



SISTEMA DE PRONÓSTICO DEL RIEGO EN TIEMPO REAL

Waldo Ojeda*
Ernesto Sifuentes Ibarra*
Benjamín de León Mojarro*

INTRODUCCIÓN

Los problemas asociados con el agua son contemplados con creciente preocupación tanto a nivel regional como nacional. Sus repercusiones sociales, económicas y políticas se han incrementado en los últimos decenios como consecuencia del desequilibrio entre los recursos disponibles y las demandas de agua para uso agropecuario, abastecimiento urbano e industrial, así como para usos medioambientales. Esta problemática se agudiza durante los periodos de sequía recurrentes que azotan a las grandes áreas agrícolas de México localizadas en las zonas áridas y semiáridas. La incertidumbre en la disponibilidad del agua es un factor condicionante de la agricultura que restringe las dimensiones del área regada.

En nuestro país, la agricultura de riego se encuentra en una etapa de transición que parte de una fase de expansión, donde grandes zonas de riego fueron abiertas al cultivo, a una fase de maduración, donde la optimización del aprovechamiento de los insumos agrícolas, como el agua, resulta de vital importancia ante su limitada, costosa e incierta disponibilidad. Frente a la apertura comercial, la globalización de la economía y la creciente demanda alimentaria, se requiere de un incremento en la producción de las 6.1 millones de hectáreas que cuentan con infraestructura de riego en México, mediante la tecnificación del riego en sus diferentes niveles. Por un lado están los dispositivos y equipos que permiten distribuir el agua de manera precisa y con alta eficiencia y, por el otro, se dispone de técnicas como el monitoreo del clima, para estimar la demanda hídrica de los cultivos en función de las condiciones atmosféricas.

Uno de los temas científicos más apasionantes es el pronóstico del clima mediante observaciones terrestres de las variables atmosféricas (temperatura, hu-

* Investigadores del IMTA

medad relativa, presión, lluvia, velocidad y dirección del viento) con cuya información se alimentan modelos matemáticos de transporte atmosférico, que permiten prever el comportamiento del clima en un lapso no mayor de cinco días. La tecnología disponible no permite realizar pronósticos a largo plazo, pues los cambios en las condiciones atmosféricas, por ligeros que sean, pueden conducir a grandes variaciones climáticas que se manifiestan varios días después.

Los agricultores programan empíricamente el riego, basándose en datos climáticos promedio de una o más décadas. Esta práctica no es muy eficiente, pues se enfrenta a una alta variabilidad climática, sobre todo para riego de alta frecuencia. A medida que la frecuencia del riego se reduce a uno o dos días, se requiere mayor precisión. El pronóstico del riego a lo largo de las etapas fenológicas de un cultivo es una tarea difícil que involucra el seguimiento de variables climáticas y agronómicas, principalmente.

Existen varios métodos para determinar cuándo y cuánto regar. En general, es posible calendarizar el riego basado en indicadores edáficos, vegetales, evaporativos, evapotranspirativos, o balance hídrico del sistema agua suelo planta atmósfera. Por años, los agricultores han usado métodos visuales para estimar el momento del riego como son el ángulo de inclinación, grado de enrollamiento o color de las hojas. Otro método muy usado es el método del tacto, que consiste en estimar manualmente el contenido de humedad friccionando un terrón con las yemas de los dedos. Ante las limitaciones de estos métodos, los resultados han sido: una baja eficiencia en el uso del agua para riego y una aplicación tardía del riego que se traduce en una disminución del rendimiento potencial.

Las principales limitantes en el uso eficiente del agua siguen siendo el factor riesgo y el bajo costo del agua, ya que el agricultor prefiere sobreirrigar sus cultivos, pues el precio de un m³ de agua es bajo respecto a la disminución potencial en kilogramos del rendimiento. El precio del agua por millar de metros cúbicos varía desde diez centavos de dólar hasta casi 25 centavos en el sureste y noroeste de México, respectivamente.¹ El mismo efecto se aplica a la fertilización nitrogenada, puesto que un kilogramo de fertilizante puede significar una pérdida de 20 kilogramos de rendimiento, den-

tro de la zona donde el nitrógeno incrementa el rendimiento en gramíneas. De esta manera, el agricultor prefiere trabajar en el rango seguro, ocasionando con esto una sobredosis de fertilizante y riego, con los consiguientes problemas ambientales que deterioran la calidad del entorno agrícola.

