.45	3.12	335.01	59.77	2.5	79.2
2015								
Enero	23.79	6.32	14.55	4.35	397.98	55.42	4.4	96.4
Febrero	24.64	6.64	15.38	4.6	470.15	52.69	8.5	109.9
Marzo	24.89	8.74	16.5	4.06	491.32	62.15	101	129.6
Abril	28.97	10.75	19.67	2.85	554.75	53.63	16.6	153.6
Diciembre	23.68	7.38	15.06	2.19	412.45	62.93	6.20	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	0.10	113.00
Marzo	26.10	9.48	17.76	3.68	535.25	45.61	26.50	133.37
Abril	29.83	14.83	22.38	3.57	560.36	30.93	2.00	146.70
Diciembre	23.72	7.40	15.10	2.20	412.47	62.90	6.20	87.70
2017								
Enero	22.10	5.75	13.59	2.46	413.70	54.10	0.02	91.87
Febrero	24.73	5.36	14.69	3.27	495.35	42.1	2.2	112.83
Marzo	26.13	9.58	17.83	3.74	535.45	45.69	3.3	133.60
Abril	29.89	14.93	22.50	3.68	560.56	30.89	0	146.90

Tabla 2. Requerimiento de riego para los cultivos de los ciclos O-I 2014/15, OI 2015/16 OI 2016/17 del D.R. 011 “Alto Río Lerma”, Guanajuato.

Cultivo	Fecha de siembra	Duración	E To	E Tc	Precipitación efectiva	Requerimiento de Riego
		(días)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
Ciclo OI 2014-2015						
Trigo	01-dic	150	568.7	529.5	150.0	380.7
Cebada	01-dic	120	415.1	360.5	113.5	272.2
Ciclo OI 2015-2016						
Trigo	01-dic	150	572.1	520.3	35.4	484.8
Cebada	01-dic	120	425.4	380.8	32.7	347.4
Ciclo OI 2016-2017						
Trigo	01-dic	150	572.9	492.8	6.4	486.4
Cebada	01-dic	120	426.6	356.4	6.4	350.0



En la tabla 2 se presentan los datos de fecha de siembra, duración del ciclo, la evapotranspiración del cultivo (ETc), la precipitación efectiva y el requerimiento de riego para los cultivos de trigo y cebada del ciclo otoño invierno de los años agrícolas 2014-2015, 2015-2016 y 2016-2017 de los Módulos de riego participantes Rigratdel D.R. 011 “Alto Río Lerma”, Guanajuato.

Eficiencia de aplicación

La eficiencia de aplicación aquí expresada, considera las necesidades hídricas totales del cultivo y la precipitación efectiva presentada durante el período, esto es el requerimiento de riego de los cultivos, referido a la lámina de riego aplicada durante todo el ciclo del cultivo. Para su determinación se utilizó la siguiente ecuación:

$$Ea = \frac{\text{Requerimiento Riego}}{\text{Lámina aplicada}} \times 100 \quad (2)$$

Ea: es la eficiencia de aplicación (%), el requerimiento de riego del cultivo en milímetros, y la lámina aplicada acumulada en milímetros.

Aforos volumétricos en parcela

Para determinar la cantidad de agua aplicada a los cultivos, se realizaron aforos volumétricos a nivel de la parcela de áreas de riego compactas de ocho Módulos de Riego: Acámbaro, Salvatierra, Jaral del Progreso, Valle de Santiago, Cortázar, Salamanca, Irapuato y Abasolo, durante los ciclos OI 2014-2015, OI 2015-2016 y OI 2016-2017. Los principales métodos de aforo utilizados por el personal técnico del Rigrat de estos Módulos de riego, fueron: el método de sección y velocidad utilizando el flotador y el molinete de copas. También se utilizó el medidor tipo propela horizontal (marca Geysler) para determinar el gasto en la descarga de las válvulas de riego parcelarias, y el FlowTracker (marca SonTek) para regaderas y canales (para gasto y velocidad), entre otros. En la figura 1 se muestra el medidor de propela para válvulas de riego y el medidor digital de velocidad.



