

# MANUAL PARA LA CONSULTA Y ANÁLISIS DE DATOS CLIMATOLÓGICOS DEL CENTRO DE DATOS HIDROMETEOROLÓGICOS DEL ESTADO DE CHIHUAHUA.

Noé Chávez Sánchez  
Luis Antonio González Jasso  
Arturo Corrales Suastegui



Centro de Investigación Regional Norte Centro  
Campo Experimental Delicias  
Ciudad Delicias Chihuahua  
Publicación Especial No. 16 agosto 2024

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

DR. VÍCTOR MANUEL VILLALOBOS ARÁMBULA

Secretario

ING. VÍCTOR SUÁREZ CARRERA

Subsecretario de Autosuficiencia Alimentaria

M.V.Z. ARTURO MACOSAY CÓRDOVA

Coordinador General de Ganadería

DR. SALVADOR FERNÁNDEZ RIVERA

Coordinador General de Desarrollo Rural

ING. SANTIAGO JOSÉ ARGÜELLO CAMPOS

Coordinador General de Agricultura

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

DR. LUIS ÁNGEL RODRÍGUEZ DEL BOSQUE

Encargado del Despacho de los Asuntos Correspondientes a la Dirección General  
del INIFAP

DR. EFRAÍN CRUZ CRUZ

Coordinador de Investigación, Innovación y Vinculación

DR. LUIS ORTEGA REYES

Coordinador de Planeación y Desarrollo

LIC. JOSÉ HUMBERTO CORONA MERCADO

Coordinador de Administración y Sistemas

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

DR. JOSÉ ANTONIO CUETO WONG

Director Regional

DR. JUAN BAUTISTA RENTERIA ÁNIMA

Director de Investigación

ING. RICARDO CARRILLO MONSIVÁIS

Director de Administración

## **CAMPO EXPERIMENTAL DELICIAS**

M.C. OMAR CASTOR PONCE GARCÍA

Jefe del Campo Experimental

**SECRETARÍA DE DESARROLLO RURAL  
GOBIERNO DEL ESTADO DE CHIHUAHUA**

MTRA. MARÍA EUGENIA CAMPOS GALVÁN  
Gobernadora Constitucional del Estado de Chihuahua

MTRO. MAURO PARADA MUÑOZ  
Secretario de Desarrollo Rural

ING. JOSÉ EDUARDO CABADA ESTRADA  
Subsecretario de Desarrollo Rural

ING. MAURICIO HERNÁNDEZ CERÓN  
Director de Desarrollo Agropecuario

LIC. PRISCILA GABRIELA CONTRERAS GARCÍA  
Directora de Planeación

ING. LUIS ALBERTO HERNÁNDEZ PÉREZ  
Supervisor Administrativo del Departamento  
de Coordinación de Residentes

**MANUAL PARA LA CONSULTA Y ANÁLISIS DE DATOS CLIMATOLÓGICOS DEL  
CENTRO DE DATOS HIDROMETEOROLÓGICOS DEL ESTADO DE CHIHUAHUA.**

Noé Chávez Sánchez

Investigador del Programa de Matemáticas Aplicadas  
Campo Experimental Delicias

M.C. Luis Antonio González Jasso

Investigador del Programa de Vulnerabilidad Climática  
Campo Experimental Pabellón

Dr. Arturo Corrales Suastegui

Investigador del Programa de Vulnerabilidad Climática  
Campo Experimental Pabellón

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias  
Centro de Investigación Regional Norte Centro  
Campo Experimental Delicias  
Ciudad Delicias, Chihuahua, México  
Agosto 2024.

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

Derechos Reservados ©

Publicación especial No. 16

**MANUAL PARA LA CONSULTA Y ANÁLISIS DE DATOS CLIMATOLÓGICOS DEL  
CENTRO DE DATOS HIDROMETEOROLÓGICOS DEL ESTADO DE CHIHUAHUA.**

Primera Edición 2024

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, por registro u otros métodos, sin el permiso previo y por escrito de la institución.

Hecho en México

## Contenido

1. Introducción	1
2. Configuración de la base de datos y desarrollo de software de aplicaciones web	2
3. Centro de datos hidrometeorológicos de Chihuahua	3
3.1. Modelo numérico WRF	3
4. Base de datos de clima	7
5. Grados día de desarrollo	10
6. Horas frío	11
7. Pronóstico de heladas	13
7.1. Elementos que promueven la formación de heladas.	14
7.2. Modelos de pronóstico de heladas.	14
7.3. Estimación del pronóstico de heladas	15
7.4. Mapas diarios.	16
8. Literatura citada	18

## Índice de figuras

Figura 1	Pantalla de la página web del centro de datos hidrometeorológicos de Chihuahua.	3
Figura 2	Menú de opciones de la selección datos hidrometeorológicos y menú de opciones de las estimaciones de WRF.	5
Figura 3	Dominios de pronóstico de WRF, a nivel nacional y estatal.	5
Figura 4	Pronóstico WRF de la precipitación acumulada en 24 h y temperatura máxima a nivel nacional.	6
Figura 5	Pronóstico WRF a nivel estatal de las variables: precipitación acumulada en 24 h, temperatura máxima, temperatura máxima > 30 °C y dirección del viento.	7
Figura 6	Menú de selección de consulta de datos climatológicos, estaciones de la red y etiqueta de la estación seleccionada para consulta.	8
Figura 7	Selección de la estación por municipio, periodo de consulta, y botones de opciones de salida de resultados de resultados.	8
Figura 8	Tabla de resultados del periodo de consulta de una estación climatológica y botones de opciones para mostrar los resultados en pantalla, o archivo Excel.	9
Figura 9	Menú para el cálculo de GDD, selección de la estación, método, temperaturas umbrales, periodo de análisis y tabla de resultados.	11
Figura 10	Menú para el cálculo de horas frío, selección de la estación, método, periodicidad, periodo de análisis y tabla de resultados.	13
Figura 11	Estimación de la ocurrencia de heladas mediante el modelo psicrométrico y el modelo WRF.	16

Figura 12

Mapa de humedad relativa diaria, con información de las estaciones meteorológicas automatizadas del centro de datos hidrometeorológicos de Chihuahua.

17

## 1.- Introducción

Chihuahua tiene una población 3.7 millones de habitantes, donde el 87% habita en zonas urbanas y 13% en el área rural; contribuye con el 3.8% del PIB, que representa el 9° lugar nacional, se realizan actividades económicas de diferente naturaleza, donde las actividades primarias representan el 6.7% del PIB estatal, las actividades secundarias representan el 43.7% y las actividades terciarias el 49.6%. (INEGI, 2018)

El clima es un recurso variable en el tiempo y el espacio por lo que debe considerarse como un factor promotor del aprovechamiento de los recursos vegetales, animales, suelo y agua (Sivakumar et al., 2000). Las investigaciones sobre las condiciones meteorológicas y el cambio climático han sido de gran importancia en la evolución de la humanidad, ya que permite predecir riesgos en diferentes actividades primarias, la construcción, aviación, entre otros (Ziolkowska, et al., 2017).

