

PROBLEMAS OPERATIVOS EN LA PLANEACIÓN Y ENTREGA DE AGUA EN DISTRITOS DE RIEGO

Vladimir Ruiz Pérez^{1*}; Ernesto Sifuentes Ibarra²; Waldo Ojeda Bustamante³; Jesús del Rosario Ruelas Islas¹; Cipriano Fuentes Verduzco¹

^{1*}Universidad Autónoma de Sinaloa. Facultad de Agricultura del Valle del Fuerte. Calle 16 S/N esq. Japaraqui, Juan José Ríos, Ahome, Sinaloa.

Correo; vdxy@hotmail.com – Teléfono; 6681623643

²Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Valle del Fuerte. Carretera Internacional México 15 Km 1609, C.P.81110, Juan José Ríos, Sinaloa.

³Colegio Superior Agropecuario del Estado de Guerrero. Av. V. Guerrero 81, 1er. Piso, Col. Centro, Iguala de la Independencia, Guerrero, México. C.P. 40000
Teléfono: (733) 3324328

Resumen

A nivel mundial el recurso agua se ha convertido en un bien escaso y el sector agrícola es uno de los más afectados, sin embargo, también encabeza la lista como el sector que consume el mayor porcentaje (70%) de agua disponible a nivel mundial. La aplicación del riego en México es un tema analizado y existen diversas metodologías y estrategias desarrolladas, sin embargo, la transferencia de tecnologías se dificulta debido a la resistencia por parte de los usuarios de riego. Esta problemática afecta las grandes zonas de riego que se ubican en zonas áridas lo que hace que el aporte de riego sea indispensable para obtener buenos rendimientos. Los problemas en la planificación y distribución del agua se deben principalmente al sistema actual operativo que se limita a un esquema tradicionales donde el usuario toma decisiones sin sustento científico. El objetivo de este trabajo fue el análisis e identificación de problemas operativos en planes de siembra históricos y su impacto en la distribución de agua utilizando indicadores de desempeño en el Distrito de Riego 075, Sinaloa, México. El cultivo de maíz y frijol representan en promedio el 86.3% de la superficie sembrada en la zona de estudio, se identificaron tres periodos importantes de siembra (octubre, noviembre y febrero) donde se establecen la mayor cantidad de lotes en periodos de siembra muy cortos. Los planes de siembra desarrollados dificultan la distribución de agua debido a que la demanda de riego supera la capacidad operativa de la red de distribución, 7 de los 22 canales que conforman esta red operan a más del 100% de su capacidad afectando la oportunidad donde el intervalo de riego entre lo pronosticado ejecutado es del 23%.

Palabras claves: Plan de siembras, Distribución de agua, Capacidad operativa

Introducción

A nivel mundial el recurso agua se ha convertido en un bien escaso, su disponibilidad refiere un problema ascendente durante los últimos años afectando la economía a nivel mundial. Cualquier acción individual o conjunta sobre este recurso, puede causar efectos negativos en la disponibilidad actual o a futuro por lo que su uso y manejo debe implementarse bajo esquemas que garanticen la eficiencia en cada uno de los sectores de la cadena productiva (Castillo et al., 2017). El sector agrícola es uno de los más afectados ante los problemas de disponibilidad, sin embargo, encabeza la lista como el sector que consume el mayor porcentaje (70%) de agua disponible a nivel mundial, (OCDE, 2023) atribuido esto, a la falta e incorrecta implementación de estrategias que contribuyan a un uso eficiente.

La aplicación del riego en México es un tema ampliamente analizado y son diversas las metodologías y estrategias desarrolladas para una aplicación del riego eficiente, en la mayoría de los casos no se consideran las condiciones y características específicas de las zonas lo que lleva al fracaso su adopción e implementación. Además, existe una resistencia por parte de los usuarios de riego a adoptar nuevas herramientas lo que dificulta la transferencia de tecnologías desarrolladas.

Esta problemática afecta las grandes zonas de riego ubicadas en el noroeste del país principalmente por la distribución espacial de volúmenes de agua, ya que estas concentran solo el 32% del agua renovable mientras que la zona sur-sureste el 68%, sin embargo, la primera aporta el 78% del Producto Interno Bruto (PIB), mientras que la zona sur-sureste solo aporta un 21% (SIAP, 2019). Ubicadas en climas áridos y semiáridos, el riego es indispensable para obtener buenos rendimientos lo que lo vuelve un reto debido a los volúmenes de agua que son cada vez más limitados. Sin embargo, año con año se presentan problemas en la planificación y ejecución del riego debido al esquema de manejo operativo actual que se limita al método tradicional que no considera la diversidad de cultivos y son inflexibles a la hora de brindar el servicio (ICID, 2005; Burt, 1987) afectando directamente el rendimiento del cultivo.

Las grandes zonas de riego elaboran sus planes de siembra en base a los volúmenes de agua almacenados en las presas de captación los cuales durante los últimos años han disminuido alarmantemente debido a la variabilidad y cambio en el régimen de lluvia causado por efectos del cambio climático (FAO, 2011; Steduto et al., 2014), esto, dificulta aún más elaborar planes de siembra con menor volumen de agua disponible y bajo esquemas operativos sin sustento científico donde el usuario planifica de manera empírica el cultivo a establecer y ejecuta planes de riego en base a experiencia adquirida sin considerar las necesidades hídricas del cultivo y factores como la tecnificación del riego, la limitada gestión del recurso agua y la capacidad operativa de la red de distribución, esta última considerada como clave al momento de definir el plan de siembras.