La ausencia de reglas simples y concretas para calendarizar el riego de manera científica parece la principal razón de resistencia a su adopción por el agricultor. La mayor parte de las decisiones de la calendarización del riego es asumida por el agricultor, tal como lo han mencionado M. N. Shearer y J. Vomocil,² los resultados son evidentes y los agricultores pueden entender las bases del mejor método para calendarizar el riego pero lo han aplicado tan mal que prefieren aplicar excesos de agua a tener una disminución en la calidad y cantidad del rendimiento.

DISPONIBILIDAD DEL AGUA PARA RIEGO

Una de las grandes restricciones en la agricultura es la disponibilidad de agua en el momento y en las cantidades que la planta necesita. Las demandas hídricas de las plantas son prácticamente continuas durante su ciclo fenológico, mientras que el suministro natural de este recurso (lluvia) es incierto y la mayoría de las veces insuficiente para cubrir las demandas de las mismas. El riego es un elemento necesario en la mayoría de las zonas áridas y semiáridas.

La ilustración 1 presenta las variaciones típicas de la precipitación y la evapotranspiración de referencia, estimadas por el método de Penman-Monteith, en el norte de Sinaloa. Se observa que las lluvias se concentran durante cuatro meses, julio a octubre, principalmente por la presencia de ciclones. Se puede apreciar que la evapotranspiración de referencia excede a la precipitación. Los escurrimientos generados por las lluvias ciclónicas llenan los vasos de almacenamiento, para utilizarlos posteriormente durante el ciclo de otoño-invierno. Para obtener rendimientos comerciales, los cultivos requieren del riego. Ante la cada vez incierta disponibilidad de agua para fines de riego, se requieren implantar diversas acciones para mitigar los efectos de una sequía, entre los que destacan el uso y manejo de sistemas informáticos que lleven un control de demandas y disponibilidades de agua de una zona de riego.



Foto: Ricardo María Garibay

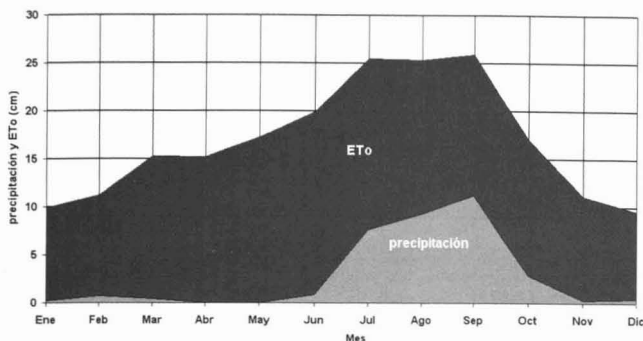


Ilustración 1

SISTEMA DE CALENDARIZACIÓN Y PRONÓSTICO DEL RIEGO EN TIEMPO REAL

La calendarización del riego se ha definido como el procedimiento para determinar la cantidad y tiempo de aplicación del agua de riego a un cultivo a lo largo de su desarrollo fenológico, para suministrar no sólo los requerimientos hídricos de los cultivos, sino también para mantener a la planta en un ambiente de desarrollo favorable. Por tanto, se pueden necesitar cantidades adicionales de agua para controlar sales, heladas, plagas y enfermedades. Con la utilización de sensores más potentes y rápidos producto de los avances tecnológicos, se ha agregado a la calendarización del riego la parte de la evaluación del riego, esto es, muestrear la planta o suelo para revisar si los objetivos del riego fueron cumplidos, tal como se muestra en la ilustración 2.

La calendarización del riego es esencialmente una metodología para definir cuándo y cuánto regar para mantener el cultivo con mínimo estrés. Para lograr tal fin, el contenido de humedad del suelo se debe mantener dentro de un rango óptimo. Cuando el contenido de humedad alcanza un valor crítico inferior, el riego es aplicado para reponer la humedad perdida hasta un límite superior, dado usualmente por la capacidad máxima de almacenamiento del agua del suelo, después de aplicar riego y cuando el drenaje ha cesado. Si los requerimientos de riego de un cultivo son sobrestimados, los costos no son sólo económicos (más agua y energía de bombeo), sino también ambientales (mayor probabilidad que los agroquímicos disueltos en el agua emigren a cuerpos de agua superficiales o subsuperficiales). Una buena fracción de los agroquímicos disueltos en agua se mueven donde el agua

se mueve, como la mayoría de los fertilizantes nitrogenados que son una amenaza ambiental cuando están fuera del alcance de las raíces. Un kilogramo de nitrato de calcio, por ejemplo, puede disolverse en un litro de agua.

