

**FUNDACIÓN
PRODUCE**

Sinaloa A.C.

ENLACE, INNOVACIÓN Y PROGRESO

SAGARPA



SECRETARÍA DE AGRICULTURA,
GANADERÍA, DESARROLLO RURAL,
PESCA Y ALIMENTACIÓN



SINALOA
ES TAREA DE TODOS

GOBIERNO
DEL ESTADO
DE SINALOA

Tecnologías de riego bajo condiciones de escasez de agua en maíz

15 años

Avanzando al campo sinaloense

1996-2011

COLECCIÓN



**MEMORIA DE
CAPACITACIÓN**

Tecnologías de riego bajo condiciones de escasez de agua en maíz

ÍNDICE

Introducción.....	7
Requerimientos hídricos de los cultivos.....	8
Superficie factible de riego.....	10
Acciones recomendadas.....	10
Conclusiones.....	23
Bibliografía.....	24

Tecnologías de riego bajo condiciones de escasez de agua en maíz

Ernesto Sifuentes Ibarra*

Jaime Macías Cervantes*

José Guadalupe Quintana Quiroz*

Rosendo Abel Corral Vega*

Víctor Manuel González Calderón*

Waldo Ojeda Bustamante**

INTRODUCCIÓN

Los distritos de riego del noroeste de México son el principal factor de desarrollo económico de estas regiones; bajo condiciones de baja disponibilidad de agua, se requiere de una estrategia integral del manejo del agua que permita mejorar su productividad, y esté enfocada en tecnologías adaptables a las condiciones de cada distrito.

Dicha estrategia debe iniciar con la elaboración de un plan de riego, usando información relevante y confiable que permita analizar diferentes escenarios y prever conflictos bajo condiciones de baja disponibilidad. Posteriormente, se debe implementar dicho plan y monitorear su operación.

Es frecuente, en condiciones normales de disponibilidad, que las tres fases del proceso de operación no se cumplan en su totalidad o se omita alguna, resultado en bajas eficiencias de riego.

Bajo condiciones de limitada disponibilidad de agua, los agricultores deben adaptarse a las restricciones en la dotación asignada por los administradores del riego e implementar acciones que reduzcan el estrés hídrico de los cultivos, como las que ha generado el Instituto Nacional

*Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP)-Centro de Investigación Regional Noroeste (CIRNO)-Campo Experimental Valle del Fuerte (CEVAF).

**Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA).

de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) y otras instituciones.

En esta publicación se presenta un análisis de la situación de disponibilidad de agua en Sinaloa para el ciclo otoño-invierno (O-I) 2011-2012, la estimación de la superficie factible de riego de los principales cultivos de acuerdo a sus requerimientos hídricos y un manejo eficiente del riego, así como algunas acciones institucionales y parcelarias que permitan mitigar los efectos de una sequía.

Disponibilidad de agua

En el Cuadro 1 se presenta el almacenamiento de las presas del estado de Sinaloa (25 de septiembre de 2011) expresado en hectómetros cúbicos (Hm³) y en porcentaje (%). Se observa un almacenamiento total de 6012.1 Hm³ que representa un porcentaje promedio de 40.34 %

Cuadro 1. Almacenamiento de presas de Sinaloa al 25 de septiembre de 2011 en Hm³.

Núm.	Presa	Almacenamiento	
		(Hm ³)	(%)
1	Luis Donald Colosio	1368.4	47.1
2	Miguel Hidalgo y Costilla	1474.3	50.5
3	Josefa O. de Domínguez	231.8	46.1
4	Gustavo Díaz Ordaz	588.8	31.7
5	Guillermo Blake Aguilar	96.7	32.2
6	Eustaquio Buelna	43.7	48.5
7	Adolfo López Mateos	853.5	27.7
8	Sanalona	328.4	48.8
9	Juan Guerrero Alcocer	17.1	31.2
10	José López Portillo	807.6	31.3
11	Aurelio Benassini V.	201.8	48.6
	Total	6012.1	40.34

REQUERIMIENTOS HÍDRICOS DE LOS CULTIVOS

La elaboración de planes de riego, y especialmente planes para afrontar situaciones de baja disponibilidad de agua, requiere del conocimiento preciso de los requerimientos hídricos de los cultivos en una zona de riego. Desafortunadamente, en México existe poca información al respecto, por lo que se recomienda utilizar información de fuentes confiables, como la Organización de Agricultura y Alimentos (FAO, por sus siglas en inglés).

En Sinaloa, la mayor investigación sobre ingeniería de riego con nuevas

tecnología se han realizado en la zona norte desde 1996 a cargo de INIFAP y el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), motivados por otro periodo de sequía que se prolongó hasta el 2004. Los principales cultivos estudiados hasta fechas recientes son: maíz, frijol, garbanzo, papa, sorgo, caña de azúcar y mango; en el Cuadro 2 se presentan las necesidades hídricas de estos (láminas netas) y las láminas de riego recomendadas para aplicar (láminas brutas) bajo tres sistemas de riego.