Se debe considerar un equilibrio entre el suministro y la demanda de agua con el fin de proporcionar el riego de manera oportuna, esto se logra desde una perspectiva de espacio y tiempo, la cual depende de la superficie y los rangos temporales considerados en la ejecución (Bilalib Udimal et al. (2017). Siendo el riego por gravedad la técnica más utilizada, carece de diseño científicas, programación, aplicación y evaluación, lo que origina resultados en eficiencias de riego globales del orden de 34.1% (Olmedo et al., 2017). El objetivo de este trabajo fue el análisis e identificación de problemas operativos en planes

de siembra históricos y su impacto en la distribución de agua utilizando indicadores de desempeño en el Distrito de Riego 075, Sinaloa, México

Materiales y métodos

Descripción de la zona de estudio

El estudio se desarrolló en el Módulo de Riego “Batequis” en la zona árida del norte del estado de Sinaloa, México, en las coordenadas 25° 45’ 53” N y -108° 48’ 46” O a 12 msnm. El tipo de suelo predominante es de textura arcillosa con densidad aparente (Da) de 1.15 g cm⁻³. El suelo es moderadamente bajo en materia orgánica (MO), la precipitación anual acumulada promedio de la zona de estudio es de 350 mm, concentrándose el 70% de julio a septiembre.

El Módulo de riego Batequis registra una superficie de 12465 ha y cuenta con un padrón de 1249 usuarios con un promedio de 9.98 ha, el mosaico de cultivos establecidos en el módulo de riego “Batequis” comprende 12 cultivos (**Cuadro 1**) dentro de los cuales el maíz es el de mayor preferencia en superficie establecida.

Cuadro 1. Mosaico de cultivos y superficie promedio establecida en el módulo de riego Batequis.

Alfalfa 0.97%	Cártamo 1.81 %	Frutales 0.41%	Chile verde 1.64%	Frijol 18.92%	Garbanzo 2.11%	Sorgo 22.54%
Maiz 66.23%	Otras hortalizas 0.05%	Papa 4.81%	Tomate vara 1.09%	Tomate rojo 0.01%	Tomatillo 1.96%	

La metodología desarrollada consistió en lo siguiente; 1) recopilación y validación de datos estadísticos agrícolas e hidrométricos, 2) cálculo de la capacidad actual de conducción de canales y 3) evaluación de la planeación y distribución de agua mediante indicadores de desempeño operativo.

Recopilación y validación de Información estadística agrícola e hidrométrica

Se obtuvo los registros agrícolas e hidrométricos de los ciclos productivos 2018-2019, 2019-2020 y 2021-2022 de la base de datos del programa SPRITER el cual es utilizado para el seguimiento del riego a nivel modulo. Este programa permite gestionar una base de datos con información sobre suelo, padrón de usuarios, red de distribución, seguimiento de riego de los cultivos y su manejo; así como generar una serie de reportes de interés local, regional o nacional.

Se obtuvo el patrón de siembras para los tres ciclos productivos (2018-2019, 2019-2020 y la superficie sembrada por cultivo, se analizaron los periodos de siembra y se graficaron los periodos críticos de siembra durante el ciclo agrícola.

Red de distribución de agua

Se calculo la máxima capacidad de conducción de la red de canales incluidos canales laterales, sub-laterales y ramales. Se utilizo la **Fórmula 1** para el cálculo del gasto en canales abiertos, sin revestir y con forma irregular. El área del canal se obtuvo mediante un levantamiento de secciones transversales donde se utilizó un nivel fijo marca SOKIA y se obtuvieron cotas (altimetría) a 1m de separación a lo ancho del canal (**Figura 1**).

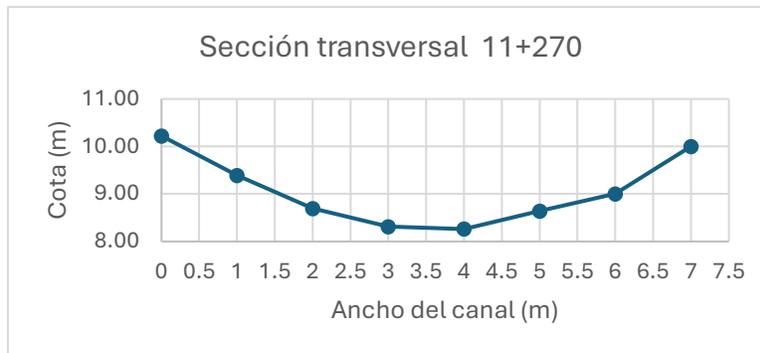


Figura 1. Gráfico de levantamiento de sección transversal con separación a 1 m entre cotas.

La velocidad media se calculó con la ecuación de Manning (**Formula 2**) donde la pendiente se obtuvo 50 m aguas arriba y 50 m aguas abajo con respecto al punto de levantamiento de la sección transversal. El área de la sección transversal y el perímetro de mojado se obtuvo con el programa AutoCad ingresando los datos obtenidos en campo (**Figura 2**).