DESARROLLO DEL SISTEMA DE PRONÓSTICO DEL RIEGO EN TIEMPO REAL, SPRITER

En 1994 el IMTA, con apoyo financiero de la Comisión Nacional del Agua, inició el desarrollo del sistema de pronóstico del riego en tiempo real, denominado Spriter, en el distrito de riego 076, valle del Carrizo, Sinaloa. Este sistema fue diseñado y aplicado inicialmente como una herramienta para la calendarización del riego a nivel parcelario. Ante los recurrentes problemas de sequía en el sistema de presas Fuerte-Mayo, en 1998 se inició la incorporación de la operación de la red de distribución al sistema de pronóstico de riego en el módulo Santa Rosa del distrito de riego 075, Río Fuerte, Sinaloa.

El sistema Spriter consta de una serie de algoritmos que permiten gestionar una base de datos con información sobre los parámetros (véase ilustración 3) de los cultivos, suelo, padrón de usuarios, clima, 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. Con la información anterior, el Spriter realiza un balance diario del consumo de agua



Ilustración 2

de cada cultivo, desde su fecha de siembra hasta la cosecha, y pronostica sus necesidades hídricas para determinar el momento oportuno del riego.

El sistema facilita la captura de la información diaria sobre el seguimiento de los riegos aplicados a nivel parcela, considerando láminas aplicadas, avance de superficies regadas y tiempos de riego. Para cada una de las asignaciones volumétricas parcelarias, se realiza un control de los riegos aplicados registrando información de los volúmenes entregados y programados. Al contar con el seguimiento de entrega de agua parcelario, el sistema Spriter facilita el seguimiento de la dotación volumétrica a los usuarios de una zona de riego.

APLICACIONES DEL SISTEMA DE PRONÓSTICO

Una de las aplicaciones prácticas del sistema Spriter es la estimación de los requerimientos hídricos de los cultivos en función de la fecha de siembra. Con esta información se obtiene la temporada de siembra óptima, no sólo en función de la presencia potencial de plagas y enfermedades, sino también considerando otros factores como el tipo de labranza usada, la temperatura del suelo, los requerimientos de riego y los climáticos. En el módulo de riego Batequis del distrito



Ilustración 3

Tabla 1

Requerimientos de riego del maíz grano para diferentes fechas de siembra en el módulo de riego Batequis, del distrito de riego 075

Fecha de siembra	Duración del ciclo (días)	ETo(mm)	ETr(mm)	Número de riegos
Sep-15	129	495	289	3
Oct-01	155	574	366	4
Oct-15	168	638	420	4
Nov-01	176	684	465	5
Nov-15	175	708	492	5
Dic-01	170	715	504	6
Dic-15	162	707	501	6
Ene-01	151	695	490	5
Ene-15	142	685	474	5

de riego 075, con el apoyo del sistema de pronóstico de riego en tiempo real, la fenología local de los cultivos en grados-día, y la información climática promedio, se determinaron los requerimientos de riego del maíz, considerando mil 100 grados-día para aplicar el último riego y mil 500 grados-día para madurez fisiológica. En la tabla 1 se presentan los resultados de esta simulación; de acuerdo con la tabla, se recomendó sembrar del 15 de octubre al 15 de noviembre, periodo donde el cultivo tiene un consumo relativamente bajo de agua y donde se presentan los más altos rendimientos. La ilustración 4 presenta la variación de la evapotranspiración acumulada en función de la fecha de siembra expresada como días después del primero de septiembre.