Cuadro 2. Láminas netas y brutas a nivel parcela para los cultivos bajo diferentes sistemas de riego en el norte de Sinaloa.

Cultivo	Lámina neta (centímetros)	Lámina bruta (centímetros)		
		Gravedad	Aspersión	Goteo
Maíz	45.0	75.0	56.3	50.0
Fríjol	28.0	46.7	35.0	31.1
Trigo	31.9	53.2	39.9	35.4
Garbanzo	25.4	42.3	31.8	28.2
Algodón	65.7	109.5	82.1	73.0
Cártamo	25.0	41.7	31.3	27.8
Papa	36.0	60.0	45.0	40.0
Tomate	28.8	48.0	36.0	32.0
Chile jalapeño	36.3	60.5	45.4	40.3
Calabaza	10.5	17.5	13.1	11.7
Maíz dulce	21.8	36.3	27.3	24.2
Sorgo	31.6	52.7	39.5	35.1
Soya	33.7	56.2	42.1	37.4
Caña de azúcar (planta 18 meses)	150.0	250.0	187.5	166.7
Caña de azúcar (soca 12 meses)	110.1	183.5	137.6	122.3
Mango	92.7	154.5	115.9	103.0

Nota: las eficiencias de aplicación consideradas para la estimación de láminas brutas son: 60 % gravedad, 80 % aspersión y 90 % goteo

Dada la importancia de este tipo de información en la planeación y toma de decisiones, es recomendable generar investigación relacionada para las tres zonas del estado. Sin embargo, cuando no se cuenta con

información local de calidad, es válido utilizar los requerimientos hídricos presentados en el cuadro anterior.

SUPERFICIE FACTIBLE DE RIEGO

Considerando un requerimiento hídrico del maíz (lámina neta) de 46 centímetros (cm) y una eficiencia global de 39 % en los distritos de riego, para producir 100 mil hectáreas de maíz se requieren extraer de la presa 1172.13 Hm³. De acuerdo con el Cuadro 1, si el 50 % del agua disponible se destinara a otros cultivos y el 50 % restante a maíz, se podrían establecer 256 mil 454.3 hectáreas con este cultivo.

Es importante mencionar que en esta estimación se consideró una eficiencia de aplicación a nivel parcelario de 60 %, es decir por cada 100 litros (L) de agua que un productor aplica en su parcela, solo 60 se quedan en la zona de raíces y es aprovechado por el cultivo. Sin embargo, tradicionalmente la eficiencia de aplicación es de solo 40 a 45 % en el cultivo de maíz lo cual representa un mayor uso del agua.

En condiciones de baja disponibilidad de agua la eficiencia de aplicación mínima recomendada deben ser 60 %, y solo se puede lograr mejorando las prácticas de manejo del riego como las que se describen a continuación, que además, ayudan a minimizar las pérdidas de los rendimientos promedio por estrés hídrico y en muchos de los casos a mantenerlos sin afectación.

ACCIONES RECOMENDADAS

Para mejorar la eficiencia de riego de un distrito se requiere tanto de acciones estructurales como no estructurales, las primeras se refieren a obras en la red hidráulica y en la parcela que requieren de fuertes inversiones de dinero para llevarlas a cabo, tales como revestimiento de canales, instalación de estructuras de control (compuertas), instalación de sistemas de riego presurizados, entre otras.

Las segundas son acciones que no requieren de inversiones económicas considerables, y que pueden ser igual o más efectivas que las primeras; básicamente, consisten en un cambio en la manera de operar el riego, apoyado en técnicas aplicables a las condiciones específicas de cada región y que se pueden implementar en el corto tiempo si todos los involucrados en el manejo del agua participan. A continuación se describen las acciones no estructurales institucionales y parcelarias recomendadas para el estado de Sinaloa, basadas en la experiencia de anteriores periodos de sequía y de trabajos de investigación en tecnología de riego.

Acciones institucionales

La ejecución de este tipo de acciones está a cargo de las instituciones que administran las fuentes de abastecimiento de agua y brindan el servicio de riego, como los son la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), S. de R.L. de I.P. y C.V. (en algunos distritos se le conoce como Red Mayor o Sociedad) y módulos de riego de la Asociación de Usuarios Productores Agrícolas (AUPA). A continuación se describen las acciones más comunes en Sinaloa:

REDUCCIÓN DEL NÚMERO DE RIEGOS

Es una de las acciones más comunes que implementan los administradores del agua de un distrito de riego, para reducir los volúmenes consumidos de agua de los cultivos. Sin embargo, puede tener consecuencias negativas en el rendimiento si no se asocia con la fisiología del cultivo y con la ingeniería de riego. Es decir, los riegos autorizados deben manejarse técnicamente de la mejor manera considerando la oportunidad y aplicación de estos.