En Chihuahua se presentan diversos contrastes climáticos, regiones que alcanzan temperaturas de 45 °C en el verano en las zonas desérticas y en el invierno existen regiones con mínimas de -23.0 °C en la Sierra Madre Occidental (Sierra Tarahumara). En el 40% del territorio estatal existe clima cálido y muy cálido seco, en las llanuras del norte y noreste del estado; la partes bajas de la Sierra Madre Occidental representan el 33% de la superficie estatal con clima templado y cálido semiseco con lluvias en verano; las sierras y partes altas ocupan el 24% del territorio, con clima semifrío subhúmedo, con lluvias en verano e invierno y otras zonas con clima templado subhúmedo; la temperatura media anual en el estado es de 17.0°C, las lluvias son escasas y se presentan durante el verano, la precipitación anual varía de 240 a 780 mm, con un promedio anual de 510 mm (INEGI, 2018; Medina, et al., 2006).

En el sector agrícola, Chihuahua es líder nacional en la producción de manzana, nuez, algodón, alfalfa y avena para grano, ocupa el segundo lugar de producción de chile verde y cebolla, se tiene el tercer lugar en la producción de maíz para grano y sandía, ocupa el cuarto lugar en la producción de frijol. En la producción forestal, Chihuahua tiene el segundo lugar en la producción de madera de encino y tercer lugar en madera de pino. En el sector pecuario, Chihuahua es líder nacional en la exportación de ganado bovino y se destaca en la producción de leche y carne de bovino.

Dado el liderazgo de Chihuahua en la diversidad y altos niveles de producción en diferentes sistemas de producción agrícola, pecuario y forestal, así como los contrastes de relieve, clima y suelos que originan un desarrollo heterogéneo de la cubierta vegetal y regiones específicas de alto potencial para la producción agrícola, pecuaria y forestal, se estableció una red de estaciones agrometeorológicas e hidrológicas automatizadas de registro continuo, enlazadas por teledetección e integradas a una base de datos hidrometeorológicos a nivel estatal.

Para el uso de la información se construyó una plataforma web que permite el

acceso oportuno a información climatológica y generación de modelos para la estimación de índices climáticos, pronóstico de eventos climáticos adversos, pronóstico fenológico de cultivos, plagas, enfermedades y otras herramientas para el manejo eficiente del agua con disponibilidad para su uso por parte de productores, técnicos, agentes de cambio y dependencias municipales para el apoyo de la toma de decisiones en las actividades del sector agrícola, pecuario, forestal, pesquero y del medio ambiente, de tal forma que se logre un incremento en la productividad de estos sistemas de producción y sean sustentables; así mismo la información climatológica permite definir estrategias de reconversión y nuevas prácticas de manejo para mitigar los efectos del cambio climático.

## **2.- Configuración de la base de datos y desarrollo de software de aplicaciones web**

Con el objetivo de consolidar una red de estaciones agrometeorológicas automatizadas que permita el registro continuo de variables meteorológicas, se diseñó e implementó una base de datos que proporciona información meteorológica en tiempo real e histórica. La base de datos contiene información meteorológica generada por las estaciones meteorológicas automatizadas, así como por el modelo numérico Weather Research & Forecasting Model (WRF) y está almacenada en el Centro de Datos Hidrometeorológicos del Estado de Chihuahua. La información está disponible tanto para su descarga como para generar los índices climatológicos, tecnología de alertas fitosanitarias y aplicaciones para el manejo del riego en tiempo real.

Se diseñó y configuró una base de datos de la unidad central sobre el motor SQL Server, para ordenar y almacenar la información recibida de las estaciones climatológicas e hidrológicas automatizadas en un servidor. Por otra parte, se creó una página web para proporcionar acceso a la información y permitir su uso en aplicaciones web y dispositivos móviles, generar los cálculos de índices climatológicos, modelos de cuantificación térmica como horas frío y unidades calor, así como los medios de consulta y resolución de solicitudes de los usuarios. Esta base de datos y las aplicaciones construidas permite definir estrategias y prácticas de manejo en las diferentes actividades productivas del sector agrícola, pecuario, forestal, pesquero y del medio ambiente.

La página web del Centro de Datos Hidrometeorológicos de Chihuahua se encuentra en la dirección: <https://secrural.chihuahua.gob.mx/sdr/>. Se compone de las secciones: Datos Hidrometeorológicos, Alertas Fitosanitarias, Manejo del Riego en Tiempo Real, Manuales y Folletos, Usuario, Contacto. En la figura 1, se muestra la pantalla de la página con sus diferentes secciones.



**Figura 1. Pantalla de la página web del centro de datos hidroclimatológicos de Chihuahua.**

Las aplicaciones web permiten la disponibilidad de información meteorológica generada por las estaciones, cálculo de unidades frío, grados día de desarrollo, pronóstico climático a siete días y pronóstico de heladas con información del modelo WRF, aplicaciones web para alertas fitosanitarias, aplicaciones en dispositivos móviles para el manejo del riego en tiempo real, posteriormente se integrarán aplicaciones para determinar puntos de calor en áreas forestales, determinación de sequía, alertas de plagas forestales e información para relacionar los índices de agostadero con la climatología, entre otras estimaciones.

### **3. Centro de datos hidrometeorológicos de Chihuahua**

#### **3.1. Modelo numérico WRF**

El modelo numérico para el pronóstico meteorológico Weather Research and Forecasting (WRF), permite realizar la simulación de la atmósfera, es el resultado de un esfuerzo de múltiples agencias para proporcionar un sistema de modelo de pronóstico de mesoescala que tiene como objetivo el avance tanto de la comprensión y simulación del tiempo meteorológico, así como acelerar la transferencia de los avances de la investigación hacia la parte operativa. El modelo fue desarrollado por el National Center for Environmental Prediction (NOAA/NCEP), NOAA Earth System Research Laboratory Global System Division (NOAA/ESRL/GSD), National Center for Atmospheric Research (NCAR), Mesoescala Microscale Meteorology (MMM) Division, Department of Defense's Air Force Weather Agency (AFWA) y la Federal Aviation Administration (FAA), (Janjic, et al 2010). El WRF ha sido ampliamente utilizado en

simulaciones climáticas regionales, en interacción tierra-atmosfera y para simulación hidrológica (Liu, et al., 2021, Chen, et al., 2022). En esta implementación del WRF se utiliza el núcleo dinámico Advanced Research WRF (ARW), el cual es desarrollado principalmente por el NCAR. Es un subconjunto del sistema de modelado WRF que además del núcleo, abarca esquemas para la física, opciones numéricas y dinámicas, rutinas de inicialización y un paquete de asimilación de datos.

El modelo se integra diariamente durante 174 horas de simulación. Se ejecuta en un dominio espacial, que cubre completamente a México (d01) con un paso de malla horizontal de 12 km y un dominio anidado (d02) de alta resolución espacial de 3 km, que cubre completamente al estado de Chihuahua. Las condiciones iniciales y de frontera se obtienen a partir de las 0000 UTC del Global Forecast System (GFS). El dominio d02 se inicializa junto con d01 y se ejecuta durante 54 horas de simulación. Las primeras 6 horas se consideran spin-up del modelo y se descartan para ambos dominios.

El modelo WRF genera salidas horarias de las variables de temperatura media, velocidad del viento y reflectividad máxima; a escala diaria se incluye las variables: precipitación, temperatura media, máxima y mínima, temperatura mayor de 30 °C, humedad relativa, velocidad y dirección del viento, las cuales se postprocesan y se muestran mapas a dos dominios uno a nivel nacional, con proyección a siete días y otro a nivel estatal con proyección a dos días.

