



Universidad Autónoma de San Luis Potosí
Facultad de Ingeniería
Centro de Investigación y Estudios de Posgrado

**“Evaluación y propuesta de mejora en la eficiencia
del uso del agua en la zona de riego
Los Peroles, Rioverde, S.L.P. “**

Que para obtener el grado de:

Maestría en Tecnología y Gestión del Agua

Presenta:

I.C. Gerardo Hernández Tinajero

Asesor:

Dr. Rodolfo Cisneros Almazán

San Luis Potosí, S. L. P.

Febrero de 2017



ÍNDICE GENERAL

OFICIO DE APROBACIÓN DE TEMARIO DE TESIS	II
ÍNDICE DE CUADROS	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
DEDICATORIAS	X
AGRADECIMIENTOS	XI
INTRODUCCIÓN	1
El riego en México.....	3
Métodos de riego	4
Riego superficial	5
Riego por inundación.....	6
Riego por surcos.....	7
Localización de zona de estudio	8
Características de la subcuenca de aprovechamiento	9
Características agroclimáticas del área del proyecto.....	10
Requerimientos de riego.....	11
Evaluación del riego.....	12
Justificación	16
Objetivo general.....	16
Objetivos específicos.....	16
1 DIAGNÓSTICO DE LA ZONA DE RIEGO LOS PEROLES DEL EJIDO SAN FRANCISCO, RIOVERDE, S.L.P.....	17
1.1 Infraestructura	17
1.1.1 Fuente de abastecimiento	18
1.1.2 Canal principal.....	19
1.1.3 Canales secundarios y terciarios (acequias)	21
1.1.4 Sistema de compuertas	24
1.2 Principales cultivos de la zona de riego	26
1.3 Usos y costumbres de regadores.....	30
1.4 Estudio edafológico	30
1.4.1 Muestreo de suelos	30

1.4.2	Características físicas y químicas de los suelos irrigados	31
1.5	Medición hidrométrica de uso para riego	37
1.5.1	Descripción del equipo utilizado	37
1.5.2	Resultados hidrométricos obtenidos.....	38
1.5.3	Eficiencia de conducción del canal principal (Efc)	40
1.6	Calidad del agua para riego	41
2	DETERMINACIÓN DE LAS NECESIDADES HÍDRICAS DE LOS PRINCIPALES CULTIVOS.....	42
2.1	Determinación del requerimiento de riego de los cultivos con el programa CROPWAT 8.0.....	42
2.1.1	Cálculo de la evapotranspiración de referencia	42
2.1.2	Precipitación efectiva.....	44
2.1.3	Datos del cultivo y fecha de siembra	45
2.1.4	Parámetros del suelo.....	47
2.1.5	Requerimiento de riego de cultivos.....	48
2.1.6	Programación del riego.....	54
3	DETERMINACIÓN DE LAS EFICIENCIAS DE APLICACIÓN DEL RIEGO EN PARCELAS	59
4.1	El programa EvaGrav como una herramienta para la evaluación de la eficiencia de riego	60
4.1.1	Descripción del programa EVAGRAV 2.0©.....	61
4.2	Realización de pruebas de avance-recesión del riego	63
4.3	Determinación del volumen de agua a la entrada de las parcelas	64
4.4	Obtención de la pendiente media de las parcelas a evaluar	65
4.5	Resultados de la evaluación de las eficiencias de riego	66
4.5.1	Realización de primera prueba de riego	66
4.5.2	Realización de segunda prueba de riego	67
4	DETERMINACIÓN DEL CAUDAL REQUERIDO PARA LA ADECUADA DISTRIBUCIÓN ENTRE TOMAS PARCELARIAS.....	70
4.1	Determinación de la superficie irrigada por toma lateral sobre el canal principal	70
4.2	Cálculo del volumen de agua requerido por toma lateral	73
	CONCLUSIONES.....	75

RECOMENDACIONES	77
ANEXOS	79
A. Censo realizado por el comité de usuarios de la zona de riego Los Peroles en el ejido San Francisco, Rioverde, S.L.P.....	79
B. Delimitación de las parcelas al interior del ejido San Francisco, Rioverde, S.L.P. (INEGI, 2005)	104
B1. Plano 1/8	104
B2. Plano 3/8	105
B3. Plano 6/8	106
B4. Plano 7/8	107
C. Ubicación de tomas laterales sobre canal principal	108
C1. Plano 1/4	108
C2. Plano 2/4	109
C3. Plano 3/4	110
C4. Plano 4/4	111
D. Levantamiento topográfico en parcelas donde se realizó la evaluación del riego. 112	
REFERENCIAS.....	113

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1	Factores Climáticos para determinar la necesidad de riego de la superficie en México.	2
Cuadro 2	Clasificación de los métodos de riego.	5
Cuadro 3	Datos climáticos de la estación San Francisco, para el periodo 1961-2010.	11
Cuadro 4	Superficie aprovechable de los principales cultivos de la zona de riego Los Peroles.	30
Cuadro 5	Parámetros químicos del suelo en la zona de riego Los Peroles.	31
Cuadro 6	Valores promedio del porcentaje de cada fracción (cinco muestras) y clases de textura del suelo (capa superficial de 0-30 cm, subsuelo 30-60 cm).	32
Cuadro 7	Valores promedio del porcentaje de materia orgánica (cinco muestras) del suelo en el regadío del ejido San Francisco (capa superficial 0-30 cm, subsuelo 30-60 cm).	32
Cuadro 8	Valores promedio de conductividad eléctrica (cinco muestras) del suelo en el regadío del ejido San Francisco (capa superficial 0-30 cm, subsuelo 30-60 cm).	33
Cuadro 9	Valores promedio del pH (cinco muestras) del suelo en el regadío del ejido San Francisco (capa superficial 0-30 cm, subsuelo 30-60 cm).	34
Cuadro 10	Valores promedio del porcentaje de sodio intercambiable (cinco muestras) del suelo en el regadío del ejido San Francisco (capa superficial 0-30 cm, subsuelo 30-60 cm).	34
Cuadro 11	Valores promedio de cationes y aniones (cinco muestras) del suelo en el regadío del ejido San Francisco (capa superficial 0-30 cm).	35
Cuadro 12	Valores promedio de cationes y aniones (cinco muestras) del suelo en el regadío del ejido San Francisco (capa subsuelo 30-60 cm).	35
Cuadro 13	Gasto calculado en el canal principal en las estaciones medidas desde el manantial Los Peroles hasta el ejido San Francisco.	38
Cuadro 14	Determinación de parámetros químicos del agua (7 muestras).	41
Cuadro 15	Cálculo de la evapotranspiración de referencia mediante el programa CROPWAT© 8.0.	43
Cuadro 16	Cálculo de la precipitación efectiva.	45
Cuadro 17	Requerimiento de riego para el cultivo de maíz en la temporada primavera-verano.	52
Cuadro 18	Requerimiento de riego para el cultivo de maíz en la temporada verano-otoño.	52
Cuadro 19	Requerimiento de riego para el cultivo de alfalfa.	53
Cuadro 20	Programación del riego para el cultivo de alfalfa	57

Cuadro 21	Programación del riego para el cultivo de maíz para la temporada primavera-verano.	58
Cuadro 22	Programación del riego para el cultivo de maíz para la temporada verano-otoño.	58
Cuadro 23	Calidad del riego resultante con base a sus parámetros de eficiencia y uniformidad.	63
Cuadro 24	Cálculo del gasto sobre el canal de tierra secundario	65
Cuadro 24	Datos obtenidos en campo para realizar la primera prueba de riego	66
Cuadro 26	Datos registrados de la primera prueba de avance-recesión del riego	67
Cuadro 27	Resultados de la primera evaluación del riego mediante el programa EVAGRAV© 2.0	67
Cuadro 28	Datos obtenidos en campo para realizar la segunda prueba de riego	68
Cuadro 29	Datos de avance-recesión obtenidos de la segunda prueba de riego	68
Cuadro 30	Resultados de la segunda evaluación de riego mediante el programa EVAGRAV© 2.0.	69
Cuadro 31	Superficie de cada cultivo por toma lateral propuesta.	71
Cuadro 32	Volumen de agua requerido por toma lateral con base a los cultivos.	73

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Riego por inundación en melgas.	6
Figura 2	Sistema de riego por surcos.	7
Figura 3	Localización de zona de estudio en el municipio de Rioverde, S.L.P.	8
Figura 4	Vías de acceso a la zona del proyecto en el ejido San Francisco, Rioverde.	9
Figura 5	Subcuenca de aprovechamiento de la zona de riego Los Peroles, Rioverde, S.L.P.	10
Figura 6	Localización de sitio para la evaluación del riego en parcelas de la porción sur en la zona de riego.	15
Figura 7	Secciones y parajes de la zona de riego Los Peroles.	17
Figura 8	Manantial Los Peroles, Rioverde, S.L.P.	19
Figura 9	Inicio de canal principal para la zona de riego Los Peroles.	20
Figura 10	Tramo del canal principal construido de cal y canto.	20
Figura 11	Canal principal excavado en tierra en parte sur del regadío.	21
Figura 12	Canales secundarios en porción sur del regadío.	22
Figura 13	Canal secundario con pérdidas de agua por infiltraciones.	23
Figura 14	Camino de terracería dañado por infiltraciones de agua del canal.	23
Figura 15	Estructura reguladora de flujo de agua en canal secundario.	24
Figura 16	Filtraciones a través de compuerta de madera sobre canal secundario.	25
Figura 17	Tomas de agua para riego construidas sobre los bordos de tierra de la parcela.	26
Figura 18	Cultivo de maíz en porción sur del regadío.	27
Figura 19	Plantación de maíz con problemas por falta de humedad.	28
Figura 20	Exceso de humedad por filtraciones sobre cultivo de maíz.	28
Figura 21	Cultivo de alfalfa en proceso de aplicación del riego.	29
Figura 22	Dispositivo para medir caudales Marca Flow-Tracker®	38

Figura 23	Ubicación en planta de las tres velocidades medidas.	38
Figura 24	Datos del cultivo de maíz.	46
Figura 25	Datos del cultivo de alfalfa.	47
Figura 26	Parámetros del suelo con base en su textura.	48
Figura 27	Balance Hídrico en el suelo para la zona radicular.	50
Figura 28	Programa de computo EVAGRAV© 2.0 para la evaluación del riego pro gravedad.	61
Figura 29	Medición de la velocidad de escorrentía sobre el perfil del canal secundario.	64
Figura 30	Obtención de la sección del canal secundario.	65
Figura 31	Recorrido sobre el canal principal para la ubicación de tomas laterales.	71

DEDICATORIAS

A Dios, por haberme permitido llegar hasta este punto de mi vida y culminar un nuevo reto profesional.

A mis queridos padres, Jerardo y Lucila, por su valioso apoyo en cada momento a lo largo de este proceso, por sus buenos deseos y por esas palabras de aliento que sin duda fueron una motivación para salir adelante.

A mis hermanas, Bere e Irly, por estar al pendiente de mi trabajo y brindarme la ayuda que solo ellas podrían lograr.

A Montserrat, mi compañera de vida, por brindarme su tiempo, comprensión y el afecto necesario para tomar fuerzas cada día.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, en especial al Centro de Investigación y Estudios de Posgrado, por darme la oportunidad de realizar mis estudios de Maestría y concluir una meta más en mi vida.

A mi asesor, Dr. Rodolfo Cisneros Almazán, por sus enseñanzas aportadas en todo momento, por su gestión para aplicar recursos y por ser el guía para llevar a cabo este trabajo.

A Manuel, por su ayuda incondicional para trabajar y sus palabras de experiencia.

Para mis compañeros, por su colaboración para llevar a cabo trabajos en campo y gabinete, les agradezco a cada uno de ellos.

Agradezco a la Universidad Autónoma de Querétaro, por recibirme en sus instalaciones y dejarme hacer uso de ellas en mi estadía.

A Jorge, por compartir de sus conocimientos y enriquecer este trabajo.

A la comunidad del ejido San Francisco, Rioverde, mi respeto y agradecimiento por todo el soporte ofrecido en cada una de las visitas realizadas.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), por la beca otorgada para llevar a cabo este trabajo.

INTRODUCCIÓN

A nivel mundial es conocido que el sector agrícola es el principal consumidor de agua de entre las diversas actividades que realiza el hombre y dentro de este sector, el riego o suministro artificial de agua a los cultivos es la actividad que mayor cantidad de agua utiliza (Loredo *et al.*, 2009). La superficie cultivada en el mundo es aproximadamente de 1 527 millones de hectáreas, de las cuales 19.71% corresponden a la agricultura de riego y gran parte de dicha superficie presenta problemas por incertidumbre en los volúmenes disponibles en sus fuentes de abastecimiento (Flores *et al.*, 2014).

En México existen zonas con marcadas diferencias entre la disponibilidad de agua y de tierras aptas para desarrollar agricultura intensiva y extensiva, estas diferencias se deben básicamente a dos factores, el topográfico y el climático (aridez); ambos condicionan y definen una superficie factible de sembrarse del orden de los 34.7 millones de hectáreas (Cuadro 1).

El riego agrícola se ha desarrollado más intensamente en las regiones áridas del mundo, en las cuales la precipitación pluvial es tan escasa que ningún cultivo puede producirse si no se tiene riego. Cuando el riego ha sido implementado en estas regiones, la agricultura que se desarrolla es altamente productiva ya que el agua puede aplicarse al cultivo en el momento y cantidad que éste lo requiere. La agricultura bajo riego también permite hacer un mejor uso de otras técnicas como la fertilización, mayores densidades de plantas, uso de variedades más productivas, menor uso de funguicidas y además la inversión hecha en un cultivo es más asegurada que con la agricultura supeditada a la lluvia (Sandoval, 1989).

Cuadro 1 Factores climáticos para determinar la necesidad de riego de la superficie en México (Lázaro *et al.*, 2010)

Clima	Precipitación (mm)	Porcentaje de la superficie en México	Necesidad de riego
Árido	< 400	62.8	Indispensable
Semiárido	400 - 600	31.2	Necesario
Semihúmedo	600 - 1500	4.5	Conveniente
Húmedo	> 1500	1.5	Innecesario

Pero el riego no solamente es necesario en regiones áridas. También se justifica en zonas tropicales que acusan una prolongada época seca que varía de uno a varios meses. En estas condiciones se aplica el riego suplementario, que permite obtener dos o más cosechas al año con rendimientos mucho más altos y, a su vez, se garantiza la producción durante la época de lluvias, actuando como un “seguro de cosecha”, pues el comportamiento de las mismas puede ser muy irregular en cuanto a distribución y cantidad (Valverde, 1988).

La disponibilidad de agua para riego constituye la limitante principal para asegurar una producción agrícola comercial en zonas áridas y semiáridas. Al incrementarse la población, la competencia por el agua se intensifica, siendo necesarios su conservación y uso eficiente mediante el mejoramiento de métodos e instrumentos, tanto para distribuir, aplicar y evaluar el riego, como para conocer los requerimientos de riego de los cultivos (De León y Robles, 2008).

Los métodos de riego por gravedad son los más comunes para aplicar el agua en los terrenos agrícolas de zonas áridas, semiáridas y subhúmedas a nivel mundial y en México no es la excepción. Lo anterior es atribuible a la simpleza de su operación y al bajo consumo de energía. Es necesario e importante un manejo adecuado del riego a nivel parcelario mediante un seguimiento constante que permita realizar evaluaciones sobre la eficiencia y distribución del agua para mejorar la aplicación del riego (Flores *et al.*, 2014).

La eficiencia de riego es un concepto usado en proyectos y en el manejo de sistemas de riego. La calidad del riego se evalúa con base en indicadores de desempeño como eficiencia y uniformidad y mediante índices de productividad de agua que relacionan el rendimiento de los cultivos y el valor económico de la producción por unidad de lámina de agua aplicada o consumida. De esta forma, durante la operación del sistema de riego los valores de uniformidad de aplicación y de distribución deben ser altos y las pérdidas bajas para obtener altos valores de eficiencia (Flórez *et al.*, 2013).

En forma general los sistemas de riego superficial utilizan una gran cantidad de agua debido a que tienen eficiencias totales del 35 al 55%. Evaluaciones realizadas en México, muestran bajos niveles de eficiencia a nivel parcelario al demostrar bajos niveles de eficiencia de aplicación (Loredo *et al.*, 2009). A pesar de la adquisición de sistemas de riego para tener un manejo eficiente del agua, la mayor parte de las zonas agrícolas cuentan con tecnología de riego inadecuada que genera pérdidas en la conducción y distribución del agua. El riego por gravedad a nivel parcelario tiene una baja eficiencia en su aplicación y además no existe una programación y medición del riego para satisfacer las demandas de los cultivos en términos de oportunidad y eficiencia (Flores *et al.*, 2014).

El riego en México

El sector agrícola consume actualmente el 77 por ciento del volumen total de agua concesionado en México. Nuestro país ocupa el sexto lugar mundial en términos de superficie con infraestructura de riego con 6.5 millones de hectáreas. No obstante, los distritos de riego operan con un nivel de eficiencia global por debajo del 40 por ciento, lo cual significa que el 60 por ciento del volumen de agua total disponible se pierde durante su conducción y distribución (Catalán *et al.*, 2012).

El problema relacionado radica en el hecho de que, en su mayoría, los sistemas de riego desperdician agua. Algunos estudios realizados por CNA (2005) han estimado que solo entre 15% y 50% del agua extraída para la agricultura de regadío llega a la zona de cultivos. Si bien parte del agua perdida en los sistemas de riego ineficientes retorna a las corrientes de agua o acuíferos, de donde puede volver a

extraerse, su calidad se degrada por el lavado de contaminantes tales como los plaguicidas, fertilizantes y sales que se lixivian por el suelo, pero en otros casos – como en el Bajío donde el nivel freático del acuífero está por debajo de 100 m (CNA, 2005)- su extracción eleva los costos de operación provocando una reducción en las ganancias del usuario.

En México se tiene un total aproximado de 0.1% del agua dulce a nivel mundial, lo cual es determinante para que un porcentaje importante del territorio (56%) sea catalogado como semiárido y se clasifique como un país con baja disponibilidad de agua, característica de la zona norte del país, la cual ocupa aproximadamente el 50% de la superficie. Mientras que en la frontera sur del país, la disponibilidad promedio es mayor a 24000 m³/habitante/año, en la región del Río Bravo no llega a los 1500 m³/habitante/año y en Baja California es alrededor de los 1100 m³/habitante/año (Olvera *et al.*, 2014).

Otro problema de gran significación e influencia es la escasez del agua asociada a las bajas eficiencias en su uso agrícola y urbano. Arreguín *et al.* (2010) sostienen que la mayor posibilidad de recuperación se encuentra en el campo agropecuario, donde se utiliza el 77% del recurso y se opera con eficiencias de 37% en los distritos de riego y 57% en las unidades de riego.

La agricultura, como principal actividad agrícola de alto consumo de recursos hídricos, necesita de estrategias que propicien la eficiencia del uso del agua. Para casi todas las regiones del mundo, aumentar la productividad del agua usada en la agricultura constituye el mayor potencial para mejorar la seguridad alimenticia y reducir la pobreza al costo ambiental más bajo (Rijsberman *et al.*, 2006).

Métodos de riego

Los métodos de riego se diferencian por la forma de aplicar el agua en el suelo, actualmente existen tres métodos básicos: superficial, en el que el agua se aplica sobre la superficie del suelo; presurizado, el agua es conducida a presión por tuberías, hasta un emisor en el punto de aplicación; y subsuperficial, en el que el agua se aplica por abajo de la superficie del suelo (Enciso *et al.*, 1998). El Cuadro

2 muestra la clasificación de los métodos de riego, de acuerdo con la forma de aplicación del agua a los cultivos.

Cuadro 2 Clasificación de los métodos de riego (Enciso *et al.*, 1998)

MÉTODOS DE RIEGO	SUBSUPERFICIAL	NIVEL FREÁTICO CONTROLADO	
		TUBERÍA REGANTE ENTERRADA	
	SUPERFICIAL	INUNDACIÓN TOTAL	Melgas a nivel
			Melgas con pendiente
			Cajetes
		INUNDACIÓN PARCIAL	Surcos en contorno
			Surcos con pendiente
			Corrugaciones
	PRESURIZADO	GOTEO	Emisión puntual (gotero individual)
			Emisión continua (cinta regante)
		BORBOTEADO	
		MICROASPERSIÓN	Nebulizador
			Microchorro
Microaspersor			
ASPERSIÓN		Fijos	
		Semifijos	
	Móviles		

Riego superficial

Los métodos de riego por gravedad son los más comunes para aplicar el agua en los terrenos agrícolas de zonas áridas, semiáridas y subhúmedas a nivel mundial y en México no es la excepción (Benjamin *et al.*, 1994; González-Camacho *et al.*, 2006). Lo anterior es atribuible a la simpleza de su operación y al bajo consumo de energía (Flores *et al.*, 2014).

En este método de riego, el agua se aplica sobre la superficie del suelo en la parte más alta del terreno para que se mueva por efecto de la gravedad; con esto, una parte del agua escurre, mientras que otra penetra en el suelo, según la velocidad de infiltración del suelo y de la pendiente del terreno. Para que esto ocurra, el gasto proporcionado a la entrada del surco o de la melga debe ser mayor que el gasto que penetra en el suelo. La distribución del agua por medio de la fuerza de gravedad incluye dos operaciones básicas (Berlijn y Brouwer, 2014):

- Distribución del agua en el terreno por medio de canales abiertos o por tubería.
- Distribución del agua en el campo, sea por inundación total o por inundación parcial mediante surcos y corrugaciones.

Los canales para la distribución del agua en el terreno son en realidad, una extensión de los canales de conducción del agua desde la fuente. Su diferencia radica, principalmente, en su tamaño.

La distribución del agua en el terreno puede también realizarse por tubería, que representa en realidad canales cerrados. La toma de agua de este sistema de tubería puede ser localizada en un canal principal de conducción. En el caso de que se lleve el agua desde la fuente por tubería, el sistema se conectará a la tubería principal.

Riego por inundación

En este sistema el agua se aplica a través de melgas, que es una franja de terreno generalmente de forma rectangular, delimitada por dos bordos longitudinales paralelos y dos bordos transversales. La melga tiene una pendiente longitudinal que coincide con la dirección del riego, y una transversal que es nula o muy pequeña (generalmente menor de 0.1%) (De León y Robles, 2007) (Figura 1).



Figura 1 Riego superficial por inundación en melgas

Riego por surcos

Este sistema es frecuentemente usado debido a la gran cantidad de cultivos que se siembran en hileras. El sistema de riego por surcos se emplea en cultivos tales como caña de azúcar, papas, maíz, algodón, tomate, tabaco, y otros cultivos que se realizan en hileras.

Los surcos tienen una profundidad de 20 a 30 cm. En terrenos nivelados los surcos son rectos. En el caso de terrenos ondulados, los surcos siguen las curvas de nivel.