REDUCCIÓN DE LA SUPERFICIE DE RIEGO

Al reducirse el volumen asignado se reduce proporcionalmente la superficie de riego. Esta opción es difícil de implantar, sin embargo los agricultores usualmente asumen el riesgo de regar una superficie mayor a la técnicamente factible.

RESTRICCIÓN EN LA SELECCIÓN DE CULTIVOS

Algunos distritos restringen la selección de cultivos posibles a sembrar durante un año agrícola. A mayor dotación de agua, se deja “casi” abierta la selección de cultivos; a menor dotación se restringe a cultivos de baja demanda como frijol, garbanzo y soya. El cambio de un cultivo por otro no es decisión fácil para un agricultor ya que se corre el riesgo de saturar cultivos de bajo requerimiento hídrico, pero no económicamente atractivos para las condiciones de mercado imperantes.

MERCADO DE AGUA

Bajo condiciones críticas, se presenta la venta o préstamo de agua entre módulos de riego o usuarios de un distrito de riego. El mercadeo de agua es una alternativa cada vez más frecuente en los distritos de riego del noroeste de México.

EXTRACCIÓN DE VOLÚMENES DE FUENTES ALTERNAS

Cuando existen fuentes alternas, como agua subterránea y aguas de retorno de riego, algunos distritos eligen su utilización. Un ejemplo claro

se presenta en los módulos de riego de los distritos 010 y 075 en Sinaloa, que operan bajo condiciones de sequía una cantidad importante de pozos profundos que descargan a canales un volumen que todavía está por debajo de la recarga natural de los acuíferos.

En el distrito de riego 010, la rehabilitación, conservación y operación de estos pozos está a cargo de un comité de banco de agua con aportaciones económicas de los módulos. El costo por millar de metros cúbicos (m³) de agua de riego proveniente de pozos profundos es casi el doble del proveniente de presas.

CUOTA DE RIEGO

Incrementando el costo del agua se aprecia su valor y se reduce la cantidad usada. Sin embargo, esta opción en la agricultura de riego no siempre funciona, ya que se requiere una estrategia de medición para asociar el costo a un volumen entregado. Se requiere también que el agricultor entienda los principios básicos del consumo y calendarización del riego a los cultivos para aplicar las láminas realmente requeridas.

SUPERVISIÓN EXTERNA EN LA PLANEACIÓN, OPERACIÓN Y EVALUACIÓN DE UN AÑO AGRÍCOLA

Cada vez es más frecuente la implantación de operativos de emergencia con apoyo de la Comisión Nacional del Agua, a través de una supervisión externa en el seguimiento de un año agrícola en distritos con problemas de disponibilidad de agua.

Acciones parcelarias

En los distritos de riego de Sinaloa el mayor desperdicio de agua se tiene en la parcela, principalmente en cultivos como maíz, por la falta de una adecuada cultura del agua, ausencia de técnicas de riego fáciles de adoptar y debido al limitado personal capacitado para implementarlas.

Algunas acciones parcelarias que se han probado en Sinaloa con éxito son las siguientes:

PROGRAMACIÓN DE LA TEMPORADA DE SIEMBRA

Así como existen fechas de siembra recomendables desde el punto de vista sanitario, también se pueden generar para el manejo del riego, donde el cultivo presente el menor consumo de agua con poca o nula afectación en el rendimiento debido a la reducción del ciclo fenológico. Para el norte y centro de Sinaloa, se tienen definidos dos periodos recomendados donde el maíz presenta estas características.

Para el norte se recomienda sembrar del 15 de octubre hasta el 30

de noviembre. Bajo condiciones normales de disponibilidad de agua en siembras de octubre, los requerimientos hídricos del maíz son solo de 37 cm (3 mil 700 m³/ha) y cuatro riegos en total (riego de asiento y auxilios); para noviembre, los requerimientos son de 42 cm y cinco riegos (uno de asiento y cuatro auxilios), y para diciembre son mayores de 43 con seis riegos (uno de asiento y cinco auxilios) como se muestra en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Requerimientos de riego de siembra a madurez fisiológica del cultivo de maíz en diferentes fechas de siembra en el Valle del Fuerte.

Fecha de Siembra	Duración del ciclo (días)	ET _o (milímetros)	ET _r (milímetros)	Número de riegos
15 de septiembre	123	405	277	3
1 de octubre	165	505	360	4
15 de octubre	176	558	375	4
1 de noviembre	183	605	435	5
15 de noviembre	182	633	419	5
1 de diciembre	176	641	421	5
15 de diciembre	168	636	433	6
1 de enero	157	622	425	6
15 de enero	148	626	410	5

ET_o: evapotranspiración de referencia.