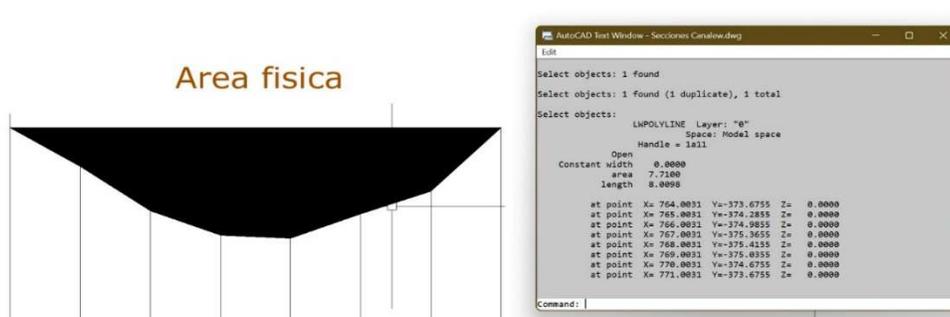


Figura 2. Cálculo de área y perímetro de mojado con el programa AutoCad.

$$Q = A \times V(\text{media}) \quad (1)$$

$$V = (1/n) (R^{2/3}) (S^{1/2}) \quad (2)$$

El coeficiente de rugosidad n se obtuvo del **Cuadro 2** según las características físicas y de construcción del canal.

Cuadro 2. Valores de coeficiente de rugosidad de Manning “n” según Horton.

Superficie	Condiciones			
	Perfectas	Buenas	Regulares	Malas
Canales y Zanjas				
Canales revestidos con concreto	0.012	0.014*	0.016*	0.018
En tierra, alineados y uniformes	0.017	0.020	0.0225	0.025*
En roca, lisos y uniformes	0.025	0.030	0.033*	0.035
En roca, con salientes y sinuosos	0.035	0.040	0.045	
Sinuosos y de escurrimiento lento	0.0225	0.025*	0.0275	0.030
Dragados en tierra	0.025	0.0275*	0.030	0.033
Con lecho pedregoso y bordos de tierra, enhierbados	0.025	0.030	0.035*	0.040
Plantilla de tierra, taludes ásperos	0.028	0.030	0.033	0.035
Corrientes naturales				
1. Limpios, bordos rectos, llanos, sin hendiduras ni charcos profundos	0.025	0.0275	0.030	0.033
2. Igual a 1, pero con algo de hierbas y piedra	0.030	0.033	0.035	0.040
3. Sinuoso, algunos charcos y escollos limpios	0.033	0.035	0.040	0.045
4. Igual a 3, de poco tirante con pendiente y sección menos eficientes	0.040	0.045	0.050	0.055
5. Igual a 3, algo de hierba y piedras	0.035	0.040	0.045	0.050
6. Igual a 4, secciones pedregosas	0.045	0.050	0.055	0.060
7. Ríos perezosos, cauce enhierbado o con charcos profundos	0.050	0.060	0.070	0.080
8. Cauces muy enhierbados	0.075	0.100	0.125	0.150

Evaluación operativa mediante indicadores de desempeño

Se utilizaron los siguientes indicadores de desempeño; dependencia del intervalo y la aplicación del agua y relación de capacidad operativa de canales (Bos et al., 2005). El primero, se utilizó para evaluar la oportunidad del riego comparando planes de riego ejecutados con aquellos pronosticados según los requerimientos del cultivo. El segundo se utilizó para conocer y evaluar la capacidad de la red de distribución de agua para prestar el servicio de riego. El **Cuadro 3** muestra la información de los indicadores utilizados.

Cuadro 3. Indicadores de desempeño utilizados para la evaluación operativa de módulos de riego.

	Indicador	Unidad	Fórmula	Significado de iniciales
1	Dependencia del intervalo y la aplicación del agua	%	$\frac{IR_{actual}}{IR_{prog}}$	IR _{actual} = intervalo de riego actual IR _{prog} = intervalo de riego programado (oportunidad del riego)
2	Relación de Capacidad operativa de canales	%	Demanda /CA	Demanda = demanda de agua de riego m3 CA = conducción del canal en m3.

Dependencia del intervalo y la aplicación del riego

Se evaluó el desempeño del servicio de riego desde el punto de vista de oportunidad, para esto primero se obtuvo los calendarios de riego ejecutado (fecha de aplicación) utilizando la información hidrométrica y se calculó el intervalo de riego actual.

Posteriormente, se utilizó la plataforma IrriModel (Sifuentes *et al.*, 2015) para generar planes de riego basados en fenología y acumulación de calor (**Cuadro 4 y 5**) utilizando la base de datos de clima del año en cuestión, se pronosticó la fecha oportuna del riego y volumen de agua según los requerimientos del cultivo. Estos planes de riego se ajustaron según los riegos autorizados para el ciclo agrícola analizado. Con esto se obtuvo el intervalo de riego programado. Los anteriores fueron comparados (indicador 1) para calcular la dependencia del intervalo y la aplicación del riego.

Lo anterior se realizó para los cultivos de maíz y frijol los cuales representan el 86.3, 88.5 y 85.1% de la superficie establecida respectivamente en cada uno de los ciclos agrícola analizado.

Cuadro 4. Planes de riego para diferentes fechas de siembra generados por la plataforma IrriModel para el cultivo de maíz.

Fecha de siembra	N° de Riegos	Fecha de riego	Intervalo de Riego	GDA (°c)	Etapa Fenológica
05/10/2019	1	11/11/2019	37	578.2	8 hojas
	2	09/12/2019	28	855	Jilote
	3	12/01/2020	34	1089.5	Grano Acuoso
	4	26/02/2020	45	1424.3	Grano Dentado
15/10/2019	1	21/11/2019	37	515.6	6 hojas
	2	24/12/2019	33	815.4	12 hojas-Espiga
	3	25/01/2020	32	1030.8	Grano Acuoso
	4	29/02/2020	35	1285.3	Grano Masoso
25/10/2019	1	12/12/2019	48	560.4	8 hojas
	2	15/01/2020	34	795.2	12 hojas-Espiga
	3	14/02/2020	30	1030.7	Grano Acuoso
	4	15/03/2020	30	1261.3	Grano Masoso
05/11/2019	1	27/12/2019	52	509.9	6 hojas
	2	29/01/2020	33	734.6	12 hojas-Espiga
	3	25/02/2020	27	937.3	Jilote
	4	22/03/2020	26	1161.3	Grano Lechoso
15/11/2019	1	08/01/2020	54	455.7	4 hojas
	2	12/02/2020	35	732	12 hojas-Espiga
	3	06/03/2020	23	903	Jilote