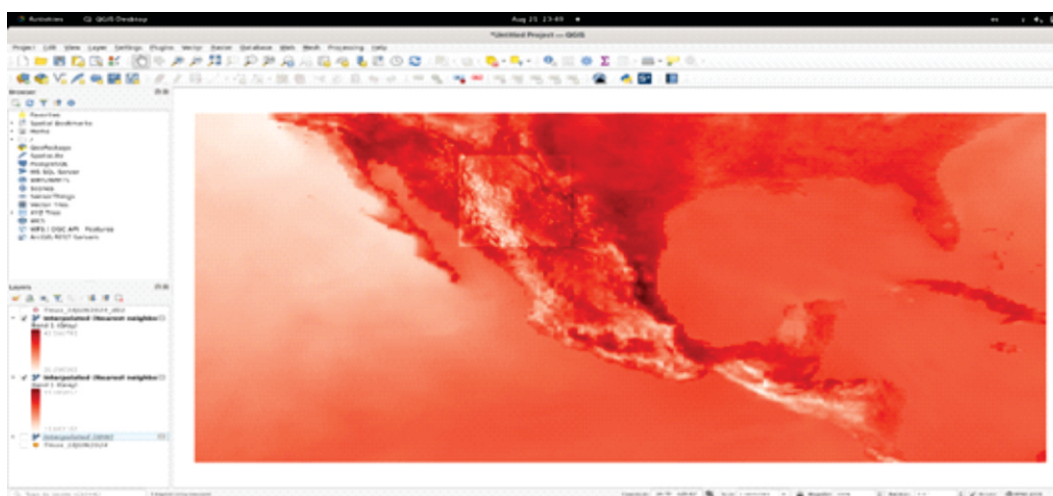
En la figura 2, se muestra el menú de opciones de consulta de la sección de datos Hidrometeorológicos de la página web del Centro de Datos Hidrometeorológicos de Chihuahua; donde se puede observar que se realizan las estimaciones de: WRF, Clima, Pronóstico de Heladas, Grados día de Desarrollo, Horas Frío y Mapa diarios. En la opción de WRF se realizan los pronósticos diarios de las variables: precipitación, temperatura media, máxima, mínima, temperatura mínima < 2 °C, humedad relativa, índice de temperatura y humedad relativa, temperatura Max > 30 °C y velocidad media del viento a 10 m de altura de la superficie del suelo, también se estima a nivel horario las variables de temperatura media, velocidad y dirección del viento y reflectividad máxima.

Los resultados del pronóstico de WRF se muestran en un dominio nacional de 12 km con proyecciones a 168 horas o de siete días, a nivel estado de Chihuahua se muestran a un dominio de 3 km con proyecciones a 48 horas o dos días. Las salidas del modelo para ambos dominios se guardan como tablas, en archivos con formato txt, para inclusión en una base de datos en formato shp, para posterior procesamiento de la información en Sistemas de Información Geográfica (GIS) y mostrar mapas a nivel estatal y nacional, además de pasar esta información a la base de datos meteorológica que alimenta a los modelos anteriormente señalados.

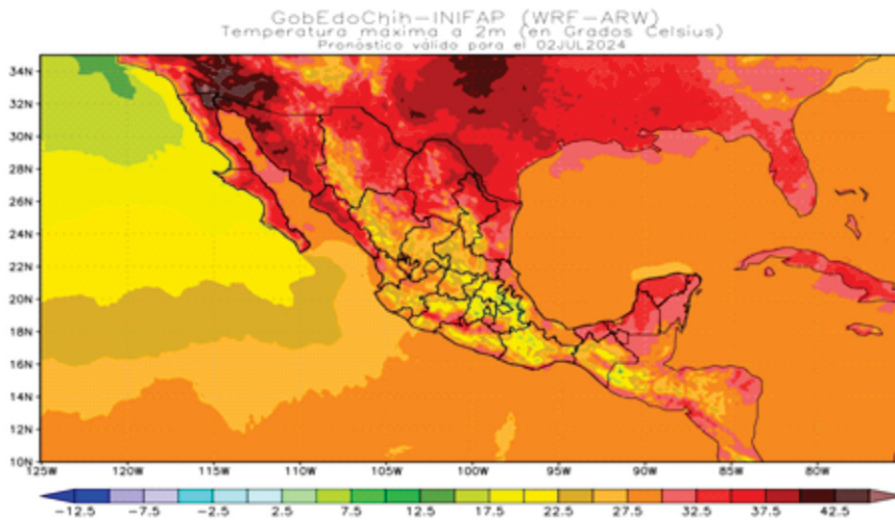
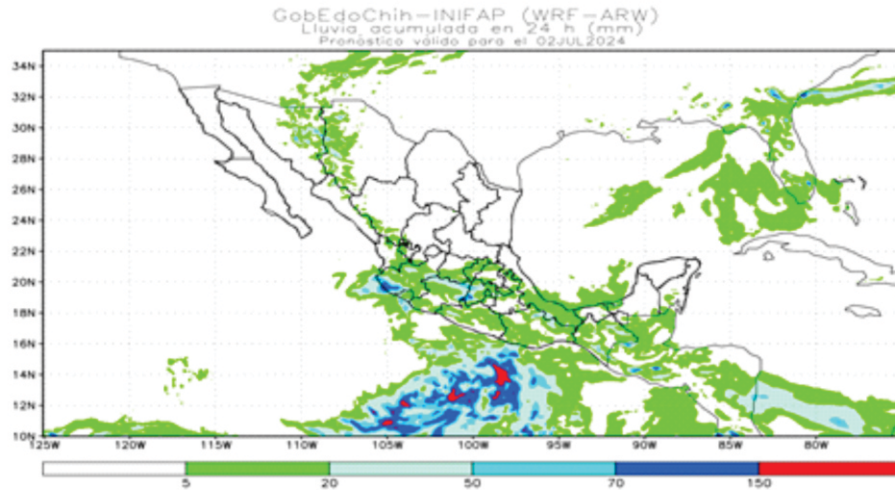


