



Quinto  
Congreso Nacional  
de Riego y Drenaje  
**COMEII-AURPAES 2019**

Septiembre 2019 | Mazatlán, Sinaloa



**AURPAES, S.C.**

Asociación Estatal de Asociaciones de Usuarios de Riego  
Productores Agrícolas del Estado de Sinaloa S.C.

**inifap**

Instituto Nacional de Investigaciones  
Forestales, Agrícolas y Pecuarias



# MODELO “SIMPLE” PARA SIMULACIÓN DE RENDIMIENTO DE MAÍZ EN EL ESTADO DE ZACATECAS, MÉXICO

MIGUEL SERVIN-PALESTINA; AGUSTÍN RUIZ-GARCÍA; IRINEO L. LÓPEZ-CRUZ

Fecha de presentación **19/septiembre/2019**  
Mazatlán, Sinaloa, México





# Contenido

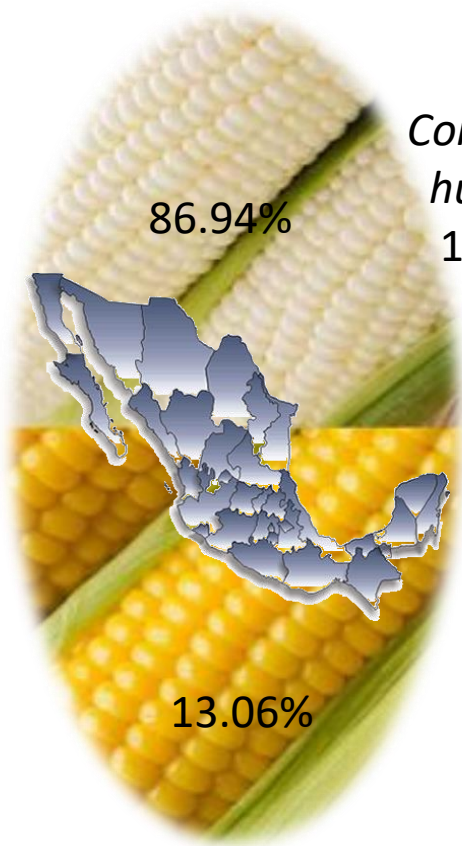
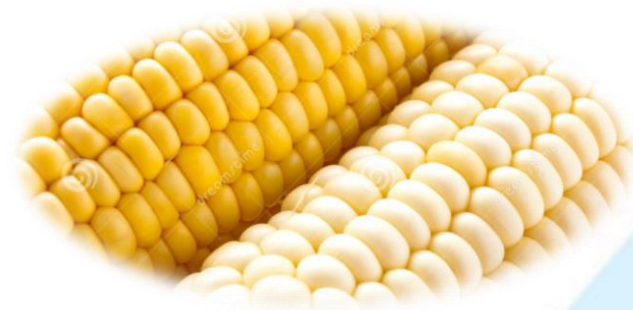
- Introducción
- Métodos y Materiales
- Resultados y Discusión
- Conclusiones