Actualmente el sistema ha sido transferido a los distritos de riego 075 y 076 de Sinaloa, y está en proceso de transferencia en el distrito de riego 005 de Delicias, Chihuahua, donde los responsables de distribución del agua a nivel de sección de riego usan el reporte semanal del pronóstico del riego, para conocer cuáles usuarios deben regar y hacer ajustes de sus programas de riego durante la semana. La ilustración 5 presenta uno de los reportes gráficos del sistema, donde se muestran el estado del próximo riego para cada parcela de la zona de riego. Lo anterior es de suma utilidad para detectar problemas con riegos desfasados.

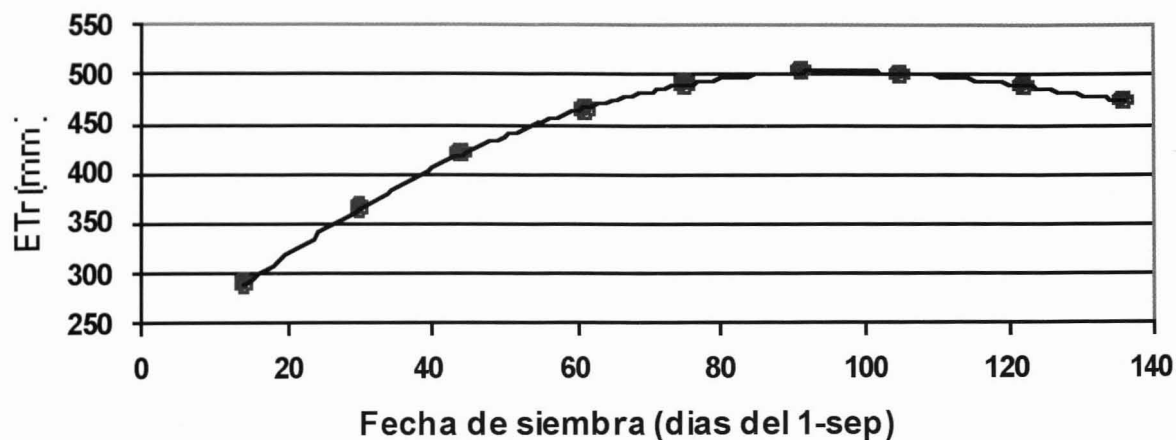


Ilustración 4

ESTACIONES METEOROLÓGICAS

Los agricultores conocen la importancia del clima, saben que años fríos implican ciclos largos mientras que años calientes los acortan. Aunque por muchos años la adquisición de datos meteorológicos ha sido manual, los avances electrónicos han propiciado el acceso a sistemas de adquisición automatizados que confluyen en lo que se denomina una “estación meteorológica automatizada” (ilustración 6).

Las estaciones meteorológicas automatizadas están equipadas con una serie de sensores conectados a un microprocesador (datalogger) que monitorea, en intervalos de un minuto, los datos meteorológicos de acuerdo con un programa residente en el procesador. Las estaciones usualmente cuentan con un sistema de telemetría que permite la consulta remota de la estación desde un centro de proceso, almacenamiento y distribución. Los datos recabados son almacenados en el disco duro de una computadora base, localizada en las oficinas de proceso. El sistema Spriter se alimenta de la base de datos meteorológica para estimar la evapotranspiración de referencia, por ejemplo, en cada una de las 14 estaciones existentes en el distrito de riego 075. La ilustración 7 muestra una representación gráfica de la red agrometeorológica operando en dicho distrito.

Ilustración 6

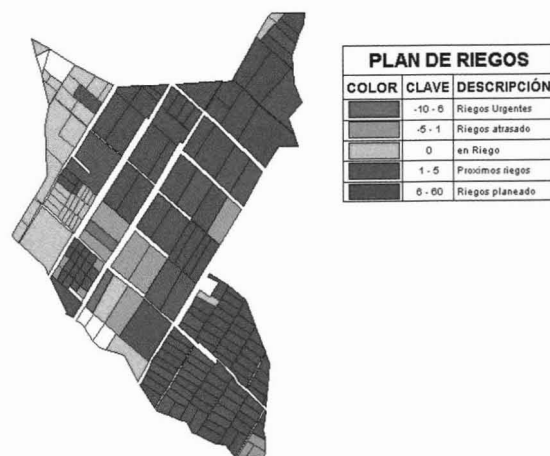
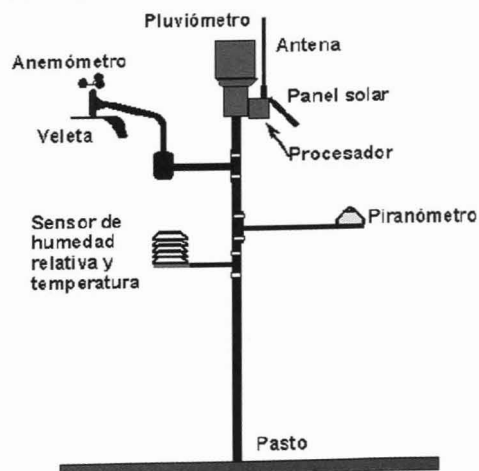


