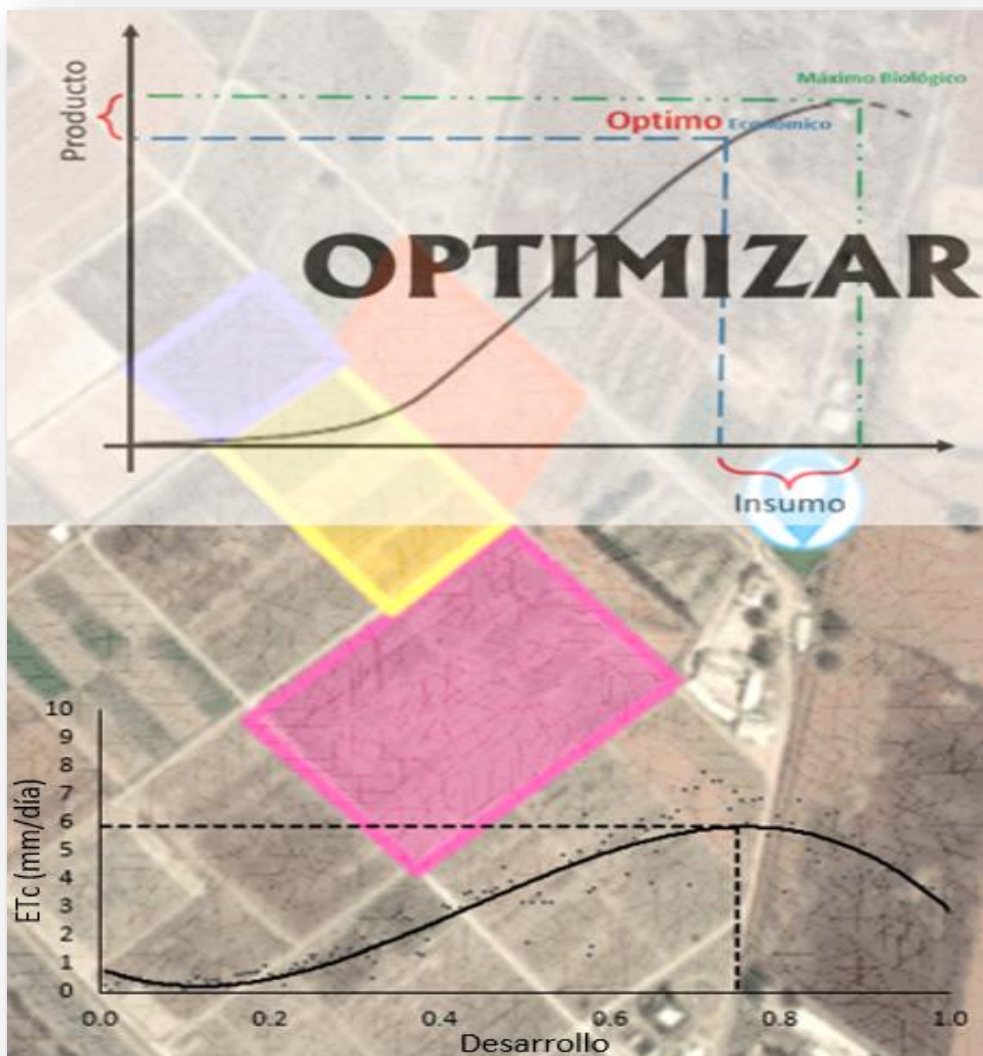


# PLANEACIÓN DEL CICLO AGRÍCOLA EN UNIDADES DE PRODUCCIÓN DE RIEGO EN ZACATECAS.

MIGUEL SERVIN-PALESTINA, JOSÉ ISRAEL CASAS-FLORES,  
GUILLERMO MEDINA-GARCIA.



## **SECRETARÍA DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL**

DR. VÍCTOR MANUEL VILLALOBOS ARÁMBULA  
Secretario

DR. MIGUEL GARCÍA WINDER  
Subsecretario de Agricultura

LIC. RAÚL ENRIQUE GALINDO FAVELA  
Subsecretario de Desarrollo Rural

ING. VÍCTOR SUÁREZ CARRERA  
Subsecretario de Autosuficiencia Alimentaria

LIC. DAVID MONREAL ÁVILA  
Coordinador General de Ganadería

DR. SALVADOR FERNÁNDEZ RIVERA  
Coordinador General de Desarrollo Rural

LIC. IGNACIO OVALLE FERNÁNDEZ  
Titular del organismo Seguridad Alimentaria Mexicana

## **INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES FORESTALES, AGRÍCOLAS Y PECUARIAS**

DR. JOSÉ FERNANDO DE LA TORRE SÁNCHEZ  
Encargado del Despacho de los Asuntos de la Dirección General

DR. RAÚL G. OBANDO RODRÍGUEZ  
Coordinador de Investigación, Innovación y Vinculación

M. C. JORGE FAJARDO GUEL  
Coordinador de Planeación y Desarrollo

MTRO. EDUARDO FRANCISCO BERTERAME BARQUÍN  
Coordinador de Administración y Sistemas

## **CENTRO DE INVESTIGACIÓN REGIONAL NORTE CENTRO**

DR. ARTURO DANIEL TIJERINA CHÁVEZ  
Director Regional

DR. FRANCISCO JAVIER PASTOR LÓPEZ  
Director de Investigación

ING. RICARDO CARRILLO MONSIVÁIS  
Director de Administración

MC. RICARDO ALONSO SÁNCHEZ GUTIERREZ  
Director de Coordinación y Vinculación en Zacatecas

# **PLANEACIÓN DEL CICLO AGRÍCOLA EN UNIDADES DE PRODUCCIÓN DE RIEGO EN ZACATECAS**

**MIGUEL SERVIN-PALESTINA<sup>1</sup>  
JOSÉ ISRAEL CASAS-FLORES<sup>2</sup>  
GUILLERMO MEDINA-GARCIA<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Investigador Ingeniería de riego del CEZAC.

<sup>2</sup>Investigador Agrometeorología y Modelaje del CEZAC.

<sup>3</sup>Investigador Potencial productivo y Agrometeorología del CEZAC.

# **PLANEACIÓN DEL CICLO AGRÍCOLA EN UNIDADES DE PRODUCCIÓN DE RIEGO EN ZACATECAS**

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias  
Progreso No. 5, Barrio de Santa Catarina  
Delegación Coyoacán  
México, D.F.  
C.P. 04010 México, D.F. Teléfono (55)  
3871-8700

ISBN: 978-607-37-1038-1

Primera Edición: Diciembre 2018

No está permitida la reproducción total o parcial de esta publicación, ni la transmisión de ninguna forma o por cualquier medio, ya sea electrónico, mecánico, fotocopia o por registro u otros métodos, sin el permiso previo y por escrito a la institución.

Cita correcta:

Servín-Palestina M., Casas-Flores JI. y Medina-García G. 2018. Planeación del ciclo agrícola en unidades de producción de riego en Zacatecas. Folleto Técnico Núm 96. Campo Experimental Zacatecas. CIRNOC – INIFAP, 48 páginas.

# CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	1
RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN CLIMÁTICA .....	2
Modelos Climáticos.....	5
Análisis armónico.....	6
Modelos fenológicos (Requerimientos térmicos).....	9
Metodología de seno simple .....	12
Método del Balance Hídrico Climático (BHC) .....	15
Manejo de riego .....	21
Funciones de respuesta.....	22
Eficiencia del uso de agua aplicada ( $\text{Kg m}^{-3}$ ) .....	22
Capacidad de siembra.....	23
SISTEMA DE PLANEACIÓN EN LAS UNIDADES DE PRODUCCIÓN DE RIEGO.....	27
Acceso al Sistema.....	27
Para Empezar .....	30
Seleccionar Fuente de Abastecimiento .....	31
Fuentes de Abastecimiento Guardadas .....	36
Generar nuevo escenario .....	38
Escenarios de cultivos guardados .....	43
CONCLUSIONES .....	46
LITERATURA CITADA.....	47

# PLANEACIÓN DEL CICLO AGRÍCOLA EN UNIDADES DE PRODUCCIÓN DE RIEGO EN ZACATECAS

Miguel Servín-Palestina<sup>1</sup>  
José Israel Casas-Flores<sup>2</sup>  
Guillermo Medina-García<sup>3</sup>

## INTRODUCCIÓN

Ante la problemática de la escasez del agua, es necesario realizar métodos que reconozcan lo complejo de esta situación. Para ello, se deben implementar estrategias que ayuden a hacer más eficiente el uso del agua en la agricultura.

Entre estas estrategias se encuentra la tecnificación del riego y métodos más racionales y cuantitativos en el uso del agua (Servín, 2015). Por otro lado, la incorrecta aplicación del agua de riego en los cultivos tiene consecuencias graves, afectando el rendimiento de los cultivos y favoreciendo el desperdicio de este recurso finito; de ahí la importancia de tener que aplicar de manera oportuna y en cantidad adecuada el agua que requieren los cultivos.

En el estado de Zacatecas se practica una agricultura de alto riesgo, con alta recurrencia de sequías y escasa precipitación, a

---

<sup>1</sup> Investigador Ingeniería de riego del CEZAC.

<sup>2</sup> Investigador Agrometeorología y Modelaje del CEZAC.