ET_r: evapotranspiración real.

En el centro de Sinaloa, debido al clima, el periodo de siembra recomendado para maíz es del 1 de noviembre al 15 de diciembre, con un comportamiento similar al del norte en relación a la demanda hídrica, es decir, fechas tempranas de noviembre consumen menos agua, mientras que fechas tardías demandan más. Sin embargo, es recomendable continuar con este tipo de estudios en esta zona para precisar la información.

Bajo condiciones de escasez, si se decide eliminar un riego a los recomendados en cada fecha de siembra se debe hacer un análisis complementario sobre productividad, para redistribuirlos en las etapas fenológicas más importantes desde el punto de vista hídrico, como se mencionó anteriormente.

USO DE CALENDARIOS DE RIEGO GUÍA PARA CONDICIONES DE ESCASEZ

La experiencia adquirida en el anterior periodo de sequía en Sinaloa y el uso de tecnologías de riego de precisión (*software* y sensores agroclimáticos), permitió generar un calendario de riegos promedio para

condiciones de escasez, basado en grados día (GD) y el concepto de riego deficitario.

El Cuadro 4 presenta el calendario de riegos para maíz bajo condiciones de escasez comparado con el calendario para condiciones normales, usado en módulos de riego del norte de Sinaloa durante el ciclo O-I 2002-2003. El rendimiento promedio de la zona no presentó mermas significativas.

Cuadro 4. Distribución de riegos por gravedad (rodado) recomendados para maíz para los suelos predominantes en Sinaloa, entre los que están arcillosos y franco-arcillosos, bajo dos escenarios de disponibilidad de agua.

Número de riego	Normal				Escasez			
	Ln (cm)	Lb (cm)	GDA	Etapas	Ln (cm)	Lb (cm)	GDA	Etapas
1	14.1	23.5	-80	Presiembra	14.1	23.5	-80	Presiembra
2	5.4	16.0	436	V6-V8	7.2	16.0	500	V8-V10
3	7.4	16.0	616	VT	9.8	16.0	747	R1
4	8.6	16.0	819	R1	10.9	16.0	996	R3
5	9.1	16.0	1006	R3				
Total	44.6	87.5			42.0	71.5		

Ln: lámina neta (requerimiento del cultivo); un cm representa 100 metros cúbicos por hectárea.

Lb: lámina bruta (lámina aplicada).

GDA: grados día acumulados o calor acumulado por el cultivo a partir de siembra dentro de dos umbrales de temperatura (10 y 30 °C para maíz).

V1...Vn: cantidad de hojas verdaderas de la planta.

VT: hoja bandera que aparece poco antes de la espiga).

R1: jiloteo.

R3: grano lechosos o elote.

cm: centímetros.

Un trabajo experimental para evaluar el efecto del número de riegos sobre el rendimiento conducido en el Campo Experimental Valle del Fuerte (CEVAF) durante el mismo ciclo 2002-2003, confirmaron los resultados obtenidos. El Cuadro 5 muestra los resultados de dicho experimento, se puede observar que donde se aplicaron tres y cuatro riegos de auxilio no hubo diferencia significativa en rendimiento.

Cuadro 5. Efecto del número de riegos con el rendimiento en el cultivo de maíz establecido en un suelo arcilloso con fecha de siembra de diciembre (INIFAP-CIRNO-CEVAF).

Riegos aplicados (auxilio)	Días al riego	Etapa	Rendimiento (toneladas por hectárea)	Reducción de rendimiento (%)
2	66	V10-11 hojas	6.79	36.05
	94	Antesis		
3	66	V10-V11	9.73	8.42
	94	Antesis (floración)		
	113	Grano lechoso		
4	59	V8-V9	9.8	7.7
	78	V13		
	94	Antesis		
	113	Grano acuoso-lechoso		
5	44	V6	10.62	0
	66	V10-V11		
	87	Inicio de espigamiento		
	113	Grano acuoso		
	131	Grano masoso		

Es recomendable que se genere un calendario de riegos antes o al momento de la siembra, para las condiciones específicas de las parcelas de cada productor, el INIFAP a través del CEVAF, cuenta con un programa de cómputo con todas las bases de datos de clima, suelos y cultivos con la capacidad de generarlos en forma automática, y es accesible para módulos de riego, técnicos y productores a través de la página: <http://cevaf.org.mx>.

PROGRAMACIÓN Y PRONÓSTICO DE RIEGO CON INTERNET BASADA EN GDA

La amplia temporada de siembras y la variabilidad climática de los últimos años, son factores que pueden alterar significativamente los calendarios de riego. Para tener alta precisión en la programación de los riegos el INIFAP, a través del CEVAF, desarrolló un *software* para programación integral y gestión del riego en tiempo real operado a través de Internet, denominado IrriModel 1.0.