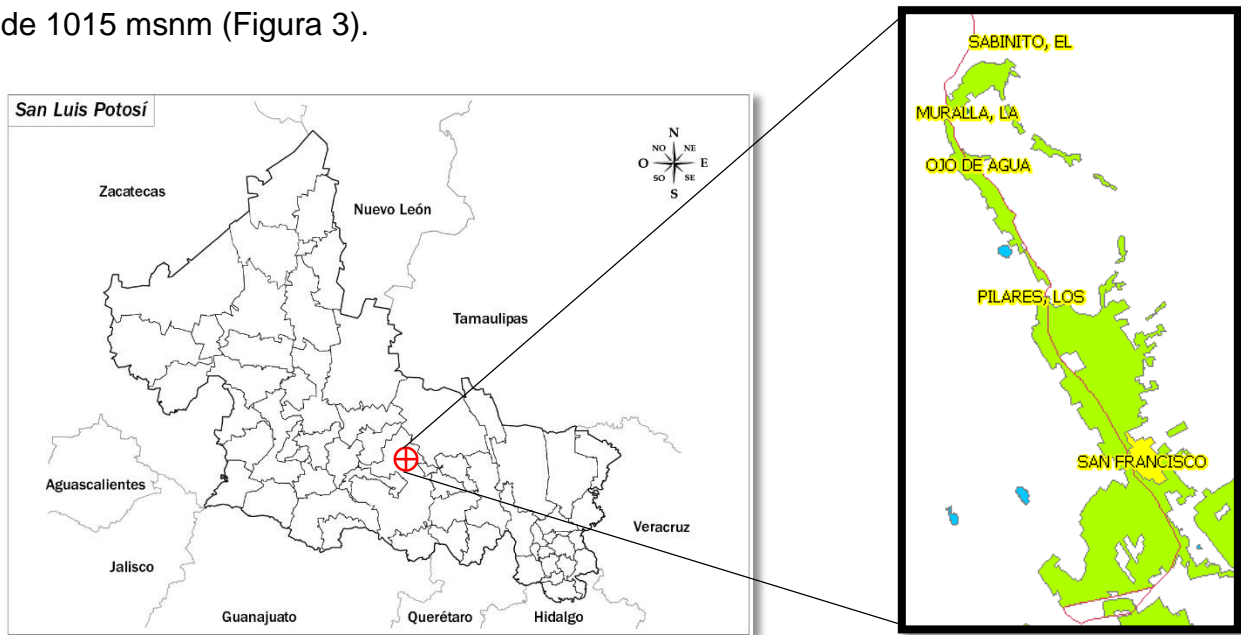
La distancia entre los surcos depende también de los cultivos. En la práctica, se emplean distancias entre los surcos que varían entre 75 y 150 cm, según el cultivo y el tipo de suelo (Berlijn y Brouwer, 2014) (Figura 2).



Figura 2 Sistema de riego superficial por surcos

Localización de zona de estudio

La zona de riego “Los Peroles” del ejido San Francisco, Rioverde, S.L.P., se localiza dentro del paralelo 22 de latitud norte y 99 de longitud oeste a una altura promedio de 1015 msnm (Figura 3).

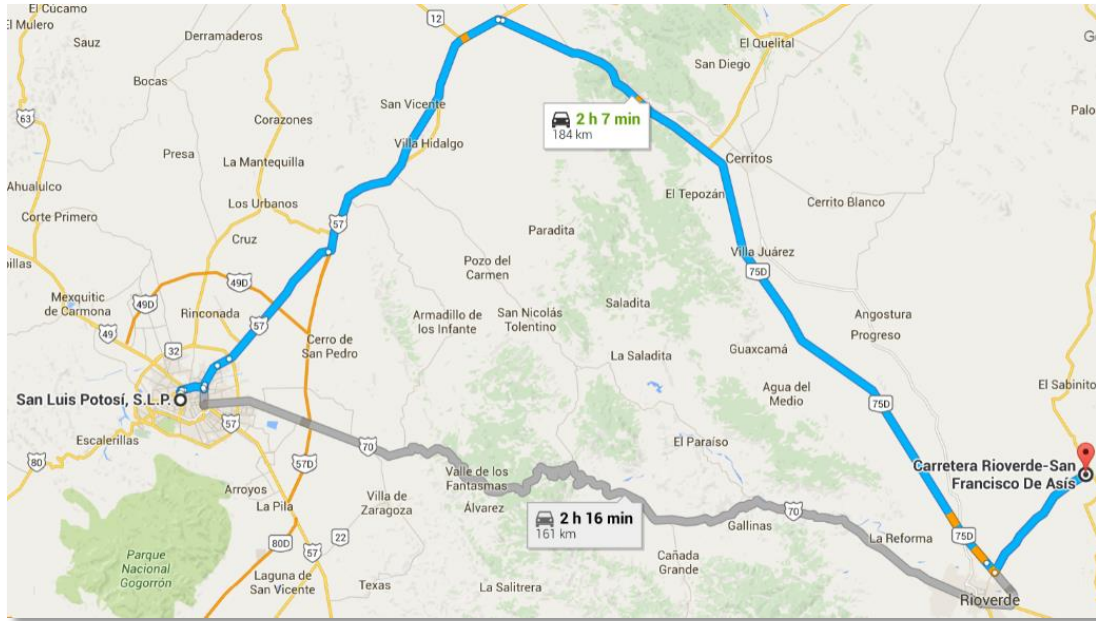


Fuente: INEGI (2015)

Figura 3 Localización de zona de estudio en el municipio de Rioverde, S.L.P.

La vía de acceso para llegar desde la capital del estado de San Luis Potosí a dicha zona de estudio se hace a través de dos caminos:

1. La carretera federal 57 junto con la estatal 75D, contando con una distancia de 185 km y un tiempo de recorrido de 2h 8 min.
2. La carretera federal 70, teniendo una distancia de 162 km y un tiempo de recorrido de 2h 16 min. (Figura 4).



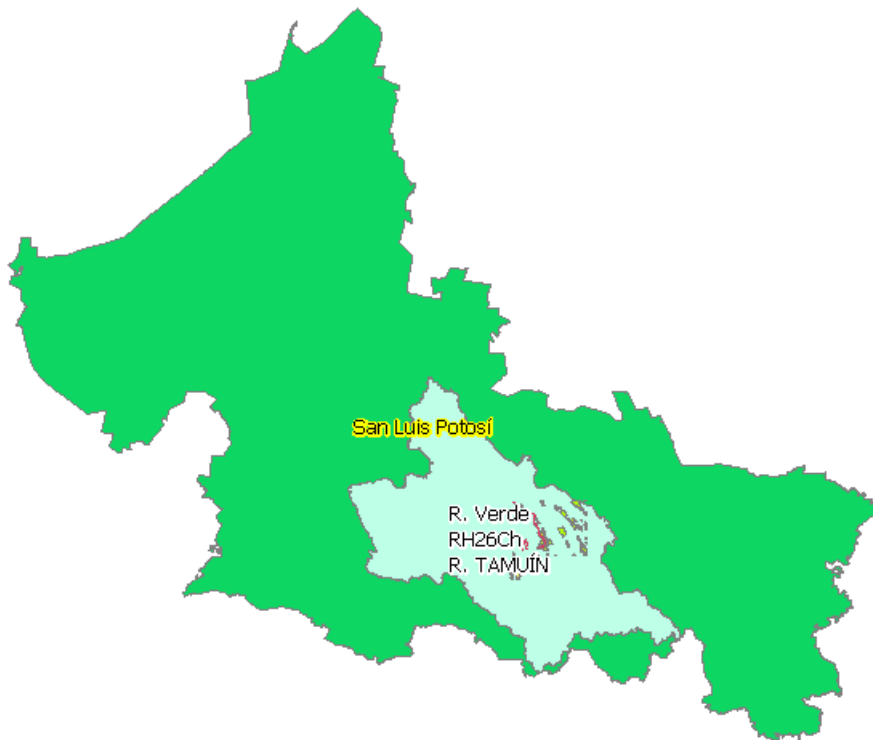
Fuente: Google Maps (2016)

Figura 4 Vías de acceso a la zona del proyecto en el ejido San Francisco, Rioverde

El regadío del ejido San Francisco se localiza en la porción noreste del valle de Rioverde, S.L.P., México. Lo limitan por el norte, los llanos Chacuaco, Joya El Cardón y Las Sabanas; por el sur, la sierra La Boquilla; al este, la sierra Cordón de San Francisco; al oeste, los llanos San Marcos, Paso Hondo y El Resumidero (Cisneros, 2014).

Características de la subcuenca de aprovechamiento

La subcuenca a la cual pertenece la zona de riego “Los Peroles” es la Río Verde con clave compuesta RH26Ch y es del tipo exorreica, contando con una pendiente media de 20.56%. La superficie total es del orden de 9,453.67 km², una elevación máxima de 2700 m y una mínima de 200 m (Figura 5).



Fuente: INEGI (2015)

Figura 5 Subcuenca de aprovechamiento de la zona de riego Los Peroles, Rioverde, S.L.P.

Características agroclimáticas del área del proyecto

Las características agroclimáticas en la zona de estudio fueron proporcionadas por la estación meteorológica No. 24066 San Francisco, ubicada en el ejido San Francisco, Rioverde, S.L.P., sobre las coordenadas Latitud: 22°4'32.16" N Longitud: 99°51'55.08" O, a una altura de 1013 msnm. La precipitación anual promedio es de 346 mm, reportando lluvias menores en febrero y máximas en septiembre. En relación a la temperatura, se tiene una máxima promedio mensual de 35 °C en el mes de mayo y una mínima de 7 °C en enero (Cuadro 3).

Cuadro 3 Datos climáticos de la estación San Francisco, para el período 1961-2010

Fuente: Grieser (2006)

MES	TEMP MIN	TEMP MAX	HUMEDAD	VEL VIENTO	PP	INSOLACIÓN
	°C	°C	%	km/h	mm	horas
ENERO	9.2	23.1	70.0	1.0	7.3	4.6
FEBRERO	10.8	26.2	64.0	1.3	5.4	5.2
MARZO	12.9	29.7	58.0	1.3	8.4	5.4
ABRIL	16.0	32.5	57.0	1.3	14.7	5.2
MAYO	17.9	33.3	60.0	1.5	28.4	5.6
JUNIO	19.0	31.9	65.0	1.8	52.0	5.5
JULIO	18.2	30.7	68.0	1.7	62.0	5.9
AGOSTO	18.3	31.4	68.0	1.6	49.8	6.0
SEPTIEMBRE	17.3	28.8	74.0	2.0	88.3	4.8
OCTUBRE	15.0	26.8	75.0	1.8	31.1	4.9
NOVIEMBRE	12.2	24.6	74.0	1.3	6.4	4.8
DICIEMBRE	9.6	23.0	74.0	1.0	7.0	4.4

Los registros climatológicos presentados abarcan 50 años de historial con que cuenta la estación meteorológica San Francisco, los cuales fueron utilizados para determinar las demandas evapotranspirativas de los cultivos de la zona de riego.

Requerimientos de riego

Los requerimientos de riego para la época de máxima demanda, conocidos simplemente como requerimientos de riego con fines de diseño, son indispensables para estimar la capacidad del sistema de riego (Qs). Para estimar los requerimientos de riego se realiza el siguiente procedimiento (CNA, 2002):

- i. Definir el plan de cultivos viables a establecer en la zona del proyecto
- ii. Estimación de los consumos de agua y otras necesidades
 - a) Evapotranspiración de los cultivos
 - b) Lámina de lavado
- iii. Estimación de las aportaciones de agua
 - a) Precipitación efectiva
 - b) Ascenso capilar
- iv. Características agronómicas de los cultivos
 - a) Profundidad de raíces

- b) Tolerancia de los cultivos a las sales
- c) Ciclo fenológico de los cultivos
- v. Lámina neta de riego
- vi. Intervalo de riego crítico
- vii. Requerimientos de riego diarios de diseño

Los requerimientos de riego (RR) se definen como la suma de necesidades hídricas de los cultivos menos las aportaciones naturales o artificiales de agua que alcanzan la zona radical durante un periodo de tiempo:

$$RR = ET_r + LL - Pe - Am$$

donde:

ET_r : Evapotranspiración real de los cultivos (mm)

LL: lámina de lavado (mm)

Pe: precipitación efectiva (mm)

Am: aportación del manto freático (mm)

RR: requerimientos de riego (mm)

La evaluación anterior es la base de los paquetes computacionales comerciales para estimar los requerimientos de riego a nivel diario usando el método del balance hídrico. Entre los paquetes más usados se encuentra el CROPWAT© desarrollado por la FAO, el RASPAWIN desarrollado por la UACH y el SPRITER desarrollado por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

Evaluación del riego

El sector agrícola realiza el consumo de agua en el mundo y por tanto la agricultura irrigada debe ser eficiente para tener sostenibilidad ambiental y económica. Un parámetro principal para evaluar sistemas de riego es la uniformidad de aplicación de agua en la superficie del área irrigada, reflejándose directamente en el manejo y desempeño del cultivo, en la calidad y cantidad de los productos, en la eficiencia del uso del agua, en el costo del riego y por tanto de la producción (Bernardo *et al.*, 2009).

Una baja uniformidad de aplicación de agua causa crecimiento desigual de las plantas y en algunos casos contaminación del suelo con sales, lo cual repercute en la degradación del suelo (Cunha *et al.*, 2008). Esto se relaciona con el exceso de agua en el suelo que causa lixiviación de nutrientes, reducción en la concentración de oxígeno disponible para las raíces y aumento de la incidencia de plagas y enfermedades; además, la escasez de agua aumenta los riesgos de salinización del suelo e inhibe el potencial productivo de las plantas (Paulino *et al.*, 2009).

Diversas investigaciones proponen distintas causas de las bajas eficiencias del riego, una de ellas se relaciona con la baja motivación en los productores para mejorar los métodos de aplicación. Otra causa es la ausencia de sistemas exactos para medir los volúmenes de agua aplicados, la carencia de acceso a herramientas de toma de decisión, la poca formación técnica del regante, que provoca que la operación y diseño del riego sea realizado en forma empírica, otra es que raramente se evalúa el desempeño del regadío (Mejía *et al.*, 2002; De Santa *et al.*, 2005).

A pesar de las ventajas de las diferentes técnicas de conservación del agua en riego por gravedad para los diferentes tipos de suelo, su aplicación en México no ha sido analizada a detalle para las condiciones locales de varios distritos de riego, en especial para las condiciones del riego por gravedad porque existen estudios implementando tubería multicompuertas (Arellano *et al.*, 2001; Rosano *et al.*, 2001). Gran parte de la aplicación del riego se realiza de acuerdo al criterio que el agricultor ha adquirido como experiencia y al manejo que ofrece cada parcela, ya que la programación científica del riego en la mayoría de los casos se realiza aplicando los procedimientos propuestos por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO por sus siglas en inglés) debido a que existe nula o escaso material bibliográfico generado localmente (Sifuentes y Ojeda, 2005).

Para conocer cómo se realiza la aplicación del agua en un riego, y poder identificar y solucionar los posibles problemas de manejo y funcionamiento de las instalaciones, hay que realizar una evaluación del sistema (De Santa *et al.*, 2005).

A la fecha se han generado índices que sirven para diagnosticar la funcionalidad de los sistemas de riego y que por lo general consisten en determinar la cantidad de

agua que es requerida por las plantas a cierta profundidad o que es usada benéficamente, y la aplicada durante el riego, además de cómo es distribuida a lo largo de la parcela. Conociendo estos hechos, investigadores de varios lugares del mundo han generado herramientas y técnicas que sirven para evaluar la eficiencia y uniformidad de los regadíos, y al mismo tiempo mejorar su diseño y operación, como ejemplos se tienen los modelos de simulación hidráulica o las diversas herramientas para aforar el agua. Una mención especial, son los modelos de simulación que son una simplificación de la realidad basada en los mecanismos físicos que aparecen en la naturaleza.

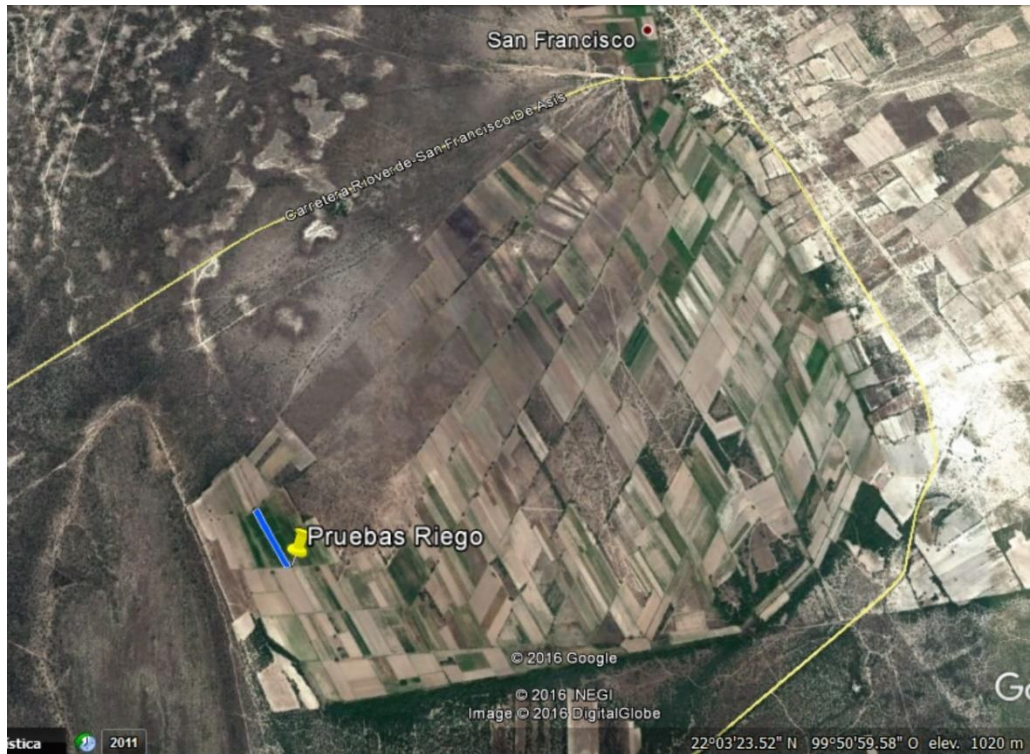
Mediante la modelación es posible predecir el funcionamiento de los sistemas de riego a partir de las variables de diseño que lo determinan de una manera rápida y a un bajo costo. Existen modelos simples, otros muy complejos y de gran precisión que pueden utilizarse como herramientas de diseño y manejo del riego a nivel parcelario; los más complejos se basan en la solución numérica de las ecuaciones de Saint Venant para predecir la distribución del volumen de agua infiltrado. Por lo que los modelos de simulación son una herramienta vital en la toma de decisiones para la evaluación del riego en forma pormenorizada, además de que con su uso puede generar escenarios hipotéticos al modificar distintas variables de entrada que no se pueden plasmar en la realidad (Loredo *et al.*, 2010).

Uno de los distintos modelos que se han generado para simular los sistemas de riego superficial es el programa de cómputo denominado EVAGRAV 2.0, desarrollado por Hernández y García (2013) en el Departamento de Irrigación de la Universidad Autónoma Chapingo.

El programa EVAGRAV 2.0 permite sugerir medidas para mejorar el riego por gravedad en sus modalidades más comunes (melgas y surcos). Este programa calcula los indicadores de eficiencia más importantes, que permiten emitir un juicio sobre la calidad de un evento específico de riego, a partir de la información obtenida durante la aplicación del mismo.

En el presente trabajo se reportan evaluaciones del riego realizadas a dos parcelas, ubicadas en la porción sur de la zona de riego Los Peroles del ejido San Francisco,

Rioverde, S.L.P. (Figura 6), en las cuales el agua es aplicada por el método superficial a través de surcos. En la evaluación del riego se determinaron diferentes indicadores como la *eficiencia de aplicación* (E_a), la *eficiencia de aplicación del requerimiento* (E_{ar}), también denominada eficiencia de almacenamiento o adecuada del riego y el *coeficiente de uniformidad de Christiansen* (CUC), utilizando el programa para la evaluación del riego llamado EVAGRAV 2.0.



Fuente: Google Earth (2016)

Figura 6 Localización de sitio para la evaluación del riego en parcelas de la porción sur en la zona de riego

Justificación

Debido a la problemática del uso del agua que presenta la zona de riego Los Peroles en el ejido San Francisco, Rioverde, S.L.P., y a los bajos rendimientos de los principales cultivos, este trabajo se concentra en la necesidad de realizar la evaluación de la aplicación del riego para proponer una mejora en la eficiencia del uso del agua, realizando un diagnóstico de las condiciones actuales del sistema, caracterizando el suelo y agua con fines de riego, para obtener los requerimientos hídricos de los cultivos, con la finalidad de proponer una mejora en la eficiencia de la aplicación del riego.

Objetivo general

Evaluar la aplicación del riego agrícola en parcelas de la zona de riego Los Peroles, a través de pruebas de avance-recesión en campo, y proponer una mejora de la eficiencia del uso del agua.

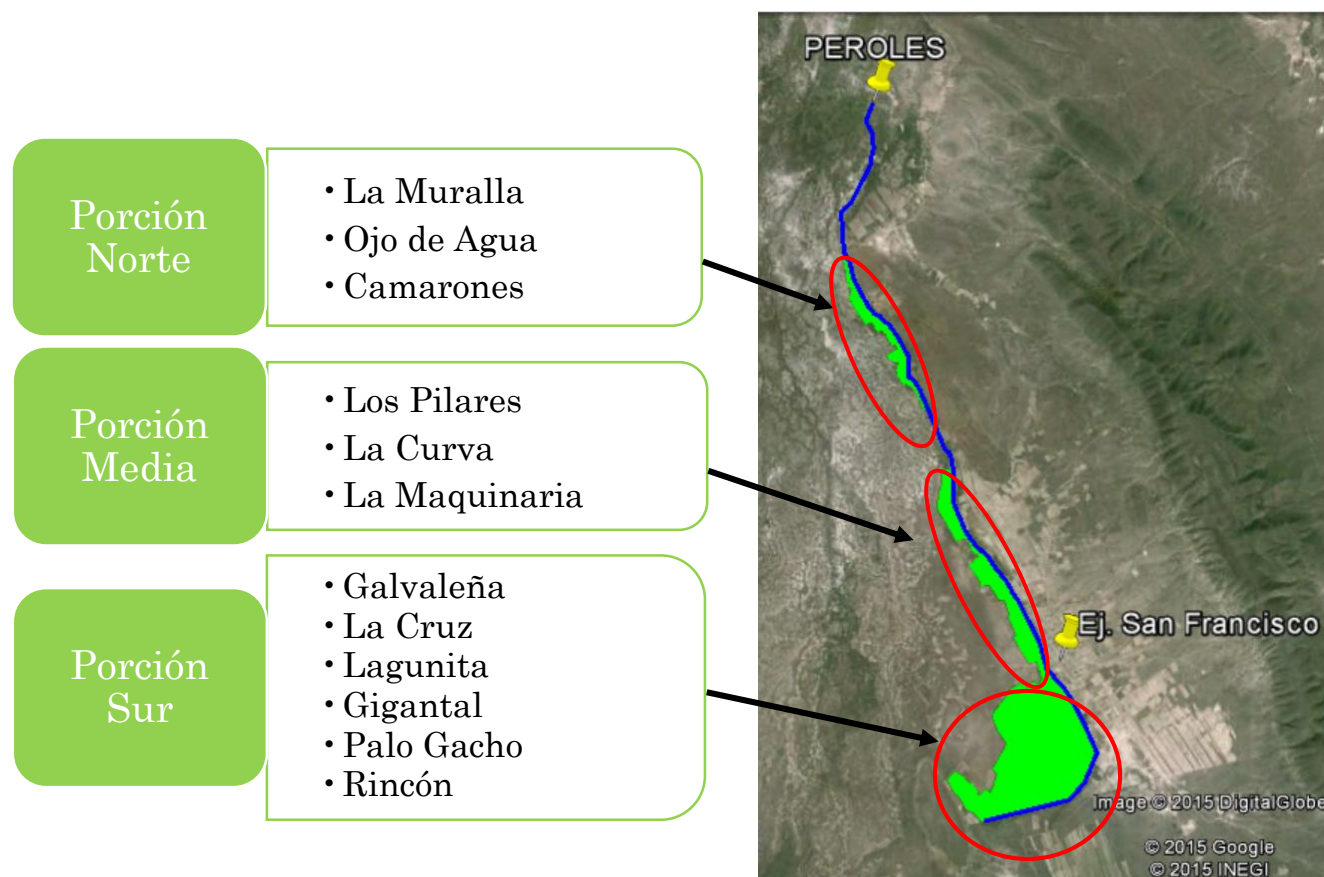
Objetivos específicos

- 1) Realizar un diagnóstico general de las condiciones actuales de la zona de riego Los Peroles.
- 2) Determinar las necesidades hídricas de los principales cultivos.
- 3) Evaluar la aplicación del riego mediante pruebas de avance-recesión.