<sup>3</sup> Investigador Potencial productivo y Agrometeorología del CEZAC.

pesar de ello, la planeación del ciclo agrícola en el cultivo de maíz y el manejo del agua de riego se realiza sin soporte técnico alguno, con base únicamente en la experiencia del usuario, razón por la cual se requiere una mayor sistematización, difusión de técnicas y herramientas para hacer más eficiente el uso del agua en la agricultura.

Por lo tanto, el objetivo de la siguiente investigación fue desarrollar una metodología para la planeación del ciclo agrícola en los cultivos, usando modelos climáticos, funciones de respuesta, balance hídrico climático, modelos fenológicos y manejo de abatimientos de agua en el suelo, con el fin de obtener patrones de establecimiento de cultivos en base a la disponibilidad de agua de riego.

## **RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN CLIMÁTICA**

La importación del clima y la relación del tiempo con la producción de los cultivos agrícolas, incluyendo las enfermedades y plagas que afectan a las plantas y la influencia de los factores y elementos del clima sobre la fenología de los cultivos.

Se hace necesario para coadyuvar a través de recomendaciones basadas en el monitoreo del clima, en promover acciones de mejores prácticas en la producción de alimentos y en disminuir

la tasa de deterioro de los recursos naturales. Para tener mayor conocimiento de las condiciones del clima en relación con el desarrollo de los cultivos y su manejo, en el año 2002 se implementó el proyecto “Red de monitoreo agroclimático del estado de Zacatecas”. La red cuenta con 36 estaciones climáticas automatizadas distribuidas estratégicamente en todo el estado (Figura 1).

Cada una cuenta con sensores que integran cada 15 minutos por 24 horas la temperatura del aire, humedad relativa, precipitación, dirección y velocidad del viento, radiación solar y humedad de la hoja. Esta red provee al estado de Zacatecas de información meteorológica en línea y en tiempo real, mediante una plataforma Adcon. (Servín, 2015).



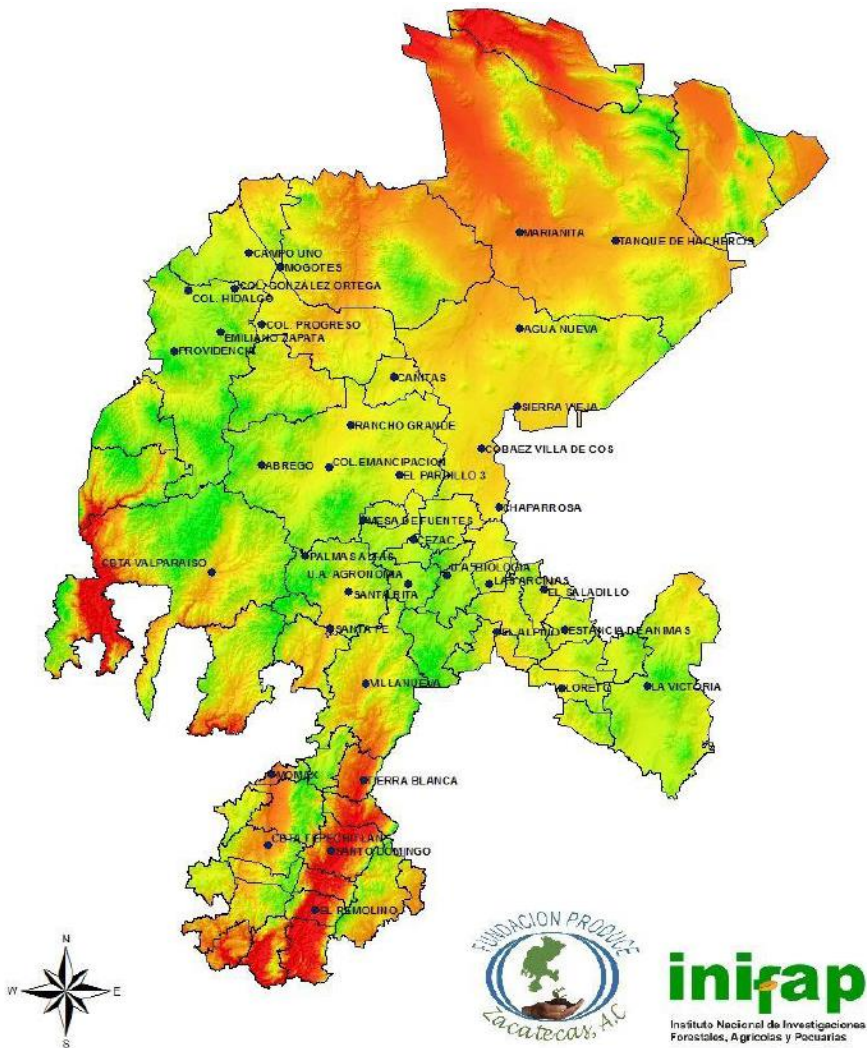


Figura 1. Distribución de la red de estaciones agroclimáticas del estado de Zacatecas.

## **Modelos Climáticos**

Para la planeación agrícola los modelos climáticos juegan un papel predominante para la simulación del clima, Un modelo climático es una ecuación que representa de la manera más precisa algunas variables climáticas como temperatura, evapotranspiración y precipitación. Sin embargo, los resultados de los modelos no deben subestimarse más allá de la realidad que pretenden representar (Pardos et al 2015; Coyle, 1978; Donald, 1979; Connor, 1981).

Los modelos de armónicas son modelos estadísticos que se basan en aproximaciones empíricas, producto de la observación y se pueden considerar como un conjunto de ecuaciones heurísticas (García, 1999). Cada una de estas ecuaciones es usualmente la descripción estática entre el proceso dado y las condiciones ambientales como la precipitación ( $P_p$ ), de evapotranspiración ( $ET$ ), y de temperaturas máximas y mínimas ( $T_{max}$  y  $T_{min}$ ) (María Ramírez, 2007). Estos modelos se determinan a través de modelos de regresión y ayudan a establecer la relación entre los cultivos y los factores que lo afectan.

## Análisis armónico

El modelo que presentan mayores ajustes para el comportamiento de las variables climáticas es el que toma en cuenta dos armónicas. La ecuación que representa el modelo es la siguiente (Ecuación 1):

$$y = a_0 + a_1c_1 + b_1s_1 + a_2c_2 + b_2s_2 \quad (1)$$

Donde  $y$  es la variable climática (Tmax, Tmin, Pp o ETo),  $a$  y  $b$  son coeficientes obtenidos mediante regresión matricial de los datos de precipitación, temperatura y evapotranspiración proporcionados por la red de estaciones,  $c$  y  $s$  son coseno y seno de la armónica.

Para obtener los modelos de medias armónicas primero se deben obtener las matrices partiendo de la ecuación original (Ecuación 1). Las siguientes ecuaciones serán la referencia para obtener las matrices A y B:

$$\Sigma Y = na_0 + a_1\Sigma c_1 + b_1\Sigma s_1 + a_2\Sigma c_2 + b_2\Sigma s_2 \quad (2)$$

$$\Sigma c_1 Y = a_0\Sigma c_1 + a_1\Sigma c_1^2 + b_1\Sigma c_1 s_1 + a_2\Sigma c_1 c_2 + b_2\Sigma c_1 c_2 \quad (3)$$

$$\Sigma s_1 Y = a_0\Sigma s_1 + a_1\Sigma c_1 s_1 + b_1\Sigma s_1^2 + a_2\Sigma s_1 c_2 + b_2\Sigma s_1 s_2 \quad (4)$$

$$\Sigma c_2 Y = a_0\Sigma c_1 + a_1\Sigma c_1 c_2 + b_1\Sigma s_1 s_2 + a_2\Sigma c_2^2 + b_2\Sigma s_2 c_2 \quad (5)$$

$$\Sigma s_2 Y = a_0\Sigma s_2 + a_1\Sigma c_1 s_2 + b_1\Sigma s_1 s_2 + a_2\Sigma c_2 s_2 + b_2\Sigma s_2^2 \quad (6)$$

Donde  $Y$  es la variable a estimar,  $n$  es el número de datos,  $a$  y  $b$  son coeficientes de la regresión,  $c$  y  $s$  son coseno y seno de las Ecuaciones 7 y 8:

$$c_i = \cos\left(\frac{2i*\pi}{365} * J\right) \quad (7)$$

$$s_i = \text{seno}\left(\frac{2i*\pi}{365} * J\right) \quad (8)$$

Donde  $i$  es el número de coseno o seno correspondiente en la armónica,  $\pi$  como constante y  $J$  es el día juliano del año.

Las sumatorias que se encuentran en el lado izquierdo de las ecuaciones son la matriz  $A$ ; mientras que, los valores que se encuentran del lado derecho de las ecuaciones son la matriz  $B$ .

