

HERRAMIENTA PARA PRONÓSTICO DE GRADOS DÍA DE DESARROLLO Y HORAS FRÍO PARA ZONAS PRODUCTORAS DE NOGAL Y VID EN MÉXICO

Arturo Corrales Suastegui
Miguel Angel González González
Gerardo Martínez Díaz
Luis Antonio González Jasso
Mario Primitivo Narváez Mendoza



Centro de Investigación Regional Norte Centro
Campo Experimental Pabellón

Pabellón de Arteaga, Ags.

Folleto Informativo Núm. 18 Septiembre 2024

ISBN: 978-607-37-1670-3

Registro de Derechos de Autor:
03-2024-091110593000-01



AGRICULTURA
SECRETARÍA DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL

iniap
Instituto Nacional de Investigaciones
Forestales, Agrícolas y Pecuarias

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 PABELLÓN

DR. LUIS REYES MURO

Director de Coordinación y Vinculación en Aguascalientes

Herramienta para pronóstico de grados día de desarrollo y horas frío para zonas productoras de nogal y vid en México

Dr. Arturo Corrales Suastegui

Investigador del Programa de
Vulnerabilidad Climática
Campo Experimental Pabellón

Dr. Miguel Angel González González

Investigador del Programa de
Vulnerabilidad Climática
Campo Experimental Pabellón

Dr. Gerardo Martínez Díaz

Investigador del Programa de
Fruticultura
Campo Experimental Costa de Hermosillo

M.C. Luis Antonio González Jasso

Investigador del Programa de
Vulnerabilidad Climática
Campo Experimental Pabellón

M.I.T.C. Mario Primitivo Narváez Mendoza

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 Pabellón
Pabellón de Arteaga, Aguascalientes, México
Septiembre de 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 ©

Folleto Informativo Núm. 18

HERRAMIENTA PARA PRONÓSTICO DE GRADOS DÍA
DE DESARROLLO Y HORAS FRÍO PARA ZONAS
PRODUCTORAS DE NOGAL Y VID EN MÉXICO

ISBN: 978-607-37-1670-3

Registro de Derechos de Autor:
03-2024-091110593000-01

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.	Datos utilizados para generar las bases de datos de GDD y HF	3
2.1	Observaciones	3
2.2	Reanálisis	3
3.	Modelos de GDD, HF y Años Análogos	4
3.1	Grados día de desarrollo	4
3.2	Horas Frío	4
3.3	Modelo de pronóstico (Años Análogos)	5
4.	Desarrollo del software para generar el pronóstico	5
4.1	Pero ¿Qué son los datos netCDF?	7
5.	Pronóstico de GDD y HF para el periodo Febrero-Abril 2024	8
5.1	Pronóstico de GDD para febrero 2024	9
5.2	Pronóstico de GDD para marzo 2024	10
5.3	Pronóstico de GDD para abril 2024	11
5.4	Pronóstico de HF para febrero 2024	12
5.5	Pronóstico de HF para marzo 2024	13
5.6	Pronóstico de HF para abril 2024	14
6.	Validación del pronóstico de GDD y HF para febrero y marzo de 2024	15
7.	Disponibilidad del pronóstico	17
8.	Conclusiones	17
9.	Bibliografía	18

Índice de Figuras

Figura 1. Ejemplo del software para generar pronósticos de GDD y HF	6
Figura 2. Mensaje de que se ha terminado de realizar el pronóstico	6
Figura 3. Carpeta generada por el software en la cual, se encuentran los archivos de salida del pronóstico como imágenes en formato png y archivos netcdf	7
Figura 4. Ejemplo de los metadatos de un archivo netCDF generado con la herramienta de pronóstico de GDD y HF	8
Figura 5. (a) Pronóstico de GDD para febrero 2024, (b) Climatología 1981-2010 de GDD para febrero y (c) Anomalía de GDD para febrero 2024	10
Figura 6. (a) Pronóstico de GDD para marzo 2024, (b) Climatología 1981-2010 de GDD para marzo y (c) Anomalía de GDD para marzo 2024	11
Figura 7. (a) Pronóstico de GDD para abril 2024, (b) Climatología 1981-2010 de GDD para abril y (c) Anomalía de GDD para abril 2024	12
Figura 8. (a) Pronóstico de HF para febrero 2024, (b) Climatología 1991-2020 de HF	13

para febrero y (c) Anomalía de HF para febrero 2024

Figura 9. (a) Pronóstico de HF para marzo 2024, (b) Climatología 1991-2020 de HF para marzo y (c) Anomalía de HF para marzo 2024	14
--	----

Figura 10. (a) Pronóstico de HF para abril 2024, (b) Climatología 1991-2020 de HF para abril y (c) Anomalía de HF para abril 2024	15
---	----

Figura 11. Bias de GDD para febrero (a) y marzo (b) de 2024. Bias de HF para febrero (c) y marzo (d) de 2024	16
--	----

1. Introducción

La temperatura influye, directamente, en el crecimiento y desarrollo de los organismos ectotérmicos, para ver la relación entre temperatura y la proporción de crecimiento de los organismos se definen los parámetros vitales de desarrollo llamados necesidades térmicas y son estimadas en el rango de la temperatura base, y los umbrales mínimos y máximos. Un ejemplo de estas necesidades térmicas, son los *grados día de desarrollo* (GDD) que se utilizan en agricultura para modelar las fases de desarrollo de plantas e insectos. Por otra parte, se definen las horas frío (HF) para modelar la brotación en frutales caducifolios. La fenología de plantas e insectos modelada con base en unidades térmicas es una medida más precisa de tiempo fisiológico en comparación con el tiempo calendario (Terence *et al.*, 1984).