**Figura 2. Menú de opciones de la sección, datos hidrometeorológicos y menú de opciones de las estimaciones de WRF.**

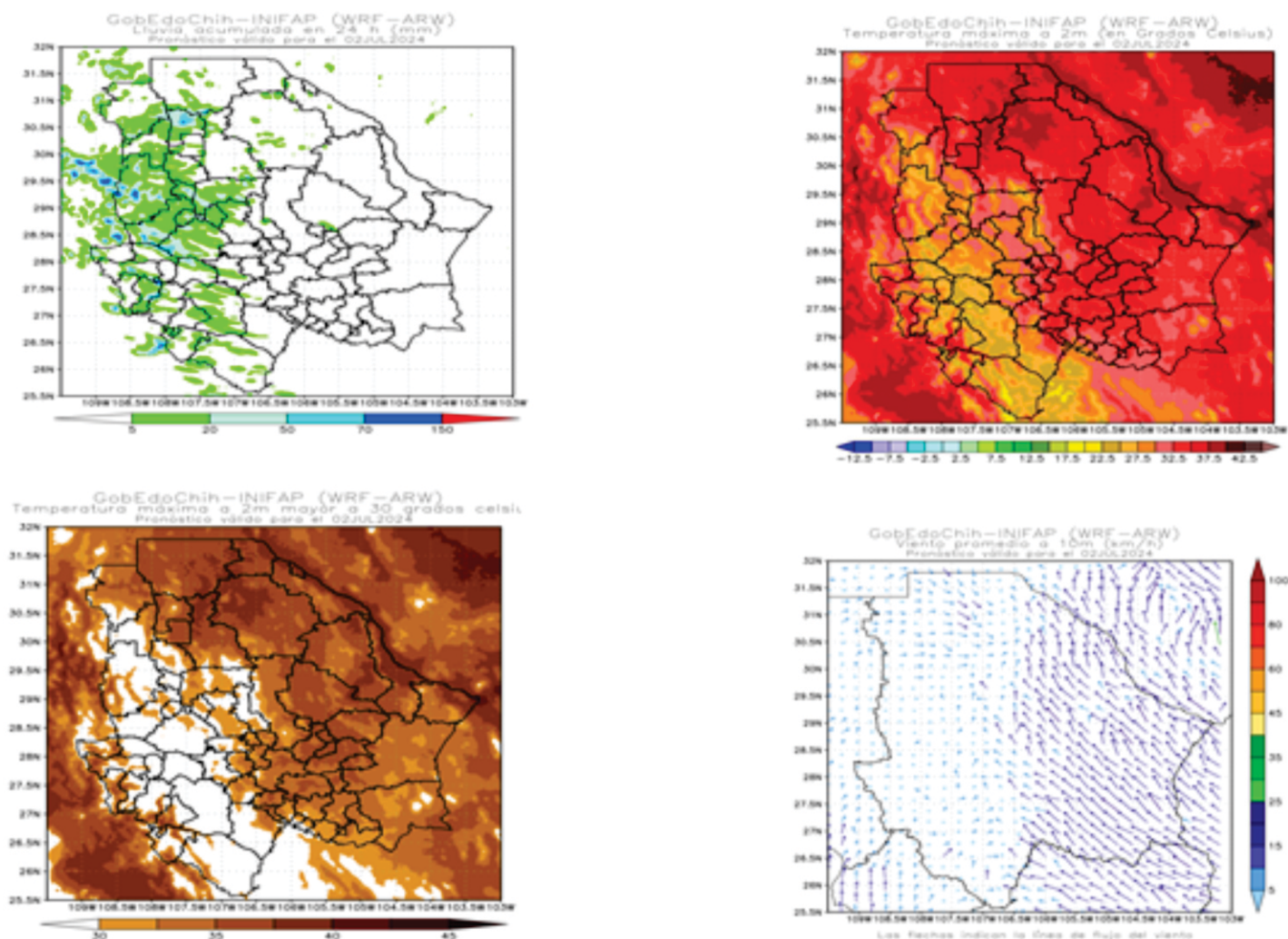
En la figura 3, se muestra una representación de los dominios de pronóstico de WRF, a nivel nacional y estatal para el estado de Chihuahua, donde se puede apreciar la mayor resolución a nivel estatal por tener información 16 veces más detallada que a nivel nacional. En la figura 4, se muestran mapas nacionales del pronóstico de precipitación acumulada en 24 horas y temperatura máxima para el día 2 de julio de 2024 y en la figura 5, se muestran mapas estatales sobre el pronóstico de precipitación acumulada en 24 h, temperatura máxima, temperatura máxima > 30 °C y velocidad y dirección del viento.



**Figura 3. Dominios de pronóstico de WRF, a nivel nacional y estatal.**



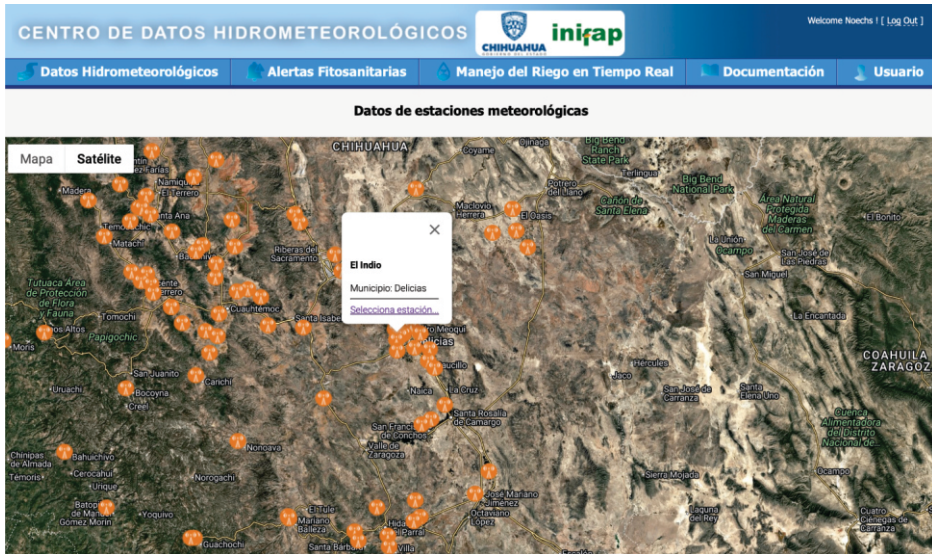
**Figura 4. Pronóstico de WRF de la precipitación acumulada en 24 h y temperatura máxima a nivel nacional.**



**Figura 5. Pronóstico WRF a nivel estatal de las variables: precipitación acumulada en 24 h, temperatura máxima, temperatura máxima > 30 °C velocidad y dirección del viento**

#### 4. Base de datos de clima.

En esta sección se realiza la consulta de datos históricos de la información climatológica. Para hacer la consulta se entra a la sección de Datos Hidrometeorológicos, en este menú se selecciona la opción de clima, luego aparece un mapa donde se muestra la ubicación de cada una de las estaciones climatológicas automatizadas que integran la red; posteriormente se debe seleccionar la estación de la cual se desea realizar la consulta y se muestra una etiqueta con el nombre de la estación y municipio donde se ubica, detalles que se muestran en la figura 6, luego aparece el menú que indica el nombre de la estación seleccionada y municipio de su ubicación, así como la opción de fecha inicial y final para definir el periodo de consulta; en la figura 7 se muestran la selección del periodo de consulta y opciones de reportar los resultados, mostrarlos en una tabla en pantalla o exportarlos en un archivo Excel.



**Figura 6. Menú de selección de consulta de datos climatológicos, estaciones de la red y etiqueta de la estación seleccionada para consulta.**



**Figura 7. Selección de la estación por municipio, periodo de consulta y botones de opciones de salida de resultados.**

Una vez definido el periodo de consulta, la aplicación muestra una tabla con datos diarios de las variables: Precipitación, expresada en mm, temperatura máxima, temperatura mínima, temperatura media, expresadas en °C, velocidad del viento expresada en m/seg, dirección del viento, expresada en grados del azimut, radiación solar, expresada en W/m<sup>2</sup> por día, humedad relativa, expresada en porcentaje; las estaciones toman automáticamente la lectura de estas variables cada 15 minutos y se reportan vía Sistema Global para las Comunicaciones Móviles (GSM por sus siglas en inglés) a la unidad central. En forma continua se integra la información a la base de datos, lo cual permite calcular datos de forma horaria, diaria, decenal y mensual, con la finalidad de contar con determinaciones en tiempo real a partir del comportamiento climático incidente.