Figura 1. Medidor de gasto con Propela (izquierda), medidor digital de velocidad para válvula de riego parcelaria (derecha).



Las mediciones se realizaron en la entrada de la parcela durante la aplicación de los riegos al cultivo. En la tabla 3 se presenta el número de aforos, la superficie (hectáreas-riego), el gasto promedio utilizado y la lámina de riego aplicada; para los tres ciclos otoño invierno de los tres años agrícolas.

Tabla 3. Número de aforos, superficie dominada con los aforos, lámina de riego y gasto aforado por Módulo de riego durante el ciclo otoño invierno de los años agrícolas 2014-2015, 2015-2016 y 2016-2017 en el Distrito de Riego 011 “Alto Río Lerma”, Guanajuato.

	Acámbaro	Salvatierra	Jaral	Valle	Cortázar	Salamanca	Irapuato	Abasolo	Total ó Promedio
Ciclo OI 2014/15									
No. Aforos	33	110	35	6	10	18	16	27	255
Hectáreas-riego	105	363	120	23	33	60	52	90	846
Lámina (cm)	22.2	25.6	22.5	17.9	19.4	24.5	22	20.8	21.71
Gasto aforado (l/s)	50.5	43.4	47	86	47.5	80	50	49	56.7
Ciclo OI 2015/16									
No. Aforos	14	194	45	5	109	47	66	31	511
Hectáreas-riego	56	681	203	18	353	124	248	279	1,962
Lámina (cm)	20	21.65	21.5	20.2	21.8	23.98	16.7	19.85	20.8
Gasto aforado (l/s)	39.1	64.5	55.6	64	50.6	65.9	52.2	47.5	52.2
Ciclo OI 2016/17									
No. Aforos	8	183	41	63	69	52	101	87	604
Hectáreas-riego	11	611	139	281	265	180	421	203	2,111
Lámina (cm)	19.5	20.2	21.3	20.9	23.9	22.3	17.4	18.7	20.3
Gasto aforado (l/s)	51	42.9	68.1	62.6	46.4	73.2	52.5	43.3	52.1
Total-Promedio									
No. Aforos	55	487	121	74	188	117	183	145	1,370
Hectáreas-riego	172	1,655	462	322	651	364	721	572	4,919
Lámina (cm)	20.6	22.5	21.8	19.7	21.7	23.6	18.7	19.8	20.9
Gasto aforado (l/s)	46.9	50.3	56.9	70.9	48.2	73.0	51.6	46.6	53.7

Productividad del agua

Para determinar la productividad del agua de riego se utilizó la expresión (3), FAO, (2003).

$$\text{Productividad} = \frac{\text{Cantidad de producto}}{\text{Unidad de agua}} \times 100 \quad (3)$$

La productividad es la relación entre la unidad de resultado y la unidad de insumo. En este caso el término productividad del agua es usado exclusivamente para denotar la cantidad o el valor del producto sobre el volumen o valor del agua consumida. El valor del producto podría ser expresado en diferentes términos: biomasa, grano, dinero.

La cantidad de producto o el rendimiento de los cultivos de trigo y cebada se obtuvieron de manera directa por los Técnicos de campo para los ciclos OI de los años agrícolas



2014-2015, 2015-2016 y 2016-2017 en las oficinas de las Asociaciones Civiles de Usuarios de Riego del Distrito de Riego 011 Alto Río Lerma, Guanajuato, México.

Tabla 4. Superficie establecida, requerimiento de riego, lámina acumulada, eficiencia de aplicación, volumen utilizado a nivel de parcela, rendimiento del cultivo y productividad del agua para los cultivos de trigo y cebada por Módulo de riego, para el ciclo OI 2014-2015, del D.R. 011 “Alto Río Lerma”, Guanajuato.