El programa opera bajo una plataforma computacional que ofrece los siguientes beneficios:

1. Calcula la demanda hídrica del cultivo, aun bajo condiciones

variables de clima, y elabora planes de riego bajo diferentes escenarios climáticos, de disponibilidad de agua y sistemas de riego.

2. Pronostica el riego con alto nivel de precisión de acuerdo al desarrollo del cultivo, determinado por la acumulación de grados día (GDA).

3. Ayuda a mejorar la administración de las actividades de las unidades de producción.

4. Genera y envía solicitudes de riego al módulo que le presta el servicio de riego.

5. Evalúa el manejo del riego de una o un grupo de parcelas al final de un ciclo agrícola.

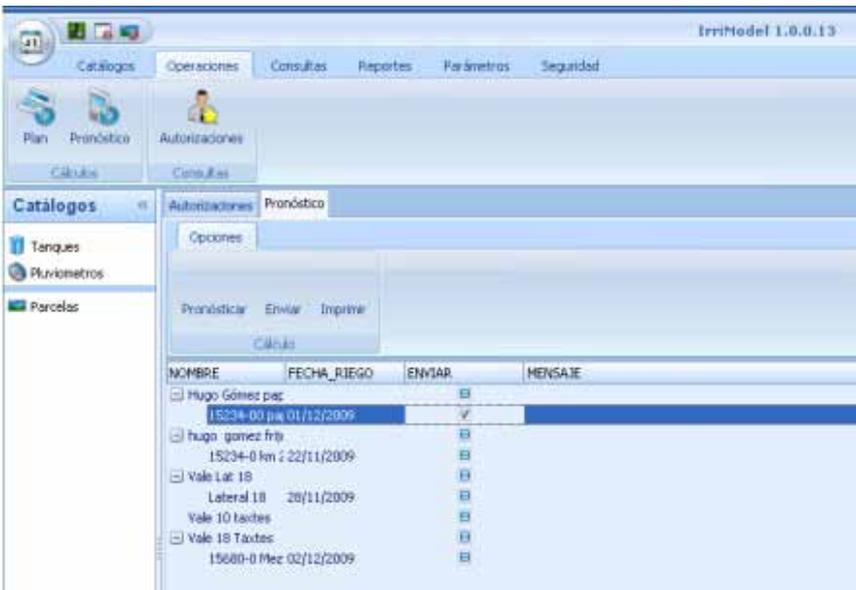


Figura 1. Pronóstico de riego mediante el programa IrriModel 1.0. INIFAP-CIRNO-CEVAF.

PROGRAMACIÓN DEL ÚLTIMO RIEGO

La programación óptima del último riego tiene como objetivo principal asegurar la disponibilidad de humedad aprovechable en la zona radical, que permita la maduración del cultivo para producir los rendimientos potenciales finalizando el ciclo con un contenido de humedad tan bajo como lo permitan las condiciones de manejo del cultivo al momento de la cosecha.

La madurez fisiológica se detecta cuando los granos o semillas han dejado de crecer. En algunos granos como maíz y sorgo, se forma una

capa negra en la punta del grano, en otros, como la soya, su vaina muestra un color de madurez característico.

En el norte de Sinaloa se ha encontrado que a aproximadamente 50 % de la superficie sembrada de maíz se le aplica el último riego cuando el cultivo se encuentra en la etapa grano masoso (R4) o grano dentado (R5). Esta situación representa un desperdicio potencial de 80 millones de metros cúbicos, con los cuales sería posible establecer más de 11 mil hectáreas de maíz adicionales.

En suelos arcillosos (barrial) y franco-arcillosos, característicos del norte de Sinaloa, el último riego se debe aplicar en la etapa R3 (1100 GD). En la Figura 2 se presenta gráficamente el manejo del último riego.