Usando la información de las temperaturas máxima y mínima, humedad relativa, radiación solar y velocidad del viento, se estima la evapotranspiración de referencia diaria, expresada en mm, utilizando el método de Penman-Monteith, descrito en Allen, et al., 2006, la cual es necesaria para realizar la estimación del consumo de agua de los cultivos.

Los resultados de la consulta se muestran en pantalla en una tabla donde en cada renglón corresponde a la fecha diaria y en las columnas se muestran cada una de las variables, como se muestra en la figura 8. Por motivos de una mejor disponibilidad de la información, solo se muestran los datos diarios, pero de ser requerido pueden entregarse los datos de cada 15 minutos con previa solicitud.



**Figura 8. Tabla de resultados del periodo de consulta de una estación climatológica y botones de opciones para mostrar los resultados en pantalla o archivo Excel.**

La información reportada por la base de datos es materia prima fundamental para realizar análisis climatológicos, aplicar modelos fenológicos de cultivos e insectos plaga, pronóstico de enfermedades, programación del riego en tiempo real, estimación de varios índices climáticos, como índices de sequía, estimación de riesgo de incendios forestales, estudios ambientales que permiten programar actividades para eficientar los procesos, predecir riesgos en diferentes actividades primarias, obras civiles, protección civil, aviación, entre varias de las actividades de los diferentes sectores, como lo señalan Mahmood, et al., 2017.

## 5. Grados día de desarrollo

En el desarrollo de cultivos e insectos plaga la temperatura tiene un efecto determinante, en base a estudios regionales se determina para cada plaga y cultivo la relación directa entre temperatura y proporción de crecimiento lo cual permite estimar los parámetros vitales de desarrollo, se estima la temperatura mínima en la que se activa el crecimiento, a la cual se le conoce como temperatura base, luego se estima la temperatura máxima hasta en la que el organismo deja de crecer, a la que se le conoce umbral máximo, ambas estimaciones se consideran como temperaturas umbrales, en ese intervalo de temperaturas se estima los grados día de desarrollo (GDD) que se acumulan por día, los cuales son nombrados constantes térmicas; esta determinación se considera una medida alterna del tiempo fisiológico requerido para completar el proceso del evento en cada fase de desarrollo de un organismo, (Higley, et al., 1986).

La tasa de desarrollo de insectos y cultivos es medida de forma más precisa por tiempo fisiológico expresado en GDD, en comparación con el tiempo calendario (Taylor, 1981). En base a este criterio se han definido las constantes térmicas de varios cultivos como trigo, maíz, papa, avena, caña de azúcar, arroz, sorgo, algodón y numerosas especies de árboles frutales (Parthasarathi, et al., 2013), también una diversidad de insectos plaga (Damos y Savopoulou, 2012).

Para realizar la estimación de GDD, en la opción de Datos Hidrometeorológicos, se selecciona la opción de Grados Día de Desarrollo, luego aparase el menú para seleccionar estación climatológica, método de estimación que puede ser Residual, Triangular simple, Seno simple, estos métodos son los que antiguamente se usaban cuando existía solo un dato diario de la temperatura máxima y mínima, donde se realizaba una estimación de la dinámica de la temperatura en el día para estimar la cantidad GDD diariamente, como lo describen Medina y Ruiz, 1992; dado que se tiene información de la temperatura cada 15 minutos, se incluyó el método integral, donde se estiman los GDD que se acumulan en el rango de las temperaturas umbrales por cada uno de los 96 datos diarios de temperatura, haciendo una integración de cada lectura y su acumulación diaria, asemejándose al criterio original donde se usa la información del hidrotermógrafo como lo describe Wang, (1960).

Después se debe seleccionar el periodo de análisis y definir la temperatura base y la del umbral máximo, esta opción permite estimar los GDD específicos para diferentes especies de plantas e insectos. En la figura 9, se muestra el menú correspondiente y se muestra la tabla de resultados, al final del periodo se reporta la acumulación total de los GDD; también existe la opción de enviar los resultados a un archivo Excel.



**Figura 9. Menú para el cálculo de GDD, selección de la estación, método, temperaturas umbrales, periodo de análisis y tabla de resultados.**

## 6. Horas frío

Los árboles caducifolios presentan dormancia al final del otoño, cuando tiran las hojas y suspenden el crecimiento sin embargo se presentan varios cambios fisiológicos. Las yemas permanecen latentes durante el invierno y parte de la primavera, el tiempo de brotación depende de la exposición al frío del invierno y del calor de la primavera. Los estados dormantes de las yemas se clasifican como endormancia que se presenta en invierno, también conocida como dormancia profunda y es controlada dentro de la estructura del árbol, y la fase de ecodormancia que ocurre al final del invierno e inicio de la primavera y es controlada por el ambiente (Dennis, 2003).

La endormancia, está influenciada por las condiciones del ciclo precedente y determina las características del siguiente, afectando la intensidad y distribución de la brotación, la cual constituye el principal factor de producción. La salida del reposo es promovida principalmente por bajas temperaturas, donde se requiere de la acumulación cuantitativa de cierta cantidad de frío y solo una parte de ese requerimiento puede ser sustituido por otros medios (Faust, et al., 1997).

La mínima cantidad de frío necesario para salir de la endodormancia es conocido como requerimiento de frío, y el mínimo calor necesario para salir de la ecodormancia es conocido como requerimiento de calor, ambos requerimientos son específicos para especies y cultivares (Pope, et al., 2014). Fuera del periodo invernal existen otros factores que pueden llevar a las yemas a la inactividad, puede ser por condiciones ambientales desfavorables, como temperaturas bajas, sequía, días cortos y baja calidad de la luz (Campoy, et al., 2011).

Los árboles deben completar sus requerimientos de frío y calor para romper el reposo, los cuales deben ser sintonizados a cierto régimen climático, por lo que es fundamental considerar la forma en que influye la temperatura en el periodo de reposo, donde se identifican cuatro condiciones: a) Existe una temperatura óptima para el rompimiento del reposo, específica para cada especie y variedad del frutal. b) Dependencia del grado de negación del frío por altas temperaturas a lo largo del ciclo. c) Promoción del efecto del frío por periodos cortos de temperaturas altas o periodos largos de temperatura moderada en el ciclo diario. d) Dependencia del nivel de negación de frío por alta temperatura, dependiendo de su duración en el ciclo diario de temperaturas bajas, (Fishman, et al.,1987).

En base a la influencia de las temperaturas bajas y su alternación con periodos de temperaturas altas, existe una influencia muy fuerte de la dinámica de la temperatura sobre las condiciones en la liberación del reposo que es perceptible y establece la necesidad de incluir la dinámica de la temperatura en todo modelo de pronóstico de la completez de frío, para suspender el reposo.

Debido a la importancia del frío en la producción de frutas, se han desarrollado varios modelos para este factor agroclimático. Inicialmente se consideraba que las temperaturas debajo de cierto umbral contribuían a completar el requerimiento de frío, pero luego se determinó que las temperaturas congelantes no son efectivas, lo que llevó a desarrollar el Modelo de Horas Frío, donde se considera que cada hora con una temperatura dentro del rango de 0 a 7 °C contribuye con una hora de frío, las cuales se acumulan durante el periodo de reposo. Posteriormente se descubrió que temperaturas cálidas tienen efecto negativo en la acumulación de frío, criterio bajo el cual se desarrolló el método Utah, desarrollado por Richardson, et al., (1974), modelo que caracteriza una ponderación diferencial a rangos de temperatura, incluyendo pesos negativos a temperaturas arriba de 15.9 °C; luego se han realizado modificaciones al modelo de Utah, para diferentes regiones (especialmente las de invierno moderado), especies, contextos y rangos de temperatura, como el modelo de Carolina del Norte propuesto por Shaltout y Unrath (1983), existen otros modelos como el polinomial, descrito por Medina y Ruiz, (1992).