Para obtener los coeficientes  $a$  y  $b$  se debe partir de la ecuación matricial original (Ecuación 9):

$$Z = [A] * [B]^{-1} \quad (9)$$

Donde  $Z$  representa a los coeficientes  $a$  y  $b$ , y  $A$  y  $B$  representan a las matrices  $A$  y  $B$ . Sustituyendo datos, la ecuación que servirá para calcular los coeficientes queda representada en la Ecuación 10:

$$\begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ b_1 \\ a_2 \\ b_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Sigma Y \\ \Sigma C_1 Y \\ \Sigma S_1 Y \\ \Sigma C_2 Y \\ \Sigma S_2 Y \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} n + \Sigma c_1 + \Sigma s_1 + \Sigma c_2 + \Sigma s_2 \\ \Sigma c_1 + \Sigma c_1^2 + \Sigma c_1 s_1 + \Sigma c_1 s_2 + \Sigma c_1 c_2 \\ \Sigma s_1 + \Sigma c_1 s_1 + \Sigma s_1^2 + \Sigma c_1 s_2 + \Sigma s_1 s_2 \\ \Sigma c_1 + \Sigma c_1 c_2 + \Sigma s_1 s_2 + c_2^2 + \Sigma c_2 s_2 \\ \Sigma s_2 + \Sigma c_1 s_2 + \Sigma s_1 s_2 + \Sigma c_2 s_2 + s_2^2 \end{bmatrix}^{-1} \quad (10)$$

Por ejemplo: Con la base de datos de evapotranspiración potencial (ET<sub>o</sub>), las temperaturas máximas y mínimas (T<sub>max</sub> y T<sub>min</sub>) de las estaciones CEZAC del 2002 al 2016 se obtuvieron promedios decenales posteriormente se sometieron a un análisis matricial y se obtuvieron los modelos para estimar las variables del clima (Figura 2).

Cuadro 1.- Modelos climáticos de la estación CEZAC

---


$$ET_o = 4.969 - 1.074c_1 + 0.874s_1 - 0.399c_2 - 0.256s_2$$

$$T_{max} = 23.81 - 3.31c_1 + 1.40s_1 - 1.30c_2 - 0.82s_2$$

$$T_{min} = 7.75 - 5.61c_1 - 0.49s_1 - 0.32c_2 + 0.18s_2$$


---

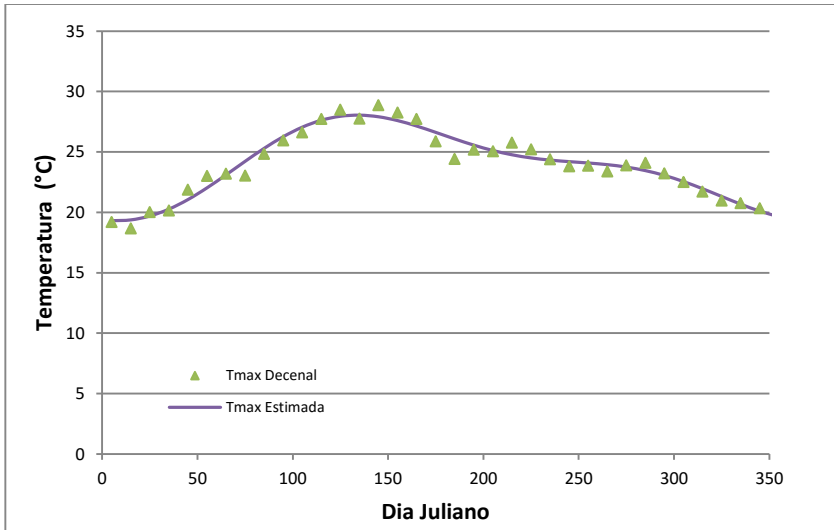


Figura 2. Comportamiento de la temperatura máxima estimadas respecto a las temperaturas reales de la estación CEZAC.

### Modelos fenológicos (Requerimientos térmicos)

El ciclo biológico de muchos organismos depende estrechamente de la temperatura, este hecho ha llevado al establecimiento del concepto **grados días**: fue determinado para expresar matemáticamente la acumulación de temperatura arriba de una temperatura crítica de un organismo dado, lo cual se traduce en desarrollo, ha sido utilizado con éxito en la predicción del desarrollo de diferentes organismos (Yzarra et al 2009; Robertson, 1983). Un grado-día es una unidad que combina el tiempo y la temperatura para estimar el desarrollo de un organismo a partir de un punto a otro en su vida. También conocidas como unidades calor (UC), grados días son el

producto acumulado del tiempo y temperatura entre los umbrales de desarrollo para cada día. El uso de unidades calor incrementa la precisión para determinar la duración del ciclo del cultivo, pero sólo se logra si el cálculo de las UC se hace con los valores cercanos a las temperaturas umbrales (máxima y mínima) que controlan el desarrollo de la especie (Ruiz-Corral et al., 2002). A la acumulación total de UC se le conoce como requerimiento térmico (RT); mismo que puede acumularse por etapas fenológicas o durante todo el ciclo del cultivo.

**Umbral inferior o temperatura base (L):** Se considera umbral térmico inferior, temperatura base o temperatura cero de crecimiento a aquella a la cual la planta detiene su crecimiento por completo. Por tanto, cuando se haga la integral térmica de un cultivo, toda temperatura por debajo de este umbral mínimo no coadyuvaba en el desarrollo del cultivo, Figura 3.

**Umbral superior o temperatura máxima de crecimiento (H):** Al igual que hay una temperatura base de crecimiento, existe un máximo. Se considera que el umbral superior es aquel por encima del cual, la planta detiene su desarrollo o éste es disminuye significativamente. Las temperaturas que estén por encima de este umbral, tampoco contabilizarán en el cálculo de la integral térmica, Figura 3.

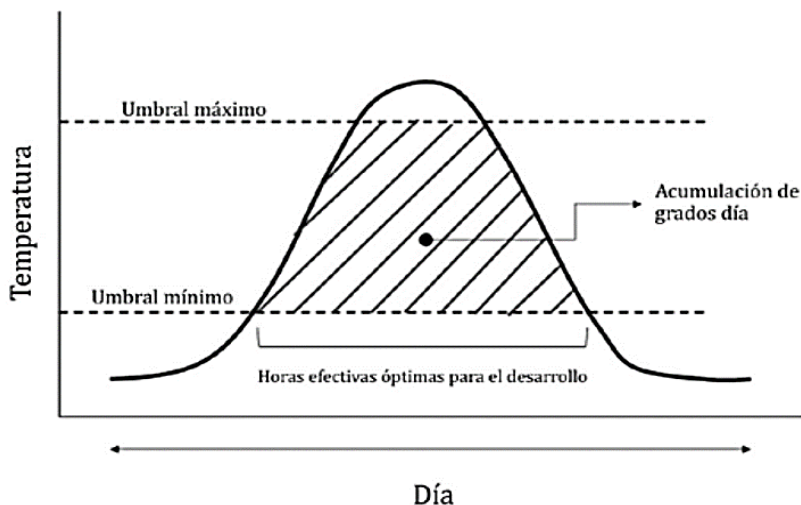


Figura 3.- Representación gráfica de la acumulación de horas calor a través del día (Ramírez et al 2015).

Por ejemplo, para el híbrido H-311, la temperatura base en la primera etapa es de  $9.4^{\circ}\text{C}$ , la temperatura máxima es de  $28.8^{\circ}\text{C}$ , mientras que en la etapa 2 la temperatura base es de  $10.2^{\circ}\text{C}$  y la temperatura máxima es de  $30.2^{\circ}\text{C}$ , (Ruiz-Corral et al., 2002). Este híbrido inicia su floración cuando acumula 850 UCA (unidades calor acumuladas), y alcanza su madurez fisiológica cuando alcanza 1424 UCA, clasificándose como un híbrido de ciclo intermedio-tardío. Varios trabajos de investigación se han enfocado a describir los requerimientos de algunos cultivos tal como se muestra en el cuadro 2.



Cuadro 2. Requerimiento térmico y umbrales en dos etapas fenológicas de algunos cultivos.

Etapa	Siembra a inicio de floración (1)			Inicio de floración a madurez fisiológica (2)				Fuente
	H1	L1	UC	H2	L2	RT 2	UC	
Chile	32	10	641	35	11	697	1338	
Maíz	29. 5	9.8	850	30. 2	10. 2	574	1424	Ruiz – Corral (2001)
Alfalfa	29. 5	9.8	--	30. 2	10. 2	--	1424	
Avena Forrajera	30	5	--	30	5	--	1291 .5	(Servín et al 2018)
Trigo	25	5	760	10	30	570	1330	Rawson (2001)

H y L es el umbral temperatura máximo y mínimo para la etapa 1 y 2 respectivamente, UC Requerimiento térmico por etapa.

### Metodología de seno simple

Para el cálculo de los grados días, se utiliza la metodología de Seno Simple, que toma en cuenta las temperaturas máximas y mínimas, así como la temperatura base y temperatura máxima a las cuales el desarrollo del maíz no es afectado.

El Método del Seno Simple, considera la existencia de umbrales de temperaturas mínimos y máximos en donde se desarrollan los cultivos. En la Figura 4 se presentan seis posibles rangos de temperaturas máximas y mínimas donde se considera la existencia de umbrales de temperatura. Las áreas sombreadas representan los grados días para cada rango.

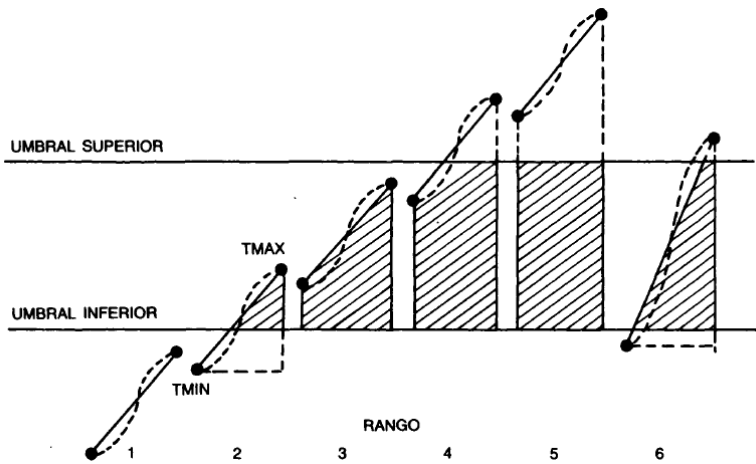


Figura 4. Rangos de temperatura en relación con los umbrales superior e inferior. Las áreas sombreadas representan los grados días (Gonzales y Hernandez, 1990).