1 DIAGNÓSTICO DE LA ZONA DE RIEGO LOS PEROLES DEL EJIDO SAN FRANCISCO, RIOVERDE, S.L.P.

1.1 Infraestructura

La infraestructura del regadío está integrada dentro de las siguientes secciones y parajes: i) porción norte, potreros La Muralla, Ojo de Agua y Camarones; ii) porción media, potreros Los Pilares, La Curva y La Maquinaria; iii) porción sur, potreros Galvaleña, La Cruz, Lagunita, Gigantal, Palo Gacho y Rincón (Figura 7) (Cisneros *et al.*, 2014).



Fuente: Google Earth (2015)

Figura 7 Secciones y parajes de la zona de riego Los Peroles.

La parte sur del regadío, la cual comprende el 70% del área regable (460 ha), es la más alejada al comienzo de la conducción del agua. Debido a las altas pérdidas por la infiltración que hay en el canal, el gasto de agua que llega a esta zona es de

187.73 L s⁻¹ (41%), lo cual nos da pérdidas en el trayecto del orden de 59% (269.7 L s⁻¹).

Además de estas pérdidas, en la parte sur se tiene que conducir el agua hacia las parcelas más alejadas del canal principal, cuyo trayecto puede ser mayor a los 500 metros. Esta conducción se realiza a través de canales secundarios (acequias) excavados en tierra, sobre los cuales sigue presentándose pérdidas por infiltración, disminuyendo aún más el ya reducido gasto que llega a las parcelas.

Por otra parte, existe incertidumbre del control del agua que manejan los usuarios dentro de sus parcelas, ya que no se cuenta con compuertas para medir y regular el gasto de entrada a la parcela. Actualmente esto lo realizan con compuertas rústicas a base de trozos de madera, plásticos y tierra, lo que genera filtraciones y descontrol del agua por aplicar.

En cuanto al mantenimiento de los canales, se encuentra que solo algunos usuarios mantienen en buen estado la parte del canal que les corresponde limpiar. En general, el canal en esta porción sur del regadío, tanto principal como secundario, se encuentran poblados de maleza y sin un sistema de medición del gasto de agua.

1.1.1 Fuente de abastecimiento

La fuente de abastecimiento existente para el riego de la zona en estudio es el manantial Los Peroles que aporta un gasto de aproximadamente 460 L s⁻¹. Dicho caudal suministra principalmente el riego a las parcelas de las comunidades de La Muralla y San Francisco.

Se encuentra localizado en el ejido San Francisco, Municipio de Rioverde, S.L.P., en las coordenadas: Latitud: 22° 11' 12.09502" N, Longitud: 99° 54' 03.09587" W. En la Figura 8 se puede observar el manantial Los Peroles, donde inicia la conducción del agua hacia la zona de riego.



Figura 8 Manantial Los Peroles, Rioverde, S.L.P.

El agua brota en varios puntos; por su caudal, destacan Los Peroles mayor y menor, los cuales están conectados por un canal natural de 3 m de ancho y un trayecto de unos 200 m. La toma de agua se localiza en la margen sur del Peroles mayor, excavada en tierra, sin compuerta, con anchura de unos 3 m.

1.1.2 Canal principal

El agua se deriva por un canal que circula con dirección general noroeste sureste, con un trayecto de 20.5 kilómetros. El primer tramo de 400 m está excavado en tierra, con anchura de 2.5 m, profundidad variable, escasa pendiente y flujo lento (Figura 9).

El segundo tramo, unos 6 km, está construido con “cal y canto” (piedra unida con cal y arena) y concreto reforzado con varilla (Figura 10). El tercer tramo, unos 14 km, está excavado en tierra (Figura 11) (Cisneros *et al.*, 2014).



Figura 9 Inicio del canal principal para la zona de riego Los Peroles



Figura 10 Tramo del canal principal construido de cal y canto



Figura 11 Canal principal excavado en tierra en parte sur del regadío

1.1.3 Canales secundarios y terciarios (acequias)

Los canales secundarios, que sirven para distribuir el agua de riego del canal principal hacia la zona de las parcelas, están contruidos en su totalidad de tierra.

En la porción norte y media del regadío la longitud de los canales secundarios puede llegar de 200 a 400 m, en algunos casos la parcela se encuentra a pocos metros del canal principal.

En la parte sur la longitud de los canales secundarios puede extenderse a más de 1 km, esto debido a que es la zona con mayor área de riego y por tanto la más importante a considerar en el proyecto (Figura 12).



Figura 12 Canales secundarios en porción sur del regadío

Al realizar la visita de campo se puede apreciar la falta de mantenimiento en los canales, debido al crecimiento de maleza, así como diversas filtraciones sobre el trayecto de los mismos. Además de las filtraciones a través del suelo y por desbordamiento de los canales de tierra, a los costados de los canales existen madrigueras realizadas por roedores (Figura 13). Es evidente el daño que realizan estas a la conducción del agua por dos razones principalmente: desviar cierta cantidad de agua fuera del cauce, lo cual disminuye el gasto aprovechable en la parcela destino, y originar encharcamientos fuera del canal, provocando daños a los caminos de terracería por donde pueden transitar vehículos y personas (Figura 14).



Figura 13 Canal secundario con pérdidas de agua por infiltraciones



Figura 14 Camino de terracería dañado por filtraciones de agua del canal

1.1.4 Sistema de compuertas

Con base en el recorrido de campo realizado en la zona de riego, se puede constatar la nula tecnificación en cuanto al sistema de compuertas para la regulación del gasto de agua para riego. Las tomas de agua sobre el canal principal generalmente están hechas de tierra. Solo en algunas ocasiones se encuentran estructuras de concreto que pueden ayudar a controlar el agua, aunque de igual manera no cuentan con una compuerta fija (Figura 15).



Figura 15 Estructura reguladora de flujo de agua en canal secundario

Para lograr que el agua tenga una mayor carga hidráulica sobre el canal secundario y este pueda conducirla de mejor forma hasta las parcelas y las tomas restantes, sobre el canal principal, son cerradas con tierra, maderas, plásticos y otros componentes que se pudieran encontrar en el lugar. Éste método de derivación del agua presenta serias deficiencias por fugas (Figura 16).



Figura 16 Toma y compuerta sobre el canal principal

En cuanto al sistema de regulación del flujo a la entrada de las parcelas, este es llevado a cabo de igual forma abriendo zanjas sobre los bordos de tierra de las acequias. Los usuarios saben por experiencia en qué lugar y cuantas tomas de agua aperturar para regar la parcela (Figura 17).

Debido a que no existe una nivelación del terreno para los cultivos en la zona de riego, los regadores tienen que estar atentos al avance del riego, ya que si bien en general la topografía de la zona es plana, existen algunas parcelas con una mayor pendiente provocando que el avance del agua sea más rápido, ya sea en surcos o melgas, y logre una menor uniformidad en la infiltración del riego. Para evitar lo anterior, los regadores van construyendo montículos de tierra a cada cierta distancia sobre el tramo a regar, según lo dicte su experiencia tras generaciones como regantes.



Figura 17 Tomas de agua construidas sobre los bordos de un canal terciario

1.2 Principales cultivos de la zona de riego

Para realizar una propuesta de mejora en la eficiencia del regadío tenemos que determinar necesariamente el requerimiento hídrico de los cultivos. Es por ello que debemos contar con la información necesaria acerca de los cultivos predominantes de la zona de riego.

Para conocer los datos de los cultivos aprovechables de la zona de riego, primero se parte de realizar la visita en campo de la superficie que comprende el regadío. La visita es guiada por algunos miembros activos del comité ejidal del sistema de riego, a los cuales se les había notificado con anticipación de nuestra visita por parte de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí.

Se comienza el recorrido en la parte sur del regadío, potrero El Rincón, y se avanza hacia la parte norte siguiendo el trazo del canal principal. A simple vista se puede constatar que predomina la siembra del maíz (*Zea mays* L.). Al pasar por varios sembradíos, se aprecia que no existe uniformidad en el crecimiento del cultivo entre parcelas, esto debido principalmente a que no existe una calendarización establecida para la siembra. Normalmente el dueño de la parcela espera su turno del riego, una vez hecho esto, procede a realizar la siembra del cultivo sin importar la temporada en la que se haya realizado. Debido a las deficiencias del sistema de

riego, los usuarios pueden dar solo un riego en la temporada, esperando que algunas precipitaciones puedan aportar un poco más de humedad a sus siembras en el transcurso que no les será suministrado el líquido vital. En la Figura 18 se puede observar un cultivo de maíz en la parte sur de la zona de riego Los Peroles del ejido San Francisco, Rioverde, el cual presenta un buen desarrollo debido a que obtuvo una oportuna aplicación del riego.



Figura 18 Cultivo de maíz en porción sur del regadío

Por otro lado, existen algunos productores que al ver tardío el tiempo en que les será suministrado el riego, optan por realizar la siembra sin tener certeza de recibir agua por parte del sistema o por lluvias. En este caso, la mayoría de las veces el rendimiento del cultivo queda por debajo de lo esperado por el productor, y en otras ocasiones es tan baja la nacencia del cultivo que optan por desecharlo y volver a sembrar (Figura 19).



Figura 19 Sembradío de maíz con problemas de escasez de agua

Contrario a los problemas anteriormente mencionados de escasez de agua en la zona de riego, nos encontramos que algunos cultivos sembrados en parcelas aledañas al canal principal sufren problemas de exceso de humedad, esto debido a las filtraciones laterales sobre el canal principal construido de tierra (Figura 20).



Figura 20 Exceso de humedad por filtraciones sobre cultivo de maíz

Además de maíz, predominante en la zona de riego, en menor proporción, pero igualmente importante se observa el cultivo de alfalfa (*Medicago sativa* L.). De igual

manera los productores de dicho cultivo esperan el único riego que les será suministrado en la temporada y la humedad aportada por precipitaciones. En algunas parcelas el cultivo de alfalfa goza de buen desarrollo debido al riego oportuno en su desarrollo, mientras que en otras tantas se espera que la producción al menos pague los gastos generados por la siembra (Figura 21).



Figura 21 Aplicación deficiente del riego en el cultivo de alfalfa

Una vez realizado el recorrido en campo de la zona de riego Los Peroles, se procedió a convocar a una junta con el comité del ejido San Francisco, encargado del sistema de riego. A los usuarios asistentes se les comunicó del estudio que se llevaría a cabo, el cual involucraba su cooperación para seguir realizando visitas y, para esta parte del estudio, realizar un censo en el cual se detallaría la superficie que riegan actualmente en cada potrero (Anexo A).

Con base en el censo de cultivos realizado a los productores de las 733 hectáreas que conforma el regadío, se confirma que el cultivo predominante en la zona de riego Los Peroles es el maíz con 75% de la superficie, seguido de la alfalfa con el 25% (Cuadro 4).

Cuadro 4 Superficie aprovechable de los principales cultivos de la zona de riego Los Peroles

CULTIVOS		ÁREA (ha)
ANUAL	Maíz	552.81
PERENNE	Alfalfa	179.37
TOTAL		733.99

1.3 Usos y costumbres de regadores

La utilización eficiente del agua por parte del regante requiere, además de una concientización previa (y, en su caso, de unos mínimos incentivos económicos), el intercambio de conocimientos con los extensionistas, ingenieros y científicos. El disponer de la suficiente información técnica, apoyada en experimentación de campo, que ayude a la elección del sistema de riego más adecuado en cada caso y la exigencia de la utilización de materiales y equipos homologados son, entre otros, aspectos básicos para aumentar la producción en las tierras de regadío, mediante el aprovechamiento eficiente del agua, a través de prácticas productivas y eficaces.

El regante, al igual que el extensionista y el técnico, requiere conocer la evapotranspiración de sus actividades agrícolas en el sistema de cultivo elegido para su explotación, aplicar las técnicas de programación de riegos que definen el momento y la cuantía de cada riego, conocer y controlar los principales factores que interviene en el proceso de aplicación del agua a la parcela según el sistema de riego y velar para que las instalaciones estén bien diseñadas, manejadas y conservadas (Pereira *et al.*, 2010).

1.4 Estudio edafológico

1.4.1 Muestreo de suelos

Un aspecto esencial en la determinación del requerimiento de riego de los cultivos consiste en conocer las características físico-químicas de los suelos irrigados. Para el presente trabajo, se cita el estudio de suelos realizado por Cisneros *et al.* (2014),

el cual consistió en la toma de muestras de suelo en 12 puntos a diferentes estratos a lo largo de la zona de riego Los Peroles. En el estudio se determinan parámetros como la conductividad eléctrica (CE), pH, NO₃⁺, NaCl y K⁺ (Cuadro 5).

Cuadro 5 Parámetros químicos del suelo en la zona de riego Los Peroles

Fuente: Cisneros *et al.* (2014)

Punto	Capa	Profundidad (cm)	Conductividad Eléctrica (mS)	pH	Solución				Coordenadas
					NO ₃ ⁺ (ppm)	NaCl (%)	K ⁺ (ppm)	pH	
Ojo de agua 1	1	34	0.26	5.5	54x10	0.02	21x10	8.6	N 22°08'37.1"
	2	20	0.77	6	20x10	0.09	97x1	8.26	W 99°54'07.3"
	3	22	1.15	5.4	22x10	0.019	12x10	8.83	
Ojo de agua 2	1	26	2.07	5.2	17x10	0.019	29x10	7.78	N 22°08'20.5"
	2	70	2.07	5.6	74x10	0.16	14x10	7.75	W 99°53'50.0"
Ojo de agua 3	1	25	4.59	5	27x10	0.16	19x100	8.36	N 22°07'44.7"
	2	26	3.16	5.5	22x10	0.039	11x100	8.03	W99°53'37.3"
	3	34	2	5.4	21x10	0.027	10x100	7.93	
Camarones	1	0-20	0.4	4.5	12x10	0.016	26x10	7.75	N 22°07'34.8"
	2	20-55	0.75	6	11x10	0.017	12x10	7.79	W 99°57'26.6"
Pilares	1	0-20	0.35	5.8	67x10	0.02	43x10	7.9	N 22°05'27.1"
	2	20-60	2.86	5	86x10	0.03	60x10	7.69	W 99°52'31.9"
	3	60-75	1.26	5.5	87x10	0.02	37x10	7.51	
La Curva	1	25	0.27	4.8	73x10	0.02	8x10	8.03	N 22° 04' 20.5"
	2	75	0.37	5.9	73x10	0.03	36x10	8.24	W 99° 51' 49.2"
La Cruz	1	20	0.02	4.8	92X10	0.01	42X10	7.55	
	2	30	0.23	5.2	15X10	0.03	28X10	7.58	N 22° 03' 41.8"
	3	30	0.44	6.3	18X10	0.02	25X10	7.67	W 99° 51' 38.7"
La Laguna	1	20	0.43	5.4	76x10	0.05	43x10	7.78	N 22° 03' 19.2"
	2	60	0.56	5.8	96x10	0.07	55x10	8.01	W 99° 51' 17.2"
El Gigantal	1	20	0.83	5.8	75x10	0.03	75x10	7.98	N 22° 05' 52.9"
	2	65	5.09	6	78x10	0.07	78x10	8.03	W 99° 51' 46.5"
	3	25	1.96	6					
Palo Gacho	1	20	0.18	5.4	87x10	0.01	48x10	7.68	N 22° 02' 32.8"
	2	50	1.23	5.8	68x10	0.03	33x10	7.79	W 99° 52' 10.0"
	3	30	1.87	5.6	17x10	0.08	42x10	7.87	W 99° 52' 10.0"
El Callejón	1	45	0.15	5.2	92x10	0.04	38x10	7.46	N 22° 03' 20.8"
	2	30	0.44	5.8	15x10	0.02	43x10	7.67	W 99° 52' 05.0"
La Galvaleña	1	25	0.34	5.6	69x10	0.02	44x10	7.76	N 22° 03' 53.1"
	2	80	0.13	5.2	16x10	0.01	58x10	7.99	W 99° 52' 22.3"

1.4.2 Características físicas y químicas de los suelos irrigados

Textura. Los suelos se agruparon en la clase de textura arcillosa (Cuadro 6). De acuerdo con Russell (2000), Porta *et al.* (1993) y Brady y Weil (2008), la clase arcillosa presenta las propiedades siguientes: superficie específica muy elevada, y partículas con carga eléctrica superficial y comportamiento coloidal. Estas propiedades tienen, entre otras, las implicaciones agrícolas siguientes: a) capacidad de intercambio catiónico alta. Cuanto más arcilla hay en un suelo, tanto más elevada

es su capacidad de intercambio de cationes. Los suelos de la clase arcillosa exceden por lo general de 20 cmol (+) kg⁻¹; b) capacidad de retención y suministro de agua elevada. A medida que aumenta la cantidad de arcilla, también aumenta la capacidad para retener agua; así, el suministro de agua a la planta es mayor en los suelos arcillosos que en los arenosos; c) permeabilidad baja. Al incrementarse el contenido de arcilla, disminuye la tasa del movimiento del agua y del aire a través del suelo, lo cual puede ocasionar problemas de encharcamiento y falta de oxígeno; y d) dificultad de laboreo. En los suelos arcillosos dura poco tiempo el tempero, por lo que resulta difícil realizar las labores en el momento oportuno. Cuando el suelo está muy húmedo, la arada no lo disgrega, sino que forma grandes prismas invertidos; por el contrario, cuando está seco, esta labor requiere gran tracción y forma muchos terrones, que algunas veces no se destruyen con la rastra, sino que se hunden en el suelo.

Cuadro 6 Valores promedio del porcentaje de cada fracción (cinco muestras) y clases de textura del suelo (capa superficial 0 - 30 cm, subsuelo 30 - 60 cm)

Fuente: Cisneros *et al.* (2014)

Zona	0 - 30 cm				30 - 60 cm			
	Arena	Limo	Arcilla	Clasificación	Arena	Limo	Arcilla	Clasificación
Norte	22.19	27.85	49.96	Arcilloso	24.18	26.21	49.61	Arcilloso
Media	31.43	21.74	46.83	Arcilloso	33.93	20.61	45.45	Arcilloso
Sur	21.23	29.6	49.17	Arcilloso	24.62	27.87	47.49	Arcilloso

Materia orgánica. En la porción norte y media predominan los suelos con nivel medio de materia orgánica, mientras que en la porción sur se caracterizan por corresponder al nivel pobre (Cuadro 7).

Cuadro 7 Valores promedio del porcentaje de materia orgánica (cinco muestras) del suelo en el regadío del ejido San Francisco (capas superficial 0-30 cm, subsuelo 30-60 cm)

Fuente: Cisneros *et al.* (2014)

Zona	0-30 cm		30-60 cm	
	Promedio	Clasificación	Promedio	Clasificación
Norte	2.4	Medio	2.2	Medio
Media	2.6	Medio	1.7	Pobre
Sur	1.3	Pobre	0.9	Pobre

Salinidad. Con base en los valores promedio de conductividad eléctrica (Meq 100 g⁻¹), los suelos se clasifican como salinos (Cuadro 8). En este regadío, los suelos en forma natural han estado sujetos a un ciclo anual de inundación y secamiento, lo cual ha conducido a la acumulación de sales. Asimismo, durante alrededor de 200 años se han regado con aguas salinas. Con base en la información anterior y en el historial de uso de las áreas de riego señaladas, se puede afirmar que el problema de salinidad de los suelos del área de estudio, es el resultado de la transformación en regadío de terrenos impropios para el cultivo. Para mantener en producción estos suelos, se requiere de cultivos tolerantes a las sales y el uso de prácticas de manejo del suelo adecuadas.

Cuadro 8 Valores promedio de conductividad eléctrica (cinco muestras) del suelo en el regadío del ejido San Francisco (capas superficial 0-30 cm, subsuelo 30-60 cm)

Fuente: Cisneros *et al.* (2014)

Zona	0-30 cm		30-60 cm	
	Meq 100 g ⁻¹	Clasificación	Meq 100 g ⁻¹	Clasificación
Norte	7.65	Salino	7.82	Salino
Media	9.24	Salino	7.22	Salino
Sur	11.58	Salino	9.97	Salino

pH. Los valores promedio del pH indican que los suelos corresponden a las clases neutras y ligeramente alcalinas (Cuadro 9). Algunos efectos esperables en suelos ligeramente alcalinos, son: i) disminución de la disponibilidad de fósforo, pues con valores de pH mayores de 7.5 el fósforo se encuentra en forma poco soluble (fosfato tricálcico); ii) deficiencias de hierro, manganeso, zinc, cobre, boro y cobalto; particularmente destacan problemas de clorosis; y iii) supresión de organismos benéficos; los organismos fijadores de nitrógeno disminuyen su actividad rápidamente a valores de pH superiores a 7.4 (Allaway, 1957; Russell, 2000; Porta *et al.*, 1993; Brady y Weil, 2008).

Cuadro 9 Valores promedio del pH (cinco muestras) del suelo en el regadío del ejido San Francisco (capas superficial 0-30 cm, subsuelo 30-60 cm)

Fuente: Cisneros *et al.* (2014)

Zona	0-30 cm		30-60 cm	
	Promedio	Clasificación	Promedio	Clasificación
Norte	7.9	Ligeramente alcalino	7.9	Ligeramente alcalino
Media	7.5	Neutro	7.5	Neutro
Sur	8.0	Ligeramente alcalino	7.9	Ligeramente alcalino

Sodificación. Con excepción de la porción sur del regadío (donde los valores promedio son mayores de 5%), el porcentaje de sodio intercambiable (PSI) de la mayoría de los suelos es menor que 5% (Cuadro 10); esto es, por debajo del valor máximo a partir del cual se pierden las propiedades físicas favorables de los suelos arcillosos (Dudal, 1967; Porta *et al.*, 1993). Así, los valores de PSI son menores a 15%, con lo cual los suelos no presentan serias dificultades para mantener su permeabilidad (Russell, 2000; Brady y Weil, 2008).

Cuadro 10 Valores promedio del porcentaje de sodio intercambiable (cinco muestras) del suelo en el regadío del ejido San Francisco (capas superficial 0-30 cm, subsuelo 30-60 cm)

Fuente: Cisneros *et al.* (2014)

Zona	0-30 cm	30-60 cm
	Promedio	Promedio
Norte	2.6	2.6
Media	4.4	3.0
Sur	7.9	7.1

iones. En el complejo de adsorción y en la solución del suelo, los principales cationes se encuentran el orden de concentración siguiente $Mg > Ca = Na > K$; mientras que los aniones principales se presentan de la manera siguiente: $SO_4 > Cl > HCO_3$. Esto hace suponer que los principales compuestos presentes en el suelo son $MgSO_4$, $CaSO_4$, $MgCl_2$, $NaCl$ y $CaCl_2$ (Cuadros 11 y 12). La información anterior es similar a la que se presenta para el grupo Solonchaks en la Base Referencial Mundial del Recurso Suelo (IUSS Grupo de Trabajo WRB, 2007).

Cuadro 11 Valores promedio de cationes y aniones (cinco muestras) del suelo en el regadío del ejido San Francisco (capa superficial 0-30 cm)

Fuente: Cisneros *et al.* (2014)

Zona	Cationes (meq 100 g ⁻¹)				Aniones (meq 100 g ⁻¹)		
	Ca	Mg	Na	K	HCO ₃	Cl	SO ₄
Norte							
Media	33.82	59.08	29.16	7.09	1.32	22.06	95.47
Sur	52.94	83.31	55.54	4.68	11.57	35.30	131.60

Cuadro 12 Valores promedio de cationes y aniones (cinco muestras) del suelo en el regadío del ejido San Francisco (capa subsuelo 30-60 cm)

Fuente: Cisneros *et al.* (2014)

Zona	Cationes (meq 100 g ⁻¹)				Aniones (meq 100 g ⁻¹)		
	Ca	Mg	Na	K	HCO ₃	Cl	SO ₄
Norte							
Media	27.41	55.00	19.69	5.19	1.28	17.68	79.15
Sur	42.88	60.41	43.57	4.65	11.19	29.14	117.31

Los suelos irrigados del ejido San Francisco, Rioverde, San Luis Potosí, se caracterizan por lo siguiente: predominio de la fracción arcilla; contenido de materia orgánica (%) en los niveles pobre (0.0-2.0) y medio (2.1-3.0); pH en los niveles neutro (6.6-7.5) y ligeramente alcalino (7.6-8.0); conductividad eléctrica ≥ 4 meq 100 g⁻¹ a 25°C. Asimismo, los suelos son poco profundos y con mal drenaje, y regados con aguas con conductividad eléctrica > 2000 $\mu\text{mhos cm}^{-1}$ a 25°C, por lo que muestran acumulación de sales.