La estimación de la acumulación de horas frío se encuentra en la sección de Datos Hidrometeorológicos, luego de seleccionarla, se muestra el menú para la selección de la estación de donde se obtendrá la estimación, el método, donde existen las opciones de Utah, Polinomial, Carolina del Norte y da Mota, luego la opción de periodicidad para la acumulación que puede ser horaria, diaria y mensual, y después se define la fecha inicial y final del periodo de análisis. El cálculo se realiza considerando las 96 observaciones diarias de cada 15 minutos, en base a los rangos de temperatura definidos por cada uno de los métodos y se reportan las horas frío, acumuladas según el rango de periodicidad seleccionado, en el reporte de resultados existe la opción de enviar los resultados a un archivo Excel, como se muestra en la figura 10.



**Figura 10. Menú para el cálculo de horas frío, selección de la estación, método, periodicidad, periodo de análisis y tabla de resultados.**

## 7. Pronóstico de heladas

Desde un punto de vista meteorológico, una helada es definida por la condición que existe cuando la temperatura de la superficie cae por debajo de los cero grados centígrados. Típicamente, las altas y bajas temperaturas extremas se presentan en regiones cálidas y frías (Matías, et al., 2014), también se presentan en climas templados, donde se considera una temperatura extrema cuando esta desciende más de lo normal. Cada año México se ve afectado por diversos fenómenos meteorológicos como huracanes, que impactan de forma rápida y violenta, pero son las heladas las que afectan de forma lenta y destructiva, causando graves daños a la agricultura.

Las heladas en México ocurren principalmente en los meses de noviembre a marzo, aunque son las heladas tempranas y tardías (en los meses de octubre y abril-mayo, respectivamente) las que son consideradas más peligrosas, ya que las primeras dañan las cosechas o frutos, y las segundas, a las plántulas de cultivos en sus brotes iniciales, flores, brotes, yemas florales y vegetativas en proceso de brotación (Campos, 2005). La afectación que tiene un cultivo por causa de una helada depende de su etapa de desarrollo. Una planta es más afectada por una helada durante la floración y el llenado del fruto (Moller, et al., 2016).

Las condiciones ambientales se pueden originar heladas de dos tipos: advectiva y por radiación o una combinación de ambas (Verdes, et al., 2000). Una helada advectiva es aquella que se asocia con el paso de un frente frío, mientras que una helada por radiación es aquella en la que se enfrían las capas bajas de la atmósfera y existe un viento en calma que no permite que se mezcle con las capas superiores que son más cálidas (Campos, 2005). De cualquier tipo de helada que se trate, puede representar graves consecuencias en la agricultura.

Mediante la automatización de la recolección de información climática por medio de una red de estaciones climatológicas automatizadas, se pueden generar

modelos que permitan pronosticar una helada con horas o días de antelación. Los pronósticos precisos de una posible helada son necesarios en la agricultura para poder tomar acciones que permitan mitigar los efectos adversos (Lhomme y Guillioni 2004) de forma eficaz y reducir considerablemente los efectos económicos.

### **7.1. Elementos que promueven la formación de heladas**

Las condiciones presentes en la atmosfera se manifiestan a través de los elementos del tiempo, como son temperatura, humedad relativa, precipitación, punto de rocío, presión atmosférica, dirección y velocidad del viento, nubosidad, radiación global, entre otra, estos elementos son variables de un punto a otro y sobre una línea de tiempo. Los elementos que más se relacionan sobre la creación de heladas son la nubosidad, el viento, la humedad y la radiación solar (Matías et al., 2014).

Como se mencionó anteriormente, el viento permite que el aire frío y caliente más cercano al suelo se mezclen, lo que hace menos favorable a la formación de una helada. A partir de esta afirmación se puede concluir que, con viento en calma, es más propensa una helada por radiación, pero según las condiciones del terreno, se puede presentar una inversión térmica con la presencia de valles, donde el aire frío superior es arrastrado a zonas más bajas, lo que puede provocar una helada.

La nubosidad presente, disminuye la pérdida de calor del suelo por radiación. De presentarse la condición de que el punto de rocío sea menor a la temperatura del aire, se produce una capa delgada de escarcha, conocida como escarcha blanca. Por lo tanto, con el cielo despejado favorece la pérdida de calor hacia la atmósfera, y por lo tanto la presencia de heladas.

Con respecto de la humedad, si esta es alta y existen bajas temperaturas se puede producir una nevada, de lo contrario se puede presentar una helada.

### **7.2. Modelos de pronóstico de heladas**

Existen varios criterios como calendarios dinámicos para el pronóstico de heladas, generado con métodos estadísticos donde se relaciona información actual e histórica de índices de El Niño Oscilación del Sur, correlacionada con información histórica de temperaturas mínimas diarias, a gran escala, donde se identifica el número de días con heladas en los meses de interés, por lo que se considera como un calendario agrometeorológico dinámico que no proporciona un pronóstico en que día en específico sucede una helada, únicamente da una idea del posible comportamiento de la temperatura mínima mensual, por lo que se pueden considerar como una herramienta para predecir el número posible de días con heladas a presentarse en el mediano-largo plazo, que puede ser útil para identificar regiones con susceptibilidad a heladas (Corrales, et al, 2014).

Existe otra forma de hacer el pronóstico de heladas, mediante la estimación de la temperatura mínima en el modelo de WRF, donde se ha correlacionado los resultados de este método con la temperatura real registrada en 240 estaciones

climatológicas automatizadas distribuidas en el país, en series de tiempo de uno a cinco días; se encontró una correlación de 0.73 a 0.80, con un ligero sesgo cálido, por lo que se considera como un criterio confiable (Corrales, et al., 2015).

El pronóstico de heladas también se puede realizar mediante el modelado psicrométrico de heladas por radiación, el cual se basa en la comparación de la temperatura del termómetro húmedo con el termómetro seco, dado que las estaciones climatológicas automatizadas integradas en la red del Centro de Datos Climatológicos de Chihuahua, no cuentan con el dato de temperatura de termómetro húmedo y si se tiene el dato de humedad relativa; se realiza la estimación de la temperatura del termómetro húmedo considerando la temperatura ambiente y la humedad relativa, mediante el uso de tablas psicrométricas, proceso descrito por Campos, (2005).

Para realizar el pronóstico por el método psicrométrico de heladas por radiación, en la aplicación se programó el modelo utilizando datos de la temperatura y humedad relativa registradas en periodos de 15 minutos de cada una de las estaciones integradas en el Centro de Datos Hidrometeorológicos de Chihuahua, donde se realiza la estimación de la temperatura del termómetro húmedo, estimando valores de la tabla psicrométrica modificada para obtener diferencia de temperatura de 0.125 C, en base a las diferencia entre temperaturas del termómetro húmedo y seco, de aplican reglas de decisión, descritas en Campos (2005), para determinar la probabilidad de heladas.