Ilustración 5

ESTACIÓN AGROMETEOROLÓGICA AUTOMATIZADA



PARCELAS DE VALIDACIÓN

La meta de la transferencia del sistema de pronóstico fue que los agricultores y administradores de una zona de riego lo adoptaran como el método de calendarización del riego de uso diario. Para lograrlo se probaron y mostraron las diferencias en el manejo del agua, en términos de rendimiento y lámina de riego aplicada, al compararlo con la forma tradicional usada. La tabla 2 indica que se obtuvieron mayores rendimientos usando el sistema Spriter en cultivos comerciales de papa bajo tres sistemas de riego en la zona del valle del Fuerte, Sinaloa.

RESULTADOS

Los resultados obtenidos indican que es posible ahorrar volúmenes significativos de agua y aumentar los rendimientos convencionales. La razón obedece a que el sistema lleva un control diario de la demandas de los cultivos pronosticando la aplicación del riego de manera precisa y oportuna. El sistema de pronóstico ha permitido también estimar la eficiencia global del distrito de riego 075 en 30 por ciento, lo cual indica que solamente una tercera parte del agua almacenada en la presa se queda finalmente en la zona de raíces; el resto es perdido por filtración en los canales, mala operación, o baja eficiencia de aplicación del riego.

CONCLUSIÓN

El éxito de la administración de una zona de riego radica en buena parte en la calidad y oportunidad de la información que se genera diariamente sobre la disponibilidad de agua y demanda parcelaria. Una herramienta de apoyo para capturar, procesar y analizar dicha información es el sistema de pronóstico del riego denominado "Spriter", que permite no sólo llevar el control del agua entregada a las parcelas, sino también pronosticar, con al menos una semana de anticipación, sus demandas de riego. ☼

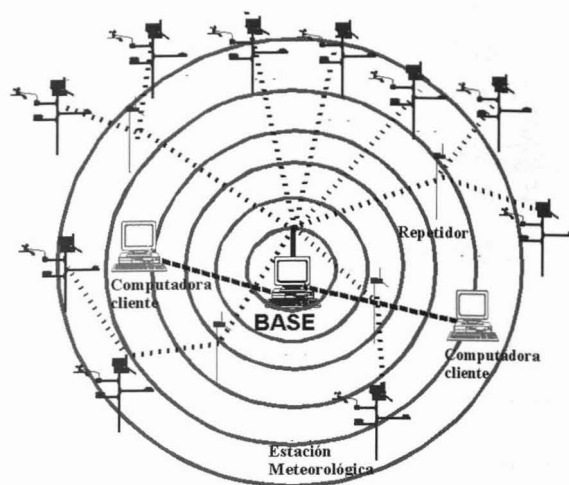


Ilustración 7

Tabla 2

Variación de la lámina aplicada y rendimiento de la papa en el distrito de riego 075 obtenido, usando el sistema de pronóstico Spriter. Se presentan los valores convencionales bajo manejo típico de la zona

Sistema de riego	Lamina aplicada (cm)		Rendimiento (ton/ha)	
	Convencional	Spriter	Convencional	Spriter
Surcos	60	40	25	30
Aspersión	48	36	33	40
Goteo	45	32	35	43

NOTAS

- ¹ J. Montesillo, "Efectos económicos en el sector agrícola de riego ante la implementación del cobro del derecho de uso", *Anuario IMTA*, 1997, págs.129-131.
- ² "Twenty-five years of modern irrigation scheduling promotional effort", *Proceedings of the ASAE Irrigation Scheduling for Water & Energy Conservation in the 80's*, vols. 23-81, 1981, págs. 208-212.