Los procesos de afectación de los suelos por sales pueden ser atenuados o controlados mediante la disminución de la concentración salina del agua de riego, la lixiviación, el uso de enmiendas en el agua o el suelo si existe riesgo de sodificación, y el mejoramiento del drenaje (USSLS, 1954; Rhoades, 1984; Ayers y Westcot, 1987; Abrol *et al.*, 1988; Rhoades *et al.*, 1992; Chhabra, 1996).

El mejoramiento del drenaje interno y la lixiviación, como medidas para reducir la acumulación de sales en el suelo, pueden conducir a la producción de mayores volúmenes de agua de percolación que al ser descargados en los cauces o en los acuíferos, ocasiona problemas de degradación ambiental. Por tal motivo, estas prácticas deben ser rigurosamente controladas para evitar daños al ambiente (Rhoades *et al.*, 1992; Council For Agricultural Science and Technology, 1996).

1.5 Medición hidrométrica de uso para riego

La fuente principal que abastece el agua para riego en la zona de estudio proviene del manantial Los Peroles, la cual aporta un gasto de salida de 460 l s^{-1} , esto es 39,744 metros cúbicos por día. Para el presente trabajo se hace referencia al estudio de medición hidrométrica sobre el canal principal realizado por Cisneros *et al.* (2014), en el cual se detalla el gasto que transita sobre el canal desde su inicio en el manantial Los Peroles hasta la comunidad de San Francisco.

1.5.1 Descripción del equipo utilizado

El equipo que se utilizó para medir la velocidad del agua es el Flow-Tracker® (Figura 22). Este equipo usa la tecnología probada del Velocímetro Acústico Doppler (ADV) de Sontek/YSI desde una interfaz simple manual. La tecnología ADV tiene varias ventajas entre las cuales están:

- ❖ Medidas precisas de velocidad en volumen de muestra remoto.
- ❖ Calibración invariable de fábrica, ya no son necesarias calibraciones periódicas.
- ❖ Rendimiento excelente en corrientes grandes y pequeñas teniendo un error del 1% de la velocidad medida.

El Flow-Tracker® utiliza el efecto Doppler midiendo el cambio de frecuencia del sonido que es devuelto por las partículas del agua.

El Flow-Tracker® mide la velocidad de la siguiente manera:

- ❖ El transmisor genera un pulso corto de sonido de una frecuencia conocida.
- ❖ A medida que el pulso atraviesa el volumen de muestreo el sonido es reflejado en todas direcciones por las partículas del agua como son sedimentos, burbujas u organismo.
- ❖ Los receptores acústicos reciben la señal reflejada.
- ❖ El Flow-Tracker® mide el cambio de frecuencia (efecto Doppler) para cada receptor.



Figura 22 Dispositivo para medir caudales Marca Flow-Tracker®

1.5.2 Resultados hidrométricos obtenidos

Para obtener los resultados del gasto en cada una de las secciones medidas durante la campaña de medición, se procedió a vaciar en una hoja de cálculo (Excel) los tirantes y las velocidades medidas del agua y el ancho del canal.

Se vaciaron en Excel las tres lecturas de la velocidad del agua (V_i , V_m y V_f) estas corresponden de acuerdo a la Figura 23.



Figura 23 Ubicación en planta de las tres velocidades medidas

Con el promedio de las tres velocidades (V_p), el tirante (y) y la base del canal (b), se determinó el gasto que estaba transitando por la sección utilizando la siguiente fórmula:

$$Q = V_p(y)(b)$$

La base, sólo se midió en algunas secciones y solo en donde se observaba que la sección del canal era rectangular.

En el Cuadro 13, se presentan los valores del gasto calculado en las diferentes estaciones medidas del canal, desde el manantial Los Peroles hasta la comunidad San Francisco.

Cuadro 13 Gasto calculado en el canal principal en las estaciones medidas desde el manantial Los Peroles hasta el Ejido San Francisco

Fuente: Cisneros *et al.* (2014)

Estación	Y (m)	Vi (m s ⁻¹)	Vm (m s ⁻¹)	Vf (m s ⁻¹)	Ancho (m)	Gasto (L s ⁻¹)
0+000	0.43	0.56	0.7	0.513	1.8	457.43
0+050	0.50	0.46	0.592	0.47	1.8	456.60
0+150	0.55	0.405	0.489	0.461		
0+350	0.23	0.582	0.648	0.532		
0+550	0.52	0.47	0.608	0.46		
0+750	0.63	0.329	0.429	0.38		
0+950	0.75	0.339	0.383	0.34		
1+150	0.68	0.37	0.451	0.455		
1+350	0.37	0.604	0.606	0.6		
1+550	0.53	0.512	0.517	0.55		
1+750	0.44	0.503	0.553	0.521		
1+950	0.48	0.451	0.637	0.427		
2+150	0.76	0.319	0.328	0.366		
2+350	0.67	0.304	0.413	0.402		
2+550	0.60	0.327	0.361	0.343		
2+750	0.43	0.366	0.512	0.461		
2+950	0.45	0.366	0.431	0.451	1.8	336.96
3+000	0.52	0.245	0.31	0.274	2.34	336.24
3+200	0.46	0.276	0.425	0.435		
3+400	0.53	0.261	0.339	0.322		
3+600	0.36	0.36	0.629	0.6		
3+800	0.44		0.357	0.385		
4+000	0.31	0.405	0.507	0.582		
4+200	0.41	0.512	0.55	0.523		
4+400	0.52	0.314	0.377	0.345		
4+600	0.68	0.269	0.322	0.278	1.7	334.85
4+800	0.79	0.247	0.237	0.296		
5+000	0.84	0.295	0.36	0.359		
5+200	0.78	0.213	0.243	0.25		
5+400	0.34	0.366	0.419	0.609		
5+600	0.23			0.609		
5+800	0.38	0.518	0.463	0.722		
7+000	0.22	0.713	0.671	0.406		

7+500	0.60	0.229	0.222	0.195		
8+000	0.48	0.245	0.219	0.234		
8+500	0.55	0.222	0.19	0.217		
9+000	0.90	0.05	0.401	0.354		
9+500	0.91	0.171	0.151	0.149		
10+000	0.90	0.158	0.136	0.054		
10+500	0.89		0.216		1	192.24
11+000	0.78	0.116	0.132	0.124		
11+500	0.52	0.208	0.217	0.195		
12+000	0.57	0.176	0.181	0.167	1.92	191.16
12+450	0.40	0.254	0.304	0.146	2	187.73

Del estudio anterior se puede apreciar que, una vez transcurridos 12.45 km sobre el canal principal, solo llegan 187.73 L s⁻¹ del total de agua aportada por el manantial de 460 L s⁻¹.

1.5.3 Eficiencia de conducción del canal principal (E_{fc})

En México, es común dividir la eficiencia de los canales en dos partes: la eficiencia de conducción y la eficiencia de distribución. La primera se refiere a la red mayor, es decir, al canal principal y laterales; y la segunda se aplica a la red menor, o sea a la red de canales menores o ramales. Sin embargo, en la práctica es difícil encontrar valores de eficiencias de conducción y distribución separadas, y lo más común es encontrar cálculos de la eficiencia del canal principal.

Para calcular dicha eficiencia se puede usar la sencilla fórmula (Palacios, 1981):

$$E_{fc} = \frac{\sum_{i=1}^n q_i}{Q}$$

Donde E es la eficiencia; q_i es el gasto en cada salida del canal; n es el número total de salidas y Q es el gasto en la entrada del canal.

El gasto que inicialmente aporta el manantial hacia el canal es de 460 L s⁻¹, disminuyendo gradualmente a través de los 20.5 km con que cuenta el canal principal. Una vez obtenido el gasto total que llega en el canal principal a la zona de riego (187.73 L s⁻¹), se procede a estimar la eficiencia por conducción:

$$E_{fc} = \frac{Q_p}{Q_t} * 100 = \frac{187.73}{460} * 100$$

Por lo tanto la eficiencia de conducción fue de 40.8%.

1.6 Calidad del agua para riego

Además de la cantidad de agua disponible es necesario conocer su calidad. Para la determinación de la calidad del agua a emplear en el regadío, se realizó la toma de siete muestras de agua sobre el canal principal. Los puntos en los cuales se realizó el muestreo fueron los potreros Palo Gacho, Gigantal, Puente Don A., Lagunita, La Cruz, Galvaleña y Maquinaria. Dentro de los parámetros considerados están: Dureza, pH, Conductividad eléctrica (CE), Sólidos Disueltos Totales (SDT), Cloruros (Cl⁻), Alcalinidad Total, Sodio (Na⁺), Potasio (K⁺), Sulfatos (SO₄²⁻).

En el Cuadro 14 se presentan los resultados del análisis químico del agua utilizada para riego, determinados en el laboratorio de Ciencias de la Tierra de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí.

Cuadro 14 Determinación de parámetros químicos del agua (7 muestras)

SITIO	Dureza Total (mg l ⁻¹)	Dureza Ca ²⁺ (mg l ⁻¹)	Dureza Mg ²⁺ (mg l ⁻¹)	pH	CE (dS m ⁻¹)	SDT (mg l ⁻¹)	Cl ⁻ (mg l ⁻¹)	Alcalinidad (mg l ⁻¹)	Na ⁺ (mg l ⁻¹)	K ⁺ (mg l ⁻¹)	SO ₄ ²⁻ (mg l ⁻¹)
Palo Gacho	37.1	18.2	18.9	7.8	2.05	1004.0	0.9	1.1	52.1	6.1	650.0
Gigantal	36.4	21.5	14.9	7.6	2.05	1005.0	0.9	1.3	55.6	6.5	1000.0
Puente Don A.	42.2	16.4	25.8	7.8	2.02	990.0	0.7	1.3	56.9	6.2	300.0
Lagunita	39.6	16.7	22.9	7.9	1.99	978.0	0.7	1.3	60.0	6.1	1000.0
La Cruz	38.5	16.7	21.8	7.7	2.02	992.0	0.9	1.6	59.6	6.5	1100.0
Galvaleña	35.6	17.1	18.5	7.9	2.05	1005.0	1.0	1.9	50.4	5.7	700.0
Maquinaria	34.5	18.2	16.4	7.9	2.03	995.0	1.0	1.9	53.6	6.4	1100.0

Para dictaminar una recomendación general del agua para riego, se cuenta con la ayuda del software CAR® v.1.0, el cual toma como base la clasificación del USDA (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos) del Manual No. 60, de la recopilada por Palacios y Aceves (1960), del Manual No. 29 de la FAO (Water Quality for Agriculture) y por otras clasificaciones que se proponen a nivel mundial.

Como resultado del análisis que realiza el software, el agua se clasifica como C3S1; la recomendación general para riego es condicionada.

2 DETERMINACIÓN DE LAS NECESIDADES HÍDRICAS DE LOS PRINCIPALES CULTIVOS

2.1 Determinación del requerimiento de riego de los cultivos con el programa CROPWAT© 8.0

La cantidad de agua que necesitan los cultivos para poder cumplir con sus necesidades de transpiración, así como las de evaporación en el medio en que se desarrollan, se determinó para los principales cultivos sembrados en la zona de riego: Anual: Maíz y Perenne: Alfalfa.

El cálculo de los requerimientos se realizará mediante el software CROPWAT© 8.0, desarrollado por la FAO (Swennenhuis, 2009). Este programa estima los requerimientos de riego de los cultivos con fines de planeación de zonas de riego. Los cálculos se basan en la estimación de la evapotranspiración potencial de los cultivos (ETc) a partir de la evapotranspiración de referencia (ETo) calculada por el método FAO Penman-Monteith con datos climáticos diarios mensuales. Esta estimación es usada para calcular los requerimientos de riego de los cultivos, usada posteriormente para la programación del riego de acuerdo a un plan de cultivos de una zona de riego.

2.1.1 Cálculo de la evapotranspiración de referencia

Para determinar la ETo se necesitan los datos de temperatura mínima y máxima, humedad, velocidad del viento y horas de insolación. Estos valores fueron extraídos de la estación meteorológica No. 24066 San Francisco, ubicada en el ejido San Francisco, Rioverde, S.L.P. a una altitud de 1013 msnm. El cálculo de ETo llevado a cabo por el método FAO Penman-Monteith, se expresa como:

$$ET_o = \frac{0.408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34 u_2)}$$

donde:

ET_o: evapotranspiración de referencia (mm día⁻¹)

R_n: radiación neta en la superficie del cultivo (MJ m⁻² día⁻¹)

R_a: radiación extraterrestre (mm día⁻¹)

G: flujo del calor de suelo (MJ m⁻² día⁻¹)

T: temperatura media del aire a 2 m de altura (°C)

u₂: velocidad del viento a 2 m de altura (m s⁻¹)

e_s: presión de vapor de saturación (kPa)

e_a: presión real de vapor (kPa)

e_s – e_a: déficit de presión de vapor (kPa)

Δ: pendiente de la curva de presión de vapor (kPa °C⁻¹)

γ: constante psicrométrica (kPa °C⁻¹)

En el siguiente cuadro se presentan los valores obtenidos de la estación meteorológica, así como el resultado de la ET_o mensual y el promedio anual.

Cuadro 15 Cálculo de la evapotranspiración de referencia mediante el programa CROPWAT© 8.0

Mes	Temp Min	Temp Max	Humedad	Viento	Insolación	Rad	Et
	°C	°C	%	m s ⁻¹	horas	MJ m ⁻¹ día ⁻¹	mm
Enero	6.9	24.2	70	1.0	4.6	12.0	2.2
Febrero	7.9	26.9	64	1.3	5.2	14.2	2.9
Marzo	10.8	31.2	58	1.3	5.4	16.3	3.8
Abril	13.7	33.8	57	1.3	5.2	17.3	4.3
Mayo	16.3	35.1	60	1.5	5.6	18.3	4.8
Junio	17.1	33.6	65	1.8	5.5	18.2	4.8
Julio	16.7	31.7	68	1.7	5.9	18.7	4.5
Agosto	16.4	31.8	68	1.6	6.0	18.5	4.4
Septiembre	16.2	30.2	74	2.0	4.8	15.8	3.8
Octubre	13.5	28.4	75	1.8	4.9	14.3	3.3
Noviembre	10.3	26.5	74	1.3	4.8	12.5	2.6
Diciembre	7.9	24.7	74	1.0	4.4	11.2	2.1
Promedio	12.8	29.8	67	1.5	5.2	15.6	3.6

El promedio de la evapotranspiración de referencia anual obtenida es de 3.68 mm día⁻¹.

2.1.2 Precipitación efectiva

La precipitación efectiva es la fracción de la precipitación que se almacena en la zona de raíces, la cual no incluye el agua percolada, interceptada, escurrida o evaporada que al precipitarse no llega a la zona radical. Los valores de precipitación fueron obtenidos de la estación meteorológica No. 24066 San Francisco, con historial de 1961 al 2011.

El método utilizado para determinar la precipitación efectiva en el software CROPWAT© 8.0 es con base a la ecuación FAO/AGLW, el cual el programa lo define como el más confiable.

De acuerdo con un análisis llevado a cabo para diferentes climas semiáridos y subhúmedos, esta fórmula empírica se desarrolló en el Servicio de Aguas de la FAO para estimar la precipitación confiable como el efecto combinado de la precipitación confiable (80% de probabilidad de excedencia) y las pérdidas estimadas debido a la Escorrentía Superficial (ES) y a la Percolación Profunda (PP). Esta fórmula puede ser utilizada para fines de diseño, en caso que se requiera el valor de la precipitación con 80% de probabilidad de excedencia (Dastane, 1974):

Valores mensuales de precipitación:

$$P_{ef} = 0.6 * P - 10 \quad \text{para } P_{\text{mensual}} \leq 70 \text{ mm}$$

$$P_{ef} = 0.8 * P - 24 \quad \text{para } P_{\text{mensual}} > 70 \text{ mm}$$

En el Cuadro 16 se muestra el resultado de la precipitación efectiva mensual y el total anual.

Cuadro 16 Cálculo de la precipitación efectiva

	Precipitación mm	Prec. Efectiva mm
Enero	7.3	0
Febrero	5.4	0
Marzo	8.4	0
Abril	14.7	0
Mayo	28.4	7
Junio	52	21.2
Julio	62	27.2
Agosto	49.8	19.9
Septiembre	88.3	46.6
Octubre	31.1	8.7
Noviembre	6.4	0
Diciembre	7	0
Total	360.8	130.6

La precipitación efectiva anual obtenida es de 130.6 mm.

2.1.3 Datos del cultivo y fecha de siembra

Para el cálculo de la dosis de riego adecuada y de la cantidad de agua requerida para el cultivo, es necesario ingresar los datos respectivos del tipo de cultivo.

Los datos requeridos para este apartado son los siguientes:

- Fecha de siembra
- Coeficiente del cultivo (K_c)
- Etapa fenológica (días)
- Profundidad radicular
- Agotamiento crítico (fracción)
- Factor de respuesta al rendimiento
- Altura del cultivo (m)

Los valores de estos parámetros vienen programados previamente en el programa CROPWAT© 8.0., los cuales se despliegan de forma automática una vez se haya seleccionado el tipo de cultivo y la fecha de siembra.

Para el presente estudio se utilizaron los datos de los dos cultivos predominantes en la zona de riego: maíz y alfalfa. Las fechas de siembra fueron proporcionadas tanto por el comité ejidal como por los usuarios del sistema de riego. Las Figuras 24 y 25 muestran los datos para el cultivo de maíz y alfalfa obtenidos del programa CROPWAT©.

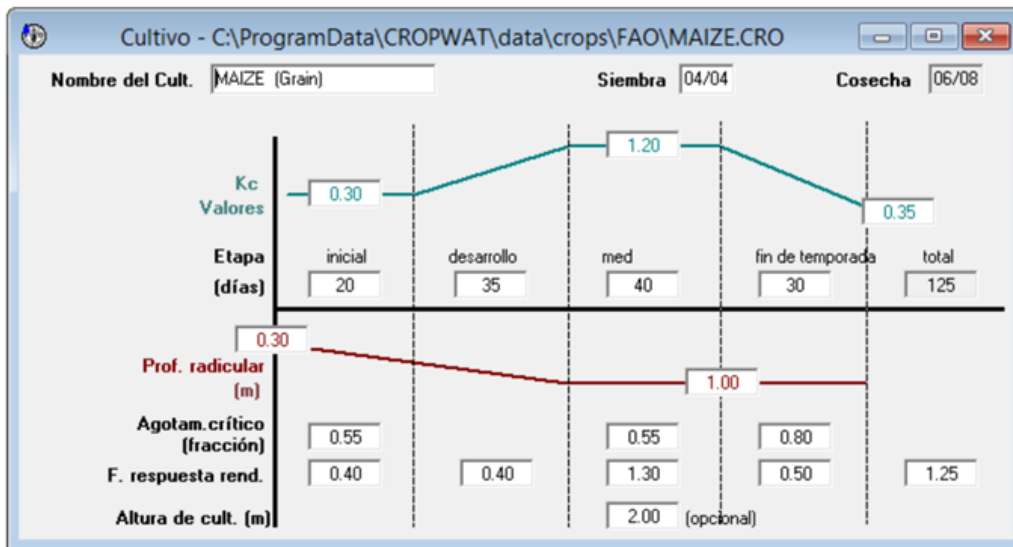


Figura 24 Datos del cultivo de maíz

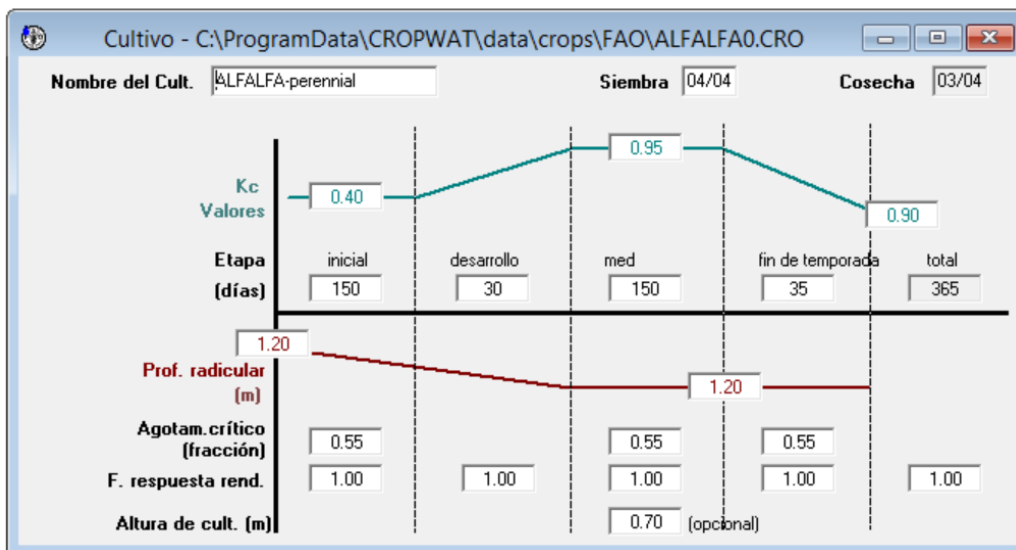


Figura 25 Datos del cultivo de alfalfa

2.1.4 Parámetros del suelo

El suelo es un medio complejo, caracterizado por una atmósfera interna, una economía particular del agua, una flora y una fauna determinadas y unos elementos minerales (Duchaufour, 1975). Los suelos se pueden definir como la capa superior de la superficie terrestre donde materiales geológicos, llamados por los científicos del suelo como materiales matrices, han sufrido cambios bajo la influencia del medio ambiente del sitio pertinente (Bornemisza, 1986).

Los principales factores que influyen en la formación de los suelos son:

- a) Factores Litológicos: son aquellos que se refieren a la naturaleza física y química de la roca madre, la cual puede ser de cualquier tipo.
- b) Factores Biológicos: son aquellos que están representados por los seres vivos (plantas, animales, microorganismos), los cuales juegan un papel importante en el desarrollo de los suelos.
- c) Factores Topográficos: son aquellos que se derivan de la ubicación geográfica de los suelos.
- d) Factores Climáticos: son los más importantes en la formación de los suelos ya que el clima establece las condiciones de temperatura y humedad.
- e) Factores Temporales: el tiempo es otro factor necesario para que el resto de los factores que influyen en la formación de los suelos puedan actuar.

En la evaluación preliminar de las potencialidades y limitaciones de los suelos es necesario conocer una serie de características del suelo y del ambiente que lo rodea: textura, estructura, color, drenaje, clima, vegetación natural, material parental, tipo de paisaje, relieve, posición geomorfológica, pendiente, altitud (msnm), pedregosidad, agua superficial, mesa freática y erosión

Los parámetros del suelo nos ayudarán en la programación del riego. Para determinar estos parámetros el programa requiere la textura del suelo. Para el presente caso de estudio se obtuvo en laboratorio que el tipo de suelo es arcilloso. En la Figura 26 se presentan los valores de los parámetros obtenidos con base al tipo de suelo.

Nombre del suelo		
Heavy (clay)		
Datos generales de suelo		
Humedad de suelo disponible total (CC-PMP)	200.0	mm/metro
Tasa maxima de infiltración de la precipitación	40	mm/día
Profundidad radicular máxima	900	centímetros
Agotamiento inicial de hum. de suelo (como % de ADT)	0	%
Humedad de suelo inicialmente disponible	200.0	mm/metro

Figura 26 Parámetros del suelo con base en su textura

2.1.5 Requerimiento de riego de cultivos

La cantidad de agua necesaria para compensar la pérdida de evapotranspiración del campo de cultivo se define como el Requerimiento de agua del cultivo. Aunque los valores de la evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándar (ET_c) y los requerimientos de agua del cultivo son idénticos, los requerimientos de agua del cultivo se refieren a la cantidad de agua que debe suministrarse, mientras que la evapotranspiración del cultivo se refiere a la cantidad de agua que se pierde a través de la evapotranspiración.