El modelo estima de forma aceptable las condiciones probables de heladas por irradiación que se presentan en el estado de Chihuahua; por lo que una forma robusta y confiable de hacer una buena estimación de la ocurrencia de heladas, consiste en el uso integrado de los métodos de pronóstico del modelo WRF y el modelo Psicrométrico, los cuales se integraron en la aplicación.

### **7.3. Estimación del pronóstico de heladas**

La opción del pronóstico de heladas se encuentra en la sección de Datos Hidrometeorológicos, al activarla se muestra un mapa con un punto de color naranja que representa la ubicación de cada estación climatológica donde el siguiente día no habrá heladas y de color azul, cuando se pronostica que al día siguiente de la fecha de consulta se presentará una helada, como se muestra en la figura 11, después de seleccionar una estación donde se pronostica que al día siguiente ocurrirá una helada, se muestra una tabla con la fecha en que se han presentado heladas, la temperatura mínima, humedad relativa y velocidad del viento, y una gráfica que muestra la temperatura mínima a partir de octubre del presente año.

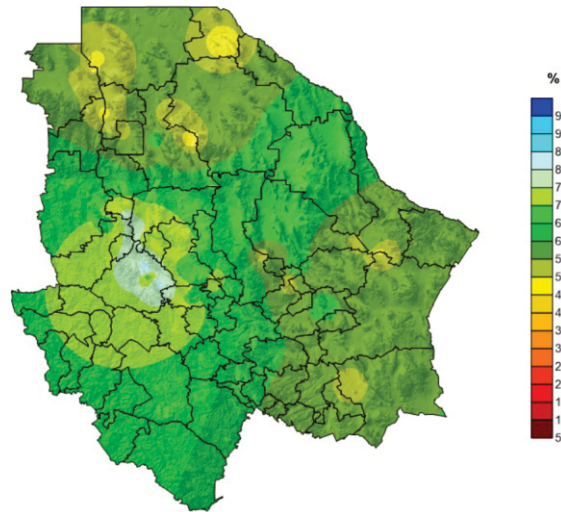


**Figura 11. Estimación de la ocurrencia de heladas mediante el modelo psicrométrico y el modelo WRF.**

#### **7.4. Mapas diarios**

En la sección de Datos Hidrometeorológicos, existe la opción de Mapas diarios, los cuales se construyen con información registrada de las estaciones climatológicas automatizadas del Centro de datos Hidrometeorológicos de Chihuahua, considerando las variables de: precipitación, temperatura media, máxima y mínima, humedad relativa y radiación global. En la figura 12 se muestra un mapa de humedad relativa. Estos mapas son generados automáticamente de forma diaria, después de las 5 am, con la finalidad de dar oportunidad a que se generen los cálculos diarios de la información meteorológica recibida de un día anterior.

Humedad relativa promedio diaria



**Figura 12. Mapa de humedad relativa diaria, con información de las estaciones meteorológicas automatizadas del centro de datos hidrometeorológicos de Chihuahua.**

## 8.- Literatura citada

- Allen, R. G., L. S. Pereira, D. Raes and M. Smith. 2006. Evapotranspiración del Cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua. Estudio FAO Riego y Drenaje 56. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma. 322 p.
- Campos, D., 2005. Agroclimatología cuantitativa de cultivos. In México, D.F.: Editorial Trillas, p. 320.
- Campoy, A. J., D. Ruiz, and J. Ejea. 2011. Dormancy in temperate fruit in a global warming context: A review. *Scientia Horticulturae*. 130:357-372.
- Chen, W. X, H. Meng, H.Q. Song and H. Zheng. 2022. Progress in Dust Modeling, Global Dust Budgets and Soil Organic Carbon Dynamics. *Land*. 11:176.
- Corrales S. A., M.A. Gonzalez G., L.A., Gonzalez J., M.P. Narvaez M., L.H. Maciel-P., E. S. Osuna C. y O. Ruiz A. 2014. Pronest: Aplicación informática para generar pronósticos estacionales de lluvias y heladas de uno a tres meses. CIR Norte Centro, CE Pabellón, Pabellón de Arteaga, Aguascalientes, 21p.
- Corrales, A., Flores, H., Narváez, M., Ruiz, O., Gonzalez, L., 2015. Evaluación de la temperatura simulada por el modelo WRF en regiones agrícolas de México. Memoria en congreso: Memoria de la XXVII Semana Internacional de Agronomía FAZ-UJED.
- Damos, P. T. and Savopoulou, S. M. 2012. Temperature-Driven Models for Insect Development and Vital Thermal Requirements. *Psyche*. 1-13.
- Dennis, F. G. 2003. Problems in standardizing methods for evaluating the chilling requirements for the breaking of dormancy in buds of woody plants. *HortScience* 38:347-350.
- Faust, M., A. Erez, L. J. Rowland, S. Y. Wang, and H. A. Norman. 1997. Bud Dormancy in Perennial Fruit Trees: Physiological Basis for Dormancy Induction, Maintenance, and Release. *HortScience*. 32:623-629.
- Fishman, S., Erez, A. Couvillon, G.A. 1987. The temperature dependence of dormancy breaking in plants-computer simulation of processes studied under controlled temperatures. *J. Theor. Biol.* 126:309-321.
- Higley, G. L., L.P. Pedigo and K. R. Ostle. 1986. DEGDAY: A program for Calculating Degree-days and Assumptions Behind the Degree-day Approach. *Environ. Entomol.* 15:999-1016.

- INEGI. 2018. Anuario Estadístico del Estado de Chihuahua. Aguascalientes Ags. Talleres del INEGI.
- Lhomme, J.P., and L. Guilioni. 2004. "A Simple Model for Minimum Crop Temperature Forecasting during Nocturnal Cooling." *Agricultural and Forest Meteorology* 123(1-2): 55-68.
- Liu, X. M., H. Q. Song, T. J. Lei, P.F. Liu, C. D. Xu., D. Wang, Z. L. Yang, H.M. Xia, T.H. Wang, H.P. Zhao. Effects of natural and anthropogenic factors and their interactions on dust events in Northern China. *Catena* 2021, 196, 104919.
- Mahmood, R., Boyles, R. Brinson, K. Fiebrich, C. Foster, S. Hubbard, K. (2017). Mesonets: mesoscale weather and climate observations for the United States. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 98:1349-1361.
- Matías, R. L., G., O. A. Fuentes M. y F. García J. 2008. Heladas. Serie Fasciculos. Centro Nacional de Prevención de Desastres. Secretaria de Gobernación. México, 34 p.
- Medina, G. G y J. A. Ruiz C. 1992. SICA. Sistema de Información para caracterizaciones agroclimáticas versión 2.0. Documentación y manual de usuario. Tema Didáctico No. 2. Campo Experimental Zacatecas. SARH-INIFAP. Calera de V. R. Zacatecas México. 102 p.
- Medina, G. G., Díaz P. G., Berzoza M. M., Silva S. M. M., Chávez S. A. y Baez G. A. D. 2006. Estadísticas Climatológicas básicas del estado de Chihuahua (periodo 1961-2003). Libro Técnico No. 1. INIFAP, Centro de Investigación Regional Norte Centro. Dirección de Coordinación y Vinculación Estatal en Chihuahua. Chihuahua Chihuahua, México 233 p.
- Moller, A. P., Ahumada G. R., and Reyes, S. J. (2016). Prediction of frost episodes based in agrometeorological information and machine learning techniques. *IEEE International Conference on Automatica (ICA-ACCA)*, 1-7.
- Parthasarathi, T., G. Velu and P. Jeyakumar. 2013. Impact of Crop Heat Unites on Growth and Developmental Physiology of Future Crop Production: A review. *Research & Reviews: A Journal of Crop Science and Technology*. 2(1):2319-3395.
- Pope, K. S.; D. da Silva; P.H. Brown and T. M. De Jong. 2014. A biologically based approach to modeling spring phenology in temperate deciduous trees. *Agricultural and Forest Meteorology*. (198-199):15-23.
- Richardson, E. A., S. D. Seely and D. R. Walker. 1974. A Model for Estimating the Completion of Rest for 'Redhaven' and 'Elberta' Peach Trees. *HortScience*. 94:331-332.