# Introducción

- Consumo per-cápita 196.4 kg/año



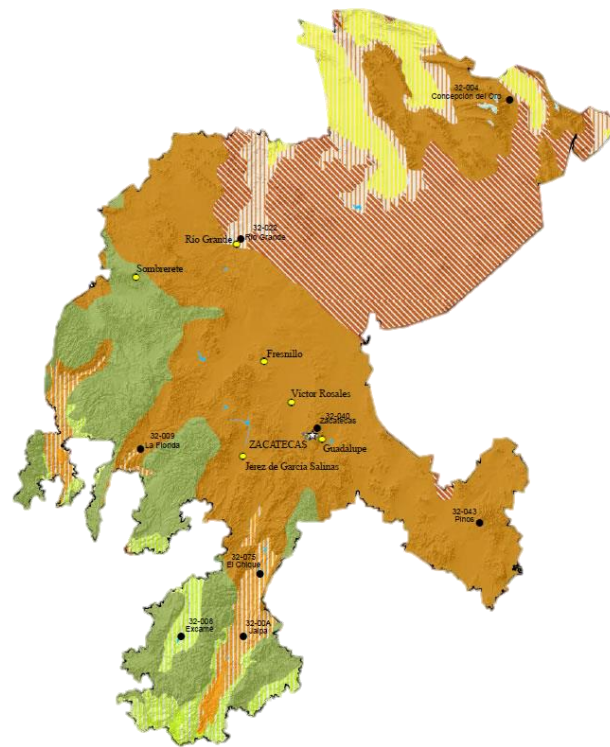
86.94%

Consumo humano  
100%

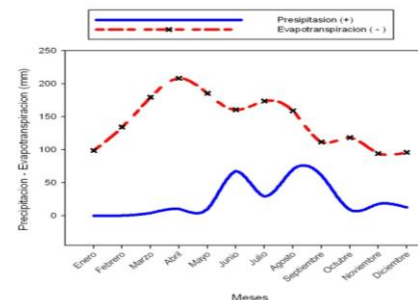
Industria  
24%

13.06%

(PAN, 2017).



Sembró: 156 mil ha  
 Riego: 13.4%  
 Valor Producción: 42%  
 Rendimientos: 6.54 t ha<sup>-1</sup>  
 Temporal: 1.36 t ha<sup>-1</sup>  
 (SIAP, 2018).



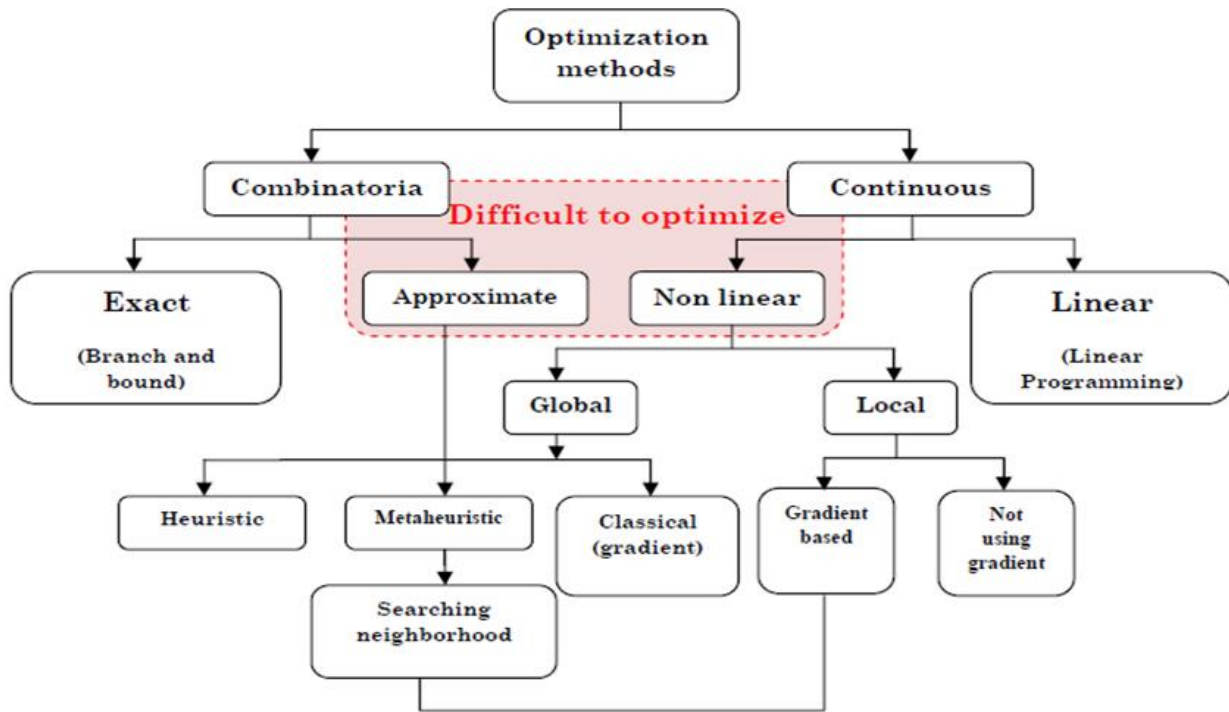
Clima: árido y semiárido  
 Precipitación: 400 mm  
 Evaporación: 1,600 mm  
 Abatimiento: -1.18 m  
 Extracción 150-210 m

