



AGUA EN LA
AGRICULTURA:
Sostenibilidad y tendencias



METODOLOGÍA SISTEMATIZADA CON TDR PORTÁTILES, PARA EL MANEJO EFICIENTE DEL AGUA EN MAÍZ EN SINALOA.

*Ernesto Sifuentes-Ibarra¹; Jaime Macías-Cervantes¹; Fredy González-Hernández¹;
Hilario Flores-Gallardo²; Alberto Borbón-Gracia¹; Pablo Preciado-Rangel³

sifuentes.ernesto@inifap.gob.mx; Tel. (55) 38 71 87 00 Ext. 81503 (*Autor de
correspondencia)

II Congreso Nacional de Riego y Drenaje COMEII 2016
08 al 10 de septiembre del 2016
Chapingo, México

- **Introducción**
- **Materiales y métodos**
- **Análisis y discusión de resultados**
- **Conclusiones**
- **Referencias Bibliográficas**

INTRODUCCIÓN



- En los últimos años el precio del maíz ha mantenido una tendencia a la baja (OI) 2014/2015.
- Se requiere encontrar la combinación de prácticas que permitan mejorar la eficiencia de producción y el cuidado del medio ambiente.



INTRODUCCIÓN



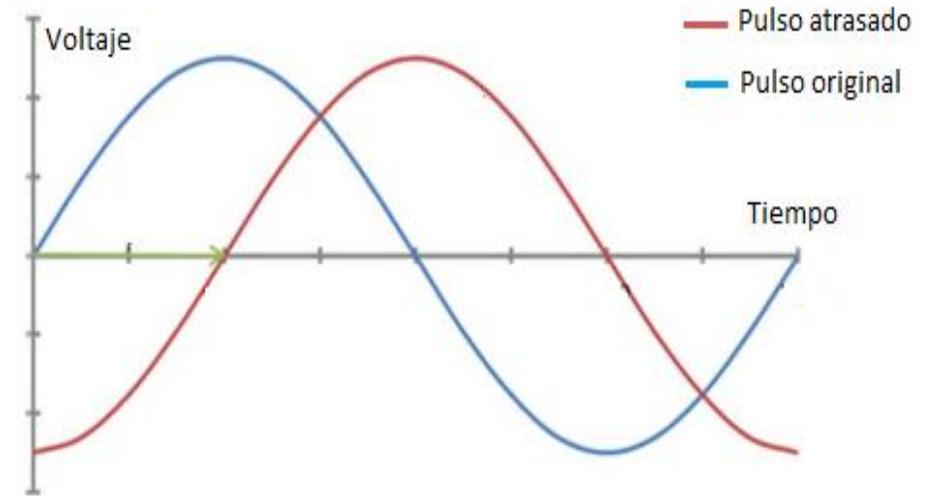
- No se cuenta con la calibración adecuada de sensores ni están ligados al manejo agronómico de los cultivos.
- La tecnología TDR portátil adaptada a las condiciones de manejo de los cultivos representa un método rápido y preciso para el monitoreo de la humedad del suelo



INTRODUCCIÓN



- El principio TDR involucra la medición del tiempo en que una onda electromagnética se desplaza a lo largo de una guía. La velocidad de la onda en los suelos depende de la permisibilidad dieléctrica en bruto (ϵ) para el suelo. El hecho de que el agua ($\epsilon = 80$) tiene una constante dieléctrica mayor que la del aire ($\epsilon = 1$) o los sólidos del suelo ($\epsilon = 3-7$) se explota para determinar el contenido volumétrico de agua. El contenido volumétrico de agua medido por el TDR es un promedio a lo largo de la guía.