	4	28/03/2020	22	1103.4	Grano Acuoso
	5	20/04/2020	23	1373.2	Grano Dentado
25/11/2019	1	22/01/2020	58	476.8	4 hojas
	2	21/02/2020	30	698.1	10 hojas
	3	17/03/2020	25	902.6	Jilote
	4	04/04/2020	18	1082.9	Grano Acuoso
	5	24/04/2020	20	1332.5	Grano Masoso
05/12/2019	1	31/01/2020	57	434.6	4 hojas
	2	01/03/2020	30	661.3	10 hojas
	3	23/03/2020	22	857.3	Jilote
	4	09/04/2020	17	1044.2	Grano Acuoso
	5	27/04/2020	18	1274.1	Grano Masoso
15/12/2019	1	15/02/2020	62	470.7	4 hojas
	2	14/03/2020	28	681.5	10 hojas
	3	01/04/2020	18	854.5	Jilote
	4	17/04/2020	16	1042.5	Grano Acuoso
	5	06/05/2020	19	1282.5	Grano Masoso
25/12/2019	1	20/02/2020	57	420.1	4 hojas
	2	19/03/2020	28	647.5	10 hojas
	3	05/04/2020	17	821.3	12 hojas-Espiga
	4	20/04/2020	15	1005.1	Grano Acuoso
	5	08/05/2020	18	1232.9	Grano Lechoso

Cuadro 5. Planes de riego para diferentes fechas de siembra generados por la plataforma IriModel para el cultivo de frijol.

FECHA DE SIEMBRA	N° de Riegos	Fecha de riego	Intervalo de Riego	GDA (°c)	Etapas Fenológicas
25/09/2019	1	27/10/2019	32	510	Prefloración
	2	20/11/2019	24	833.6	Llenado de Vainas
05/10/2019	1	06/11/2019	32	509.1	Prefloración
	2	02/12/2019	26	827	Llenado de Vainas
15/10/2019	1	17/11/2019	33	499.1	Prefloración
	2	21/12/2019	34	882	Llenado de Vainas
25/10/2019	1	01/12/2019	37	515.8	Prefloración
	2	06/01/2020	36	847.9	Llenado de Vainas
05/11/2019	1	19/12/2019	44	547.8	Prefloración
	2	23/01/2020	35	860.7	Llenado de Vainas
15/11/2019	1	01/01/2020	47	499.2	Prefloración
	2	02/02/2020	32	810.6	Llenado de Vainas
25/11/2019	1	13/01/2020	49	503.4	Prefloración

	2	14/02/2020	32	820.6	Llenado de Vainas
--	---	------------	----	-------	-------------------

Relación de la capacidad operativa de canales

Utilizando la información hidrométrica del ciclo agrícola, se calculó el número de riegos suministrados por la red de canales de manera diaria bajo el siguiente esquema jerárquico; nivel 1; canales laterales, nivel 2; canales sub-laterales y nivel 3; canales ramales. El cálculo se realizó tanto de manera individual por niveles (1, 2 y 3) así como acumulativo donde se sumó el número de riegos en sub-laterales y ramales que pertenecieran a un canal lateral de nivel 1. Posteriormente utilizando la información obtenida de capacidad máxima de conducción de agua de la red de canales y considerando un gasto óptimo en toma granja de 120 litros por segundo, se calculó el número de riegos máximo que pudiera suministrar cada uno de los canales de la red de distribución.

Resultados y discusión

Estadística agrícola.

Según el análisis realizado, la superficie sembrada por cultivo muestra el mismo patrón en los tres ciclos agrícolas analizados (2018-2019, 2019-2020 y 2021-2022) ya que los cultivos de maíz y frijol en conjunto representan el 86.3, 88.5 y 85.1% respectivamente (**Figura 3**).

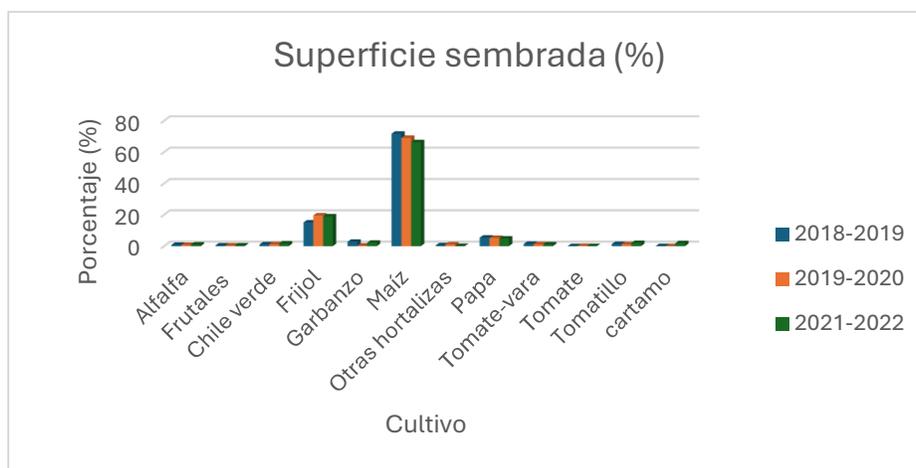


Figura 3. Superficie sembrada (%) por cultivo para los tres ciclos agrícolas analizados.