Módulo de Riego/Cultivo	Superficie Sembrada (ha)	Requerimiento de riego (mm)	Lámina acumulada (mm)	Eficiencia de aplicación (%)	Volumen utilizado (millares de m ³)	Rendimiento cultivo (ton/ha)	Productividad del agua (kg/m ³)
Acámbaro	68.56	377.0	599.6	62.9	440.9	6.4	1.0
Trigo	66.24	380.70	651.8	58.4	431.7	6.4	0.98
Cebada	2.32	272.20	397.3	68.5	9.2	6.70	1.69
Salvatierra	488.06	351.6	581.7	60.4	2,876.6	4.9	0.8
Trigo	357.08	380.70	600.7	63.4	2,145.1	5.0	0.83
Cebada	130.98	272.20	558.4	48.7	731.4	4.5	0.81
Jaral	717.20	310.9	617.6	50.3	4,468.2	5.4	0.9
Trigo	255.90	380.70	623.0	61.1	1,594.3	6.0	0.96
Cebada	461.30	272.20	623.0	43.7	2,873.9	5.0	0.80
Valle	936.63	313.4	493.2	63.5	4,642.3	4.4	0.9
Trigo	355.48	380.70	503.1	75.7	1,788.3	4.2	0.84
Cebada	581.15	272.20	491.1	55.4	2,854.0	4.5	0.92
Cortázar	807.34	342.3	740.2	46.2	5,975.1	4.8	0.7
Trigo	521.33	380.70	750.8	50.7	3,914.3	4.7	0.63
Cebada	286.01	272.20	720.5	37.8	2,060.8	5.0	0.69
Salamanca	985.00	363.8	614.7	59.2	6,054.3	6.3	1.0
Trigo	831.89	380.70	627.4	60.7	5,218.9	6.5	1.04
Cebada	153.11	272.20	545.6	49.9	835.4	5.5	1.01
Irapuato	969.39	367.6	635.5	57.9	6,176.8	6.0	0.9
Trigo	852.61	380.70	645.3	59.0	5,501.8	6.0	0.93
Cebada	116.78	272.20	578.0	47.1	675.0	6.0	1.04
Abasolo	944.17	362.0	752.5	48.1	7,123.4	5.8	0.8
Trigo	781.28	380.70	790.8	48.1	6,178.7	5.6	0.71
Cebada	162.89	272.20	580.0	46.9	944.8	7.0	1.21
Total	5,916	346.0	638.2	54.2	37,757.5	5.4	0.87
Trigo	4,022	380.70	665.7	57.2	26,773.1	5.6	0.86
Cebada	1,895	272.20	579.8	46.9	10,984.5	5.1	0.89



Tabla 5. Superficie establecida, requerimiento de riego, lámina acumulada, eficiencia de aplicación, volumen utilizado a nivel de parcela, rendimiento del cultivo y productividad del agua para los cultivos de trigo y cebada por Módulo de riego, para el ciclo OI 2015-2016, del D.R. 011 “Alto Río Lerma”, Guanajuato.

Módulo de Riego/Cultivo	Superficie Sembrada (ha)	Requerimiento de riego (mm)	Lámina acumulada (mm)	Eficiencia de aplicación (%)	Volumen entregado (millares de m ³)	Rendimiento cultivo (ton/ha)	Productividad del agua (kg/m ³)
Acámbaro	69.31	406.7	507.3	80.2	351.6	6.3	1.32
Trigo	29.98	484.40	648	74.8	194.3	6.4	0.99
Cebada	39.33	347.40	400	86.9	157.3	6.3	1.58
Salvatierra	339.00	435.5	753.3	57.8	2,553.8	6.9	0.93
Trigo	218.00	484.40	810	59.8	1,765.8	6.8	0.84
Cebada	121.00	347.40	651	53.3	788.0	7.2	1.11
Jaral	720.20	355.5	657.9	54.0	4,738.1	6.1	0.92
Trigo	42.40	484.40	816	59.4	346.0	7.0	0.86
Cebada	677.80	347.40	648	53.6	4,392.1	6	0.93
Valle	943.79	361.6	658.7	54.9	6,216.4	4.9	0.76
Trigo	97.66	484.40	847	57.2	826.9	4.5	0.53
Cebada	846.13	347.40	637	54.5	5,389.5	5	0.78
Cortázar	684.16	409.3	753.2	54.3	5,153.0	7.0	0.93
Trigo	308.93	484.40	830	58.4	2,563.9	6.8	0.82
Cebada	375.23	347.40	690	50.3	2,589.1	7.1	1.03
Salamanca	907.75	401.1	785.5	51.1	7,130.0	5.2	0.67
Trigo	356.11	484.40	891	54.4	3,171.5	5.5	0.62
Cebada	551.64	347.40	718	48.4	3,958.6	5	0.70
Irapuato	658.40	393.7	557.8	70.6	3,672.9	6.5	1.19
Trigo	222.71	484.40	672	72.1	1,496.6	6.5	0.97
Cebada	435.69	347.40	500	69.5	2,176.3	6.5	1.30
Abasolo	932.58	416.2	794.0	52.4	7,404.7	7.4	0.93
Trigo	468.20	484.40	794	61.0	3,717.5	7.5	0.94
Cebada	464.38	347.40	794	43.8	3,687.2	7.3	0.92
Total	5,255	392.9	708.3	55.5	37,220.4	6.2	0.89
Trigo	1,744	484.4	807.5	60.0	14,082.4	6.6	0.82
Cebada	3,511	347.4	659.0	52.7	23,138.0	6.0	0.93