## Problemática: Recursos escasos



# Introducción

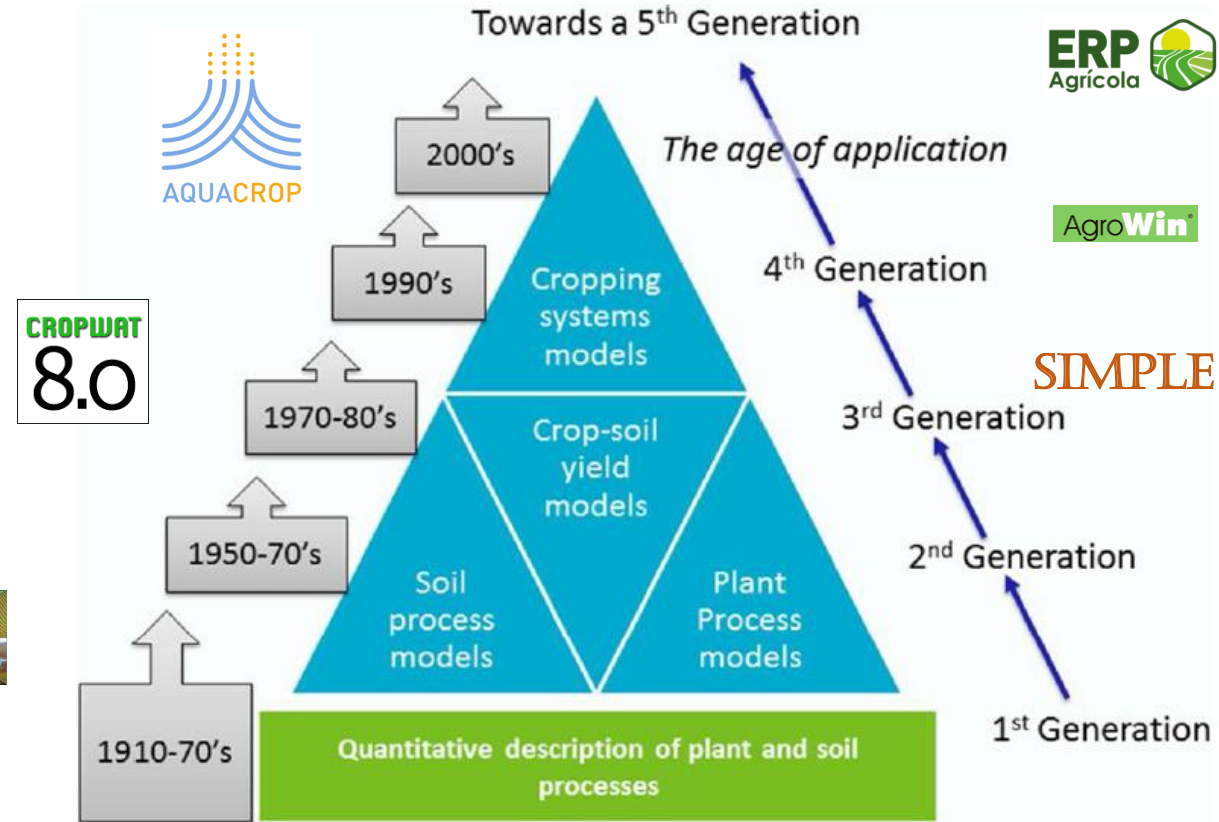
## Herramientas de optimización



## Modelos de simulación

**SUCROS:**  
Simple and  
Universal  
CROP  
growth  
Simulator

AG Agronómia



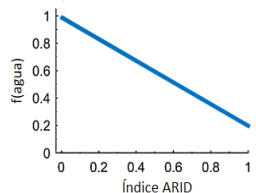
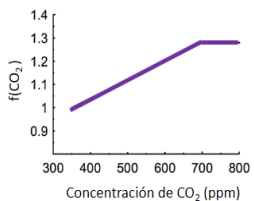
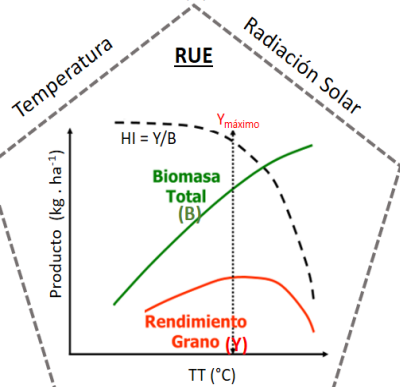
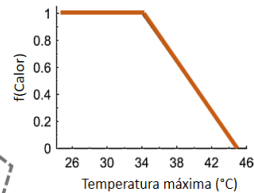
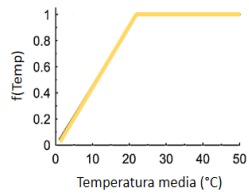
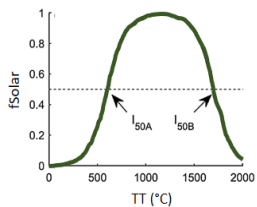