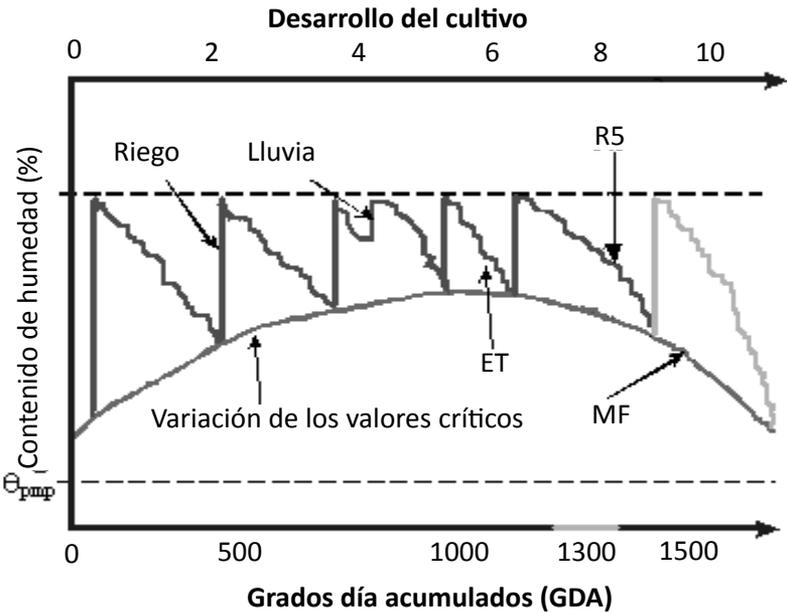


Figura 2. Programación del último riego basada en etapas fenológicas y el concepto grados día (GD). INIFAP-CIRNO-CEVAF

Las características visuales de la etapa R5 (grano dentado) se muestran en la Figura 3. Se observa que en algunas variedades se conserva el color verde de hojas y tallo característico de una planta joven, pero las hojas que cubren la mazorca muestran apariencia madura y el grano presenta una hendidura en la parte superior característica de esta etapa.



Figura 3. Características de la etapa R5 (grano dentado), donde ya no se recomienda aplicar riego.

ADOPCIÓN DE NUEVAS TÉCNICAS DE APLICACIÓN DEL RIEGO POR GRAVEDAD

Antes de implementar cualquier técnica de riego por gravedad, debe nivelarse el terreno y manejar longitudes de riego no mayores de 250 metros en suelos arcillosos y franco-arcillosos con pendientes suaves.

Se pueden mencionar los siguientes casos probados exitosamente en el norte de Sinaloa:

Surco alterno

Cuando las plantas son pequeñas, sus requerimientos de riego son bajos, por lo que el riego por surcos alternos es una técnica excelente en suelos francos y arcillosos, en especial si los agricultores tienden a sobreirrigar. Se puede aplicar el riego en todos los surcos cuando el cultivo se encuentre a su máxima demanda hídrica (jiloteo).

En el riego por surcos alternos en condiciones normales de disponibilidad hídrica, el agua se aplica dejando un surco sin regar durante el primer auxilio, en el segundo el agua se aplica en el surco no regado. En el tercer auxilio, que coincide con la floración o jiloteo, se riegan todos los surcos; y en el cuarto auxilio se continúa alternando el riego.

Los gastos de riego en surcos alternos deben ser al menos el doble (dos pipas de 1.5 cm de diámetro) que en riego tradicional, en suelos de barrial o franco-arcillosos con pendientes suaves.

Bajo condiciones de escasez, cuando normalmente el número de riegos de auxilio se restringe a tres, esta técnica se puede aplicar en el primero y tercer auxilio, el segundo se maneja normal.

En la Figura 4 se observa el riego en proceso con sifones, usando este método. El riego en surcos alternos no es recomendable en terrenos

con pendientes fuertes, debido a la reducida superficie de mojado que genera baja infiltración del suelo; tampoco se recomienda en suelos con baja permeabilidad, al requerir mayores tiempos de riego para tener un buen mojado lateral de los surcos.



Figura 4. Riego inicial en surcos alternos en proceso.

Camas

Camas anchas con surcos bajos en suelos francos y arcillosos (barriales) permiten un mojado rápido horizontal hasta el borde de la cama. La cama consiste en un bordo de 1.6 metros de ancho y 20 cm de alto, el cual se realiza durante el primer cultivo antes del primer riego de auxilio. El gasto de riego con sifones se maneja similar que en surco alterno.

En la Figura 5 se observa la elaboración de las camas previa a la siembra con bordero (izquierda) y camas construidas con vertedera antes del primer riego de auxilio (derecha), en este caso el productor solo tiene que quitar la vertedera del centro. Ventajas adicionales de las camas son la acumulación de las sales en el centro, reducción del agrietamiento, mayor aireación en la zona de raíces y menor compactación del suelo.



Figura 5. Construcción de camas para manejo del riego en el cultivo de maíz (Valle del Fuerte, Sinaloa)

Riego con reducción de gasto

Durante el 75 % de la fase de avance se utilizan gastos altos con la ayuda de dos o más sifones; posteriormente se reduce el gasto quitando un sifón, y completando el riego con uno solo, considerando gasto y tiempo óptimos, como se observa en la Figura 6.

Por ejemplo, si el surco tiene 200 metros de largo, se inicia el riego con dos sifones y cuando el agua avance 150 metros, se quita un sifón, dejando un solo sifón para terminar el riego. Se puede utilizar una estaca, un bote o una botella colocada a una distancia de tres cuartas partes de la longitud del surco para apoyarse en el momento de decidir la reducción en el gasto del surco.