- Shaltout, A. D. and C. R. Unrath. 1983. Rest Completion Prediction Model for 'Starkrimson Delicious' Apples. 1983. J. Am. Soc. Hort. Sci. 106:957-961.
- Sivakumar, M., R. Gommers and W. Baier. 2000. Agrometeorology and sustainable agriculture. Agricultural and Forest Meteorology 103:11-26.
- Taylor, F. 1981. Ecology and evolution of physiological time in insects. Am. Nat. 111:1-23.
- Verdes P. F., P.M. Granitto, H. D. Navone, and H. A. Ceccato. 2000. Frost Prediction With Machine Learning Techniques. Instituto de Física Rosario. CONICET-UNR. Argentina. 11p.
- Wang, J. Y. 1960. A critique of the heat unit approach to plant response studies. Ecology 41:785-790.
- Wauchope, D. R., L. R. Ahuja, J. G. Arnold, R. Binger, R. Lowrance, M. T van Genuchten, and L. D. Adams. 2003. Software for pest-management science: computer models and database from the United States Department of Agriculture-Agricultural Research Service. Pest Mang. Sci. 59:691-698.
- Ziolkowska, J. R., C.A. Fiebrich, J. Carlson, A.D. Melvin, A.J. Southerland and K.A. Kloesel. 2017. Benefits and beneficiaries of the Oklahoma mesonet: a multisectorial ripple effect analysis. Weather, Climate and Society. 9:499-519

### **Comité Editorial del CIRNOC**

M.C. Yasmin Ileana Chew Madinaveitia  
Dr. Esteban Salvador Osuna Ceja  
Dr. José Ángel Sígala Rodríguez  
Dr. Pedro Jurado Guerra  
M.C. Mayra Denise Herrera  
Dr. Arturo Corrales Suastegui  
M.C. Omar Cástor Ponce García

### **Comité Editorial del CE DELICIAS**

M.C. OMAR CÁSTOR PONCE GARCÍA

PRESIDENTE

DRA. LESLIE CARNERO AVÍLES

SECRETARIA

DR. ENRIQUE HERNÁNDEZ LEAL

VOCAL 1

M.C. NOÉ CHÁVEZ SÁNCHEZ

VOCAL 2

DR. GERARDO GARCÍA NEVÁREZ

VOCAL 3

### **Edición**

Agosto 2024

La presente publicación se terminó de imprimir en agosto del 2024

GRUPO COMPU GRAPHIX, Calle 6TA Norte 619 Cd. Delicias Chihuahua Col Centro CP 33000.

Su tiraje consta de 300 ejemplares.

**Directorio del C.E DELICIAS**

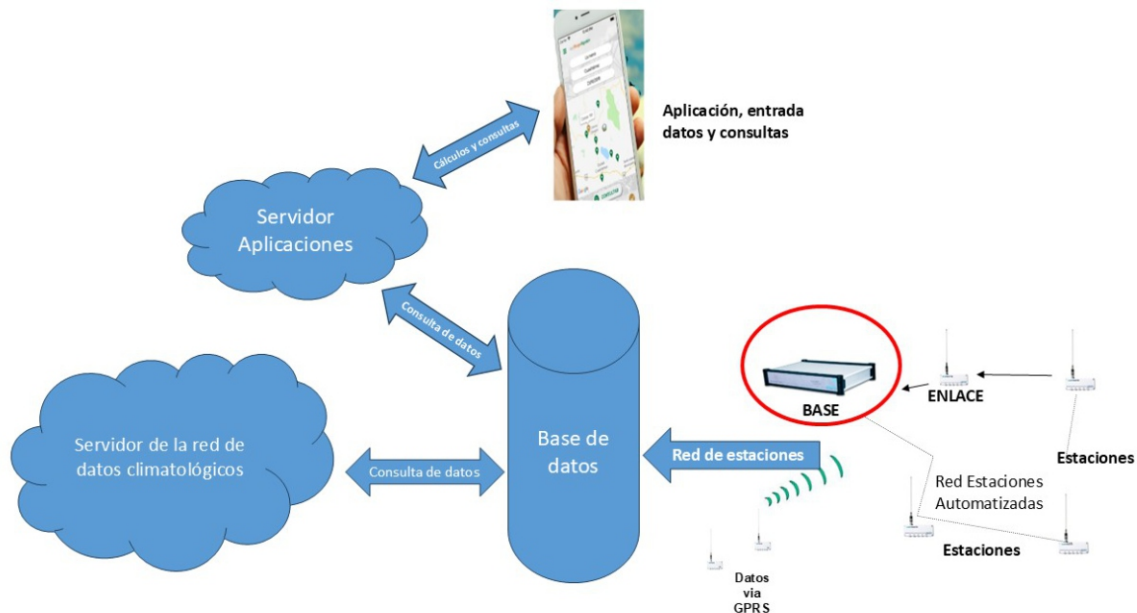
**M.C. OMAR CÁSTOR PONCE GARCÍA  
JEFE DE CAMPO EXPERIMENTAL DELICIAS**

**INVESTIGADORES**

DR. DAVID GPE. RETA SANCHEZ  
DR. GERARDO GARCIA NEVAREZ  
DR. JESUS ARCADIO MUÑOZ VILLALOBOS  
DR. ENRIQUE HERNANDEZ LEAL  
M.C. HUGO RAUL URIBE MONTES  
M.C NOE CHAVEZ SANCHEZ  
DRA. LESLIE CARNERO AVILES  
DRA. OLGA BONILLA BARRIENTOS  
M.C. PAULINA NAVA RUIZ



Se diseñó y configuró una base de datos de la unidad central para integrar una red de estaciones agrometeorológicas e Hidrológicas automatizadas que permite el registro continuo de variables meteorológicas para construir el Centro de Datos Hidrometeorológicos del Estado de Chihuahua, también se integró información meteorológica generada por el modelo numérico Westher Research & Forecasting Model (WRF). En el servidor de la unidad central se creó la página web, la cual se encuentra disponible en la dirección: <https://secrural.chihuahua.gob.mx/sdr/> donde se permite el acceso a la información de la base de datos climatológicos y su enlace para generar índices climatológicos, aplicaciones de Alertas Fitosanitarias, Manejo del Riego en Tiempo Real y Pronóstico de Heladas.



**Diagrama de la interacción entre cliente, servidores y red de estaciones automatizadas**