# Métodos y Materiales

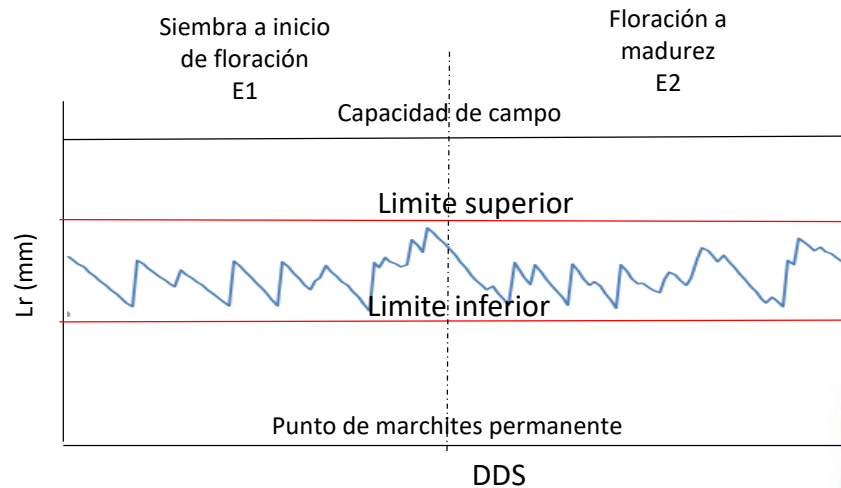
## Modelo SIMPLE

(Zhao et al., 2019)

- Semi-empírico
- Tiempo discreto (Escala Diaria)
- **Estados:** Biomasa y Radiación interceptada
- **Parámetros:** 9 especie y 5 cultivar
- **Entradas:** Tmax, Tim, Pp, Rs



Datos de campo. Siembra: 19/May/17 (H-311 y Pioneer 35P12)



Watermark®

T1 = 5-15 y 5-15,  
T2=25-35 y 50-60,  
T3= 50-60 y 25-35  
T4=80-90 y 80-90 cbar

Cuadro 2. Datos experimentales del cultivo de maíz en Zacatecas México.