OBJETIVO



El objetivo del presente trabajo fue desarrollar una metodología que integre el uso de sensores de humedad portátiles calibrados localmente ligados al manejo agronómico, la cual se le nombró: *“Metodología sistematizada con TDR portátiles para el manejo del riego”*



• Componentes de la tecnología

- 1) Constantes hídricas del suelo, capacidad de campo (CC) y punto de marchitez permanente (PMP) predeterminadas para cada textura
- 2) Fenología del cultivo
- 3) Profundidad de raíz y coeficiente de cultivo (K_c) para cada fase fenológica,
- 4) Valores promedio diarios, decenales y mensuales de evapotranspiración de referencia (E_{To}) de estaciones climáticas automatizadas de la zona
- 5) Contenido volumétrico de la humedad del suelo (H_v), medida con sensores de humedad portátiles TDR (Time Domain Reflectometry) calibrados para suelos predominantes

1) Constantes hídricas del suelo

Las constantes hídricas capacidad de campo (CC), punto de marchitez permanente (PMP) y humedad aprovechable (HA), se estimaron para las doce clases texturales del suelo usando los modelos de Rawls y Brakensiek (1983) y los valores promedio de materia orgánica (MO) y densidad aparente de la región (D_a), los cuales fluctuaron en 1% y 1.15 g cm^{-3} respectivamente.

$$CC = 0.3486 - 0.0018(\text{Arena}) + 0.0039(\text{Arcilla}) + 0.0228(\text{MO}) - 0.0738(\rho_a) \quad (1)$$

$$CC = 0.3486 - 0.0018(\text{Arena}) + 0.0039(\text{Arcilla}) + 0.0228(\text{MO}) - 0.0738(\rho_a) \quad (2)$$

$$HA = CC - \text{PMP} \quad (3)$$

En la Figura 1 se pueden observar los valores de las constantes hídricas para las doce clases texturales (límite de cada color), la diferencia entre estos representa HA