Tabla 6. Superficie establecida, requerimiento de riego, lámina acumulada, eficiencia de aplicación, volumen utilizado a nivel de parcela, rendimiento del cultivo y productividad del agua para los cultivos de trigo y cebada por Módulo de riego, para el ciclo OI 2016-2017, del D.R. 011 “Alto Río Lerma”, Guanajuato.

Módulo de Riego/Cultivo	Superficie Establecida (ha)	Requerimiento de riego (mm)	Lámina acumulada (mm)	Eficiencia Aplicación (%)	Volumen utilizado (millares m ³)	Rendimiento del cultivo (ton/ha)	Productividad del agua (kg/m ³)
Acámbaro	29.8	377.5	586.3	64.1	174.7	6.1	1.0
Trigo	6	486.4	651	74.7	39.1	6.7	1.03
Cebada	23.8	350	570	61.4	135.7	6	1.05
Salvatierra	279	401.3	672.2	59.6	1,875.4	7.0	1.1
Trigo	105	486.4	810	60	850.5	6.8	0.84
Cebada	174	350	589	59.4	1,024.9	7.2	1.22
Jaral	972	351.5	659.5	53.3	6,410.1	6.0	0.9
Trigo	11	486.4	876	55.5	96.4	7	0.8
Cebada	961	350	657	53.3	6,313.8	6	0.91
Valle	912.3	362.2	703.4	51.4	6,414.5	6.9	1.0
Trigo	81.3	486.4	902	53.9	733.0	6	0.67
Cebada	831	350	684	51.2	5,681.5	7	1.02
Cortázar	835	415.5	752.0	54.9	6,278.8	7.0	0.9
Trigo	401	486.4	819	59.4	3,284.2	6.8	0.83
Cebada	434	350	690	50.7	2,994.6	7.1	1.03
Salamanca	1174	399.7	712.9	55.9	8,371.0	6.3	0.9
Trigo	428	486.4	847	57.4	3,626.4	6	0.71
Cebada	746	350	636	55	4,744.6	6.5	1.02
Irapuato	559	397.8	578.3	68.9	3,232.9	6.0	1.1
Trigo	196	486.4	716	67.9	1,403.4	6	0.84
Cebada	363	350	504	69.4	1,829.5	6	1.19
Abasolo	919	462.7	707.3	65.4	6,500.1	7.5	1.1
Trigo	759	486.4	708	68.7	5,373.7	7.5	1.06
Cebada	160	350	704	49.7	1,126.4	7.3	1.04
Total	5,680.1	397.7	691.2	57.6	39,257.6	6.7	1.0
Trigo	1,987.3	486.4	775.3	63.2	15,406.7	6.8	0.89
Cebada	3,692.8	350	645.9	54.6	23,851.0	6.6	1.02

Análisis y discusión de resultados

En las tablas 4, 5 y 6 se presentan la información de superficie establecida, requerimiento de riego, lámina de riego acumulada, eficiencia de aplicación, volumen utilizado a nivel de parcela, rendimiento de los cultivos y la productividad del agua para los cultivos de trigo y cebada, se indica la información por Módulo de riego y el total por cultivo, para el ciclo otoño invierno 2014-2015, 2015-2016 y 2016-2017, respectivamente.