Trat	R (mm)	Variedad 35P12 (Amarillo)			Variedad H-311 (Blanco)		
		B (t ha <sup>-1</sup> )	Y (t ha <sup>-1</sup> )	EUA (kg m <sup>-3</sup> )	B (t ha <sup>-1</sup> )	Y (t ha <sup>-1</sup> )	EUA (kg m <sup>-3</sup> )
T1	709.1	37.95	18.68±1.1a	2.63±0.1c	23.51	12.34±1.3a	1.74±0.1b
T2	468.3	33.62	17.33±0.8a	3.7±0.1bc	22.06	10.88±1.8a	2.32±0.4b
T3	435.6	35.92	18.55±0.5a	4.25±0.1ab	24.43	11.77±2.2a	2.7±0.5b
T4	273.2	25.49	14.22±2.8b	5.2±1a	25.41	12.41±1.3a	4.54±0.5a
CV*			8.17	13.4		16.69	16.26
MSE**			1.4	0.53		1.98	0.46

R - lamina de riego aplicada; B - Biomasa seca total; Y - Rendimiento de grano; EUA - eficiencia en el uso de agua; \*Coeficiente de variación \*\* Error de cuadrados medios. Medias con la misma letra en cada columna son iguales estadísticamente según Tukey al 5%.



# Métodos y Materiales

## Calibración del Modelo SIMPLE

Raíz cuadrada del cuadrado medio del error (*RMSE*) y Raíz cuadrada relativa del cuadrado medio del error (*RRMSE*)

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (O_i - S_i)^2} ; RRMSE = \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (O_i - S_i)^2}}{\sum_{i=1}^n O_i} \cdot 100$$

(Heng *et al.*, 2009)

Índice de concordancia de Willmott (*d*)

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (S_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|S_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)^2}$$

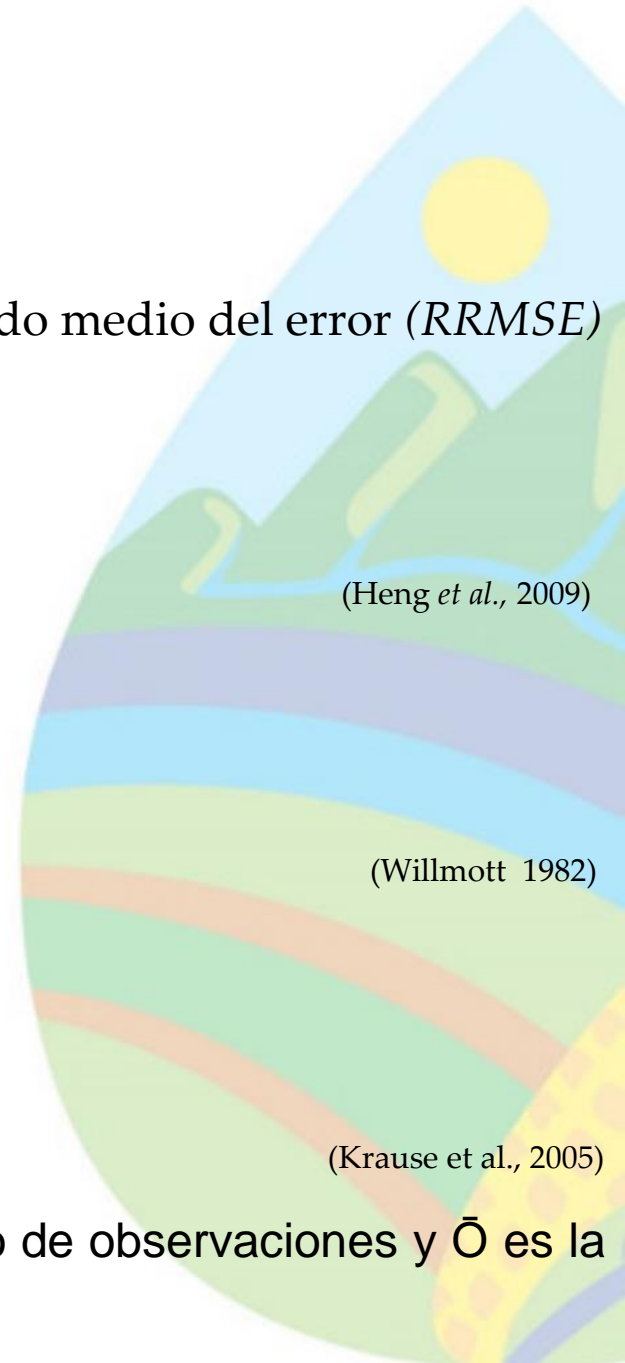
(Willmott 1982)

Eficiencia propuesto por Nash y Sutcliffe (*E*)

$$E = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (S_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2}$$

(Krause *et al.*, 2005)

donde  $S_i$  y  $O_i$  son los valores simulados y observados respectivamente,  $n$  es el número de observaciones y  $\bar{O}$  es la media de los valores de  $O_i$ .