En la Figura 5 se presenta el organigrama utilizado para el cálculo de los grados días correspondientes a los diferentes rangos es decir las diferentes combinaciones de temperatura que se presenta a lo largo del día por el ejemplo en un cultivo de maíz en su etapa 1 se presentó una Tmax de 32.5 °C y una Tmin de 17.8 °C y de acuerdo al cuadro 2 los valores de H y L son 29.5 y 9.8 respectivamente, Entonces corresponde el cálculo de grados días de acuerdo al rango 4 (Figura 4).

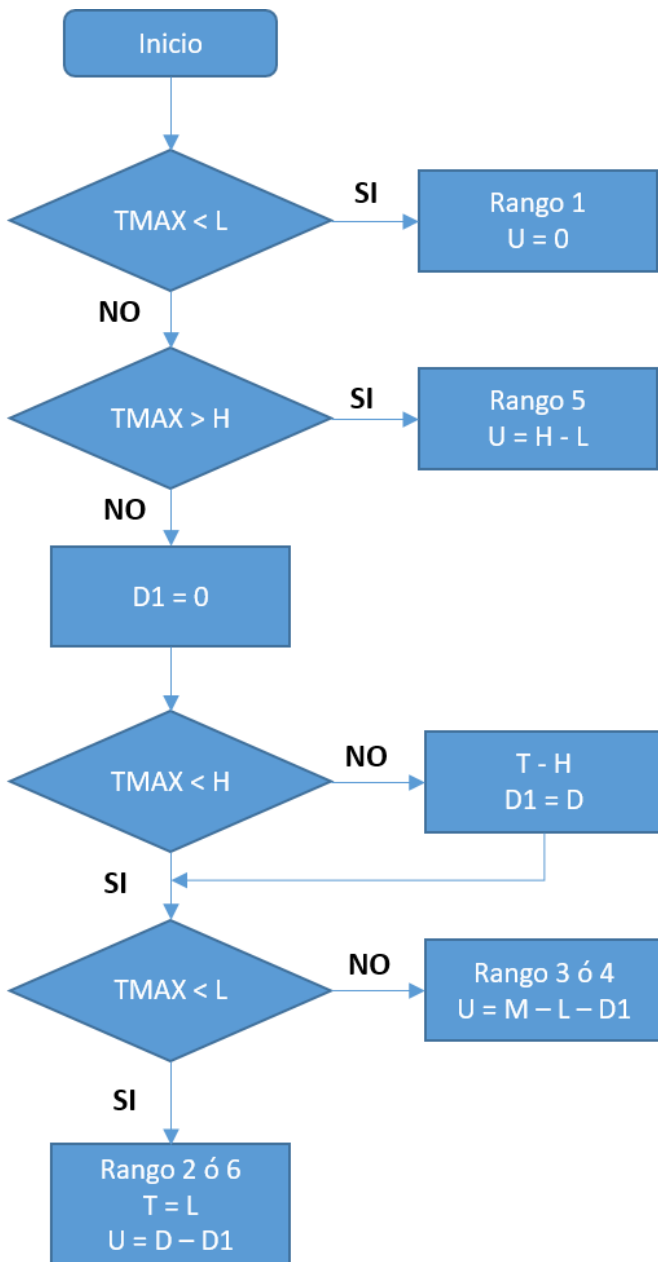


Figura 5. Diagrama de flujo para el cálculo de Grados Días . (Gonzales y Hernandez., 1990).

## Método del Balance Hídrico Climático (BHC)

Según la ecuación del balance hídrico en el suelo, el contenido de agua del suelo en un día particular ( $\theta_i$ ) se estima con base en el contenido de agua del día previo ( $\theta_{i-1}$ ), como se indica en la ecuación 11:

$$\theta_i = \theta_{i-1} + R_i + P_{e_i} - ET_{c_i} - D_i \quad 11)$$

Dónde:

$\theta_i$	Contenido de agua del suelo en un día particular	(mm día <sup>-1</sup> )
$\theta_{i-1}$	Contenido de agua del día previo	(mm día <sup>-1</sup> )
$R_i$	Riego del día particular	(mm día <sup>-1</sup> )
$P_i$	Precipitación efectiva del día particular	(mm día <sup>-1</sup> )
$ET_i$	Evapotranspiración del cultivo del día particular	(mm día <sup>-1</sup> )
$D_i$	Drenaje de un día particular se considera "0"	(mm día <sup>-1</sup> )

Para iniciar con el balance hídrico en el suelo se requiere determinar el inicio del periodo de riego (fecha de siembra) y llevar la humedad del suelo a capacidad de campo, es decir, llevar la humedad aprovechable (HA) al 100% (ecuación 12) donde los valores de los parámetros físicos del suelo capacidad de campo y punto de marchitez permanente ( $\theta_{CC}$  y  $\theta_{PMP}$ , respectivamente) en  $\text{cm}^{-3}/\text{cm}^{-3}$  se determinan con base en la

textura del suelo (Cuadro 3) y  $Pr$  es la profundidad de exploración de las raíces en cm.

$$HA = (\theta_{CC} - \theta_{PMP})Pr \quad 12)$$

Cuadro 3. Constantes de humedad por tipo de suelo (Saxton et al, 1986).

TEXTURA	$\theta_{CC}$	$\theta_{PMP}$
Arenosa	0.1280	0.0567
Areno francosa	0.1598	0.0764
Franco arenosa	0.2522	0.1740
Franca	0.2540	0.1180
Franco arcillo arenosa	0.2676	0.1724
Franco arcillosa	0.3215	0.1838
Franco arcillo limosa	0.3648	0.1941
Franco limosa	0.2857	0.1062
Arcillo arenosa	0.3333	0.2419
Arcillo limosa	0.4403	0.2786
Arcillosa	0.5359	0.4127
Limosa	0.3154	0.0962

Este es el punto de partida para iniciar el balance hídrico del cultivo ( $BHC$ ), el cual acumula constantemente la pérdida de agua por evapotranspiración del cultivo ( $ETc$ ) del día anterior, y se va restando la cantidad de precipitación efectiva ( $Pe$ ) y de riego ( $R$ ). Cuando la  $ETc$  acumulada es igual o mayor al punto crítico ( $\theta_c$ ) (ecuación 13) se debe regar y regresar al suelo la cantidad de agua que previamente se perdió debido a la evapotranspiración. Entonces la cantidad de agua o lámina neta ( $Ln$ ) a regar estará en función de la ecuación 14:

$$\theta_c = \theta_{cc} - \frac{FAM}{100}(\theta_{cc} - \theta_{PMP}) \quad 13)$$

$$Ln = (\theta_{cc} - \theta_c)Pr \quad 14)$$

donde *FAM* es la fracción de abatimiento máximo, es decir la cantidad de agua que sale del sistema antes de aplicar el siguiente riego.

Para estimar la *ET<sub>c</sub>* (ecuación 15) del cultivo, el programa utiliza el *K<sub>c</sub>* específico de cada cultivo que reporto Bravo et al. (2006) (Cuadro 2). Con fines de facilitar la codificación del sistema en línea se ajustaron los valores a un polinomio cúbico (Cuadro 4). *K<sub>s</sub>* es un coeficiente adimensional por efecto del agua residual almacenada en el suelo.

$$ET_c = K_s * K_c * ET_o \quad 15)$$

Para determinar el valor de coeficiente *K<sub>s</sub>* se utiliza la siguiente Ecuación (16):

$$K_s = \frac{\ln(HAR+1)}{\ln 101} \quad (16)$$

Donde *K<sub>s</sub>* es el coeficiente adimensional por efecto del agua residual almacenada del suelo, *HAR* es la humedad aprovechable residual. A su vez, la humedad aprovechable residual se calcula con la siguiente ecuación (17):

$$HAR = \frac{HA - DPH}{HA * 100} \quad (17)$$

donde  $Ha$  es la humedad aprovechable,  $DPH$  es el déficit permisible de humedad. El déficit permisible de humedad se calcula con la siguiente fórmula (Ecuación 18):

$$DPH = ET_{real} - Pe \quad (18)$$

Donde  $ET_{real}$  es la evapotranspiración real del cultivo y  $Pe$  es la precipitación efectiva.

Para obtener el coeficiente del cultivo ( $Kc$ ), se utilizó un modelo polinomial de tercer orden determinado a partir de datos experimentales (Servín 2015):

Cuadro 4. Modelos de  $Kc$  para diversos cultivos.