La evapotranspiración del cultivo puede calcularse a partir de datos climáticos y la integración directa de los factores resistencia del cultivo, albedo y resistencia del aire en el enfoque Penman-Monteith.

Como todavía hay una considerable falta de información para los diferentes cultivos, el método de Penman-Monteith se utiliza para la estimación de la evapotranspiración de referencia (ET_o). Relaciones de ET_c/ET_o determinadas experimentalmente, llamadas coeficiente de cultivo (K_c), se utilizan para relacionar la ET_c con ET_o, entonces la evapotranspiración del cultivo se puede expresar como $ET_c = K_c * ET_o$. Esto se conoce como el enfoque de coeficiente de cultivo para calcular la evapotranspiración del cultivo.

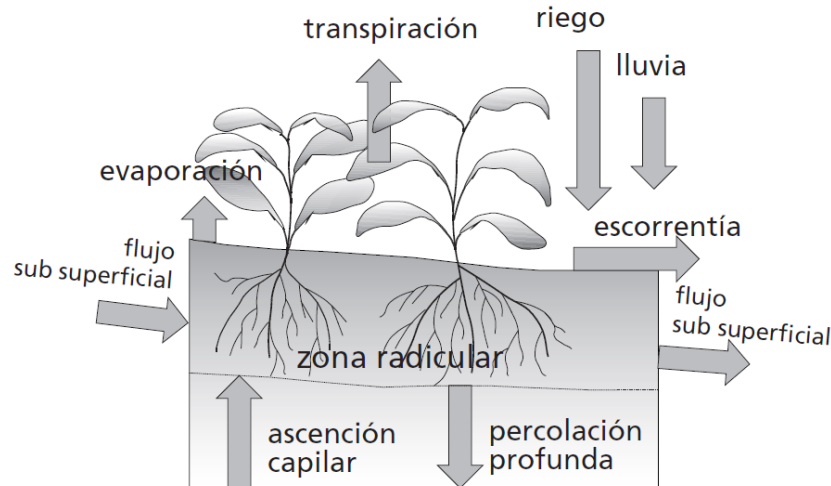
Las diferencias en la anatomía de la hoja, características estomáticas, propiedades aerodinámicas e incluso el albedo causan que la ET_c difiera de la ET_o , en las mismas condiciones climáticas. Debido a las variaciones en las características de los cultivos en su ciclo de cultivo, K_c para un determinado cultivo cambia desde la siembra hasta la cosecha. Siendo el cálculo de los requerimientos de agua de los cultivos un elemento fundamental para el manejo del agua, la FAO ha prestado atención a la estandarización y difusión de la forma más precisa y aceptada para calcularla.

En CROPWAT© 8.0 el cálculo de los requerimientos de agua del cultivo se lleva a cabo por periodos de 10 días (decadarios). Para los cálculos del Requerimiento de Agua del Cultivo (RAC) se utiliza el enfoque de coeficiente de cultivos.

La evapotranspiración del cultivo decadiaria se calcula mediante la multiplicación del número de días efectivos de cultivo. Para convertir los datos de precipitación mensual a valores decadarios, se lleva adelante una interpolación lineal. Los valores para la primera y tercera décadas de cada mes se calculan por interpolación con el mes anterior y posterior, respectivamente. Para compensar las desviaciones en los meses máximo y mínimo, se lleva a cabo una reiteración para cumplir con la condición de que los tres valores decadarios promedian la media mensual.

Los requerimientos de agua son entonces calculados como la diferencia entre la evapotranspiración del cultivo y la precipitación efectiva.

Mediante el cálculo del balance hídrico del suelo para la zona radicular en forma diaria, el momento y la lámina de futuros riegos pueden ser planificados. En la siguiente figura se presenta el balance de agua que ocurre en la zona radicular.



Fuente: Allen *et al.* (2006)

Figura 27 Balance hídrico en el suelo para la zona radicular

Para expresar el contenido de agua como agotamiento de la zona radicular es útil el sumar y restar las ganancias y pérdidas directamente ya que los diferentes parámetros del balance hídrico del suelo se expresan en términos de lámina de agua. La precipitación, riego y ascenso capilar desde la capa freática hacia la zona radicular adicionan agua y disminuyen el agotamiento de agua de dicha zona. La evaporación del suelo, transpiración del cultivo y pérdidas por percolación reducen el agua de la zona radicular e incrementan el agotamiento. El balance hídrico diario del suelo expresado en términos de agotamiento al final del día es igual a:

$$Dr, i = Dr, i-1 - (P - ES)_i - li - Cri + ET_{c, i} + PP_i$$

Donde:

Dr, i : agotamiento de humedad en la zona radicular del suelo al final del día i [mm]

$Dr, i-1$: contenido de humedad en la zona radicular al final del día anterior, $i-1$

P_i : precipitación en el día i [mm]

ES_i : escurrimiento superficial en el día i [mm]

li : lámina neta de riego en el día i que infiltra en el suelo [mm]

CR_i : ascenso capilar proveniente de la mesa de agua subterránea en el día i

$ET_{c, i}$: evapotranspiración del cultivo en el día i [mm]

PPI: pérdidas de agua de la zona radicular por percolación profunda en el día i [mm]
 Con el fin de calcular los requerimientos de riego, CROPWAT© 8.0 calcula un balance hídrico diario de la zona radicular. Los requerimientos netos de riego, son iguales al agotamiento de la zona radicular. Para evitar estrés hídrico del cultivo, el riego debe aplicarse antes o en el momento en que el agua fácilmente disponible se ha agotado. Para evitar las pérdidas por percolación profunda, que podrían lixiviar importantes nutrientes de la zona radicular, la lámina de riego neta debe ser menor o igual al agotamiento de la zona radicular ($li < Dri$).

Con base al tipo de cultivo, CROPWAT© 8.0 calcula el requerimiento de agua para cada mes, en este caso para los dos cultivos predominantes de la zona: maíz y alfalfa. El software determina los valores por periodos de 10 días (decadarios). Teniendo así, que el resultado de la evapotranspiración del cultivo (ETc) lo presenta en milímetros por década ($mm\ dec^{-1}$). En los Cuadros 17 y 18 se presentan los resultados de la determinación de los requerimientos hídricos para el cultivo de maíz en la temporada primavera-verano y verano-otoño respectivamente.

Cuadro 17 Requerimiento de riego para el cultivo de maíz en la temporada primavera-verano

Mes	Década	Etapa	Kc	ETc	ETc	Prec. Efec	Req. Riego
			coef	mm día-1	mm dec-1	mm dec-1	mm dec-1
Abr	1	Inicial	0.30	1.25	8.80	0.00	8.80
Abr	2	Inicial	0.30	1.31	13.10	0.00	13.10
Abr	3	Desarrollo	0.37	1.69	16.90	0.10	16.70
May	1	Desarrollo	0.63	2.94	29.40	1.40	28.00
May	2	Desarrollo	0.89	4.31	43.10	2.00	41.10
May	3	Medio	1.15	5.57	61.30	3.70	57.60
Jun	1	Medio	1.22	5.89	58.90	5.70	53.20
Jun	2	Medio	1.22	5.88	58.80	7.40	51.40
Jun	3	Medio	1.22	5.79	57.90	8.00	49.90
Jul	1	Final	1.20	5.61	56.10	8.80	47.30
Jul	2	Final	0.97	4.46	44.60	9.70	35.00

Jul	3	Final	0.67	3.04	33.50	8.70	24.80
Ago	1	Final	0.42	1.91	11.40	3.80	8.30
					493.70	59.30	435.00

El mayor requerimiento de riego para el cultivo del maíz es en la tercera década del mes de mayo con 5.76 mm día⁻¹.

Cuadro 18 Requerimiento de riego para el cultivo de maíz en temporada verano-otoño

Mes	Década	Etapa	Kc	ETc	ETc	Prec. Efec	Req. Riego
			coef	mm día ⁻¹	mm dec ⁻¹	mm dec ⁻¹	mm dec ⁻¹
Ago	1	Inicial	0.30	1.35	13.50	6.40	7.20
Ago	2	Inicial	0.30	1.34	13.40	5.00	8.40
Ago	3	Desarrollo	0.46	1.95	21.50	8.50	12.90
Sep	1	Desarrollo	0.73	2.98	29.80	14.60	15.20
Sep	2	Desarrollo	0.99	3.85	38.50	18.60	19.90
Sep	3	Medio	1.19	4.43	44.30	13.40	30.90
Oct	1	Medio	1.21	4.27	42.70	6.20	36.50
Oct	2	Medio	1.21	4.04	40.40	1.50	38.90
Oct	3	Medio	1.21	3.77	41.40	1.00	40.40
Nov	1	Final	1.13	3.26	32.60	0.10	32.50
Nov	2	Final	0.85	2.26	22.60	0.00	22.60
Nov	3	Final	0.56	1.41	14.10	0.00	14.10
Dic	1	Final	0.38	0.88	2.70	0.00	2.70
					357.60	75.40	282.20

El mayor requerimiento de riego para el cultivo del maíz en la temporada verano-otoño en el tercer decadiario del mes de octubre con 4.04 mm día⁻¹.

A continuación en el Cuadro 3.5, se determina el requerimiento hídrico para el cultivo de la alfalfa.

Cuadro 19 Requerimiento de riego para el cultivo de alfalfa

Mes	Década	Etapa	Kc	ETc	ETc	Prec.	Req.
			coef	mm día-1	mm dec-1	Efec	mm dec-1
Abr	1	Inicial	0.93	3.86	27.00	0.00	11.60
Abr	2	Inicial	0.40	1.74	17.40	0.00	17.40
Abr	3	Inicial	0.40	1.81	18.10	0.10	17.90
May	1	Inicial	0.40	1.87	18.70	1.40	17.40
May	2	Inicial	0.40	1.94	19.40	2.00	17.30
May	3	Inicial	0.40	1.94	21.30	3.70	17.60
Jun	1	Inicial	0.40	1.93	19.30	5.70	13.60
Jun	2	Inicial	0.40	1.93	19.30	7.40	11.90
Jun	3	Inicial	0.40	1.90	19.00	8.00	11.00
Jul	1	Inicial	0.40	1.87	18.70	8.80	9.90
Jul	2	Inicial	0.40	1.84	18.40	9.70	8.70
Jul	3	Inicial	0.40	1.82	20.00	8.70	11.40
Ago	1	Inicial	0.40	1.81	18.10	6.40	11.70
Ago	2	Inicial	0.40	1.79	17.90	5.00	12.90
Ago	3	Inicial	0.40	1.71	18.80	8.50	10.30
Sep	1	Desarrollo	0.50	2.05	20.50	14.60	5.90
Sep	2	Desarrollo	0.69	2.68	26.80	18.60	8.20
Sep	3	Desarrollo	0.87	3.24	32.40	13.40	19.10
Oct	1	Medio	0.96	3.38	33.80	6.20	27.60
Oct	2	Medio	0.96	3.20	32.00	1.50	30.50
Oct	3	Medio	0.96	2.98	32.80	1.00	31.80
Nov	1	Medio	0.96	2.76	27.60	0.10	27.50
Nov	2	Medio	0.96	2.54	25.40	0.00	25.40
Nov	3	Medio	0.96	2.39	23.90	0.00	23.90
Dic	1	Medio	0.96	2.23	22.30	0.00	22.30
Dic	2	Medio	0.96	2.08	20.80	0.00	20.80
Dic	3	Medio	0.96	2.11	23.20	0.00	23.20
Ene	1	Medio	0.96	2.13	21.30	0.00	21.30
Ene	2	Medio	0.96	2.16	21.60	0.00	21.60
Ene	3	Medio	0.96	2.39	26.30	0.00	26.30

Feb	1	Medio	0.96	2.62	26.20	0.00	26.20
Feb	2	Medio	0.96	2.85	28.50	0.00	28.50
Feb	3	Final	0.96	3.11	24.90	0.00	24.90
Mar	1	Final	0.95	3.36	33.60	0.00	33.60
Mar	2	Final	0.94	3.58	35.80	0.00	35.80
Mar	3	Final	0.93	3.72	40.90	0.00	40.90
Abr	1	Final	0.93	3.86	11.60	0.00	11.60
					883.80	130.90	737.50

Para el cultivo de alfalfa se tiene que el mayor requerimiento de riego es en el tercer decadiario del mes de marzo con 4.09 mm día^{-1} .

2.1.6 Programación del riego

La programación del riego es un proceso de decisión orientado a determinar las cantidades de agua por aplicar y las fechas de aplicación de cada riego para minimizar deficiencias o excesos de humedad en el suelo que pudieran causar efectos adversos sobre el crecimiento, rendimiento y calidad de los cultivos. Con la programación adecuada del riego se pueden lograr objetivos múltiples como ahorrar agua, disminuir costos por ahorro de energía y mano de obra, minimizar estrés hídrico y maximizar rendimiento, así como maximizar calidad, rentabilidad o ingreso (Catalán *et al.*, 2007).

Al realizar la programación del riego en CROPWAT© 8.0 es posible configurar las opciones del momento del riego (relacionadas a cuando se aplicará el riego), aplicación de riego (relacionadas con la cantidad de agua que se entregará en cada riego) y la eficiencia de riego.

Opciones del momento del riego

- *Regar en intervalos definidos por el usuario:* Esta opción se utiliza para evaluar las prácticas de riego, para simular programaciones alternativas de riego y, en particular, para perfeccionar la programación de riego.
- *Regar en agotamiento crítico:* Se utiliza esta opción para fijar la programación en el nivel de agotamiento crítico, que es cuando el Agua Fácilmente

Aprovechable (AFA) se ha usado completamente. Esta opción representa la forma clásica de determinar la programación de riego, resultando en riegos reducidos, pero a irregulares intervalos de riego, lo cual requiere de un sistema de riego flexible.

- *Regar por debajo o por encima del agotamiento crítico:* Este caso es similar al anterior, pero con la posibilidad de fijar el porcentaje de agotamiento. Valores por debajo del 100% significan que el riego se llevará a cabo antes de que el AFA ha sido completamente agotada. Valores por encima del 100% van a permitir un cierto nivel de estrés hídrico del cultivo antes de la aplicación de riego.
- *Regar en intervalos fijos por etapa:* Esta opción permite definir un intervalo de tiempo para cada etapa de crecimiento del cultivo (inicial, desarrollo, mediados de temporada, final). Esta opción es adecuada en caso de un sistema rotacional de distribución de agua, tal como ocurre en la mayoría de los sistemas de riego. Si no se desea riego durante una etapa particular, en este paso se deberá fijar el intervalo de riego superior a la duración de la etapa.
- *Regar en agotamiento fijo:* Permite el momento del riego con base a un valor fijo de agotamiento de la humedad del suelo en mm. Esta opción es adecuada para ajustar la programación de riego para un método de riego de campo, dado que una aplicación fija de agua es aplicada en cada riego.
- *Regar a determinada reducción de ETc por etapa:* En este caso se puede definir el momento de riego en función a una aceptable reducción de la evapotranspiración del cultivo en condiciones estándar (ETc). Esta opción es útil en caso de que se prevea programación de riego bajo déficit, en vista de escasez prevista de suministro de agua.
- *Regar a una reducción del rendimiento determinada:* Permite definir la programación con base a una reducción de rendimiento aceptable. Como en el caso de la opción anterior, esto es útil en caso de incorporar riego deficitario.

- *No regar (secano)*: Esta opción calcula la programación basada solo en la precipitación.

Opciones de aplicación de riego

- *Lámina de aplicación definida por el usuario*: En esta opción se definen las láminas de aplicación de cada riego, funciona de la misma forma como el intervalo de riego definido por el usuario.
- *Llevar el suelo a capacidad de campo (CC)*: En esta opción se riega hasta llevar el suelo a CC. Como el agotamiento en la zona radicular varía con el cambio de la profundidad radicular y de los niveles permitidos de agotamiento, las aplicaciones de riego pueden variar considerablemente a lo largo de la temporada.
- *Llevar el suelo por debajo o por encima de capacidad de campo*: Se realiza como en el caso anterior, pero con la posibilidad de fijar el porcentaje de agotamiento. Cualquier valor por debajo del 100% significa que la humedad del suelo no llegará a CC, lo cual es útil para considerar posibles lluvias. Cualquier valor por encima de 100% va a permitir un cierto nivel de percolación profunda (PP), útil para lixiviación para control de la salinidad.
- *Lámina de riego fija*: Se define una lámina de riego fija en mm. Las láminas de riego normalmente se adaptan al método de riego; esta es una condición predominante en la mayoría de los sistemas de riego superficial, en los que las láminas de riego permiten poca variación.

Dadas las condiciones actuales del regadío, se determina que el momento del riego para la programación es a 70% del agotamiento crítico. Para la aplicación del riego se selecciona reponer el suelo a capacidad de campo (CC). En los Cuadros 10 se presenta la programación de riego del cultivo de alfalfa.

2.1.6.1 Programación de riego de la alfalfa.

A continuación se muestra la programación del riego para el cultivo de alfalfa obtenido con el programa CROPWAT© 8.0.

Cuadro 20 Programación del riego para el cultivo de alfalfa

Fecha	Día	Etapa	Precipit.	Ks	ETa	Agot.	Lám. Neta	Déficit	Pérdida	Lam.Br.	Caudal
			mm	fracc.	%	%	mm	mm	mm	mm	L s ⁻¹ ha ⁻¹
25 Mar	84	Ini	0.00	1.00	100.00	33.00	80.00	0.00	0.00	133.30	0.18
2 Jun	153	Des	0.00	1.00	100.00	34.00	81.40	0.00	0.00	135.70	0.23
11 Jul	192	Med	0.00	1.00	100.00	34.00	80.90	0.00	0.00	134.80	0.40
11 Ago	223	Med	0.00	1.00	100.00	35.00	83.20	0.00	0.00	138.60	0.52
1 Oct	274	Med	0.00	1.00	100.00	33.00	79.60	0.00	0.00	132.70	0.30
5 Nov	309	Med	0.00	1.00	100.00	33.00	80.00	0.00	0.00	133.30	0.44
11 Dic	345	Fin	0.00	1.00	100.00	33.00	80.10	0.00	0.00	133.60	0.43

De lo anterior se obtiene una lámina neta total para el ciclo del cultivo de alfalfa de 565.2 mm y una lámina bruta total de 942 mm.

2.1.6.2 Programación de riego del maíz

En el cuadro siguiente se muestra la programación del riego para el cultivo del maíz en la temporada primavera-verano, obtenido con el programa CROPWAT© 8.0.

Cuadro 21 Programación del riego para el cultivo de maíz en la temporada primavera-verano

Fecha	Día	Etapa	Precipit.	Ks	ETa	Agot.	Lám.Neta	Déficit	Pérdida	Lam.Br.	Caudal
			mm	fracc.	%	%	mm	mm	mm	mm	L s ⁻¹ ha ⁻¹
15 May	42	Des	0	1	100	39	64.7	0	0	107.8	0.3
2 Jun	60	Med	0	1	100	39	78.5	0	0	130.9	0.84
20 Jun	78	Med	0	1	100	40	80.4	0	0	134.1	0.86
12 Jul	100	Fin	0	1	100	42	83.8	0	0	139.7	0.73

De la programación de riego para el maíz se determina una lámina neta total de 307.4 mm y una lámina bruta total de 512.4 mm.

A continuación se muestra la programación del riego para el cultivo del maíz en la temporada verano-otoño, obtenido con el programa CROPWAT© 8.0.

Cuadro 22 Programación del riego para el cultivo de maíz en la temporada verano-otoño

Fecha	Día	Etapa	Precipit.	Ks	ETa	Agot.	Lám.Neta	Déficit	Pérdida	Lam.Br.	Caudal
			mm	fracc.	%	%	mm	mm	mm	mm	L s ⁻¹ ha ⁻¹
5 Oct	66	Med	0	1	100	24	48.2	0	0	80.3	0.14
19 Oct	80	Med	0	1	100	22	44.6	0	0	74.3	0.61
2 Nov	94	Med	0	1	100	23	45.4	0	0	75.6	0.63

De la programación de riego para el maíz en la temporada verano-otoño se obtiene una lámina neta total de 138.2 mm y una lámina bruta total de 230.3 mm.

3 DETERMINACIÓN DE LAS EFICIENCIAS DE APLICACIÓN DEL RIEGO EN PARCELAS

La mayoría de los agricultores que hacen uso del agua para riego, operan con sistemas de riego por gravedad cuyas eficiencias de aplicación a nivel parcelario son menores a 50%, lo cual reduce la superficie que se puede regar y aumenta la sobreexplotación de los acuíferos ante la demanda del vital líquido (Aldama, 1998).

Para evaluar el riego por gravedad se proponen diferentes indicadores como la *eficiencia de aplicación* (E_a), la *eficiencia de aplicación del requerimiento* (E_{ar}), también denominada eficiencia de almacenamiento o adecuada del riego y el *coeficiente de uniformidad de Christiansen* (CUC), entre otros (James, 1988; Burt, 1995).

La *eficiencia de aplicación* del riego es el cociente que resulta entre la cantidad de agua que queda disponible en la zona de raíces de los cultivos (útil, con fines de evapotranspiración para los cultivos), y la cantidad de agua aplicada al campo irrigado, esto es:

$$E_a = \left(\frac{W_u}{W_a} \right) 100$$

donde,

E_a = eficiencia de aplicación del riego, %

W_u = cantidad de agua útil, L^3 o L^3/L^2

W_a = cantidad de agua aplicada, L^3 o L^3/L^2

La diferencia ($100 - E_a$) representa el porcentaje de agua que se desperdicia, que en el riego por gravedad ocurre principalmente debido a percolación profunda y/o escurrimiento superficial (coleos).

La *eficiencia de aplicación del requerimiento* se define como el cociente que resulta de la cantidad de agua útil entre la cantidad de agua que se desea o se requiere incorporar en la zona de raíces de los cultivos, es decir:

$$E_{ar} = \left(\frac{W_u}{W_r} \right) 100$$

donde,

Ear = eficiencia de aplicación del requerimiento, %

Wu = cantidad de agua útil, L³ o L³/L²

Wa = cantidad de agua requerida, L³ o L³/L²

La diferencia (100 – Ear), representa el porcentaje de agua que se dejó de aplicar (déficit) en la zona de raíces.

Aunque muy importantes ambos indicadores (Ea y Ear), ninguno es suficiente por sí mismo para evaluar cualquier evento de riego. Más aún la distribución espacial del agua infiltrada también merece ser considerada, como un elemento complementario para inferir sobre la calidad del riego. Este último aspecto, puede ser descrito adecuadamente por varios parámetros de uniformidad, como el llamado *coeficiente de uniformidad de Christiansen*.