# Resultados y Discusión

## Calibración del Modelo SIMPLE

Parámetro	Valor (35P12)	Valor (H-311)	Unidades
<b>Parámetros de la variedad</b>			
$T_{sum}$	1730*	1760*	°C d*
HI	0.52*	0.5*	--
$I_{50A}$	400**	400**	°C d
<b>Parámetros de la especie</b>			
RUE	3.35**	1.8**	G MJ <sup>-1</sup> m <sup>-2</sup>
$S_{water}$	0.78**	0.36**	--
<b>Parámetros de suelo (Franco arcilloso-limoso)*</b>			
AWC	0.17	0.17	--
RCN	81	81	--
DDC	0.5	0.5	--
RZD	600	600	mm
<b>Variables de entrada</b>			
F_Siem	17139*	17139*	AADDD**
F_Cos	17296*	17304*	AADDD

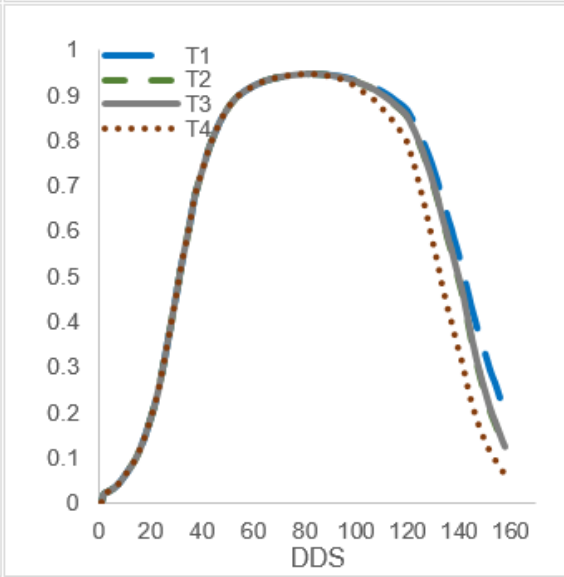
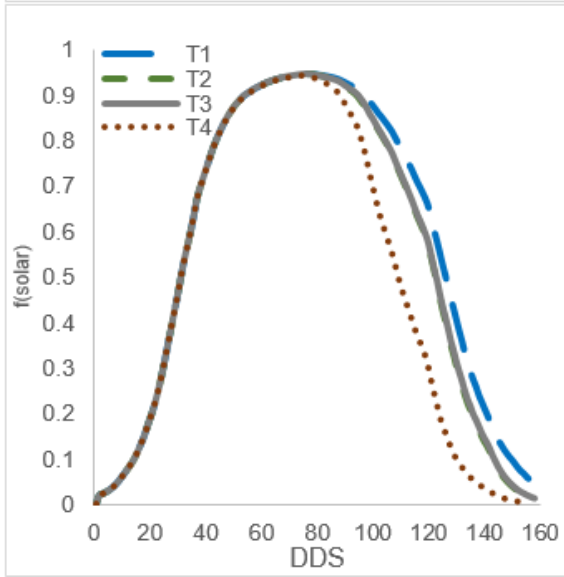
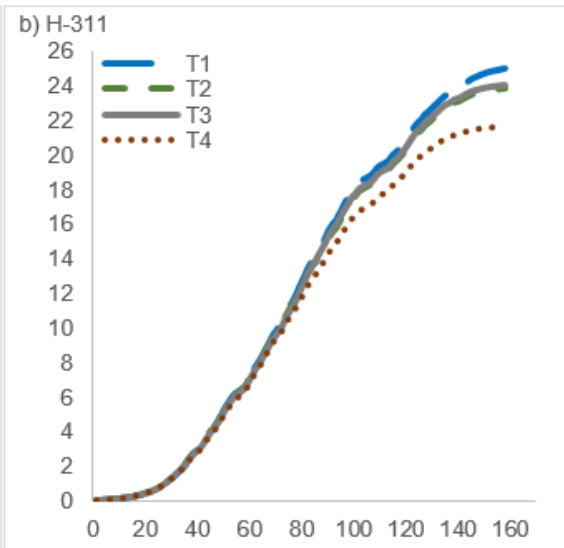
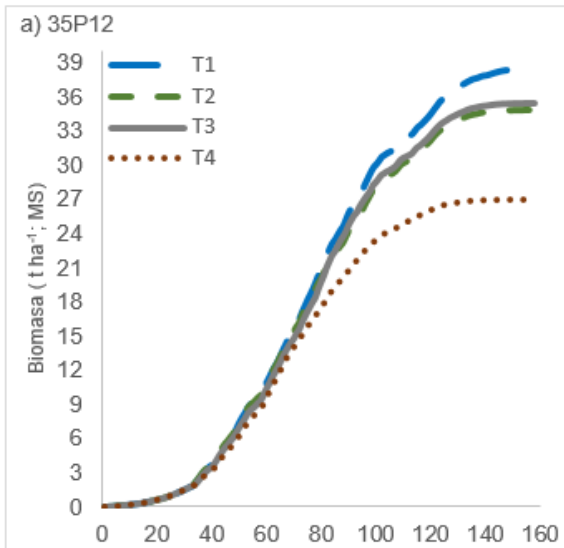