<b>Cultivo</b>	<b>Modelo</b>	<b>Coficiente (R<sup>2</sup>)</b>
<b>Frijol</b>	$y = -3.4829x^3 + 4.5973x^2 - 0.8725x + 0.3786$	0.986
<b>Maíz</b>	$y = -3.4596x^3 + 4.6649x^2 - 0.7508x + 0.3504$	0.9943
<b>Ajo</b>	$y = -3.6286x^3 + 5.1760x^2 - 1.2205x + 0.2901$	0.9765
<b>Chile</b>	$y = -3.0109x^3 + 3.6200x^2 - 0.3941x + 0.3590$	0.9814
<b>Alfalfa</b>	$y = -3.4596x^3 + 4.6649x^2 - 0.7508x + 0.3504$	0.98
<b>Avena Forrajera</b>	$y = -7.2552x^3 + 8.7237x^2 - 1.2462x + 0.157$	0.97

Para obtener la ETo se utilizan los modelos climatológicos de la estación agrometeorológica previamente seleccionada. El cálculo de la ETo se realiza de acuerdo con el modelo de Penman-Monteith.

Por otra parte, la precipitación efectiva ( $P_e$ ) se resta de la  $E T_c$ , la cual es calculada con base en la ecuación 19 (Serna et al, 2011):

$$\begin{array}{ll} P_e = P_p * 0.75 & \text{Sí } P_p > 5\text{mm} \\ P_e = 0 & \text{Sí } P_p < 5\text{mm} \end{array} \quad 19)$$

Para definir el tiempo y la lámina de riego bruta ( $L_b$ ) expresada en mm que se aplicará con el sistema de riego  $L_r$  se divide entre la eficiencia de aplicación ( $E_a$ ) (ecuación 20):

$$L_b = \frac{L_r}{E_a} \quad 20)$$

donde  $E_a$  es la eficiencia de aplicación (%) que es la relación entre el agua aplicada por el sistema de riego y el agua almacenada en zona de raíces considerando un rango de 0.85 a 0.95 para riego por goteo y 0.45 a 0.65 para riego por multicompuertas.



Para el cálculo de tiempo de riego ( $Tr$ ) expresada en horas, es necesario calcular la tasa horaria ( $TH$ ) que se refiere a la cantidad de agua en milímetros que sirve el sistema en una hora ( $mm\ h^{-1}$ ). En el sistema de riego por goteo con cintilla,  $TH$  se estima con base al gasto del emisor en litros por hora ( $Q_e$ ), al espaciamiento entre emisores en metros ( $E_e$ ), y espaciamiento entre líneas regantes en metros ( $ELr$ ), (ecuación 21). Para riego por multicompuerta se toma en cuenta el gasto de entrada a la sección de riego en litros por segundo ( $Q_{sec}$ ) y la superficie que se desea regar en hectáreas ( $S_{ha}$ ). (Ecuación. 22):

$$TH_{cinta} = \frac{Q_e}{E_e * ELr} \quad 21)$$

$$TH_{multi} = \frac{Q_{sec} * 3.6}{S_{ha}} \quad 22)$$

El tiempo de riego en horas ( $Tr$ ) es la relación que hay entre la lámina bruta de riego a aplicar entre la  $TH$  lo cual indica el número de horas que se regará (Ecuación 23):

$$Tr = \frac{Lb}{TH} \quad 23)$$

Al regar se lleva al  $\theta_c$  al 100% de HA, y se reinicia el cálculo hasta llegar al fin del ciclo del cultivo obtenido un balance de agua en el suelo a través del tiempo.

## **Manejo de riego**

Aunque las plantas pueden extraer agua del suelo hasta un nivel de humedad que corresponde con el límite inferior, existe un nivel de humedad entre el límite superior y el inferior a partir del cual las raíces encuentran mayor dificultad para extraer el agua y se produce una disminución en la transpiración, lo que suele traer consigo pérdidas de producción. Este se denomina fracción de abatimiento máximo (FAM) y normalmente se representa como una fracción del Intervalo de Humedad Disponible.

En programación de riegos suele emplearse muy frecuentemente un valor entre 0.6 y 0.8. Un valor de 0.65 se considera muy adecuado y es utilizado con asiduidad, pero en cultivos de alto valor económico, como por ejemplo los hortícolas, no debe usarse un valor de FAM mayor de 0.5 (AgroEs.es 2018) para asegurar que el cultivo no sufrirá en ningún momento falta de agua y ello pueda disminuir la producción.

La humedad correspondiente al FAM es la cantidad de agua que el suelo debería tener siempre, como mínimo, para que la producción sea siempre la máxima posible.

## **Funciones de respuesta**

La relación entre la producción de grano y la evapotranspiración del cultivo se determinó empleando un modelo de tipo cuadrático representado mediante la siguiente expresión (ecuación 24):

$$Rg = \beta_0 + \beta_1 ET_1 + \beta_2 ET_2 + \beta_3 ET_1^2 + \beta_4 ET_2^2 \quad (24)$$

Donde  $Rg$  es el rendimiento del grano ( $t\ ha^{-1}$ );  $ET_1$  y  $ET_2$  es la evapotranspiración real del cultivo en las etapas 1 y 2 respectivamente (cm);  $\beta_0$  intercepto,  $\beta_1$  a  $\beta_4$  son parámetros del modelo de regresión.

## **Eficiencia del uso de agua aplicada ( $Kg\ m^{-3}$ )**

En la mayoría de las regiones del mundo aumentar la eficiencia del uso de agua constituye el mayor potencial para mejorar la seguridad alimentaria y reducir la pobreza al costo ambiental más bajo (Rijsberman y Manning, 2006).

Para determinar la eficiencia del uso del agua de riego se utilizaron las ecuaciones 25 y 26:

$$WP_I \left( \frac{kg}{m^3} \right) = \frac{R_{kg}}{T_{m^3}} \quad (25)$$

$$WP_T \left( \frac{kg}{m^3} \right) = \frac{R_{kg}}{T_{M^3}} \quad (26)$$

Dónde:  $WP_i$  es la eficiencia de agua aplicada por riego (I),  $WP_T$  es la eficiencia del agua total (agua aplicada más precipitaciones),  $R_{kg}$  es el rendimiento en kilogramos y  $T_M^3$  es el agua total aplicada en metros cúbicos.

## **Capacidad de siembra**

Para determinar nuestra capacidad de siembra, primero debemos definir con cuántos recursos contamos (disponibilidad de agua, terrenos, cultivos, etc.), una vez definidos nuestros recursos, debemos ver cuánta superficie podemos sembrar.

¿Cuánto puedo sembrar?

Debemos tener en cuenta nuestro volumen requerido por cultivo y láminas de riego por hectárea, para ello tomamos en cuenta la evapotranspiración máxima de nuestro cultivo (Ecuación 24).

Volumen requerido.

Una vez obtenida nuestra lámina de riego que requiere nuestro cultivo, este valor se multiplica por la superficie, pasando a ser el volumen requerido (Ecuación 27).

$$Vr = Lr * A \quad (27)$$

**Volumen disponible.**

Posteriormente, tenemos que calcular el volumen de agua disponible para el cultivo. Para esto es necesario saber el caudal o gasto del pozo o fuente de abastecimiento. Para calcular nuestro volumen disponible, se multiplica el gasto por 3600, para determinar el volumen disponible por hora, y después se multiplica por el número de horas de riego por día (Normalmente se recomiendan 22 horas de riego por día).

### **¿Cuánto debo sembrar?**

Para obtener la superficie que se puede sembrar, se considera la superficie a sembrar entre el gasto disponible, así se obtiene la capacidad de siembra; después se multiplica la superficie a sembrar por la eficiencia de aplicación del sistema de riego, y así obtenemos la superficie que se puede sembrar (Ecuación 28).

$$S_s = \frac{VD}{VR} \quad (28)$$

Para obtener la capacidad de siembra, se divide la superficie a sembrar entre el gasto o el caudal (Ecuación 29):

$$C_s = \frac{S_s}{Q} \quad (29)$$

Entonces para obtener la superficie que se puede sembrar ( $S_r$ ) con ese gasto, se multiplica la superficie a sembrar por la eficiencia de aplicación del sistema de riego ( $E_a$ ) (Ecuación 30):

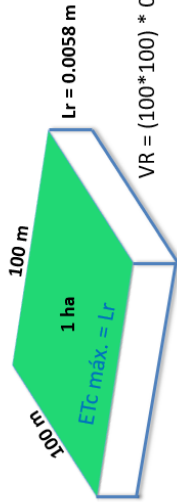
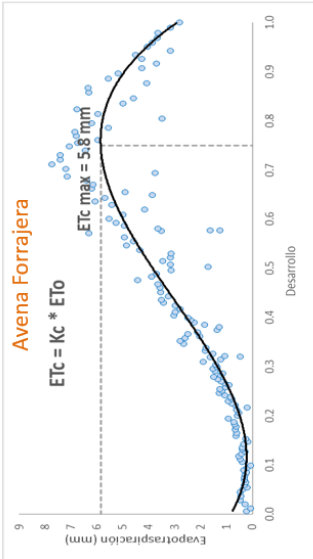
$$S_r = S_s * E_a$$

(30)

Para determinar la capacidad de siembra de un cultivo es necesario conocer la demanda evapotranspirativa máximas de dicho cultivo el cual será el punto de partida para determinar la capacidad de siembra la cual se ajustará de acuerdo a la eficiencia del sistema de riego con el que se cuenta en el predio.

A continuación, se muestra la capacidad de siembra para el cultivo de avena forrajera y un pozo que aporta 16 litros por segundo.