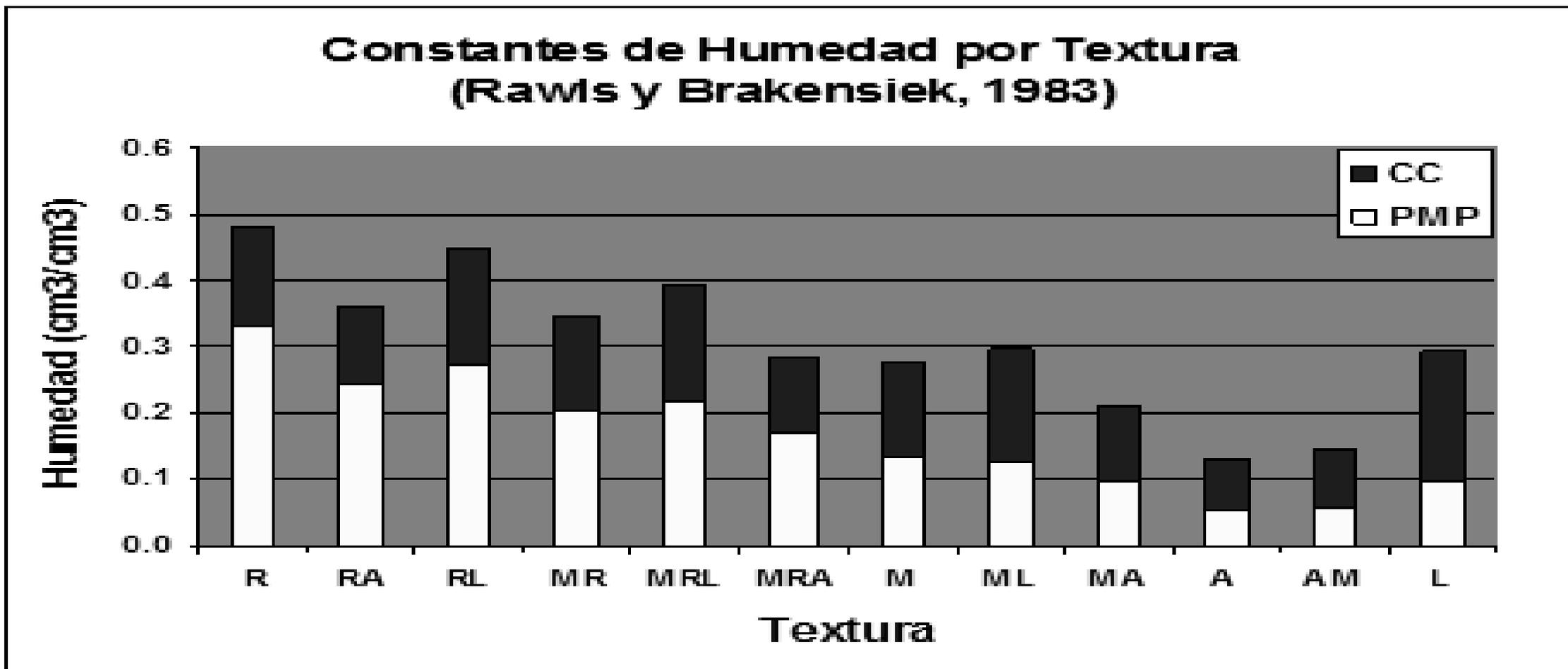


Figura 1. Constantes hídricas (CC y PMP) para las doce clases textuales del suelo en Sinaloa. Adaptadas de Rawls y Brakensiek (1983).

2) FENOLOGÍA DEL CULTIVO

Etapa	Fase	Clave
Vegetativa	Emergencia	VE
	Aparición de hojas verdaderas	V1...Vn
	Flor masculina o espiga	VT
Reproductiva	Flor femenina o Jilote	R1
	Grano acuoso	R2
	Grano lechoso	R3
	Grano masoso	R4
	Grano dentado	R5
	Madurez fisiológica	R6

Cuadro 1. Caracterización fenológica del cultivo de maíz de acuerdo a Ritchie *et al.* (1992).

3) PROFUNDIDAD DE RAÍZ (PR) Y COEFICIENTE DE CULTIVO (Kc)

Etapa	Clave	Prof. Radicular (cm)	Kc	CONSUMO DE AGUA PROMEDIO			DURACIÓN ETAPA	
				Diario (mm)	Etapa (mm)	Acum (mm)	GD	GDA
Emergencia	Ve	7	0.05 - 0.3	0.59	7.10	7.10	109.4	109.4
4 Hojas	V4	30	0.4 - 0.45	0.63	21.60	28.70	207.0	316.4
8 Hojas	V8	70	0.8 - 0.85	1.41	52.20	80.90	185.5	501.9
12 Hojas	V12	80	0.9 - 0.98	2.50	35.00	115.90	74.1	576.0
Flor masculina	VT	90	1 - 1.12	3.03	39.30	155.20	89.1	665.1
Jiloteo	R1	100	1.15 - 1.25	4.47	67.00	222.20	158.3	823.4
Grano acuoso	R2	100	1.1 - 1.2	4.87	82.90	305.10	155.1	978.5
Grano lechoso	R3	100	1 - 1.1	4.32	47.50	352.60	123.7	1102.2
Grano masoso	R4	100	0.8 - 1	4.34	47.80	400.40	137.5	1239.7
Grano abollado	R5	100	0.6 - 0.85	2.97	20.80	421.20	95.8	1335.5
Madurez	R6	100	0.3 - 0.4	1.85	14.80	436.00	115.6	1451.1
Cosecha	-	100	0.05 - 0.2	0.81	8.90	444.90	189.6	1640.7

Cuadro 2. Fenología promedio de híbridos comerciales de ciclo intermedio y su relación con su desarrollo radicular, Kc y consumo de agua (Ojeda et al., 2006)