La **Figura 4** muestra el número de lotes establecidos por fecha de siembra para los tres ciclos agrícolas, se aprecian tres periodos de siembra importantes; el primero en los meses de noviembre y diciembre fechas consideradas como óptimas para el establecimiento del

cultivo de maíz, el segundo; durante el mes de octubre donde se considera optimo para la siembra del cultivo de frijol y el tercero; durante los meses de febrero y marzo donde se establecen primordialmente segundos cultivos seguidos de siembras de frijol y hortalizas.

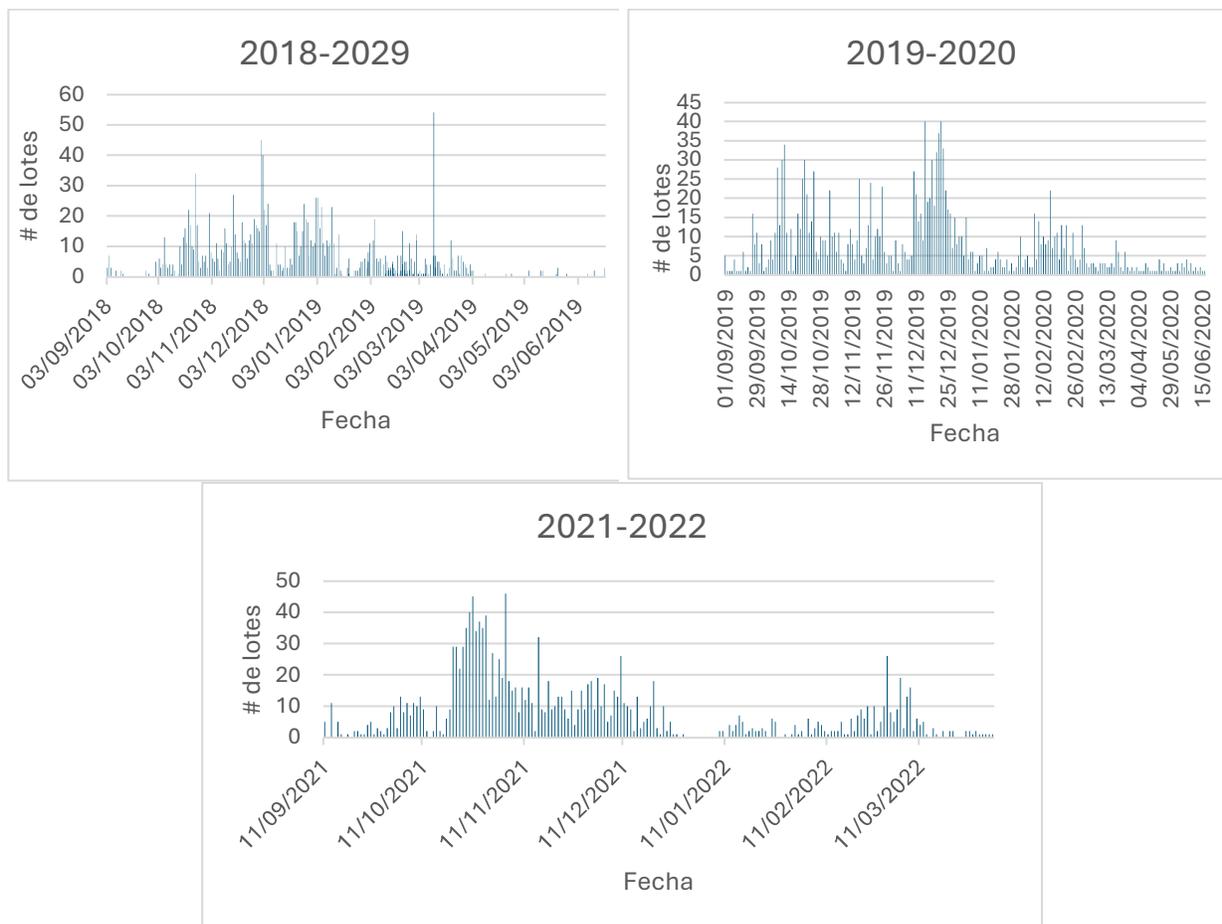


Figura 4. Numero de lotes establecidos por fecha para los ciclos agrícolas 2018-2019, 2019-2020 y 2021-2022.

Capacidad operativa de la red de distribución de agua.

El **Cuadro 5**, muestra los valores de capacidad de conducción de la red de distribución de agua en m^3/s , los canales laterales debido a su estructura, presentan los volúmenes más altos de conducción, sin embargo, los canales ramales no superan los $2 m^3/s$ (**Figura 5**) limitando el número de servicios o riegos proporcionados al usuario. En este caso en particular, los canales ramales se encuentran en las zonas mas alejadas del punto de control principal y debido al esquema de servicio de riego utilizado, son los usuarios de esta zona los mas afectados en cuanto a oportunidad de aplicación del riego.

Cuadro 5. Parámetros utilizados en el cálculo de máxima capacidad de conducción de canales.