El coeficiente de uniformidad de Christiansen se calcula con la siguiente expresión:

$$CU_C = \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^N |X_i - \bar{X}|}{N\bar{X}} \right) 100$$

donde,

CUc = coeficiente de uniformidad de Christiansen, %

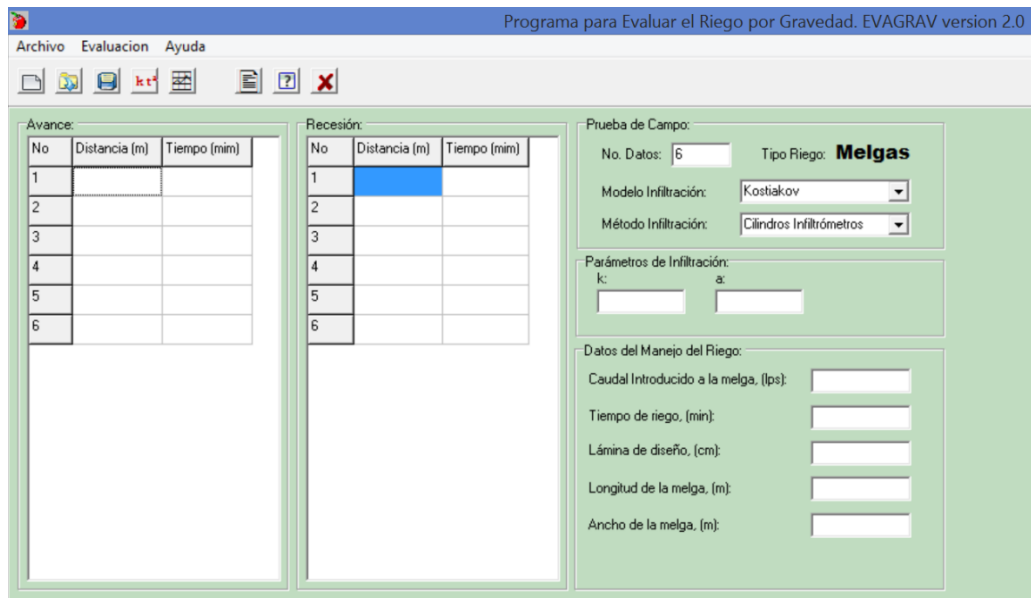
X_i = lámina de agua infiltrada en el i-ésimo punto a lo largo de la melga o surco, L³/L²

i = 1, 2, 3, ..., N= número de puntos igualmente representativos donde se conoce la lámina de agua infiltrada

\bar{X} = lámina de agua infiltrada promedio a lo largo de la melga o surco, L³/L²

3.1 El programa EVAGRAV© 2.0 como una herramienta para la evaluación de la eficiencia de riego

EVAGRAV© 2.0 permite ingresar la información general del predio en el que se aplicó el riego, los datos de manejo del riego aplicado, así como los pares de valores de avance y recesión ocurridos durante el proceso de riego, todo ello en forma amigable e interactiva (Figura 28).



Fuente: Hernández y García (2013)

Figura 28 Programa de cómputo EVAGRAV© 2.0 para la evaluación del riego por gravedad

3.1.1 Descripción del programa EVAGRAV© 2.0

EVAGRAV© 2.0 es un programa creado y compilado en Delphi 7, que puede ejecutarse en sistemas operativos Windows XP/Vista/7 y 8, y es amigable e interactivo con el usuario a través de menús y ventanas. A continuación se describen las opciones disponibles para el usuario, desde el menú principal.

Datos generales del predio. Esta opción permite ingresar los datos generales para identificar el predio que se evalúa, como son: localidad, nombre de la propiedad, número de lote, tipo de suelo, tipo de fuente de abastecimiento.

Infiltración. Permite ingresar los parámetros k y n del modelo de infiltración acumulada (modelo de Kostiakov). Si el usuario no cuenta con esta información, puede llamar a una subrutina que le permite calcular los parámetros del dicho modelo, con tal que el usuario tenga pares de valores de tiempo acumulado y velocidad de infiltración, resultantes de una prueba de infiltración representativa del campo que se evalúa.

Datos geométricos y de manejo del riego. Aquí se permite introducir tanto la geometría de las melgas o surcos, como los datos de manejo del evento específico de riego que se evalúa, es decir, el caudal, el tiempo de aplicación del riego y la lámina de riego que se pretende aplicar.

Datos del avance. Esta opción permite ingresar los pares de valores del proceso de avance (distancia y tiempo de avance).

Datos de la recesión. Por medio de esta opción, se introducen los datos del tiempo de recesión (acumulado desde el inicio de la prueba), para cada uno de los puntos, a lo largo de la melga o surco, donde se midió también el tiempo de avance.

Calcular. Al elegir esta opción, el programa ejecuta los cálculos de los parámetros para evaluar el riego. Si olvidó el ingreso de datos de alguna de las opciones (a excepción de los datos generales del predio), en lugar de calcular, el programa desplegará un mensaje señalando esta omisión, con el fin de evitar resultados erróneos o una interrupción y abandono forzado del programa.

El proceso de cálculo, consiste en obtener el tiempo de oportunidad para la infiltración, en cada uno de los puntos donde se midió el tiempo de avance y el tiempo de recesión, y a partir de ellos y la ecuación de infiltración, calcular las láminas infiltradas a lo largo de la melga o surco. Se genera así el patrón de láminas infiltradas (patrón de mojado) y enseguida se calculan los parámetros de eficiencia E_a , E_{ar} y C_{Uc} . Para eliminar la subjetividad en el análisis, se propuso un criterio de calificación, con base a rangos específicos de los tres parámetros referidos (E_a , E_{ar} y C_{Uc}), que permite designar al riego como *malo*, *satisfactorio* o *bueno* (Cuadro 23).

El programa también estima el porcentaje de pérdidas por percolación y por coleos, con el fin de tener elementos adicionales, para orientar al usuario a mejorar el riego.

Cuadro 23 Calidad del riego resultante con base a sus parámetros de eficiencia y uniformidad

Fuente: Hernández y García (2013)

PARÁMETRO	CLASIFICACIÓN DEL RIEGO RESULTANTE		
	Riego malo	Riego satisfactorio	Riego bueno
Eficiencia de aplicación, %	< 60	60 a 75	> 75
Eficiencia de aplicación del requerimiento, %	< 80	80 a 90	> 90
Coficiente de uniformidad de Christiansen, %	< 80	80 a 90	> 90

Efectuar reporte. La salida del programa, que puede ser desplegada a elección del usuario, en pantalla o impresora, incluye la *eficiencia de aplicación* (E_a), la *eficiencia de aplicación del requerimiento* (E_{ar}) y el *coeficiente de uniformidad de Christiansen* (C_{uc}), parámetros que en su conjunto permiten emitir un juicio sobre la calidad del riego por gravedad aplicado. Además, el programa presenta en forma gráfica el patrón de mojado resultante, haciendo el reporte aún más objetivo y fácil de interpretar, el cual sugiere inmediatamente las medidas que podrían mejorar al riego evaluado.

Terminar programa. Ésta es la única opción implementada para abandonar el programa. Si se elige, el programa le solicitará que confirme su salida, con el fin de evitarle al usuario pérdida de tiempo por una salida involuntaria.

4.1 Realización de pruebas de avance-recesión del riego

Para determinar la evaluación del riego con el programa EVAGRAV© 2.0, es necesario contar con datos como el gasto de entrada a la parcela, el tiempo total de riego, la lámina de diseño, la longitud de la melga o surco, el ancho de la melga o surco y el tirante de agua en la cabecera. Se utilizó el mismo gasto de entrada a las

dos parcelas en las cuales se realizaron las pruebas de riego, ya que se encontraban cercanas una de otra.

4.2 Determinación del volumen de agua a la entrada de las parcelas

Para evaluar la aplicación del riego en parcelas es necesario conocer el gasto de entrada a cada una de ellas. La metodología usada para dicho propósito consistió en hacer la medición del gasto utilizando un flotador, realizando cuatro repeticiones al tomar el tiempo de recorrido del flotador y obteniendo el promedio. El tramo seleccionado para medición del gasto fue seccionado en tres partes (Figura 29).



Figura 29 Medición de la velocidad de escorrentía sobre el perfil del canal secundario

La obtención de la sección del canal se realizó midiendo a cada 20 cm la distancia desde el espejo del agua hasta el fondo del canal (Figura 30).



Figura 30 Obtención de la sección del canal secundario

Enseguida se presenta el cálculo del gasto para las tres secciones determinadas sobre el canal, así como el gasto promedio.

Cuadro 24 Cálculo del gasto sobre el canal de tierra secundario

Sección	Área (m ²)	Vel (m s ⁻¹)	Q (m ³ s ⁻¹)	Q (L s ⁻¹)
1 - 1	0.7985	0.26	0.21	207.40
2 - 2	0.7648	0.26	0.20	198.65
3 - 3	0.7818	0.26	0.20	203.06
		Promedio	0.20	203.04

4.3 Obtención de la pendiente media de las parcelas a evaluar

Un requisito importante para poder llevar a cabo la evaluación del riego es obtener la pendiente longitudinal media de la parcela en estudio. Para realizar el levantamiento topográfico, se organizó una brigada conformada por estudiantes de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí (UASLP). Además, se contó con la colaboración de usuarios del sistema de riego, los cuales brindaron apoyo en labores de reconocimiento del área así como del trabajo en campo. Para llevar a cabo el levantamiento se utilizó una estación total marca Sokkia®, proporcionada por el departamento de topografía de la UASLP. Para

realizar la malla de puntos topográficos se optó por una distancia entre vértices de 30 m a lo largo de la parcela. De esta manera, y con ayuda del programa de cómputo AutoCAD®, se obtuvo la pendiente media de la parcela a la cual se le realizaría posteriormente la prueba de avance-recesión del riego.

La pendiente media calculada de las parcelas fue de 0.095%. En el anexo D se presenta el levantamiento topográfico determinado en dos parcelas de la porción sur de la zona de riego.

4.4 Resultados de la evaluación de las eficiencias de riego

4.4.1 Realización de primera prueba de riego

A continuación se presentan los datos de entrada obtenidos en campo para realizar la primera prueba de riego.

Cuadro 25 Datos obtenidos en campo para realizar la primera prueba de riego

Datos	Cantidad	Unidades
Gasto de entrada (l s^{-1})	203	l s^{-1}
Tiempo de riego	174	min
Lámina de diseño	31	cm
Longitud de la melga	270	m
Ancho de la melga	23.5	m
Tirante en la cabecera	0.15	m

A continuación se muestran los datos registrados de la prueba de avance-recesión, los cuales fueron registrados en un formato a la hora de llevarse a cabo la prueba.

Cuadro 26 Datos registrados de la primera prueba de avance-recesión del riego

Distancia (m)	Avance		Recesión	
	Hora	Min total	Hora	Min total
0	9:05	0	13:02	3:57
30	9:12	0:07	13:17	4:12
60	9:26	0:21	13:24	4:19
90	9:37	0:32	13:33	4:28
120	9:54	0:49	13:39	4:34
150	10:20	1:15	13:45	4:40
180	10:45	1:40	13:54	4:49
210	11:10	2:05	14:41	5:36
240	11:34	2:29	15:26	6:21
270	11:59	2:54	16:13	7:08

Una vez obtenidos los datos anteriores, se procede a realizar la evaluación del riego con el programa EVAGRAV© 2.0. En el Cuadro 27 se presentan los resultados de dicha evaluación.

Cuadro 27 Resultados de la primera evaluación del riego mediante el programa EVAGRAV© 2.0

Longitud m	Ancho m	Ea %	Ear %	CUc %	PP %	PC %
270	23.5	39.3	41.7	88.9	0	60.7

Conforme a los datos obtenidos de la prueba anterior se concluye que la aplicación del riego se está realizando inapropiadamente, ya que tanto la eficiencia de aplicación (Ea) como la de aplicación del requerimiento (Ear) son bajas (39.3 y 41.7% respectivamente), solo el coeficiente de uniformidad de Christiansen (CUc) cumple con un riego satisfactorio (88.9%).

4.4.2 Realización de segunda prueba de riego

En el Cuadro 28 se presentan los datos de entrada obtenidos en campo para la realización de la primera prueba de riego.

Cuadro 28 Datos obtenidos en campo para realizar la segunda prueba de riego

Datos	Cantidad	Unidades
Gasto de entrada	203	$l\ s^{-1}$
Tiempo de riego	168	min
Lámina de diseño	31	cm
Longitud de la melga	300	m
Ancho de la melga	22	m
Tirante en la cabecera	0.15	m

A continuación se muestran los datos registrados de la segunda prueba de avance-recesión.

Cuadro 29 Datos de avance-recesión obtenidos de la segunda prueba de riego

Distancia (m)	Avance		Recesión	
	Hora	Min total	Hora	Min total
0	13:04	0	16:43	3:39
30	13:19	0:15	16:54	3:50
60	13:33	0:29	17:04	4:00
90	13:46	0:42	17:11	4:07
120	13:59	0:55	17:19	4:15
150	14:17	1:13	17:26	4:22
180	14:28	1:24	17:31	4:27
210	14:39	1:35	17:38	4:34
240	14:59	1:55	17:53	4:49
270	15:23	2:19	18:37	5:33
300	15:52	2:48	18:54	5:50

Una vez obtenidos los datos anteriores, se procede a realizar la evaluación del riego con el programa EVAGRAV© 2.0. En seguida se presentan los resultados de la evaluación.

Cuadro 30 Resultados de la segunda evaluación del riego mediante el programa EVAGRAV© 2.0

Longitud m	Ancho m	Ea %	Ear %	CUc %	PP %	PC %
300	22	44.3	43.7	90	0	55.7

De igual manera se tiene que para la segunda prueba de riego existen bajas eficiencias tanto en la aplicación como en la aplicación del requerimiento (44.3 y 43.7% respectivamente).

Con base en las pruebas de riego anteriores se concluye que el actual regadío llevado a cabo por los usuarios de la zona de riego “Los Peroles” presenta bajas eficiencias de aplicación (menores al 50%). Por ello, se determina que es necesaria la tecnificación del sistema para incrementar dichas eficiencias y hacer más productiva el agua para riego.

Evaluaciones realizadas en México, muestran bajos niveles de eficiencia a nivel parcelario al demostrar bajos niveles de eficiencia de aplicación (Ea). En el distrito de riego (DR) 011 Alto Rio Lerma, Guanajuato se evaluaron cultivos de trigo, maíz y frijol, se reportaron Ea del 50-70%. En el DR 017 Región Lagunera en Coahuila y Durango en el cultivo de maíz forrajero se encontraron valores de Ea del 51% y en el DR 025 Bajo Rio Bravo en Tamaulipas valores similares (Mejía *et al.*, 2002). Otro estudio en la Región Lagunera de evaluación de riego superficial se encontró una Ea de 61.37%, en un cultivo de maíz forrajero (García, 2008).

De esta forma se puede apreciar que las eficiencias en la aplicación del riego en Los Peroles se encuentran por debajo de algunas evaluaciones realizadas en otros sistemas con riego por gravedad.

4 DETERMINACIÓN DEL CAUDAL REQUERIDO PARA LA ADECUADA DISTRIBUCIÓN ENTRE TOMAS PARCELARIAS

La función de los sistemas de riego es la aplicación programada del agua a los cultivos para la producción de alimentos, con una gestión integrada de los recursos y en armonía con el medio ambiente. El éxito en la operación y planeación de los sistemas de riego depende de la cuantificación espacial y temporal, de las demandas de riego para la distribución de su suministro para cumplir con la demanda hídrica de los cultivos. La red de conducción y distribución de un sistema de riego es el medio para transportar el agua desde las fuentes de abastecimiento hacia las parcelas, por lo que su buen dimensionamiento es vital para suministrar el riego durante el periodo de máxima demanda de los cultivos. La determinación de la capacidad del sistema de riego es compleja ya que depende de la demanda máxima de riego de los cultivos considerando la climatología histórica, el comportamiento de los productores y el plan de cultivos de una zona de riego. El problema inicial más importante para el proyectista de sistemas de riego es calcular el gasto o capacidad para cualquier tramo de la red de distribución (Íñiguez, 2011).

4.1 Determinación de la superficie irrigada por toma lateral sobre el canal principal

Las tomas laterales permitirán extraer el gasto de la conducción principal del sistema de riego para llevarlo hacia las parcelas. Para el presente estudio se realizó un levantamiento de cada una de las tomas laterales construidas sobre los 20.5 km del canal principal, esto para conocer la situación actual en la que se encuentran y ver qué tan factible es su operación (Figura 31). Así, a lo largo del trayecto se registraron 94 tomas, de las cuales en la parte sur del regadío logran abastecer extensiones de varias hectáreas de algún potrero, teniendo una importancia significativa su operación. Por otra parte, en la parte media y norte del regadío, en ocasiones, suministran el riego a unas pocas parcelas que pueden cubrir menos de una hectárea. Lo anterior debido a que la mayoría de las parcelas en estas dos zonas se encuentran aledañas al canal principal, facilitando que los usuarios del riego opten por tener su propia toma lateral.

Una vez realizado el recorrido en campo para conocer la situación de las tomas laterales en el canal principal, se procedió a realizar un análisis de las mismas, apoyados del plano topográfico (Anexo B) con que cuenta el regadío así como de personal del comité del sistema de riego del ejido San Francisco.



Figura 31 Recorrido sobre el canal principal para la ubicación de tomas laterales

Al realizar el estudio sobre las tomas laterales existentes y su viabilidad, se determinó que con base en su ubicación estratégica y topográfica, la cantidad de tomas se redujera a 45, comenzando en el cadenamiento 4+260.00 y terminando en 19+580.00. La ubicación de cada toma lateral se presenta en el plano topográfico del Anexo C.

A continuación se muestran las tomas laterales propuestas y la superficie de cultivos que abastece de agua cada toma.

Cuadro 31 Superficie de cada cultivo por toma lateral propuesta

No. Toma	Cadenamiento	Área (ha)		
		Alfalfa	Maíz	Total
1	4+260	0.00	6.49	6.49
2	4+604	3.24	5.51	8.75
3	4+970	0.00	12.3	12.3
4	5+400	0.00	4.25	4.25
5	5+672	0.00	31.28	31.28
6	5+889	0.00	5.05	5.05
7	6+076	11.51	15.36	26.87

8	9+011	0.00	14.32	14.32
9	9+540	2.66	15.05	17.71
10	9+840	9.74	4.69	14.43
11	10+200	10.49	0	10.49
12	10+491	0.00	9.04	9.04
13	10+940	0.00	3.75	3.75
14	11+160	0.00	2.48	2.48
15	11+400	2.87	11.54	14.41
16	11+760	0.00	14.41	14.41
17	12+100	3.15	5.63	8.78
18	12+480	3.06	5.88	8.94
19	12+870	0.00	4.2	4.2
20	13+020	1.87	5.07	6.94
21	13+150	0.00	6.31	6.31
22	13+395	1.06	10.73	11.79
23	13+520	5.43	3.15	8.58
24	13+780	9.56	2.38	11.94
25	13+910	0.00	2.49	2.49
26	14+045	9.78	62.28	72.06
27	14+260	5.63	22.08	27.71
28	14+760	1.13	0	1.13
29	15+000	12.71	22.98	35.69
30	15+260	2.53	9.7	12.23
31	15+570	10.84	0	10.84
32	15+840	1.69	10.52	12.21
33	16+100	0.00	10.29	10.29
34	16+850	0.00	0.87	0.87
35	17+100	6.12	21.56	27.68
36	17+500	17.86	48.84	66.7
37	18+060	2.44	52.73	55.17
38	18+520	18.02	38.87	56.89
39	18+690	0.00	2.79	2.79
40	18+830	1.23	0.98	2.21
41	18+980	0.00	1.19	1.19
42	19+060	5.21	10.52	15.73
43	19+185	0.00	2.68	2.68
44	19+367	0.00	4.27	4.27
45	19+580	19.54	28.3	47.84
		179.37	552.81	732.18

4.2 Cálculo del volumen de agua requerido por toma lateral

Una vez obtenida la superficie que abastece de agua cada toma lateral, se procede a calcular el volumen de agua diario requerido para cumplir con los requerimientos de los cultivos. Debido a las deficiencias de riego del sistema, se utilizó una eficiencia global del 40% (Cuadro 32).

Cuadro 32 Volumen de agua requerido por toma lateral con base a los cultivos

No. Toma	Cadenamiento	Volumen (m ³ /día)		
		Alfalfa	Maíz	Total
1	4+260	0.0	876.15	876.15
2	4+604	437.4	743.85	1181.25
3	4+970	0.0	1660.50	1660.50
4	5+400	0.0	573.75	573.75
5	5+672	0.0	4222.80	4222.80
6	5+889	0.0	681.75	681.75
7	6+076	1553.9	2073.60	3627.45
8	9+011	0.0	1933.20	1933.20
9	9+540	359.1	2031.75	2390.85
10	9+840	1314.9	633.15	1948.05
11	10+200	1416.2	0.00	1416.15
12	10+491	0.0	1220.40	1220.40
13	10+940	0.0	506.25	506.25
14	11+160	0.0	334.80	334.80
15	11+400	387.5	1557.90	1945.35
16	11+760	0.0	1945.35	1945.35
17	12+100	425.3	760.05	1185.30
18	12+480	413.1	793.80	1206.90
19	12+870	0.0	567.00	567.00
20	13+020	252.5	684.45	936.90
21	13+150	0.0	851.85	851.85
22	13+395	143.1	1448.55	1591.65
23	13+520	733.1	425.25	1158.30
24	13+780	1290.6	321.30	1611.90
25	13+910	0.0	336.15	336.15
26	14+045	1320.3	8407.80	9728.10
27	14+260	760.1	2980.80	3740.85
28	14+760	152.6	0.00	152.55
29	15+000	1715.9	3102.30	4818.15
30	15+260	341.6	1309.50	1651.05
31	15+570	1463.4	0.00	1463.40
32	15+840	228.2	1420.20	1648.35
33	16+100	0.0	1389.15	1389.15

34	16+850	0.0	117.45	117.45
35	17+100	826.2	2910.60	3736.80
36	17+500	2411.1	6593.40	9004.50
37	18+060	329.4	7118.55	7447.95
38	18+520	2432.7	5247.45	7680.15
39	18+690	0.0	376.65	376.65
40	18+830	166.1	132.30	298.35
41	18+980	0.0	160.65	160.65
42	19+060	703.4	1420.20	2123.55
43	19+185	0.0	361.80	361.80
44	19+367	0.0	576.45	576.45
45	19+580	2637.9	3820.50	6458.40
			<hr/>	
		24215.0	74629.4	98844.3
			<hr/>	

Considerando la eficiencia que se tiene actualmente en la aplicación del riego, la zona de riego Los Peroles necesita 98,844.30 metros cúbicos por día ($m^3 \text{ día}^{-1}$) para cubrir las necesidades de los principales cultivos.

CONCLUSIONES

El estudio realizado en la zona de riego Los Peroles en el ejido San Francisco, Rioverde, S.L.P. determinó que existen deficiencias en el manejo del agua para riego, debido a la escasa tecnificación así como el indebido uso por parte de los usuarios del sistema. En conjunto estos problemas propician bajas eficiencias de conducción y aplicación del riego, ambas por debajo del 50%.

Es claro que los usuarios del sistema de riego son conscientes de que existe un grave problema con el regadío al verse afectados sus cultivos por falta de agua. Si bien, en ocasiones, se realizan adecuaciones momentáneas al sistema de riego para su mejora, al poco tiempo la problemática retorna y se ven afectados los usuarios. En este sentido se puede constatar que los usuarios reaccionan a los problemas del riego por sentido común y la experiencia que van obteniendo tras generaciones.

Es por ello que además de contar con una tecnificación del sistema de riego, se ve la necesidad de contar con programas de capacitación de los usuarios del regadío, para la operación de zonas de riego y concientización en el uso del agua. Sin duda, para llevar a cabo estas recomendaciones, se requiere del apoyo de instituciones gubernamentales encargadas de aplicar proyectos afines y llevarlos de la mano con los propios usuarios finales.

Para el caso de las bajas eficiencias de aplicación del riego, según el programa utilizado EVAGRAV© 2.0, sugiere utilizar un gasto menor al que manejan actualmente los usuarios en sus parcelas. Haciendo iteraciones con el programa se pueden obtener mejores eficiencias de la aplicación del riego disminuyendo el gasto de entrada a la parcela.

Para el caso de la primera prueba de riego, la eficiencia fue de 39.3%. De acuerdo al programa de cómputo si este gasto baja a 80 L s^{-1} , la eficiencia de aplicación sube a 98%, considerado como riego bueno.

De igual forma en la parcela donde se registró la segunda prueba de riego, la eficiencia de aplicación fue de 44.3%. Trabajando con el programa se obtiene que el gasto óptimo para incrementar la eficiencia de aplicación al 98.4% es de 90 L s⁻¹.

Considerando que la actual fuente de abastecimiento aporta 39,744 m³ día⁻¹, se establece que no se cuenta con la cantidad suficiente de agua que requieren los cultivos, teniendo un déficit hídrico del 60%.

RECOMENDACIONES

Debido a la complejidad de las áreas que involucra un proyecto de riego como el aquí presentado, se vuelve evidente abarcar a profundidad cada uno de los problemas con que cuenta el sistema de riego. Sin embargo, con la información obtenida en este estudio se puede tener una mejor visión de algunas de las causas del mal funcionamiento del riego, como lo es las bajas eficiencias de aplicación del riego.