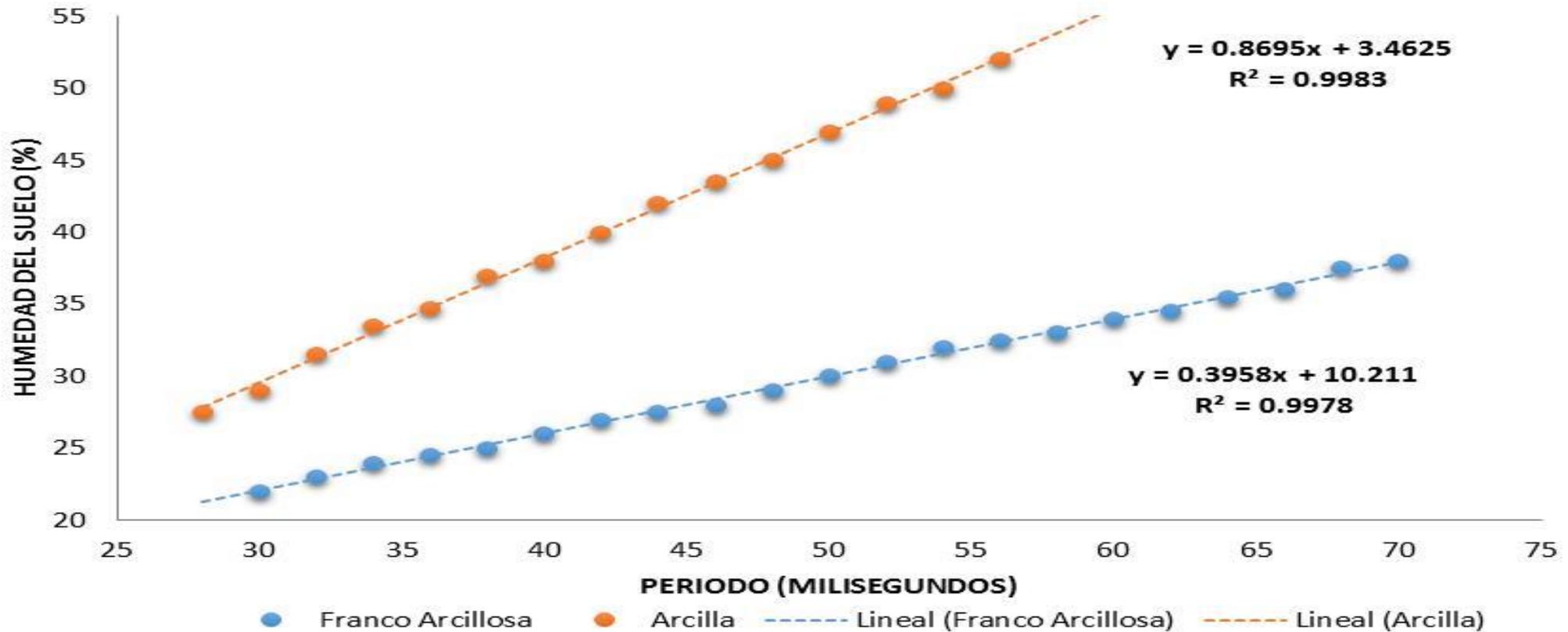


4) EVAPOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA (ET_o) PROMEDIO

- Se utilizaron las bases de datos climáticas de los últimos cinco años, generadas con la red nacional de estaciones climáticas automatizadas administradas por INIFAP (<http://clima.inifap.gob.mx/>), para la generación de cuadros con valores diarios, decenales y mensuales de ET_o para las diferentes estaciones climáticas del norte de Sinaloa. La ET_o es estimada en forma automática con el método de Penman-Monteith.