	Canal	Código	Área m ²	Perímetro de mojado	Pendiente (m/m)	Radio Hco. (m)	Coefficiente de rugosidad "n"	V.media (m/s)	Q (m ³ /s)
1	Lateral	33+660	6.5344	9.3274	0.0013	0.7006	0.033	0.8451	5.5222
2	Lateral	35+840	14.1240	11.7917	0.0011	1.1978	0.033	1.1335	16.0101
3	Sub lateral	0+300	6.4190	8.7597	0.0010	0.7328	0.035	0.7344	4.7139
4	Sub lateral	2+000	1.8900	3.9600	0.0025	0.4773	0.016	1.9085	3.6071
5	Sub lateral	3+310	1.0710	3.6757	0.0025	0.2914	0.015	1.4650	1.5690
6	Sub lateral	5+425	0.6842	2.0735	0.0020	0.3300	0.015	1.4237	0.9741
7	Sub Lateral	7+900	2.0989	4.1920	0.0020	0.5007	0.016	1.7624	3.6991
8	Lateral	36+400	7.5292	8.0992	0.0013	0.9296	0.033	1.0205	7.6835
9	Lateral	37+960	13.481	1.2069	0.0003	11.1699	0.035	2.4728	33.3361
10	Sub Lateral	0+080	6.6522	8.8576	0.0010	0.7510	0.033	0.7917	5.2668
11	Sub Lateral	8+080	0.9825	2.8837	0.0005	0.3407	0.033	0.3305	0.3248
12	Sub Lateral	9+200	0.6983	2.4741	0.0018	0.2822	0.033	0.5455	0.3809
13	Sub lateral	11+400	7.7100	8.0098	0.0004	0.9626	0.033	0.5908	4.5554
14	Sub lateral	37+000 der	5.3700	8.4954	0.0010	0.6321	0.033	0.7058	3.7901
15	Sub lateral	37 +000 izq	5.2097	7.8337	0.0010	0.6650	0.035	0.6884	3.5863
16	Ramal	0+500	1.9249	4.1049	0.0008	0.4689	0.016	1.0331	1.9886
17	Ramal	1+000	1.0631	3.0162	0.0010	0.3525	0.033	0.4781	0.5083
18	Ramal	1+500	0.46	2.3	0.0020	0.2000	0.033	0.4635	0.2132
19	Ramal	2+000	1.5842	3.5811	0.0015	0.4424	0.035	0.6425	1.0178
20	Sub lateral	15+065	1.1310	3.7699	0.0024	0.3000	0.015	1.4636	1.6554
21	Lateral	40+130	12.5900	10.7495	0.0010	1.1712	0.033	1.0647	13.4051

De los parámetros utilizados para el cálculo, el coeficiente de rugosidad "n" fue el que en mayor proporción afectó los resultados obtenidos debido a que, las condiciones físicas de los canales influyeron para considerar coeficientes de 0.33-0.35 valores muy elevados para canales abiertos.

Evaluación operativa

Dependencia del intervalo y la aplicación del riego

Los resultados obtenidos indican una mayor variación del intervalo de riego en el primer riego de auxilio (25 días), para los auxilios dos y tres el promedio en la variación es de 5 días y para el auxilio cuatro 7 días. La **Figura 5** muestra los gráficos de comportamiento entre lo pronosticado y ejecutado para cada uno de los riegos de auxilio.