En suelos franco-arcillosos, arcillosos y planos (pendientes menores de 0.15 %), como regla general se puede usar un sifón por cada 100 metros de longitud para la primera fase (avance), sin olvidar que la longitud máxima del surco no debe ser mayor a 300 metros.



Figura 6. Esquema del riego con reducción de gasto en suelos de barrial planos.

Riego intermitente

También se le conoce como riego por pulsos. Consiste en aplicar una cierta lámina de riego mediante pulsos o intermitencias a intervalos de tiempo definidos. Se recomienda usar gastos de riego altos no mayores al gasto máximo no erosivo ($Q_{m\acute{a}x}$), calculado de la siguiente manera: $Q_{m\acute{a}x} = 0.75 / S_0$, donde S_0 es la pendiente longitudinal del surco expresado en porcentaje. Para aplicar esta técnica generalmente se utilizan sistemas de riego con tubería multicompuertas con válvula automática, sin embargo, en el Valle del Fuerte se ha evaluado en maíz usando tres sifones de PVC de 1.5 pulgadas, ejecutando tres pulsos.

Riego deficitario

Para cultivos de alta demanda, como el maíz, el riego deficitario es una excelente alternativa cuando no se tenga la suficiente dotación de

riegos. En estas circunstancias el agricultor se arriesga, debido a que tales cultivos son económicamente rentables, sin embargo, para usar esta opción se requiere conocer la reducción en crecimiento y rendimiento bajo condiciones de estrés hídrico.

Se pueden tener buenos rendimientos bajo riego deficitario, pero no solamente es reducir el número de riegos o el volumen aplicado: se requiere reducirlo en la etapa donde menos afecte al cultivo, que en el caso del maíz es la vegetativa (de siembra hasta hoja bandera) y la etapa final (grano masoso y grano dentado), las cuales coinciden con el primer y último riego.

Los cultivos presentan diferentes sensibilidad al estrés hídrico dependiendo de su etapa fenológica. Altos valores de K_y están asociados a las etapas hídricas de un cultivo que presentan alta demanda evapotranspirativa y alta sensibilidad del cultivo al estrés hídrico, como se muestra en el Cuadro 6.

Cuadro 6. Valores del parámetro K_y para algunos cultivos agrícolas.

Cultivo	Etapa fenológica				
	Vegetativo	Floración	Formación de grano	Maduración	Total Ciclo
Frijol	0.2	1.1	0.75	0.2	1.15
Maíz	0.4	1.5	0.5	0.2	1.25
Sorgo	0.2	0.55	0.45	0.2	0.9
Trigo (invierno)	0.2	0.6	0.5	-	1.00
Trigo (primavera)	0.2	0.65	0.55	-	1.15

El estrés hídrico se presenta cuando la evapotranspiración¹ real de un cultivo (ET_r) es menor que la demandada bajo condiciones óptimas que producen su máximo rendimiento potencial. La Figura 7 presenta el comportamiento entre las láminas netas (aplicada y requerida) y el rendimiento esperado de un cultivo.

1 Evapotranspiración: suma de las cantidades de vapor de agua evaporadas del suelo y de las plantas.

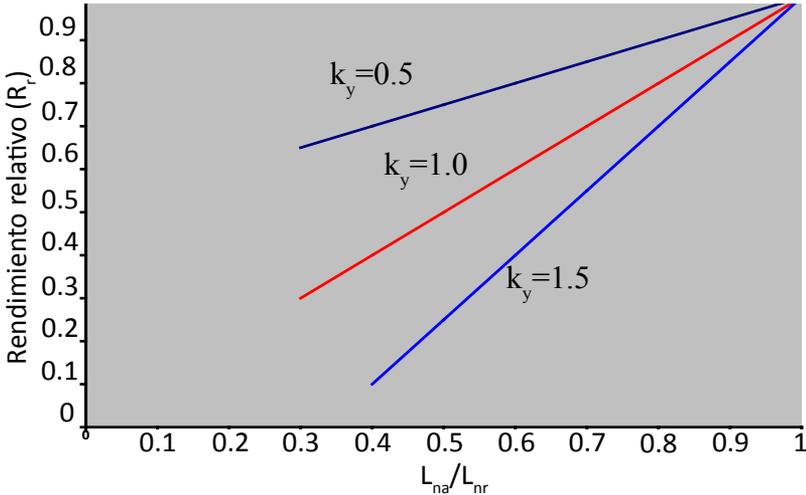


Figura 7. Rendimiento relativo versus lámina neta aplicada para varios valores de K_y .

Para demostrar las ventajas de las cinco técnicas anteriores, durante el ciclo primavera-verano (P-V) 2011, se estableció un trabajo de investigación en el Campo Experimental Valle del Fuerte con maíz establecido el 14 de febrero de 2011, hileras a 80 cm y longitudes de surco de 210 metros. Algunos de los resultados se muestran en el Cuadro 7.