5) Contenido volumétrico de humedad del suelo (H_v)

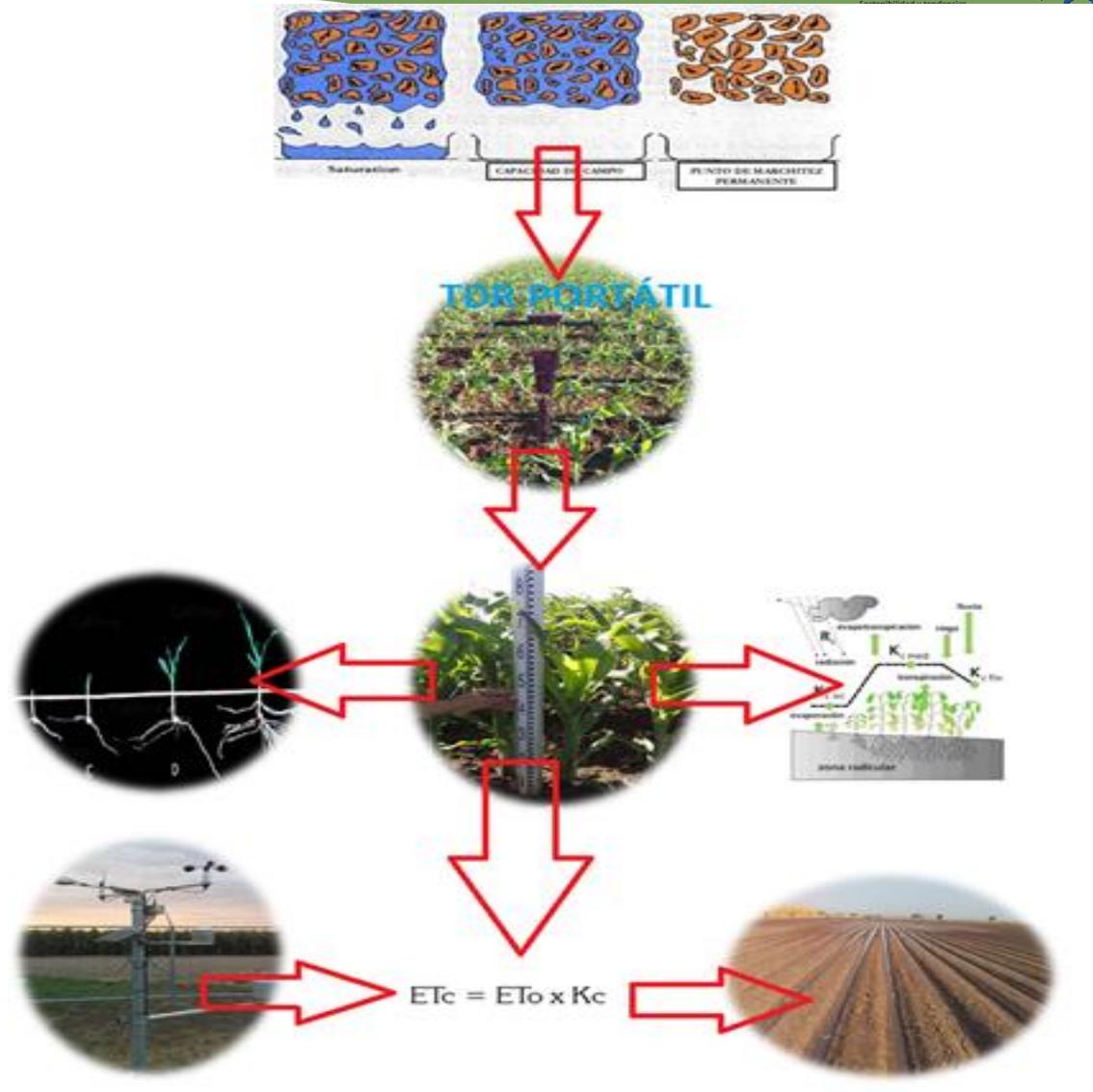
Para el monitoreo de esta variable se utilizó el TDR-300 Spectrum por su portabilidad y extensión de 100 cm integrada, lo cual permite el monitoreo de la humedad en todo el perfil de la zona de raíces.



En la Figura 2 se aprecian las curvas utilizadas para las dos texturas predominantes en el norte de Sinaloa.

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En la figura 3 se describe la metodología propuesta y la interacción de cada componente a nivel de predio.