Eficiencia de aplicación y productividad del agua

La superficie establecida fue de 5 916 ha (68 % trigo y 32 % cebada), 5 255 ha (33.2 % trigo y 66.8 % cebada) y de 5 680 ha (35 % trigo y 65 % cebada), para el ciclo OI 2014-2015, 2015-2016 y 2016-2017, respectivamente. La superficie de trigo fue prácticamente 2/3 del total del ciclo OI 2014-2015, sin embargo para los años 2015-2016 y 2016-2017 esta cantidad de revirtió, siendo 2/3 para el cultivo de cebada y 1/3 para el cultivo de trigo; esto es muy importante indicarlo ya que el trigo requiere de 4 riegos y la cebada de 3 riegos.

El requerimiento de riego para el trigo fue de 380.7 mm, 484.8 mm y 486.4 mm, para la cebada de 272.2 mm, 347.4 mm y 350 mm para el ciclo OI de los años agrícolas 2014-2015, 2015-2016 y 2016-2017, respectivamente. En los dos últimos ciclos se incrementó el requerimiento de riego debido a que durante el ciclo OI 2014-2015, se presentaron precipitaciones pluviales, aportando una precipitación efectiva de 133 mm, 36.4 mm y 11.7 mm para el período de diciembre a abril del ciclo OI 2014-2015, 2015-2016 y 2016-2017, respectivamente. La lámina de riego acumulada para el trigo fue de 665.7 mm, 807.5 mm y 775.3 mm, para la cebada de 579.8 mm, 659 mm y 645.9 mm para el ciclo OI de los años agrícolas 2014-2015, 2015-2016 y 2016-2017, respectivamente.

En las figuras 2, 3 y 4 se presentan los principales resultados de la lámina de riego aplicada, la eficiencia de aplicación y la productividad del agua para los cultivos de trigo y cebada.