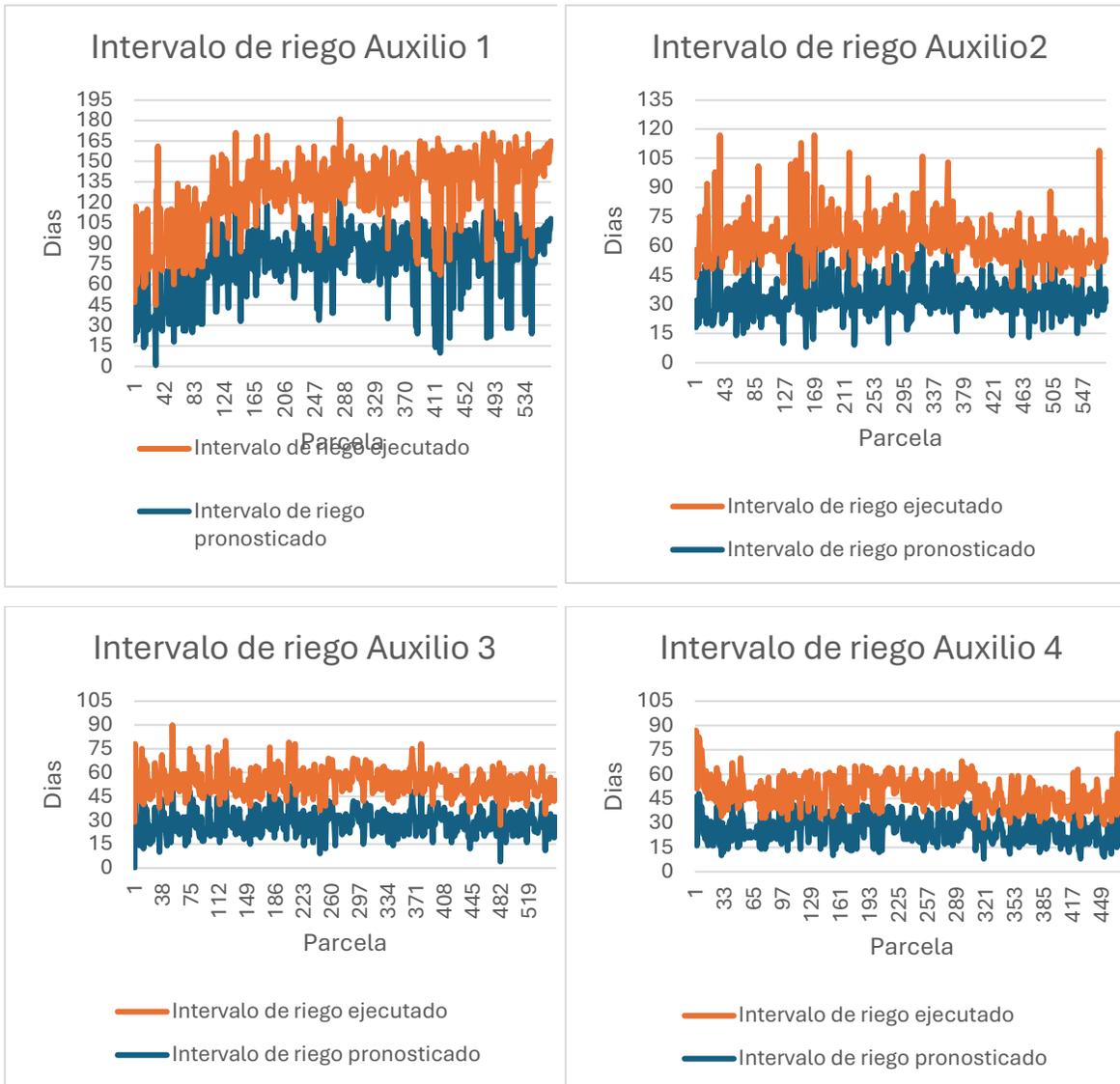


Figura 5. Intervalo de riego pronosticado y ejecutado para el cultivo de maíz ciclo 2018-2019.

En el caso del cultivo de frijol los resultados en la variación de intervalos de riego son mínima (5 días), esto debido a que es un cultivo de ciclo corto y con solo dos riegos de auxilio. Los resultados se muestran en la **Figura 6.**

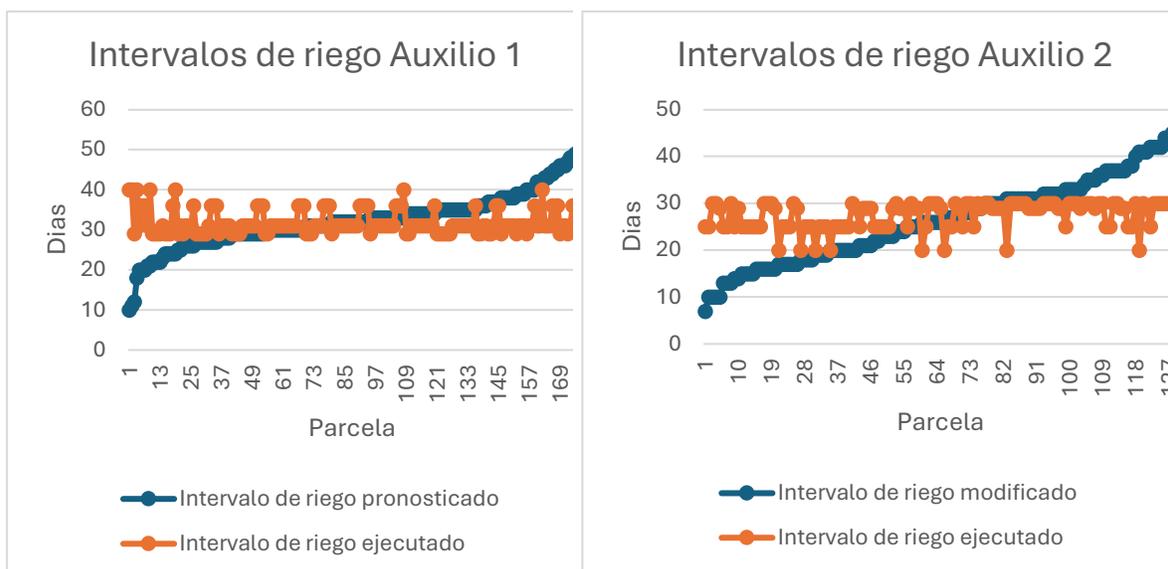


Figura 6. Intervalo de riego pronosticado y ejecutado para el cultivo de frijol ciclo agrícola 2018-2019.

Relación de la capacidad operativa de canales

A continuación, se muestran los resultados de la comparación entre la demanda de riego y la capacidad operativa de la red de distribución (**Cuadro 6**).

Cuadro 6. Capacidad operativa de canales de la red de distribución del módulo de riego Batequis.

Canal		Q	LPS	Capacidad # Riegos	#Riegos actual
Lateral	33+660	5.52	5522.18	46.02	16
Lateral	35+840	16.01	16010.11	133.42	65
Sub lateral	0+300	5.00	4999.64	41.66	15
Sub lateral	2+000	1.75	1748.89	14.57	7
Sub lateral	3+310	1.57	1569.04	13.08	21
Sub lateral	5+425	0.97	974.08	8.12	2
Sub Lateral	7+900	1.79	1793.52	14.95	16
Lateral	36+400	7.68	7683.53	64.03	21
Lateral	37+960	43.04	43036.76	358.64	90
Sub Lateral	0+080	5.27	5266.85	43.89	11
Sub Lateral	8+080	0.32	324.76	2.71	6
Sub Lateral	9+200	0.38	380.89	3.17	5
Sub lateral	11+400	4.56	4555.39	37.96	13
Sub lateral	37+000 der	3.79	3790.13	31.58	6
Sub lateral	37 +000 izq	3.80	3803.61	31.70	24

Ramal	0+500	1.06	1060.61	8.84	5
Ramal	1+000	0.51	508.32	4.24	9
Ramal	1+500	0.21	213.20	1.78	13
Ramal	2+000	1.08	1079.45	9.00	7
Sub lateral	15+065	1.66	1655.38	13.79	20
Lateral	40+130	13.41	13405.10	111.71	27

Para el caso de canales laterales no existen problemas de distribución siendo estos los de mayor estructura, sin embargo, 5 de los 12 canales sub-laterales superan la demanda de agua en relación a su capacidad de distribución. Los canales ramales son los que presentan mayor problema superando en algunos casos hasta 6 veces su capacidad operativa como se muestra en la **Figura 7**.