El presente estudio plantea una mejora en las eficiencias de la aplicación del riego mediante propuestas del manejo del gasto obtenidas con el programa de cómputo, no obstante, se requiere de una mayor cobertura de evaluaciones del riego en las parcelas, las cuales puedan generar conocimiento hacia los usuarios de cómo realizar un riego eficiente.

Es necesario realizar una revisión a detalle de las dimensiones que tienen actualmente las parcelas del regadío. Es probable que en la parte sur del regadío, donde se tienen las parcelas con mayor superficie, sea necesario un replanteo de la longitud, la cual genere una infiltración uniforme y eficiente. Debido al uso inapropiado del agua por parte de los usuarios, sería conveniente implementar un proyecto para, con base en evaluaciones del riego en la parcela, generar “recetas de riego” para cada parcela en particular. Esto es, por ejemplo, al efectuarse la aplicación de un riego por surcos, se analice si están aplicando eficientemente el agua, de lo contrario se determine el tendido de surcos para una aplicación óptima del riego.

Además de proponer mejoras en la aplicación del riego haciendo adecuaciones al sistema actual (surcos y melgas), una mejora en el uso del agua es sin duda la tecnificación del riego a través de sistemas de riego actuales, tal es el caso del sistema de riego a baja presión por compuertas. Este sistema a gravedad permite alcanzar altas eficiencias, debido a que al conducir el agua entubada hasta el inicio del surco, melga, etc., disminuye al mínimo las pérdidas por conducción, y, además se tiene un mejor control del agua aplicada a la parcela, de tal manera que es posible

dar riegos más uniformes, con láminas más pequeñas y por lo tanto dar riegos más frecuentes.

ANEXOS

A. Censo realizado por el comité de usuarios de la zona de riego Los Peroles en el ejido San Francisco, Rioverde, S.L.P.

Zona del regadío:	Porción sur
Paraje:	Potrero El Rincón

NOMBRE DE USUARIO	SUPERFICIE (ha)
No. Toma: 1	
Tomas Espinoza	2.45
Antonio González	4.50
Irineo Chavez	3.79
Condellano Blnaco	0.89
Rodrigo Rodriguez	1.20
Filipino Rodriguez	1.00
Pablo Rodriguez	8.85
Francisco Díaz	3.73
Inez González	2.30
Maximino González	0.78
Julian García	3.29
Marcos Castillo	3.16
Alfonso Castillo	3.83
Carolino Castillo	1.52
Ilario Chávez	4.31
Rodolfo Turrubiarres	2.30
Francisco Chávez	2.94
Filimón Rodriguez	2.50
Lucio Juarez	1.00
No. Toma: 2	
Efren Cruz Chavez	4.27
No. Toma: 3	
Bernardo García Chávez	1.06
Ramiro García Chávez	1.62
No. Toma: 4	
Cornelio Morales Hernández	2.07

Bernardo García Chávez	8.57
Gabril Álvarez Morales	1.50
Faustino Álvarez Rdz.	1.47
J. Luis Pérez Azua	1.89
Bernardino Cruz López	0.82
Héctor Gutiérrez	1.91

Zona del regadío: Porción sur
Paraje: Potrero El Rincón

NOMBRE DE USUARIO	SUPERFICIE (ha)
No. Toma: 5	
Macario García Monrreal	1.19
No. Toma: 6	
Camilo Ayala Chávez	2.21
No. Toma: 7	
Bonifacio Chávez Maldonado	1.21
No. Toma: 8	
Alberto Hernández Mtz.	1.58

Zona del regadío: Porción sur
Paraje: Potrero Palo Gacho

No. Toma: 9	
Juan García Chávez	1.75
Bonifacio Buenrostro	1.65
Concesión Torres Medrano	2.82
José Antonio Cruz Maldonado	4.31
Efren Cruz Chávez	2.34
Selestino Gutiérrez	1.83
Jesús Maldonado Azua	0.57
Alberto Ayala Rdz.	2.54
Adan García Chávez	3.25
Gavino Sánchez	2.43
José Ruben Hernández	3.09
Manuel Cruz López	2.85

Alejandro Álvarez	1.3
Josafad Morales Hdz.	1.43
Tomás Flores	1.4
Federico García	1.71
Vicente Morales	4.78
Cipriano Chávez Montoya	1.92
Juan González Tovar	3
Jacinto González Juárez	1.51
Héctor Gutiérrez Galvan	2.11
Simón Turrubiartes Nava	5.18
Agraciano Espinoza	2.52
Alcacia García	0.6

Zona del regadío:	Porción sur
Paraje:	Potrero Palo Gacho

NOMBRE DE USUARIO		SUPERFICIE (ha)
No. Toma:	10	
Salvador García Chávez		2.44

NOMBRE DE USUARIO		SUPERFICIE (ha)
No. Toma:	11	
Perfecto Ayala Rodriguez		1.47
Agraciano Espinoza		1.3
Luis González Martinez		1.48
Guadalupe Juarez Carranza		2.31
Juan Maldonado Galvan		1.36
Juan Maldonado Galvan		2.34
Silbino Hernandez Rdz		1.47
Silbino Hernandez Rdz		1.11
Nicolas Agundis García		1.18
Martin Turrubiartes García		0.51
Maria del Rosario Azuara		0.53
Antonio Turrubiartes		0.55
Jesus Maldonado Azua		1.02
Antonio Castro		1.46
Alejandro Baldera		2.12
Selestino Gutierrez		2.62
Selestino Gutierrez		1.76
Jesus Rodriguez		1.28

Jose Luis Rodriguez	1.45
Ruben Hernandez Hernandez	1.71
Rosario Castro Maldonado	1.22
Antonio González Chavez	2.46
Maximino González	1.56
Carmelo Buenrostro	1.57
Bonifacio Buenrostro Azua	4.69

Zona del regadío: Porción sur
Paraje: Gigantal

NOMBRE DE USUARIO		SUPERFICIE (ha)
No. Toma:	12	
Daniel Turrubiarres Guevara		2.48
Daniel Turrubiarres Guevara		8.72
Fidencio Hernandez Torres		1
Eladio Hernandez Torres		3.33
Patalion Cruz Montelongo		7.21
Bartolo Juarez Hernandez		0.87
Leonardo Juarez Hernandez		2.89
Bernardino Cruz Lopez		9.86
Sara Maldonado Martinez		2.33
Gregorio Rodriguez		3.64
Raul Torres		1.66
Rodrigo Rodriguez		1
Maria de La Paz Robles		1.28
Jose Ayala Rodriguez		1.26
Miguel Gutierrez Albores		2
Ruben Hernandez Hernandez		0.67
Alberto Ayala Torres		1.63
Luis Rodriguez Medrano		1.32
Silbino Hernandez Rodriguez		1.03
Pablo Rodriguez Rodriguez		1.6
Martín Najar Escobedo		1.14
Florencia Martinez García		0.69
Cito Charles Beltran		0.69
Concepción Torres Medrano		0.54

Zona del regadío: Porción sur

Paraje: La Lagunita

NOMBRE DE USUARIO	SUPERFICIE (ha)
No. Toma: 13	
Jose Turrubiarres Torres	1.33
David Baldes	1.89
Lazaro García	2.95
Jose Antonio Cruz Maldonado	3.16

Zona del regadío: Porción sur
Paraje: La Lagunita

NOMBRE DE USUARIO	SUPERFICIE (ha)
No. Toma: 14	
Nicolas Maldonado Azua	4.61
Misael García García	3.29
Jose Antonio Cruz Maldonado	9.51
Victor Venegas Ayala	1.51
Luis García	1.81
David García Hernandez	4.25

NOMBRE DE USUARIO	SUPERFICIE (ha)
No. Toma: 15	
Bartolo Juarez Hernandez	0.87
Victor Venegas Ayala	1.11

NOMBRE DE USUARIO	SUPERFICIE (ha)
No. Toma: 16	
Alejandro Balderas Ruiz	2.12
Ricardo Maldonado	3.06

Zenon Maldonado	3.09
Cornelio Buenrostro García	1.44
Ruperto Ramirez Vazquez	0.58

NOMBRE DE USUARIO	SUPERFICIE (ha)
No. Toma: 17	
María Isabel P. García	6.71

Zona del regadío:	Porción sur
Paraje:	La Lagunita

NOMBRE DE USUARIO	SUPERFICIE (ha)
No. Toma: 18	
Lorenzo Turrubiartes	1.69
María S. Perales García	1.23
Jesus Rodriguez	1.26
Jose Luis Cruz Guevara	1.32

NOMBRE DE USUARIO	SUPERFICIE (ha)
No. Toma: 19	
Bernardo Turrubiartes	1.19
Wenseslao García	7.36
Tomas García García	0.48
Bernabe García	1.19
Pedro García Montoya	0.61
Cipriano Chavez Montoya	3
Roberto García García	1.5
Wenseslao García	2

NOMBRE DE USUARIO		SUPERFICIE (ha)
No. Toma:	20	
Celestino Gutierrez Albores		2.53
Estorgio Cruz Rodriguez		2.5
Sebastian Barcenaz Torres		2.34
Heladio Hernandez		0.25
Martín Najor Escobedo		1.17
Camilo Ayala Chaires		1.58
Gregorio Nuñez Lopez		0.78
Wenseslao García		1.08

Zona del regadío:	Porción sur
Paraje:	La Cruz

NOMBRE DE USUARIO		SUPERFICIE (ha)
No. Toma:	21	
Antonio Hernandez Martinez		1.36
Mario Maldonado Azua		1.21
Bartolome Blanco		1.13
Bonifacio Buenrostro		1.27
Vicente Perez Martinez		0.96
Jose Lopez Ceballos		0.69
Candelario Blanco		0.5
Jesus Perez Turrubiarres		0.56
Ciro Morales Rodriguez		0.59
Juan Rodriguez Gallegos		0.65
Melecio Rodriguez Gallegos		0.68
Guadalupe Carranza		0.76
Bonifacio Buenrostro		0.6
Santos Martinez Flores		0.7
Jose Ayala Rodriguez		0.51
Ismael Rodriguez Medrano		1.21

Aniceto García Montoya	1.54
Aniceto García Montoya	0.53
Cita Chavez Beltran	0.54
Candelario Blanco	2.05
Maria de la Cruz Gutierrez Maldonado	1.16
Candelario Blanco	0.67
Geogorio Rodriguez Rodriguez	0.87
Jesus Rodriguez Rodriguez	0.94
Luis Rodriguez Medrano	0.87
Miguel Rodriguez Medrano	0.71
Patricia Rodriguez Medrano	0.93
Jose Rodriguez Medrano	1.5
Rodrigo Rodriguez Martinez	1.21
Eladio Hernandez Torres	0.8
Eladio Hernandez Martinez	1.41
Sebastian Chavez García	5.84
Cresencia Barrón Cruz	1
Adrian González Turrubuartes	1.33

Zona del regadío:	Porción sur
Paraje:	La Cruz

NOMBRE DE USUARIO		SUPERFICIE (ha)
No. Toma:	22	
Sebastian Barcenas Torres		0.25
Jose García Maldonado		0.31
Diego Trujillo Rodriguez		1.74
Bartolome Blanco Ruiz		1.33
Francisco Juarez Cruz		1.29
Mateo Martinez Olguín		3.62
Mateo Martinez Olguín		1.13
Sebastian Chavez García		0.84
Alicia Chavez Montoya		2.35

NOMBRE DE USUARIO	SUPERFICIE (ha)
-------------------	--------------------

No. Toma:	23
-----------	----

Jesus Trujillo Martinez	0.62
Antolín Trujillo Martinez	0.27
Jesus Trujillo Martinez	1.34
Selestino Gutierrez	1.25
Felipe Trujillo Rodriguez	2.39
Alberto Ayala Rodriguez	2.34
Ma. Trinidad Blanco Ruiz	2.43
Ramón Martinez Blanco	0.75
Gilberto Alejandro Martinez Blanco	3.47
Jesus Rodriguez Rodriguez	1.28
Xochil García Zapata	3.1
Gumerciendo Piña Perales	2.28
Eladio Hernandez Martínez	0.82
Silbino Hernández Rodríguez	1.25

Zona del regadío:	Porción sur
Paraje:	La Cruz

NOMBRE DE USUARIO	SUPERFICIE (ha)
No. Toma:	24
Atanacio Rodríguez Martínez	2.62
Marcelino Cruz Chavez	1.62
Bernardino Cruz Lopez	1.14
Tomas Espinoza Nuñez	4.17
Camilo Ayala Chavez	1.08
Patricio Rodriguez Medrano	0.68
Miguel Rodriguez Medrano	0.79
Maricela García Turrubiarres	1.78
Marcelina Ayala Rodríguez	2.33
Jose Perfecto Piña Perales	2.15
Cudberto Chavez Beltran	0.76

Crecencia Barrón Cruz	1.06
Alejandro Valles Maldonado	2.9
Adan García Chavez	1.05
Roberto García García	0.57

Zona del regadío: Porción sur
Paraje: La Galvaleña

NOMBRE DE USUARIO	SUPERFICIE (ha)
No. Toma: 25	
Miguel Angel Martínez Trujillo	2.61
Julian Galvez Chavez	0.49
Simón Turrubiarres Nava	0.69
Cudberto Chavez Beltran	0.22
Rogaciano García Chavez	2.73
Jacinto González Juarez	1.13
J. Santos Remedios Lopez Pérez	1.06
Dario Lopez Pérez	2.58
Ciro Morales Rodriguez	2.47
Juan Cruz Bustamante	3.32
Filemón Rodríguez Rodríguez	0.86
Jose Luis Valles Ayala	2.47
Salvador Azua Espinoza	1.36
Pedro Martinez García	0.47

Zona del regadío: Porción sur
Paraje: La Galvaleña

NOMBRE DE USUARIO	SUPERFICIE (ha)
No. Toma: 25	
Jose Angel Turrubiarres García	0.97
Jose de Jesus Galvan García	0.64
Atanacio Rodríguez García	0.77
Martín Rodríguez García	0.9
Antonio Turrubiarres Martínez	1.24
Martín Najar Escobedo	2.03
Januario Chavez Beltran	1.29
Pedro Chavez Martínez	0.59

Felipe Porfirio García	4.68
Candelario Blaanco Ruiz	1.89
David García Hernandez	1.98
Felipe Porfirio García	2.28
A. García Hernandez	2.35
Nicolas Lopez Rios	2.8
Eliceo Lopez Rios	2.42
Nicolas Lopez Rios	6.66
Zenon Maldonado Leyva	1.31
Milton Maldonado Leyva	0.63
Ricardo Maldonado Leyva	0.72
Teresa Buenrostro Medrano	1.24
Federico Garcia Rodríguez	1.71
Jose Carmen Buenrostro García	1.51
Bonifacio Buenrostro Azua	1.08
Roberto de la Garza Guzman	5.53

NOMBRE DE USUARIO	SUPERFICIE (ha)
No. Toma: 26	
Parcela Escolar	4.2

Zona del regadío: Porción sur
Paraje: Maquinaria

NOMBRE DE USUARIO	SUPERFICIE (ha)
No. Toma: 27	
Fernando Montoya García	2.49

Zona del regadío: Porción sur
Paraje: Maquinaria

NOMBRE DE USUARIO	SUPERFICIE (ha)
No. Toma: 28	
Seberiana García Rodriguez	3.87

NOMBRE DE USUARIO	SUPERFICIE (ha)
-------------------	--------------------

No. Toma: 29

Gregorio Martinez López 2.38

NOMBRE DE USUARIO SUPERFICIE (ha)

No. Toma: 30

Perfecto Chavez Turrubiarres 1.97
Dagoberto Chavez Turrubiarres 3.72

NOMBRE DE USUARIO SUPERFICIE (ha)

No. Toma: 31

Perfecto Chavez Turrubiarres 1.97

NOMBRE DE USUARIO SUPERFICIE (ha)

No. Toma: 32

Greogorio Martinez Lopez 3.15

NOMBRE DE USUARIO SUPERFICIE (ha)

No. Toma: 33

Francisco Chavez Sanchez 2.99

Zona del regadío: Porción sur
Paraje: Maquinaria

NOMBRE DE USUARIO SUPERFICIE (ha)

No. Toma: 34

J. Oscar García Martínez	1.35
J. Oscar García Martínez	2.06
Zenon Maldonado Leyva	0.49
Felipe Porfirio García Martínez	1.06
Mateo Martínez Olgúin	6.83

NOMBRE DE USUARIO		SUPERFICIE (ha)
No. Toma: 35		
Venancio Castillo Medrano		1.82
Marias Castillo García		1.95
Marias Castillo García		0.81
George Montolla Castillo		1.73

Zona del regadío:	Porción sur
Paraje:	La Curva

NOMBRE DE USUARIO		SUPERFICIE (ha)
No. Toma: 36		
Venancio Castillo Medrano		1.82
Marias Castillo García		1.95
Marias Castillo García		0.81
George Montolla Castillo		1.73

NOMBRE DE USUARIO		SUPERFICIE (ha)
No. Toma: 37		
Eduardo García Montoya		1.3
Santiago García Montoya		1.06
Aniceto García		1.47

Zona del regadío:	Porción sur
Paraje:	La Curva

NOMBRE DE USUARIO		SUPERFICIE (ha)
No. Toma:	38	
Luisa Cruz Montelongo		2.47
Alberto Azua Montoya		0.93

NOMBRE DE USUARIO		SUPERFICIE (ha)
No. Toma:	39	
Nicolas Agundiz García		0.62
Sebero Martínez Turrubiardez		0.18

NOMBRE DE USUARIO		SUPERFICIE (ha)
No. Toma:	40	
Inocencio Ramirez Arbizio		3.06
Osvaldo Cruz Rodríguez		1.32
Sandra Cruz Rodríguez		1.67
Efren Cruz Chavez		2.89

NOMBRE DE USUARIO		SUPERFICIE (ha)
No. Toma:	41	
Antonio Cruz Maldonado		0.8
Cmailo Ayala Chavez		1.5
Crecencio Barrón Cruz		1.03

NOMBRE DE USUARIO		SUPERFICIE (ha)
No. Toma:	42	
Gonzalo López Ramírez		1.064
Estorgio Cruz Rodríguez		2.09
Natividad Ramos Castro		1.55

Zona del regadío:	Porción sur
Paraje:	La Curva

NOMBRE DE USUARIO	SUPERFICIE (ha)
No. Toma: 43	
Estorgio Cruz Rodriguez	0.75

NOMBRE DE USUARIO	SUPERFICIE (ha)
No. Toma: 44	
Epifania Morales Hernandez	4.92

NOMBRE DE USUARIO	SUPERFICIE (ha)
No. Toma: 45	
Francisco Cruz Rodríguez	6.84
Rafael Cruz Rodriguez	2.64

NOMBRE DE USUARIO	SUPERFICIE (ha)
No. Toma: 46	
Rosario Maldonado Rodríguez	0.74
Estorgio Cruz Rodriguez	1.5

NOMBRE DE USUARIO	SUPERFICIE (ha)
No. Toma: 47	
Bonifacio Chavez Maldonado	0.34
Martín Nayar Escobedo	0.52
Florencia Martínez García	1.14
Irineo Sustaita Beltran	1.03
Gregorio Nuñez Castro	1.3

Fausto Espinoza Juarez	1.63
Pedro Morales Hernandez	1.73

Zona del regadío: Porción sur
Paraje: La Curva

NOMBRE DE USUARIO	SUPERFICIE (ha)
No. Toma: 48	
Miguel Nuñez García	1.85
Dorotea Turrubiartes García	1.61
Tomas Esinoza Nuñez	1.02

NOMBRE DE USUARIO	SUPERFICIE (ha)
No. Toma: 49	
Hilario Sanchez Sanchez	1.78
Anacleto García Avalos	0.7

NOMBRE DE USUARIO	SUPERFICIE (ha)
No. Toma: 50	
Dorotea Turrubiartes García	2.5

NOMBRE DE USUARIO	SUPERFICIE (ha)
No. Toma: 51	
Concepción Cazarez Ponce	1.25

NOMBRE DE USUARIO	SUPERFICIE (ha)
No. Toma: 52	
Antolín López García	0.52
Antolín López García	0.8

Martín García Martínez	1.46
Abrosio Lopez García	1.01

Zona del regadío: Porción sur
Paraje: Los Pilares

NOMBRE DE USUARIO	SUPERFICIE (ha)
No. Toma: 53	
J. Isabel García Chavez	1.08
Himelda García Chavez	2

NOMBRE DE USUARIO	SUPERFICIE (ha)
No. Toma: 54	
Felix Barrón García	0.71
Clara Maldonado Galarza	2.42
Clara Maldonado Galarza	0.43

NOMBRE DE USUARIO	SUPERFICIE (ha)
No. Toma: 55	
Tomas Espinoza Martínez	1.19

NOMBRE DE USUARIO	SUPERFICIE (ha)
No. Toma: 56	
Mario Rodríguez Trujillo	10.49

NOMBRE DE USUARIO	SUPERFICIE (ha)
-------------------	--------------------

No. Toma:	57
-----------	----

Feliz Rodríguez Trujillo	9.74
--------------------------	------

NOMBRE DE USUARIO	SUPERFICIE (ha)
-------------------	-----------------

No. Toma:	58
-----------	----

Gisela Cruz Gutierrez	1.36
Pedro Salinas Salazar	2.15
Guillermo Castro Ruíz	1.18

Zona del regadío:	Porción sur
Paraje:	Los Pilares

NOMBRE DE USUARIO	SUPERFICIE (ha)
-------------------	-----------------

No. Toma:	59
-----------	----

Francisco García-Cruz Rodríguez	2.1
Martín Nayar Escobedo	1.33

NOMBRE DE USUARIO	SUPERFICIE (ha)
-------------------	-----------------

No. Toma:	60
-----------	----

Leobardo Medrano Ruíz	1.19
Ismael Rodríguez Medrano	0.71
Martín Nayar Escobedo	0.41

NOMBRE DE USUARIO	SUPERFICIE (ha)
-------------------	-----------------

No. Toma:	61
-----------	----

Aristeo Medro Hernández	1.54
Ismael Rodríguez Medrano	0.62
Ismael Rodríguez Medrano	0.55
Prudencio Medrano Turrubiarres	1.19

NOMBRE DE USUARIO		SUPERFICIE (ha)
No. Toma:	62	
Regino Castro Reyes		2.49
Guillermo Castro Ruíz		1.18
Nasario Castro García		0.94
J. Carlos Castro Juarez		0.66

NOMBRE DE USUARIO		SUPERFICIE (ha)
No. Toma:	63	
Adela Castro Perez		0.92

Zona del regadío:	Porción sur
Paraje:	Los Pilares

NOMBRE DE USUARIO		SUPERFICIE (ha)
No. Toma:	64	
Antonio Castro Rodríguez		1.46
J. Reyez- Castro Maldonado		0.42

NOMBRE DE USUARIO		SUPERFICIE (ha)
No. Toma:	65	
Rafael Cruz Rodríguez		3.65
Estorgío Cruz Rodriguez		2.47
Ricardo Cruz Rodríguez		1.72

NOMBRE DE USUARIO		SUPERFICIE (ha)
No. Toma:	66	
Federico Ramos Castro		3.42

NOMBRE DE USUARIO		SUPERFICIE (ha)
No. Toma:	67	
Fernando Montoya García		5.92

NOMBRE DE USUARIO		SUPERFICIE (ha)
No. Toma:	68	
Lucio Martínez García		1.33

NOMBRE DE USUARIO		SUPERFICIE (ha)
No. Toma:	69	
Efrén Cruz Chavez		1.81

Zona del regadío:	Porción sur
Paraje:	Del Sapote

NOMBRE DE USUARIO		SUPERFICIE (ha)
No. Toma:	70	
Jose Manuel Cruz García		1.5
Tomas Montoya Ramos		2.25
Alberto Chavez		1.18
Natividad Castro Ramos		1.25
Rodrigo Roman Nuñez		1.5
Lorenzo Román Olgún		3.5
Armando Roman Castillo		0.72
Jose Luis Ramos Martínez		0.67
Andres Roman Castillo		1.4
Martín Nayar Escobedo		0.38
Antonio Olgín Zuñiga		3.59
Julian García		6