# Resultados y Discusión

## Biomasa

## Radiación interseccionada



Tratamiento	Variedad 35P12 (Amarillo)		Variedad H-311 (Blanco)	
	Y (t ha <sup>-1</sup> ) Observado	Y (t ha <sup>-1</sup> ) Simulado	Y (t ha <sup>-1</sup> ) Observado	Y (t ha <sup>-1</sup> ) Simulado
T1	18.68	19.99	12.34	12.53
T2	17.33	18.12	10.88	11.95
T3	18.55	18.40	11.77	12.03
T4	14.22	13.97	12.41	10.83
RMSE*	0.78 t Ha <sup>-1</sup> (4.54 %)		0.97 t Ha <sup>-1</sup> (8.15 %)	
d**	0.907		0.193	
E***	0.811		-1.483	

La dinámica de biomasa simulada representa las condiciones hídricas de los 4 tratamientos y mostró un RRMSE de 2.97%, que representa 0.98 t ha<sup>-1</sup> para 35P12 y 9.34% igual a 2.2 t ha<sup>-1</sup> para H-311





# Conclusiones

- El modelo “SIMPLE” es capaz de simular el rendimiento de maíz con pocos parámetros, aunque se tiene que tener amplio cuidado con los parámetros RUE y  $S_{\text{water}}$ , el primero que considera la adaptación del cultivo a la zona para hacer más eficiente el uso de radiación y el segundo que tiene efecto en las condiciones hídricas en la que se desarrolla el cultivo.
- Para tener la certeza en el cambio de parámetros se requiere de un análisis de sensibilidad global y utilizar un método de optimización global para la estimación de los parámetros.

GRACIAS



**inifap**

Instituto Nacional de Investigaciones  
Forestales, Agrícolas y Pecuarias



Quinto  
Congreso Nacional  
de Riego y Drenaje  
**COMEII-AURPAES 2019**

Septiembre 2019 | Mazatlán, Sinaloa



**AURPAES, S.C.**  
Asociación Nacional de Asociaciones de Riego y Drenaje  
Productores Agrícolas del Estado de Sinaloa S.C.

## Contacto

Miguel Servin-Palestina; Agustín Ruiz-García;  
Irineo L. López-Cruz

Posgrado en Ingeniería Agrícola y Uso Integral del Agua.  
Universidad Autónoma Chapingo

[miguel.servin@hotmail.com](mailto:miguel.servin@hotmail.com)