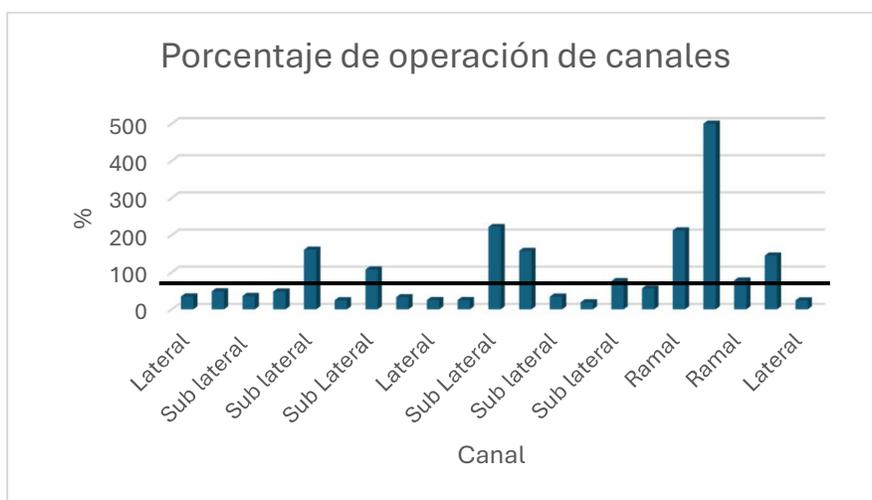


Figura 7. Porcentaje operativo de la red de distribución de agua para un ciclo agrícola (20182019).

Para compensar la demanda de agua excesiva en canales que superan su capacidad operativa, se proporcionan volúmenes de agua por usuario de entre 60 y 70 lps lo que ocasiona eficiencias de aplicación muy bajas debido a la duración total del riego mientras que en tomas directas de canales laterales es de 120 lps.

Conclusiones

Una planificación de siembra sin considerar las características y capacidades operativas de la zona principalmente la distribución de agua, limita la oportunidad y equidad del servicio de riego. Los estrechos periodos de siembra establecidos por el usuario afectan la planificación y distribución del riego, esto aunado a la práctica del monocultivo, genera picos de demanda en la solicitud del servicio imposibles de operar causando retraso en la aplicación. Los módulos de riego han optado por reducir el volumen de agua entregado al usuario para aumentar el número de riegos suministrados, sin embargo, esto afecta la duración total del riego lo que causa una reducción considerable en la eficiencia de aplicación ya que las láminas aplicadas resultan muy por encima de lo requerido por el cultivo.

Referencias bibliográficas

- BURT, M.C. Overview of canal control concepts. Planning, Operation, Rehabilitation and Automatic of Irrigation Water Delivery Systems. Symp. Proc. New York: ASCE, 1987.
- ICID. International Congress on Irrigation and Drainage. Beijing: International Commission on Irrigation and Drainage. Vol. 1 C, 2005. IMTA. Manual
- Bos, M.G., Burton, M.A. & Molden. D.J. (2005). Irrigation and drainage performance assessment: practical guidelines. 1a. edición. Cabi Publishing. Cambridge, USA. 158pp
- Olmedo-Vázquez, V.M., Minjares-Lugo, J.L., Camacho-Poyato, E., Hernández-Hernández, M.L. y Rodríguez-Díaz, J.A. (2017). Uso del análisis envolvente de datos (DEA) para evaluar la eficiencia de riego en los módulos del distrito de riego no. 041, río yaqui (sonora, México). Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias, 49(2), 127–148.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2019). Panorama Agroalimentario 2019. Primera edición, 2019 © Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Ciudad de México. 218pp.
- Steduto, P., Raes, D., Hsiao, T. & Fereres, E.. (2014). AquaCrop: conceptos, fundamento y funcionamiento. Capítulo 3: Respuesta del rendimiento de cultivos herbáceos al agua: el modelo de simulación AquaCrop. En: Respuesta del rendimiento de los cultivos al agua. Estudio FAO 66. ISSN 0254-5284. Roma, Italia. Pp17-53
- Food and Agriculture Organization (FAO). (2011). The state of the world's land and water resources for food and agriculture, managing systems. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome and Earthscan, London. 285p.
- Castillo-Castillo, M., Ibáñez-Castillo, L.A., Valdés J.B., Arteaga-Ramírez, R.. y Vázquez-Peña, M.A. (2017). Análisis de sequías meteorológicas en la cuenca del río Fuerte, México. Tec. y Ciencias del Agua, IMTA, 8 (1): 35-52. ISSN 0187-8336. Jiutepec, Morelos, México.
- Bilalib Udimal, Thomas; Jincal, Zhuang; Ayamba, Emmanuel Caesar y Mensah Owusu, Samuel (2017), "China's water situation; the supply of water and the pattern of its usage", International Journal of Sustainable Built Environment, 6 (2), Jiangsu University, School of Management, pp. 491-500, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijsbe.2017.10.001>
- OCDE-FAO PERSPECTIVAS AGRÍCOLAS 2023-2032 © OCDE/FAO 2023.
<http://dx.doi.org/10.1787/agr-outl-data-en>.