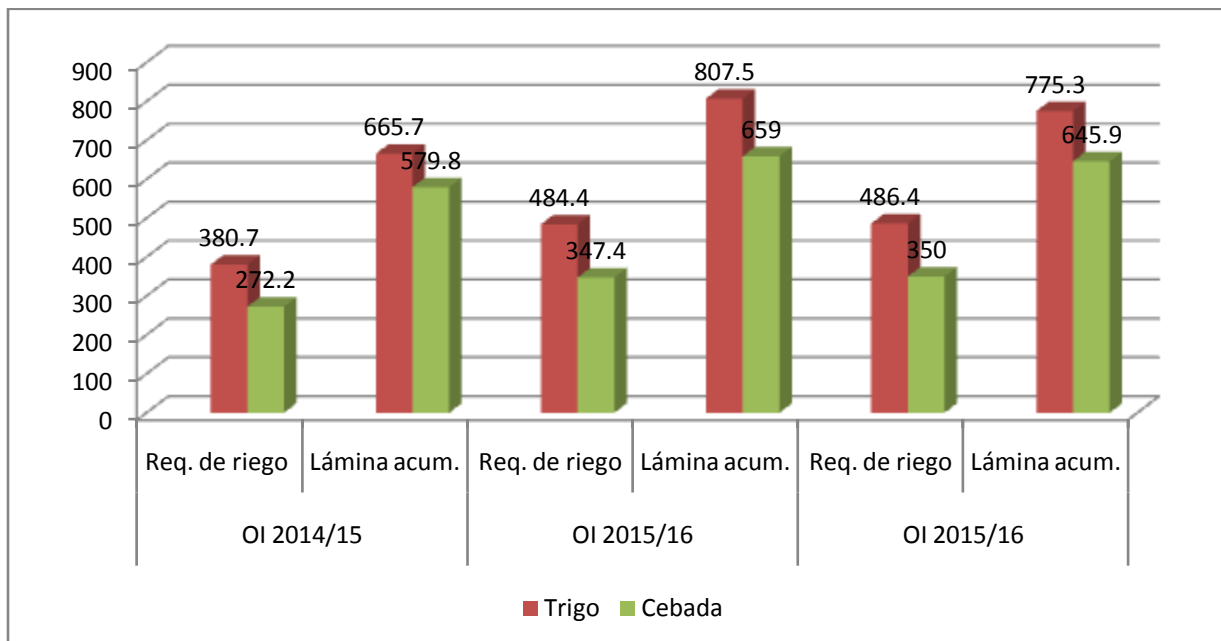


Figura 2. Lámina de riego acumulada (mm) y requerimiento de riego (mm) en cultivos de trigo y cebada en los ciclos OI 2014/15, 2015/16 y 2016/17 del D.R. 011 Alto Río Lerma, Guanajuato.

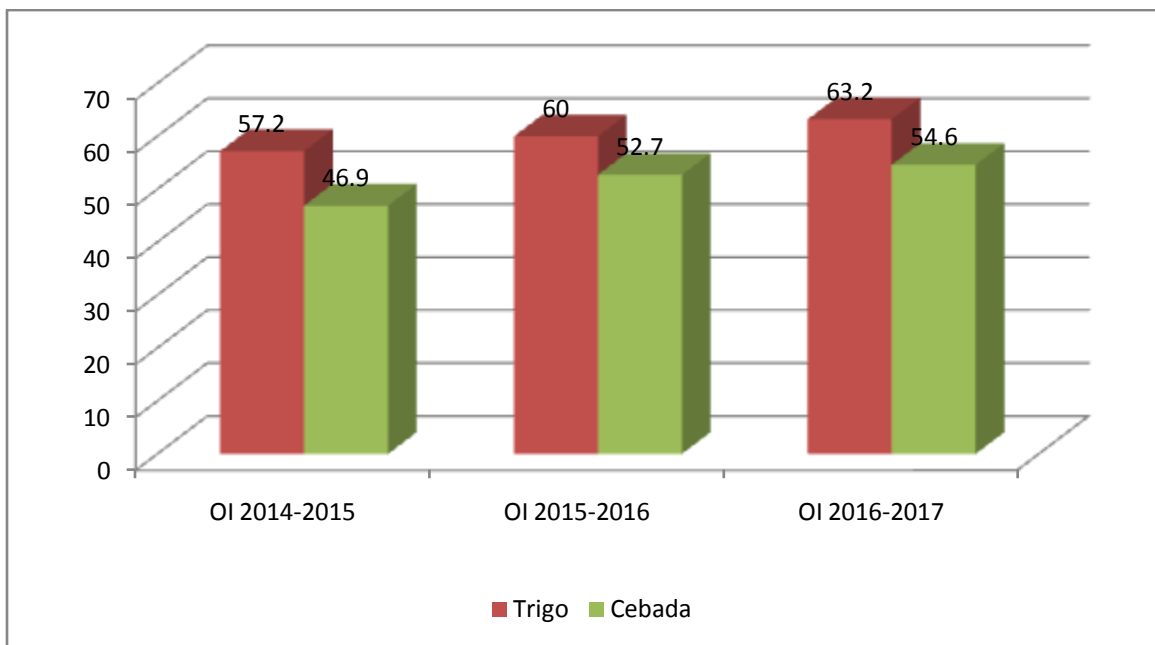


Figura 3. Eficiencia de aplicación (%) de los cultivos de trigo y cebada en los ciclos OI 2014/15, 2015/16 y 2016/17 del D.R. 011 Alto Río Lerma, Guanajuato.