Aplicación descrita en 5 pasos:



1. **Humedad actual (TDR):** Se determina la humedad actual (humedad volumétrica) de la parcela con la ayuda de un dispositivo TDR.
2. **Etapa actual de cultivo:** Se identifica la etapa fenológica del cultivo al momento de tomar lecturas de humedad con el TDR.
3. **Momento de riego (MR):** Se determina el criterio de riego adecuado y se usa la siguiente fórmula: $MR = CC - HFA = CC - ((CC - PMP) \times CR)$, donde CR es el criterio de riego, CC es la capacidad de campo y HFA es la humedad fácilmente aprovechable.
4. **Humedad residual:** Se realiza el cálculo de la humedad residual actual en la parcela con la siguiente fórmula: $H_{res} = (H_{act} - MR) \times Pr$; donde Hres es la humedad residual, Hact es la humedad actual y Pr la profundidad radicular.
5. **Días al riego:** Para calcular los días al próximo riego se debe conocer la ETr actual (mm/día), la cual se obtiene de multiplicar la evapotranspiración de referencia (ETo) actual por el Kc que está definido por la etapa fenológica, $ETr \text{ actual} = ETo \text{ actual} \times Kc$. Una vez que se obtenga la ETr se calculan los días al próximo riego como sigue: $\text{Días al riego} = H_{res} / ETr \text{ actual}$.

Cuadro 3. Ventajas comparativas entre el manejo tradicional del riego y el manejo apoyado con sensores TDR en el norte de Sinaloa.



Variable	Manejo tradicional	Manejo integral-TDR
Uso del agua (m³ ha⁻¹):	8,700	---
Uso de agua en siembras tempranas con lluvias de verano (m³ ha⁻¹)	---	4,700
Uso de agua en siembras normales (m³ ha⁻¹)	---	7,500
Uso de agua en escenario de escasez (m³ ha⁻¹)	---	6,100
Rendimiento (t ha⁻¹)	10.7	12.3
Operación de sistemas de riego	ineficiente, gastos innecesarios (traslados, sub-utilización de maquinaria)	eficiente, ahorro de 10% en traslados, aprovechamiento de maquinaria
Costo de producción (\$ ha⁻¹)	26,838	27,038

CONCLUSIONES



- Se cuenta con la metodología probada para las condiciones de Sinaloa y puede aplicarse en todas las zonas agrícolas de México, incluso las de temporal con riego complementario. Los principales usuarios de la tecnología son Módulos de riego, asociaciones de usuarios, comités campesinos, empresas agrícolas, compañías distribuidoras de insumos, técnicos y productores agrícolas independientes. Considerando las ventajas cualitativas el costo para este tipo de usuarios no representa una limitante.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CIRNO (INIFAP) 2016. Laboratorio Nacional de Modelaje y Sensores Remotos. México. <http://clima.inifap.gob.mx/lnmysr>.
- Ojeda, B.W., Sifuentes, E.I. y Unland, W.H. 2006. Programación integral del riego en maíz en el norte de Sinaloa, *Agrociencias* 40 13-25. Montecillos, Edo. México.
- Rawls, W.J. and Brakensiek, D. L. 1983. A procedure of predict Green and ampt infiltration parameters. In proceedings of the national conference on advances in infiltration, *American Society of Agricultural and Engineers*. Pp. 102-112.
- Ritchie, S.W., Hanway, J.J., Benson, G.O., 1992. How a corn plant develops. Special Report No. 48. Iowa State University, Cooperative Extension Service, Ames, IA, <http://maize.agron.iastate.edu/corngrows.html>.
- Sifuentes I, E., Macías C, J. 2015. Programación Integral y Gestión del Riego a Través de Internet. INIFAP-CIRNO. Campo Experimental Valle del Fuerte. Manual de Usuario v. 2.0. Folleto Técnico No. 42. ISBN: 978-607-0547-9.. Juan José Ríos, Guasave, Sinaloa. 39pp