### Volumen requerido/ha (VR)



$$VR = (100 \cdot 100) \cdot 0.0058$$

$$VR = 58 \text{ m}^3$$

### ¿CUANTO DEBO SEMBRAR?



### Volumen disponible (VD)



$$Q = 16 \text{ lps}$$

$$Q = 57.6 \text{ m}^3/\text{hr}$$

$$57.6 \text{ m}^3/\text{hr}$$

$$VD = (0.016 \cdot 3600) \cdot 23 \text{ hr}$$

$$VD = 1,324.8 \text{ m}^3$$

**Nota:** Considerando días de 23 horas efectivas

### Superficie a sembrar (SS)

$$SS = \frac{VD}{VR} = \frac{1,324.8}{58} = 22.84 \text{ ha}$$

**Nota:** Capacidad de siembra es **1.42 ha** con un gasto de 1 litro por segundo

Sistema de riego	Eff (%)	Superficie a sembrar (ha)
Goteo	90-95	20.55 - 21.69
Aspersión	80-90	18.27 - 20.55
Multicompuertas	65-70	14.84 - 15.98

# SISTEMA DE PLANEACIÓN EN LAS UNIDADES DE PRODUCCIÓN DE RIEGO

## Acceso al Sistema

Para acceder al sistema en línea que se encuentra dentro de la página web del Campo Experimental Zacatecas en la dirección <http://www.zacatecas.inifap.gob.mx/std/> , solicita un usuario y la contraseña, como se muestra en la Figura 6, ya que el sistema permite guardar escenarios realizados con anterioridad, fuentes de agua y otros datos importantes.

Si es la primera vez que se accede al sistema será necesario registrarse. Para esto como se muestra en la Figura 6, en la parte inferior izquierda dar clic donde dice **Registro** o en la parte inferior en el icono de **Registro**. Se desplegará una pantalla como se muestra en la Figura 7, donde se pedirán datos básicos del usuario como lo son:

- Nombre.
- Apellido.
- Fecha de Nacimiento.
- Correo Electrónico.
- Localidad.
- Municipio.
- Usuario.
- Password y la confirmación del mismo.

al terminar de llenar estos datos y dar clic en el botón **Registrar**, ya se puede acceder e interactúa con el sistema.



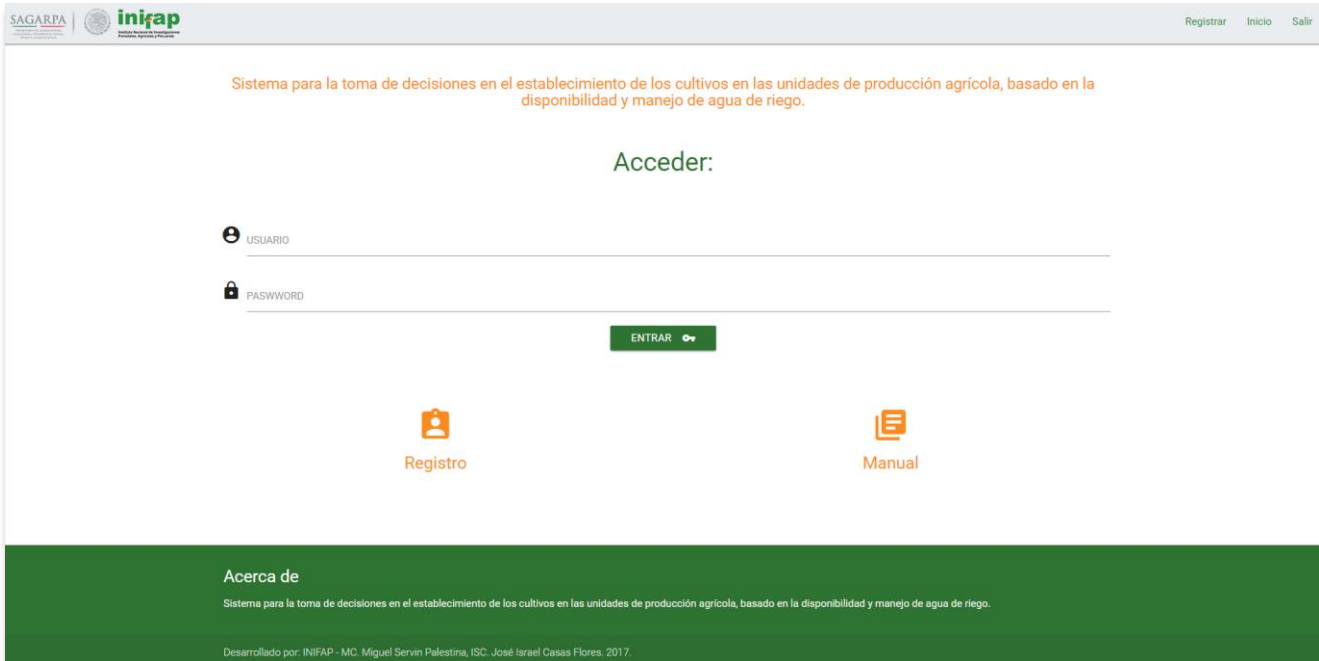


Figura 6. Acceso al Sistema dentro de la página web del Campo Experimental Zacatecas.

## Registro de Usuario

\* Es necesario llenar todos los campos para el registro. ¡Gracias!

REGRESAR ↶

\* Nombre(s)

---

\* Apellidos

---

\* Fecha de Nacimiento

---

\* Correo Electronico

---

\* Localidad

---

\* Municipio

---

\* Usuario

---

\* Password

---

\* Repite el Password

---

REGISTRAR ➤

Figura 7. Registro de Usuario.

## Para Empezar

Al acceder al sistema y dependiendo si es la primera vez que lo hace o no, aparecerán diferentes pantallas. El sistema se comprende de cuatro acciones principales:

- **Seleccionar Fuente de Abastecimiento:** Se Geolocalizara el tipo de fuente de agua, el tipo de gasto y los litros por segundo del mismo, asignándole un nombre para posteriormente identificarlo.
- **Fuentes de Abastecimiento Guardadas:** Aquí se muestran todas las fuentes de abastecimiento que han sido guardadas en el sistema. Éstas se identifican mediante el nombre que se le asignó a dar de alta la fuente, se muestra el tipo de fuente y el gasto en litros por segundo, además tiene un pequeño submenú que permite ver más detalles de la misma, eliminarla o empezar a usarla para crear un escenario.
- **Generar nuevo escenario:** Aquí se da de alta el cultivo con el que se desea trabajar. Este ambiente permite calcular el área en metros cuadra de la parcela, el tipo de suelo, la eficiencia del riego, la fecha de siembra o trasplante y la fuente de agua con la que interactúe el cultivo.

- **Escenarios de cultivos guardados:** Aquí permite ver los escenarios que ya se tienen guardados, ver el reporte generado del mismo, agregar o quitar algún cultivo o incluso eliminar todo el escenario.

Por lo tanto, si es la primera vez que se accede al sistema, la primera pantalla que aparecerá será la de **Seleccionar Fuente de Abastecimiento**.

Si ya se ha agregado una fuente de abastecimiento, pero no se ha realizado ningún escenario, la primera pantalla que aparecerá será la de **Fuentes de Abastecimiento Guardadas**.

Por último, si ya han sido generados escenarios, la primera pantalla que aparecerá será la de **Escenarios de cultivos guardados**.

### **Seleccionar Fuente de Abastecimiento**

En la sección de **Seleccionar Fuente de Abastecimiento** (Figura 8), se alimenta con los datos necesarios para dar de alta una fuente, nombre que la identifique, el tipo de fuente de agua (pozo, bordo, presa, etc.), tipo de gasto (diario, mensual, decenal, etc.) y gasto en litros por segundo; además mostrará un mapa interactivo que permite localizar la fuente de

abastecimiento para obtener su latitud y longitud para ser guardados .

Seleccionar Fuente de Abastecimiento

Llene los siguientes datos sobre la Fuente de Abastecimiento.

Nombre para identificar la Fuente de Agua

Tipo de Fuente de Agua.

Tipo de gasto (Diario, Decenal, Mensual o Anual).

Abastecimiento Intermitente

Gasto LPS

Latitud y Longitud de la Fuente de Abastecimiento  
(Automático al mover la flecha dentro del Mapa)

Arrastre la flecha dentro del mapa para seleccionar la posición donde se encuentre la fuente de agua.




Figura 8. Pantalla seleccionar fuente de abastecimiento

Para completar la parte que se muestra en la Figura 9, es necesario arrastrar la flecha verde que se muestra en el mapa en la Figura 10, al lugar donde se encuentre nuestra fuente de agua.

Latitud y Longitud de la Fuente de Abastecimiento  
(Automático al mover la flecha dentro del Mapa)

📍 \_\_\_\_\_

📍 \_\_\_\_\_

Figura 9. Latitud y longitud de la fuente de abastecimiento.



Figura 10. Mapa para seleccionar posición de la fuente de Abastecimiento.

Después de completar todos los datos solicitados, es necesario dar clic en el botón **Validar Datos**, Figura 8, si todo es correcto enviará un mensaje de que los datos son correctos, activando el botón de **Guardar**, permitiendo dar clic en él para terminar de guardar la fuente de abastecimiento (Figura 11).



Figura 11. Mensaje de Validación y botón de guardar.

De haber algún error en los datos o faltar algún dato, el sistema enviará un mensaje para que el posible error sea verificado, al corregirlo en necesario volver a dar clic en el botón de **Validar Datos** hasta que envíe el mensaje de que todo está correcto.