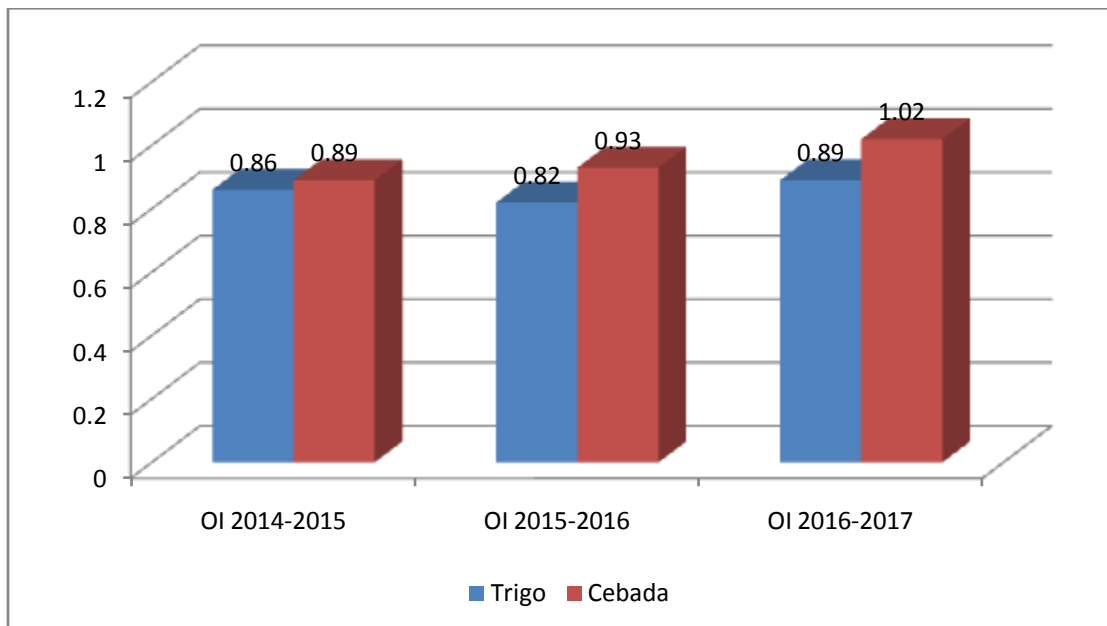


Figura 4. Productividad del Agua (Kg/cm³) de cultivos de trigo y cebada en los ciclos OI 2014/15, 2015/16 y 2016/17 del D.R. 011 Alto Río Lerma, Guanajuato.

La eficiencia de aplicación para el trigo fue de 57.2%, 60 % y 63.2 %, para la cebada de 46.9 %, 52.7 % y 54.6 % para el ciclo OI de los años agrícolas 2014-2015, 2015-2016 y 2016-2017, respectivamente. La eficiencia de aplicación del riego menor para el ciclo OI 2014/15 va acompañada de un requerimiento de riego también menor, 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, pero sin embargo, el productor continuó con la misma dinámica de aplicación de los riegos.



La productividad del agua de riego para el trigo fue de 0.86 kg/m^3 , 0.82 kg/m^3 y 0.89 kg/m^3 , para la cebada de 0.89 kg/m^3 , 0.93 kg/m^3 y 1.02 kg/m^3 para el ciclo OI de los años agrícolas 2014-2015, 2015-2016 y 2016-2017, respectivamente. El rendimiento del cultivo de trigo fue de 5.6 ton/ha, 6.6 ton/ha y 6.8 ton/ha, para la cebada de 5.1 ton/ha, 6.0 ton/ha y 6.6 ton/ha para el ciclo OI de los años agrícolas 2014-2015, 2015-2016 y 2016-2017, respectivamente.

Después de analizar los resultados de este diagnóstico de eficiencia de aplicación en tres ciclos otoño invierno, el cual es el ciclo más importante tanto por la superficie establecida como por el número de riegos que se aplican a los cultivos, se recomienda fortalecer las acciones de asistencia técnica al usuario en el trazo y manejo del riego por gravedad, impulsar las acciones de nivelación topográfica de las parcelas, y en el seguimiento de medición del agua de riego a nivel parcelario, principalmente. Para mejorar la productividad del agua a nivel de parcela, tiene que ver con la necesidad de incrementar los valores o los rendimientos de los cultivos y por el otro con reducir las pérdidas de agua durante la aplicación del riego, es decir, incrementar las eficiencias de riego.

Conclusiones

Se determinaron las eficiencias de aplicación del riego de los ciclos OI 2014-2015, 2015-2016 y 2016-2017 con información de los requerimientos de riego de los cultivos y de aforos volumétricos realizados a nivel de parcela para los cultivos de trigo y cebada en ocho Módulos de riego Rigrat del Distrito de Riego 011 "Alto Río Lerma", Guanajuato.