Cuadro 7. Evaluación de cinco técnicas de riego por gravedad en maíz establecido en suelo arcilloso durante el ciclo primavera-verano 2011 en el Valle del Fuerte.

Tratamiento	Rendimiento (toneladas por hectárea)	Peso específico (gramos por kilogramo)
Surco alterno	8.87	720.4
Camas	8.74	730.4
Reducción de gasto	10.69	730.6
Riego intermitente	9.62	740.1
Riego deficitario	10.03	740.5

Destacan con los más altos rendimientos las técnicas reducción de gasto y riego deficitario, las cuales son relativamente fáciles de implementar por los agricultores de Sinaloa. En todos los tratamientos los requerimientos de riego fluctuaron de 37 a 40 cm, y las láminas aplicadas

en 55 cm, con eficiencias de riego de 70 a 80 %.

SUPERVISIÓN INTENSIVA DE RIEGOS

Esta actividad no solo debe realizarse en tiempos de escasez, sino constantemente en cada una de las parcelas donde se esté aplicando un riego, incluyendo los sistemas presurizados. Es muy frecuente encontrar en sistemas por gravedad, riegos abandonados y descargas abundantes de agua de riego a la red de drenaje. En sistemas presurizados un gran número de sistemas de goteo llegan aplicar igual o mayor cantidad de agua que los sistemas de riego por gravedad, teniendo eficiencias de 40 %, muy por abajo de su eficiencia potencial (que es de 95 %).

CONCLUSIONES

La baja disponibilidad de agua para riego en el estado de Sinaloa hace necesario implementar acciones institucionales y parcelarias, para poder establecer la mayor superficie de granos, principalmente de maíz, que es considerado de alta demanda hídrica, y para lograr rendimientos económicamente rentables.

La experiencia del pasado periodo de sequía que terminó en 2004, y el desarrollo de tecnología de riego para un mejor uso del agua por instituciones como INIFAP, ayudan a la toma de decisiones tanto en la planeación como en la gestión y aplicación del riego.

Se requiere de una mayor participación de administradores del agua, instituciones de investigación, técnicos y productores para mitigar los posibles efectos negativos de la sequía.

BIBLIOGRAFÍA

Allen, R.G. Pereira, L.S., Raes, D. Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration-guidelines for computing water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 56. Rome

Cabrera, R. 1994. Consideraciones sobre la tecnología del riego superficial en caña de azúcar. Nota técnica. Revista Caña de Azúcar. 12:85-97. INIA. Venezuela.

Cardon, G. E., J. G. Davis, T. A. Bauder, y R. M. Waskoml, 2003. Managing saline soils. Crop Series No. 0.503. Cooperative Extension. Colorado State University. 5 pp.

Doorenbos, J. Y A. H. Kassam, 1986. Yield response to water. FAO. Irrigation and Drainage paper No. 33. Roma, Italia. 189 pp.

Enciso-Medina, J. M., D. L. Martín and D. Eisenhauer, 1999. Infiltration model for furrow irrigation. Journal of Irrigation and Drainage Engineering. ASCE. 124(2): pp 73-81.

IMTA, 1997. Manual para diseño de zonas de riego pequeñas. Jiutepec, Morelos, México.

Ojeda, W. 2002. Importancia de la plantación hidroagrícola en distritos de riego bajo condiciones de baja disponibilidad. Comisión Estatal de Agua de Guanajuato. Revista Aquaforum. 30:10-14. Guanajuato, Guanajuato.

Ojeda-Bustamante, W., E. Sifuentes-Ibarra, y H. Unland, 2006. Programación integral del riego en maíz. Agrociencia 40: 13-25. Montecillo, Estado de México.

Wang, H., C. Liu, y L. Zhang, 2002. Water-saving agriculture in China: an overview. In advances in agronomy. 75:135-171.



**FUNDACIÓN
PRODUCE**

Sinaloa A.C.

ENLACE, INNOVACIÓN Y PROGRESO

FUNDACIÓN PRODUCE SINALOA, A. C.

CONSEJO CONSULTIVO

ZONA NORTE

Carretera México-Nogales, km 1609

Tel. (687) 896-16-70

Juan José Ríos, Guasave,

Sinaloa, México.

OFICINAS CENTRALES

Gral. Juan Carrasco Núm. 787 Nte.

Culliacán, Sinaloa, México.

Tel./Fax (667) 712-02-16 y 46

Correos electrónicos:

direcciongeneral@fps.org.mx

divulgacion@fps.org.mx

En Internet:

www.fps.org.mx



inifap

Instituto Nacional de Investigaciones
Forestales, Agrícolas y Pecuarias