## Fuentes de Abastecimiento Guardadas

En esta sección se muestra las fuentes de abastecimiento que han sido guardadas previamente. Mostrando como datos para identificar el nombre que le fue asignado, el tipo de fuente y el gasto en litros por segundo (Figura 12).

 Seleccionar Fuente de Abastecimiento

 Fuentes de Abastecimiento Guardadas

Estas son tus Fuentes de Abastecimiento de Agua.

Nombre del Abastecimiento	Tipo de Fuente	Gasto LPS	Herramientas
Cezac	Pozo	126	  
Cerca Cezac	Pozo	134	  
Cezac 3	Pozo	12	  

Figura 12. Fuentes de Abastecimiento Guardadas.


Cada Fuente de Abastecimiento, muestra un pequeño sub menú, el cual permite ver detalles más específicos de la Fuente; o bien permite eliminarlos o permite usarlos para generar un nuevo escenario (Figura 13).




Figura 13. Sub menú Fuentes de Abastecimiento Guardadas.


## Generar nuevo escenario

Esta sección permite dar de alta un nuevo cultivo para generar un nuevo escenario (Figura 14).


 Generar nuevo escenario


Llene los siguientes datos sobre el cultivo a simular.

 Nombre para identificar el cultivo


 Seleccionar fuente de abastecimiento. ▼

Estación cercana a la fuente de abastecimiento.


 \_\_\_\_\_

 Área de la parcela del cultivo (m<sup>2</sup>)


\_\_\_\_\_

 Selecciona el cultivo ▼


\_\_\_\_\_

 Fecha de Siembra o Trasplante

\_\_\_\_\_

 Selecciona el tipo de suelo ▼

\_\_\_\_\_

 Eficiencia de la tecnología de riego ▼

\_\_\_\_\_



 VALIDAR DATOS  GUARDAR

Figura 14. Generar nuevo escenario.

Los datos necesarios son el nombre para identificar el cultivo, seleccionar la fuente de abastecimiento que se va a utilizar, a partir de este dato el sistema obtiene automáticamente la estación de la Red de Monitoreo Agroclimático del estado Zacatecas más cercana a la fuente de agua, esto para utilizar modelos climáticos para el comportamiento del cultivo. También este dato despliega un mapa interactivo, en el cual, se selecciona el perímetro de la parcela donde se sembrará o trasplantará el cultivo y así calcular automáticamente el área de la parcela en metros cuadrados (Figura 15).

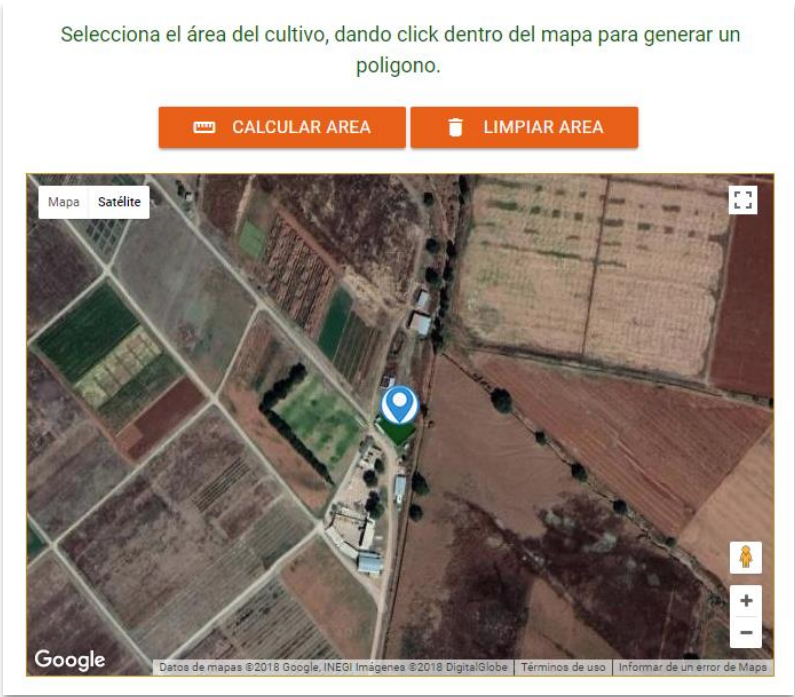


Figura 15. Selección del perímetro de la parcela para cálculo de área.

Para realizar esta acción con el mouse se hace clic en los vértices de la parcela terminando en el primer punto donde se dio clic (Figura 16); si es correcto, el perímetro marcado, dar clic en el botón **Calcular Área** que llena automáticamente el campo área de la parcela en el formulario inicial, si se tiene un error hacer clic en el botón **Limpiar Área** y repetir el proceso anterior.



Figura 16. Delimitar perímetro de la parcela.

Después de haber realizado el paso anterior se continúa llenando los datos necesarios como son el cultivo (maíz, chile, avena, alfalfa), su fecha de siembra o trasplante (excepto para alfalfa ya que el ciclo lo realiza para todo el año con 9 cortes), el tipo de suelo y la eficiencia de la tecnología de riego.

Después de completar los datos solicitados, es necesario hacer clic en el botón **Validar Datos** (Figura 14) si todo es correcto enviará un mensaje de que los datos son correctos, activando el botón de **Guardar**, permitirá hacer clic en él para terminar de guardar la fuente de abastecimiento (Figura 17).

Habiendo algún error en los datos o faltar algún dato, el sistema enviará un mensaje para que se verifique el posible error; al corregirlo en necesario volver a hacer clic en el botón de Validar Datos hasta que envíe el mensaje de que todo es correcto.

Generar nuevo escenario

**Llene los siguientes datos sobre sobre el cultivo a simular.**  
Nombre para identificar el cultivo

Maiz Prueba

Cezac

Estación cercana a la fuente de abastecimiento.

18851-Calera, CEZAC

Área de la parcela del cultivo (m<sup>2</sup>)  
30593.24

Chile

Fecha de Siembra o Trasplante  
22/04/2018

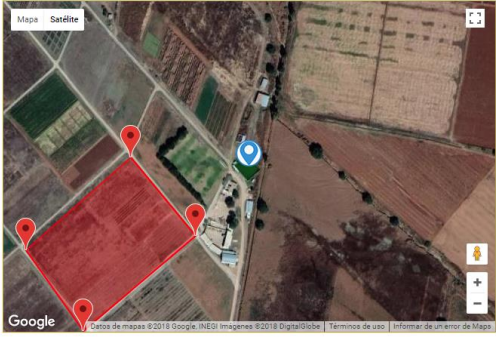
Franca (L)

Alta

✓ VALIDAR DATOS    📁 GUARDAR

Selecciona el área del cultivo, dando click dentro del mapa para generar un polígono.

CALCULAR ÁREA    LIMPIAR ÁREA



¡DATOS CORRECTOS!

Figura 17. Mensaje de Validación y botón de guardar.

## Escenarios de cultivos guardados

En esta sección, permite ver los escenarios guardados, generar un nuevo escenario o eliminar un escenario existente.

Los datos que se muestran son el número de escenario, su fuente de abastecimiento, un menú del escenario que permite ver el reporte del mismo, agregar un nuevo cultivo al escenario o eliminarlo, también muestra los cultivos que forman el escenario, su nombre que lo identifica, el cultivo, tipo de suelo, fecha de siembra o trasplante y el área que ocupa (Figura 18).

Al hacer clic en ver **Reporte del Escenario**, se mostrará el mapa de cómo están distribuidos los cultivos, el comportamiento del cultivo tanto fenológicamente como económicamente, el volumen disponible de agua, el volumen requerido de agua del escenario, el balance de agua y la productividad del agua (Figura 19).



Escenarios de cultivos guardados

Estos son tus Escenarios Guardados.

AGREGAR NUEVO ESCENARIO

Escenario 1 - Fuentes de Abastecimiento: Cezac

Menu del Escenario

Agregar Cultivo al Escenario

Ver Reporte del Escenario

Eliminar Escenario

Eliminar Cultivo

Nombre del Cultivo	Cultivo	Textura	Fecha de Siembra	Área (m²)	Herramientas
Maiz	Maiz	Franca (L)	12-05-2010	14769.95	
Chile	Chile	Franca (L)	20-05-2010	32396.24	
Avena	Avena	Franca (L)	17-11-2010	15411.58	
Alfalfa	Alfalfa	Limo (Si)	01-01-2010	7913.56	

Cultivos del Escenario

Figura 18. Escenarios de cultivos guardados.