La eficiencia de aplicación para el cultivo de trigo fueron de 57.2 %, 60 % y 63.2 %, para la cebada de 46.9 %, 52.7 % y 54.6 % para los ciclos OI de los años agrícolas 2014-2015, 2015-2016 y 2016-2017, respectivamente.

La productividad del agua de riego para el trigo fue de 0.86 kg/m^3 , 0.82 kg/m^3 y 0.89 kg/m^3 , para la cebada de 0.89 kg/m^3 , 0.93 kg/m^3 y 1.02 kg/m^3 para el ciclo OI de los años agrícolas 2014-2015, 2015-2016 y 2016-2017, respectivamente. Esta productividad del agua al depender su valor de la lámina de riego aplicada a los cultivos, en el caso de su estimación a gran escala como es el caso de los distritos de riego, su valor puede incrementarse de manera significativa cuando se presentan precipitaciones pluviales durante el ciclo del cultivo, sin embargo, el valor de la productividad es más sensible a la variación del rendimiento del cultivo.

De los resultados de este diagnóstico de eficiencia de aplicación y productividad del agua de riego en tres años agrícolas del ciclo otoño invierno, nos permite ver el enorme potencial que existe al reducir las láminas de riego a los cultivos. Por lo que se recomienda fortalecer las acciones de asistencia técnica al usuario en el trazo y manejo del riego por gravedad, impulsar las acciones de nivelación topográfica de las parcelas, y el seguimiento en la medición del agua de riego a nivel parcelario.



Referencias bibliográficas

- 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.
- Comisión Nacional del Agua. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. 2017. Informe final del Proyecto RD1626. “Desarrollar los trabajos de coordinación, seguimiento y evaluación de la componente Riego por Gravedad Tecnificado, en una superficie de 8,000 hectáreas, en el Distrito de Riego 011 Alto Río Lerma, Guanajuato”. Jiutepec, Morelos, México.
- Comisión Nacional del Agua. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. 2016. Informe final del Proyecto RD1525. “Realizar el seguimiento y evaluación del Proyecto Riego por Gravedad Tecnificado en una superficie de 8 mil hectáreas en el Distrito de Riego 011 Alto Río Lerma, Guanajuato”. Jiutepec, Morelos, México.
- Comisión Nacional del Agua. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. 2015. Informe final del Proyecto RD1436. “Realizar la implantación, seguimiento y evaluación en 8,000 hectáreas que se incorporan al Proyecto Riego por Gravedad Tecnificado, en 2014, en el Distrito de Riego 011 Alto Río Lerma, Guanajuato”. Jiutepec, Morelos, México.
- FAO. 2011. Base de datos FAOSTAT en línea, disponible en el enlace <http://faostat.fao.org/>. Consultada en diciembre de 2011.
- FAO (2014). Respuesta del rendimiento de los cultivos al agua. Estudio de FAO: Riego y Drenaje 66. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Roma, Italia.
- FAO (1990). Expert consultation on revision of FAO methodologies for crop water requirements. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.. Roma, Italia.
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. 1997. Manual para diseño de zonas de riego pequeñas. Capítulo 1. Tecnificación del riego. Subcapítulo 1.2 Necesidades hídricas de los cultivos, y subcapítulo 1.3 Eficiencias de riego. Jiutepec, Morelos. México.
- 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.

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.

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. Jiutepec, Morelos. México. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

Ríos Flores, José Luis; Torres Moreno, Miriam; Ruiz Torres, José; Torres Moreno, Marco Antonio Eficiencia y productividad del agua de riego en trigo (*Triticum vulgare*) de Ensenada y Valle de Mexicali, Baja California, México Acta Universitaria, vol. 26, núm. 1, enero-febrero, 2016, pp. 20-29 Universidad de Guanajuato Guanajuato, México.

Sadras, V.O. y Angus, J.F. 2006. Benchmarking water-use efficiency of rainfed wheat in dry environments. Australian Journal Agricultural Research 57, 847-856.