Fernando Montoya García	0.39
Lorenzo Turrubiartes García	0.48
Luis Turrubiartes Cruz	1.25

Zona del regadío:	Porción sur
Paraje:	Ojo de Agua

NOMBRE DE USUARIO	SUPERFICIE (ha)
No. Toma: 71	
Nestor Turrubiartez Mata	0.81

NOMBRE DE USUARIO	SUPERFICIE (ha)
No. Toma: 72	
Pedro García Ramos	1

NOMBRE DE USUARIO	SUPERFICIE (ha)
No. Toma: 73	
Onorio Martínez Gutiérrez	1.75

Zona del regadío:	Porción sur
Paraje:	Ojo de Agua

NOMBRE DE USUARIO	SUPERFICIE (ha)
No. Toma: 74	
Efraín Montoya Martínez	2.3

NOMBRE DE USUARIO	SUPERFICIE (ha)
No. Toma: 75	

Francisco Montoya Gamez	1.3
Pablo Montoya López	0.79

NOMBRE DE USUARIO	SUPERFICIE (ha)
No. Toma: 76	
Pedro Turrubiartes García	1.06
Santiago Turrubiartes Mendez	0.3

NOMBRE DE USUARIO	SUPERFICIE (ha)
No. Toma: 77	
Carmen Turrubiartes Barrón	1.89
Santiago Turrubiartes Mendez	0.96

NOMBRE DE USUARIO	SUPERFICIE (ha)
No. Toma: 78	
Agustín Turrubiartes C.	0.75

NOMBRE DE USUARIO	SUPERFICIE (ha)
No. Toma: 79	
Damian Castro Cruz	1.51

Zona del regadío:	Porción sur
Paraje:	Ojo de Agua

NOMBRE DE USUARIO	SUPERFICIE (ha)
No. Toma: 80	
Teodoro García López	3
Agustín Turrubiartes Barrón	0.85

NOMBRE DE USUARIO	SUPERFICIE (ha)
No. Toma: 81	
Parcela Escolar	1

NOMBRE DE USUARIO	SUPERFICIE (ha)
No. Toma: 82	
Rafael Cruz Rodríguez	2

NOMBRE DE USUARIO	SUPERFICIE (ha)
No. Toma: 83	
Anastacio Pérez Martínez	1.25

NOMBRE DE USUARIO	SUPERFICIE (ha)
No. Toma: 84	
Felipe Turrubiarres Lopez	0.61

NOMBRE DE USUARIO	SUPERFICIE (ha)
No. Toma: 85	
Francisco Javier Lopez Turrubiarres	0.72
Alonso López Castro	2.5

Zona del regadío:	Porción sur
Paraje:	Ojo de Agua

NOMBRE DE USUARIO	SUPERFICIE (ha)
No. Toma: 86	

Ismael Maldonado G.	1.7
Ramón Turrubiartes Cruz	1
Anastacio Turrubiartes Cruz	2

NOMBRE DE USUARIO	SUPERFICIE (ha)
No. Toma: 87	
Juana López Barrón	2.6
Aciano Montoya Castillo	0.77

NOMBRE DE USUARIO	SUPERFICIE (ha)
No. Toma: 88	
Onoriii Martínez Gutiérrez	2.33
Rafael Montoya López	0.5
Santiago Turrubiartes Mendez	1.39

NOMBRE DE USUARIO	SUPERFICIE (ha)
No. Toma: 89	
Juana López Barrón	1.27

NOMBRE DE USUARIO	SUPERFICIE (ha)
No. Toma: 90	
Ramón Turrubiartes Cruz	0.64
Feliciano Turrubiartes Cruz	0.77

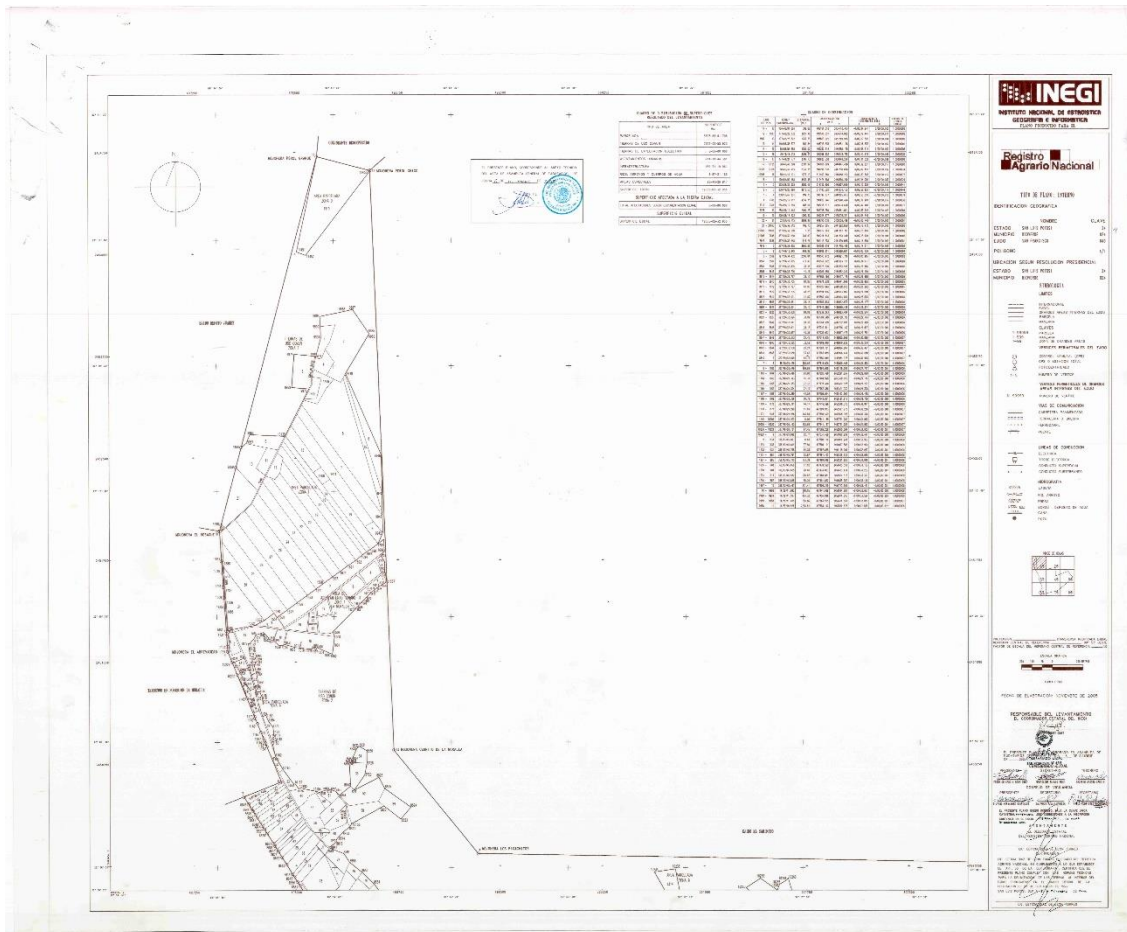
Zona del regadío:	Porción sur
Paraje:	Ojo de Agua

NOMBRE DE USUARIO	SUPERFICIE (ha)
-------------------	-----------------

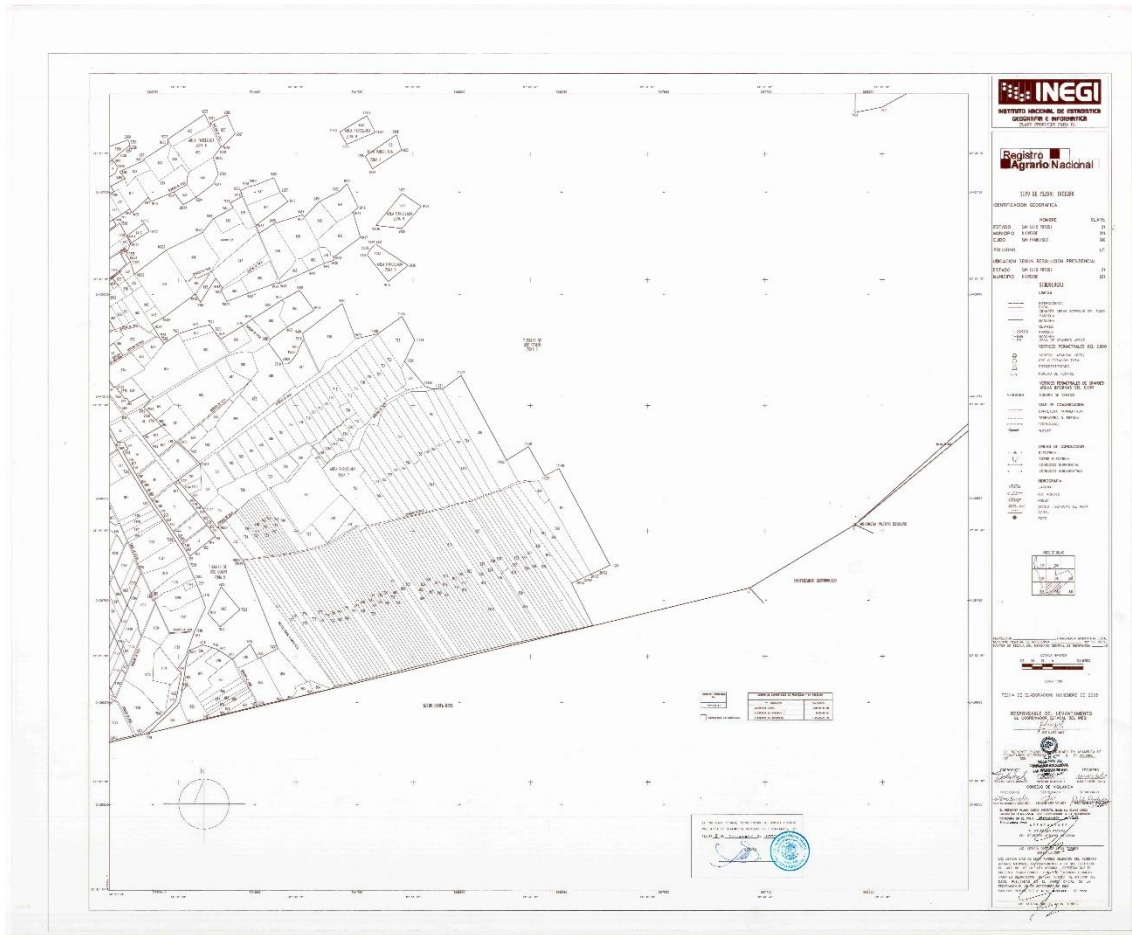
No. Toma:	91	
Ramón Turrubiartes Cruz		1.85
NOMBRE DE USUARIO		SUPERFICIE (ha)
No. Toma:	92	
Felipe Turrubiartes López		0.72
Alfonso López Castro		1
NOMBRE DE USUARIO		SUPERFICIE (ha)
No. Toma:	93	
Rafael Montoya López		0.25
Damian Castro López		1.08
Cornelio Reyes Castro		1.14
NOMBRE DE USUARIO		SUPERFICIE (ha)
No. Toma:	94	
Adan Garcúa Baez		0.75
NOMBRE DE USUARIO		SUPERFICIE (ha)
No. Toma:	95	
Nasario Turrubiartes Mendez		0.98
NOMBRE DE USUARIO		SUPERFICIE (ha)
No. Toma:	96	
Lorenzo Turrubiartes García		0.57

B. Delimitación de las parcelas al interior del ejido San Francisco, Rioverde, S.L.P. (INEGI, 2005)

B1. Plano 1/8



B4. Plano 7/8



C. Ubicación de tomas laterales sobre canal principal

C1. Plano 1/4

C2. Plano 2/4

C3. Plano 3/4

C4. Plano 4/4

D. Levantamiento topográfico en parcelas donde se realizó la evaluación del riego.

REFERENCIAS

- Aldama , R. (1998). Investigación aplicada en los programas de tecnificación de riego. *In. Memoria 3er Simposium Internacional de Fertirrigación. FIRCO*, 9-16.
- Allaway, W. (1957). pH, soil acidity, and plant growth. *Soil, the yearbook of agriculture USDA*, 67-71.
- Allen G., R., Pereira S., L., Raes, D., y Smith , M. (2006). *Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Estudio FAO 056*. Roma, Italia.
- Arellano, G. M., Silva, C. F., y De León, M. J. (2001). Uso eficiente del agua a nivel parcelario mediante trazo de riego y tubería de compuertas. *INIFAP-CIRNE-Campo Experimental Anáhuac*, 3, 20.
- Arreguín, F. I., Alcocer Y., V. H., y Hernández P., D. S. (2010). Modelación de redes de agua potable con enfoques determinísticos y estocásticos. *Tecnología y ciencias del agua*, 1, 119-136.
- Ayers, R. S., y Westcot, D. W. (1987). La calidad del agua y su uso en la agricultura. *Estudios FAO Riego y Drenaje*, 81.
- Benjamín, J. G., Havis, H. R., Ahuja, L. R., y Alonso, C. V. (1994). Leaching and water flow patterns in every furrow and alternate furrow irrigation. *Soil Sci Soc. Am J*, 58(5), 1511-1517.
- Berlijn, J. D., y Brouwer, I. C. (1999). *Riego y Drenaje*. Trillas.
- Bernardo, S., Soares, A., y Mantovani, E. (2009). *Manual de Irrigación*. Portugal: Imprensa Universitária, Viçosa/MG.
- Biswas, A. (1999). Water crisis: Current perceptions and futures realities” Salman ed. Groundwater: Legal and Policy Perspectives. *World Bank Technical Paper*, 456, 1-29.
- Bornemisza, E., y Pérez, J. (1986). Suelos contaminados con Cu en el Pacifico Sur de Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 10(1/2), 165-172.
- Brady, N., y Weil, R. (2008). *The nature and properties of soils* (14th ed.). New Jersey. USA: Pearson Prentice Hall.
- Burt, C. M. (1995). The surface irrigation manual. A comprehensive to sesign and operation of surface irrigation systems. *First Edition Waterman Industries, Inc. U.S.A.*

- Catalán, E. A., Villa C., M. M., Inzunza I., M. A., Roman L., A., y González B., J. L. (2012). Cálculo de demandas de agua y programación del riego de cultivos en Coahuila. *Educación y asistencia técnica-Agrofaz*, 12(3), 124-131.
- Catalán, V. E., Sánchez, C. I., Villa, C. M., Inzunza, I. M., y Mendoza, M. S. (2007). Programa para calcular las demandas de agua y calendarizar el riego de los cultivos. Folleto técnico 7. *INIFAP CENID RASPA*.
- Chávez, C., Fuentes, C., y Ventura, R. E. (2010). Uso eficiente del agua de riego por gravedad utilizando yaso y poliacrilamida. *Terra Latinoamericana*, 28(3), 231-238.
- Cisneros A., R. (2003). Apuntes de la materia de riego y drenaje. *Posgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí*.
- Cisneros A., R., Charcas S., H., Rodríguez C., C., y Cárdenas T., A. (2014). *Diagnóstico y análisis de la zona de riego Los Peroles del ejido San Francisco, Rioverde, San Luis Potosí*. UASLP.
- CNA. (2002). *Manual para la elaboración y revisión de proyectos ejecutivos de sistemas de riego parcelario*. México.
- CNA. (2005). Síntesis de las Estadísticas del Agua en México.
- CNA. (2010). Estadísticas del Agua en México. *Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales*, 249.
- Cunha, A., Vieira, R., Borges, M., Silva, F., y Mesquita, X. (2008). Manejo de microirrigación basado en la evaluación del sistema en la cultura del meloeiro. *Caatinga*, 21, 147–155.
- Dastane, N. G. (1974). Precipitación efectiva en la agricultura de regadío. *FAO Dirección de Fomento de Tierras y Aguas*.
- De León M., B., y Robles R., B. (2008). *Manual para diseño de zonas de riego pequeñas*. Jiutepec, Morelos, México.
- De Santa O., F., López F., F., y Calera B., A. (2005). *Agua y Agronomía*. Madrid, España: Mundi Prensa.
- Díaz, V. T., Pérez, D. N., Páez, O. F., López, G. A., y Partidas, R. L. (2007). Evaluación del crecimiento de maíz en función de dos técnicas de riego y diferentes niveles de nitrógeno. *Rev. Cienc. Téc. Agropec.*, 16(4), 84-87.
- Duchaufour, P., y Jacquín, F. (1975). Comparación de procesos de humificación de los principales tipos de humus Forestiers. *Bul. AFES*, 1, 29-36.
- Enciso, J., Herrera, J. C., y Peña, E. (1998). Manual para planificar la tecnificación del riego parcelario. *Colección de Manuales IMTA*.

- Fernández G., R., Milla M., M., Ávila A., R., Berengena H., J., Gavilán Z., P., y Oyonarte G., N. (2010). *Manual de riego para agricultores*. Consejería de Agricultura y Pesca, Sevilla.
- Flores G., H., Ojeda B., W., Flores M., H., Mejía S., E., y Sifuentes I., E. (2012). Grados día y la programación integral del riego en el cultivo. *Terra Latinoamericana*, 30(1), 59-67.
- Flores G., H., Sifuentes I., E., Flores M., H., Ojeda B., W., y Ramos G., C. (2014). Técnicas de conservación del agua en riego por gravedad a nivel parcelario. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5(2), 241-252.
- Flórez T., N., Zution G., I., Rodrigues C., D., Agnellos B., E., De Deus, F., Diego R., M., y Eiji M., E. (2013). Eficiencia de aplicación de agua en la superficie y en el perfil del suelo en un sistema de riego por aspersión. *Agrociencia*, 47(2), 107-119.
- Fuentes C., Chávez, H., y Quevedo. (2015). Analytic representation of the optimal flow gravity irrigation. *Tecnología y Ciencias del Agua*.
- García D. (2008). *Evaluación de la eficiencia de riego en el modulo IV del distrito de riego 017 Comarca Lagunera*. Tesis. Bermejillo, Durango, México.
- González C., Muñoz H., B., Acosta H., R., y Mailhol, J. (2006). Modelo de la onda cinemática adaptado al riego por surcos cerrados. *Agrociencia*, 40(6), 731-740.
- Grieser, J. (2006). CLIMWAT 2.0. FAO. Roma, Italia.
- Hernández S., y García H., F. (2013).
- Horst, M. G., Shamutalov, S. S., Pereira, L. L., y Goncalves, J. M. (2005). Field assesment of the water saving potential with furrow irrigation in Fergana, Aral Sea basin. *Water Manage*, 77, 210-231.
- INEGI. (2005). Delimitación de las tierras al interior del ejido San Francisco, Rioverde, S.L.P. Elaborado para el Registro Agrario Nacional. S.L.P.
- Íñiguez C., Ojeda B., y Rojano A., A. (2011). Metodología para la determinación de la evapotranspiración integrada y la capacidad de canales en una zona de riego. 43(2), 175-191.
- James L., G. (1988). Principles of farm irrigation system design. *John Wiley / Sons, Ince. New York, U.S.A.*
- Klohn, W., y Appelgren, B. (1999). Agua y Cultura. *Revista CIDOB d'AFERS Internacionals.*, 45, 105-126.
- Lázaro C., P., Saucedo R., H., y Zataráin M., F. (2010). *Riego por gravedad*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

- Loredo V., R. C., Sánchez C., I., García H., G., Arreola Á., J. G., Trejo C., R., Esquivel A. y Ruiz E. (2010). Uso de un modelo de simulación hidráulico para evaluación y generación de recetas de riego en sistemas de riego superficial en el norte de México. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, 9, 43-50.
- Mejía, S. E., Palacios, V. E., Exebio, G. A., y Santos, H. A. (2002). Problemas operativos en el manejo del agua de riego en los distritos de riego. *Terra*, 20(2), 217-225.
- Ojeda B., W., Sifuentes I., E., y Unland W., H. (2006). Programación Integral del riego en maíz en el norte de Sinaloa. *Agrociencia*, 40(1), 13-25.
- Olvera S., M. D., Bahena D., G., Alpuche G., O., y García M., F. (2014). La tecnificación del riego ante la escasez del agua para la generación de alimentos. Estudio de caso en Chihuahua México. *Ambiente y Desarrollo*, 18(35), 23-36.
- Palacios V., E. (1981). *Manual de operación de distritos de riego*. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.
- Patel, J. B., Patel, V., y Patel, J. R. (2006). Influence of different methods of irrigation and nitrogen levels on crop growth rate and yield of maize. *Indian J. Crop Sci*, 1(1-2), 175-177.
- Paulino, M. d., Figueiredo, P., Fernandes, C., Maia, J., Guilherme, D., y Barbosa, S. (2009). Avaliação da uniformidade e eficiência de aplicação de água em sistemas de irrigação por aspersão convencional. *Rev. Bras. Agric. Irrigada*, 3(2), 48-54.
- Pereira, L. S., De Juan V., Picornell B., y Tarjuelo M., J. M. (2010). *El riego y sus tecnologías*. (E. Europa-América, Ed.) Lisboa, Portugal: CREA-UCLM.
- PNH. (2008). Programa Nacional Hídrico 2007-2012. *Comisión Nacional del Agua*, 158.
- Porta, J., López, A., y Roquero, C. (1993). *Edafología*. Madrid, España: Mundi-Prensa.
- Quezada, C., Hernaíz, S., Stolpe, N., y Saludes, A. (2011). Efecto del método del riego intermitente en componentes de rendimiento y manejo del agua en once genotipos de arroz (*Oryza sativa* L.). *Chilean J. Agric. Anim Sci*, 27(2), 105-115.
- Rhoades, J., Kandiah, A., y Mashali, A. (1992). *The use of saline waters for crop production*. Roma: FAO irrigation and Drainage Paper.
- Rijsberman, F., Manning, N., y Silva, S. (2006). Aumentar la productividad del agua verde y azul, para equilibrar el agua para alimentación y medio ambiente. IV. *Foro Mundial del Agua*. Instituto Internacional para Manejo del Agua.

- Robles, R. T., Rodríguez, L. S., y Martínez, S. J. (2005). Desarrollo vegetativo de melón (*Cucumis melo* L.) establecido por transplante, con guiado vertical y acolchado plástico en la comarca lagunera. *Rev. Chapingo Serie Zonas Áridas*, 4, 15-20.
- Román L., A., Inzunza I., M., Catalán V., E. y Villa C., M. (2013). Indicadores de eficiencia del agua de riego aplicada en dos sistemas de riego por aspersión. *AGROFAZ*, 9-14.
- Román, A., Mendoza, F., Sánchez, I., Inzunza, M., y Moreno, L. (2004). Diseño de sistemas de riego presurizado. *CENID RASPA INIFAP*(15).
- Rosano M., L., Rendón P., L., Pacheco H., P., Etchevers B., J. D., Chávez M., J., y Vaquera H., H. (2001). Calibración de un modelo hidrológico aplicado en el riego tecnificado por gravedad. *Agrociencia*, 35(6), 577-588.
- Russell, E. (2000). *Soil conditions and plant growth* (10 ed.). New York: Longman.
- Sandoval, I., y Enrique, J. (1989). Frecuencia de riego y evapotranspiración para cultivos de las regiones central y oriental de Guatemala. *Informes de Investigación 1986 - 1987. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía*, 9-29.
- Sifuentes, I. E., y Ojeda, B. W. (2005). Métodos de conservación del agua en riego superficial: una alternativa para incrementar la eficiencia en el uso del agua. *Memorias del XVII Congreso Nacional de Irrigación*.
- Swennenhuis, J. (2009). *CROPWAT, (Versión 8.0)*. Roma, Italia: Ed. Unidad de Fomento y Gestión de las Aguas de la FAO.
- Valverde, J. C. (1988). Riego y Drenaje. *EUNED*, 223.
- Varas B., y Sandoval H., J. (1991). *Manual de riego. Instituto de Investigaciones Agropecuarias*. Chile.