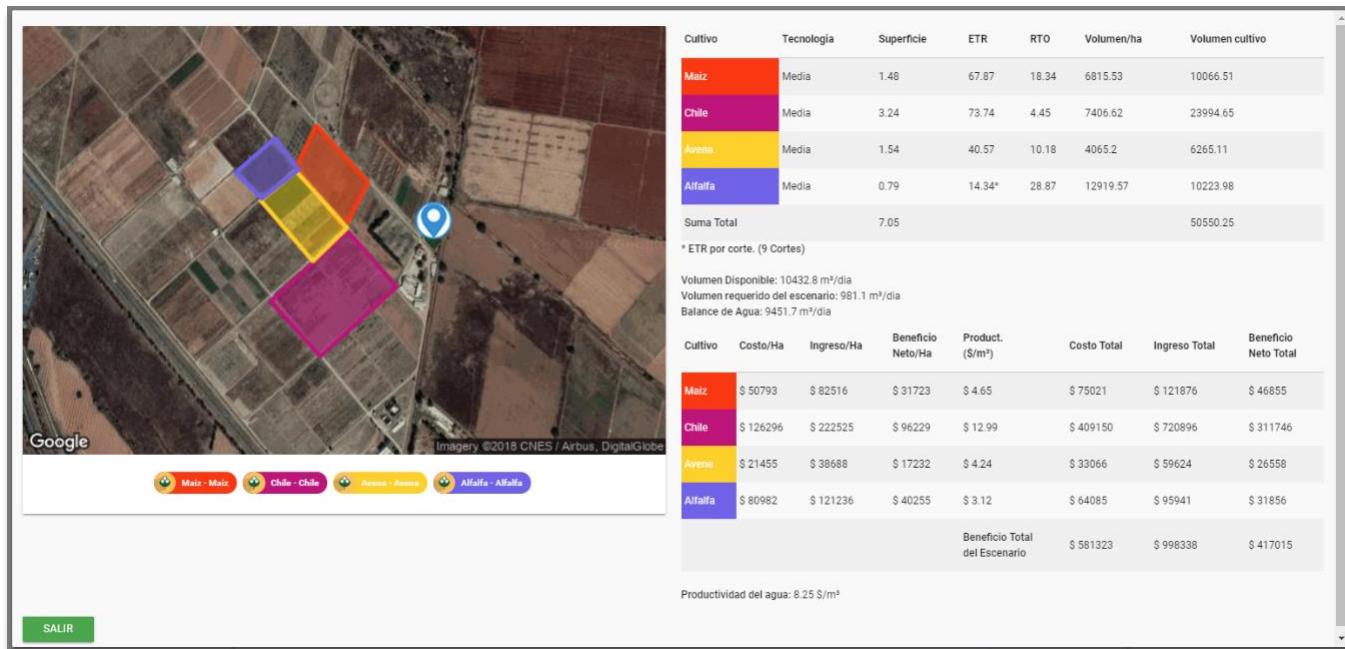


Figura 19. Reporte del Escenario.

## **CONCLUSIONES**

Nuestro compromiso como profesionales, técnicos y productores es 1) incrementar el rendimiento del cultivo y 2) disminuir los costos de producción siempre de manera sustentable con el fin de garantizar los recursos naturales (agua y suelo principalmente) para las siguientes generaciones por lo cual, se hace necesario la utilización de datos climáticos y el conocimiento del requerimiento hídrico del cultivo para hacer una distribución y programación de riego de manera eficiente.

Por lo cual este documento servirá como herramienta para hacer un adecuado plan de establecimiento de los cultivos para el ciclo agrícola que se desee, sin tener la incertidumbre de que no se cubran los requerimientos de los cultivos y disminuya drásticamente el rendimiento o la producción sea nula afectando la relación costo-beneficio de los productores.

## LITERATURA CITADA

- AgroEs.es, 2018 Intervalo de Humedad Disponible IHD - Nivel de Agotamiento Permisible NAP- Déficit de Agua en el Suelo DAS - El agua del suelo en relación con el riego <http://www.agroes.es/agricultura/agua-riegos-regadios/330-el-agua-del-suelo-en-relacion-con-el-riego-agricultura> consultado en julio 2018
- Connor, M. F. 1981. Structured analysis and design technique. In Systems Analysis and Design. A foundation for the 1980's. Edited by William W. Cotterman., J. Daniel Couger., Norman L. Enger., and Frederick Harold. Institute for Certification of Computer Professionals. Massachussets. USA.
- Coyle, R. G. 1978. Management System Dynamics. A Wiley – Interscience Publication. John Wiley & Sons. N.Y. USA.
- Donald, A. 1979. Management information and systems. Second edition. Pergamon Press. New York. USA.
- García N.H. 1999. Aptitud de uso del suelo del distrito de desarrollo rural 004 Celaya, Guanajuato. Una aplicación del enfoque de límites de transición gradual (fuzzy) utilizando SIG. Tesis de Doctor en Ciencias. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. México. D.F.
- María Ramírez, A., Haller, V., Hugo, V., Macías López, A., Baez González, A. D., Victoria, E., ... & Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Edafología. (2007). El proceso de análisis jerárquico con base en funciones de producción para planear la siembra de maíz de temporal.
- Pardos, M., Calama, R., Maroschek, M., Rammer, W., & Lexer, M. J. (2015). A model-based analysis of climate change vulnerability of Pinus pinea stands under multiobjective management in the Northern Plateau of Spain. *Annals of forest science*, 72(8), 1009-1021.
- Ramírez, C., Daza, J., & Peña, A. J. (2015). Tendencia anual de los grados día cafeto y los grados día broca en la región andina

- ecuatorial de Colombia. *Revista Corpoica: Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 16(1), 51-63.
- Rawson, H. M. (2001). Trigo regado: Manejo del cultivo. *Food & Agriculture Org.*.
- Rijsberman, F.; N. Manning; S. De Silva: Aumentar la productividad del agua verde y azul, para equilibrar el agua para alimentación y medio ambiente. Documento base del eje temático agua, alimentación y medio ambiente, En: IV.Foro.Mundial.Del.Agua, Instituto Internacional para Manejo del Agua (IWMI), 2006.
- Ruiz Corral, J. A., Flores López, H. E., Ramírez Díaz, J. L., & González Eguiarte, D. R. (2002). Temperaturas cardinales y duración del ciclo de madurez del híbrido de maíz H-311 en condiciones de temporal. *Agrociencia*, 36(5).
- Saxton K., E.; Rawls W., J.; Romberger J., S. and R. I. Papendick. 1986. Estimating generalized soil-water characteristics from texture. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50: 1031-1036.
- Serna- Pérez, A., Zegbe-Domínguez J. A. y Mena-Covarrubias, J. 2011. Rendimiento y calidad del chile seco Mirasol cultivado bajo riego parcial de la raíz. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 17 (Especial 1): 19-24.
- Servin P. M. (2015). Sistema para programar y calendarizar el riego en los cultivos en tiempo real. Tesis de Maestría. Colegio de Posgraduados, México.
- Yzarra, W., Trebejo, I., & Noriega, V. (2009). Evaluación de unidades térmicas para el crecimiento y desarrollo del cultivo de maíz amarillo duro (*Zea mays*, L.) en la costa central del Perú. Evaluation of heat units for growth and development of hard yellow maize crop (*Zea mays* L.) in the central coast of Peru.

## **REVISIÓN TÉCNICA**

Dr. Jorge A. Zegbe Domínguez  
INIFAP-CEZAC

Dr. Alfredo Lara Herrera  
Universidad Autónoma de Zacatecas

## **DISEÑO DE PORTADA y EDICIÓN**

MC. Miguel Servín Palestina  
ISC. José Israel Casas Flores.

## **Código INIFAP**

MX-0-310205-13-02-11-09-96

## **EDICIÓN**

ISC. José Israel Casas Flores  
MC. Miguel Servin Palestina

## **COMISIÓN EDITORIAL DEL CEZAC**

Presidente: Dra. Raquel K. Cruz Bravo

Secretario: Dr. Luis R. Reveles Torres

Vocal: Dr. Francisco Gpe. Echavarría Cháirez

Vocal: MC. Mayra Denise Herrera

El proceso editorial de esta publicación y el formato electrónico se terminó en diciembre de 2018 en el Campo Experimental Zacatecas, Km 24.5 Carretera Zacatecas-Fresnillo. CP. 98500, Calera de V. R., Zacatecas, México.

Tel. 01 800 088 2222 ext 82328.

[www.zacatecas.inifap.gob.mx](http://www.zacatecas.inifap.gob.mx)

Formato digital, mediante página internet en descargas ilimitadas.

**CAMPO EXPERIMENTAL ZACATECAS**

# DIRECTORIO

## **Ricardo A. Sánchez Gutiérrez** **Director de Coordinación y Vinculación**

Dr.	Guillermo Medina García	Agrometeorología y Modelaje
Ing	José Israel Casas Flores	Agrometeorología y Modelaje
MC.	Nadiezhdá Y. Ramírez Cabral	Agrometeorología y Modelaje
Dr.	Alfonso Serna Pérez	Fertilidad de suelos y nutrición vegetal
Dr.	Francisco G. Echavarría Cháirez	Fertilidad de suelos y nutrición vegetal
Ing.	José Ángel Cid Ríos	Frijol y Garbanzo
MC.	Juan José Figueroa González*	Frijol y Garbanzo
MC.	Mayra Denise Herrera	Frijol y Garbanzo
Dr.	Jorge A. Zegbe Domínguez	Frutales
MC	Valentín Melero Meraz	Frutales
Ing.	Manuel Reveles Hernández	Hortalizas
MC.	Miguel Servin Palestina*	Ingeniería de Riego
Dra.	Raquel Cruz Bravo	Inocuidad de Alimentos
MC	Enrique Medina Martínez	Maíz
MC.	Francisco A. Rubio Aguirre	Pastizales y Cultivos Forrajeros
Dr.	Ramón Gutiérrez Luna	Pastizales y Cultivos Forrajeros
Dr.	Luis Roberto Reveles Torres	Recursos Genéticos: Forestales, Agrícolas Pecuarios y Microbianos
Dr.	Jaime Mena Covarrubias	Sanidad Forestal y Agrícola
Dr.	Rodolfo Velásquez Valle	Sanidad Forestal y Agrícola
MC.	Blanca I. Sánchez Toledano	Socioeconomía

\*Becarios

[www.inifap.gob.mx](http://www.inifap.gob.mx)