Los grados días de desarrollo (GDD) son una medida utilizada en agricultura basada en diferentes umbrales de temperatura, dependiendo de la especie que se trate, para cuantificar la acumulación de calor durante un período específico de tiempo.

Los GDD se utilizan en una gama muy amplia de modelos para el desarrollo de aplicaciones agrícolas, como la calendarización de riegos, la planificación de tratamientos fitosanitarios, la determinación del momento óptimo de la cosecha y la estimación de la fecha de madurez de los cultivos.

Por otra parte, las Horas Frío (HF) son una medida del tiempo fisiológico acumulado en el cual, un frutal se encuentra a una temperatura inferior a la de un

umbral específico, usualmente 7.2 °C, durante los meses de invierno. Durante este periodo la especie está en reposo con mínima actividad fisiológica, lo que significa que no está creciendo ni floreciendo, activamente. Este período de frío es muy importante para la brotación, desarrollo y productividad del árbol durante la siguiente temporada de crecimiento.

Las horas frío se consideran importantes en la agricultura, especialmente en la producción de frutas de clima templado, como manzanas, uvas, peras, duraznos, cerezas y ciruelas, entre otros. Estas horas frío se refieren al número de horas acumuladas por debajo de cierta temperatura durante el invierno.

Los patrones de temperatura pueden variar año con año, lo que afecta la acumulación de GDD y HF; y por ende, el crecimiento y desarrollo de los cultivos. Un estudio reciente realizado por Corrales-Suastegui *et al.* (2022), sugiere que hacia finales de siglo la temperatura aumentará hasta ~3.5 °C bajo un escenario de altas emisiones, lo cual propiciará un incremento en los GDD y en consecuencia una posible disminución en la acumulación de frío, aunado a veranos secos y otoños húmedos en los estados de Sonora, Chihuahua, Durango y Coahuila, los cuales conforman una de las principales regiones productoras de nogal pecanero y uva de mesa. En esta región, según datos del SIAP, en 2022 se exportaron ~72,000 toneladas de nuez, lo que generó un valor aproximado de 640 millones de dólares y se produjeron alrededor de 300 mil toneladas de uva. Por esta razón, un pronóstico climático a nivel mensual y estacional de GDD y HF es una herramienta de apoyo de bastante utilidad, ya que un usuario del sector, con base en esta información, podría adaptar sus prácticas agrícolas, lo que puede incluir en la

selección de variedades de cultivos más adaptables al calor, así como definir criterios efectivos para la programación del riego en sistemas presurizados más eficientes, como lo sugieren otros estudios (Flores-Gallardo *et al.*, 2012).

El objetivo de esta publicación es dar a conocer el desarrollo de la tecnología INIFAP “Pronóstico mensual de grados día de desarrollo y horas frío para regiones productoras de nogal pecanero y vid” (ProNOVIDclim), la aplicación de esta tecnología puede ser adaptable a diferentes regiones o zonas del país para estos e incluso otros cultivos.

2. Datos utilizados para generar las bases de datos de GDD y HF

2.1 Observaciones

Las bases de datos de GDD se desarrollaron a partir de datos o registros diarios de temperatura máxima (Tmax) y temperatura mínima (Tmin) de la base de datos de observaciones en malla de Livneh con 1/16° (~6 km) de resolución, la cual está disponible para el periodo 1950-2013 (Livneh *et al.*, 2015; disponible en: <https://www.ncei.noaa.gov/access/metadata/landing-page/bin/iso?id=gov.noaa.nodc%3A0129374>).

2.2 Reanálisis

Dado el difícil acceso y disponibilidad de datos horarios de temperatura, históricos y cercanos al tiempo real, a partir de estaciones meteorológicas en México, para las HF se utilizaron campos horarios de temperatura del re-análisis ERA5 (disponibles desde 1950) del Centro Europeo de Pronóstico del Tiempo a Medio Plazo (ECMWF) con resolución horizontal de 31 km (Hersbach *et al.*, 2020;

CopernicusClimateChangeService[C3S], 2017, <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/home>). El reanálisis ERA5 ha sido ampliamente utilizado en diversos trabajos (ej. Corrales-Suastegui *et al.*, 2021).

3. Modelos de GDD, HF y Años Análogos

3.1 Grados día de desarrollo

Para calcular los grados día de desarrollo (GDD) se implementó el método del seno simple desarrollado por Baskerville y Emin (1969). Este método ajusta una curva seno a las temperaturas máximas y mínimas para un día. En el cálculo se utiliza un umbral inferior y otro superior de temperatura, 10 y 30°C, respectivamente, para obtener el área bajo la curva. Las temperaturas umbrales pueden variar de acuerdo con la especie en estudio. En este caso se aplicaron para nogal y vid, ya que el método del seno simple con los umbrales antes mencionados es una buena aproximación para calcular los GDD para ambas especies.

Este método considera seis casos diferentes para calcular los GDD de acuerdo con el comportamiento diario de las temperaturas. Para una descripción completa de este método consultar: http://ipm.ucanr.edu/WEATHER/ddss_tbl.html

3.2 Horas Frío

El modelo Chilling Hours (CHM) (Chandler, 1942) es uno de los métodos más utilizados para calcular el frío invernal (Luedeling y Brown, 2011; Chhetri *et al.*, 2018). El modelo considera que las temperaturas entre 0 °C y 7.2 °C tienen un efecto de enfriamiento, y cada hora a temperaturas entre estos umbrales contribuye con una Hora Frío (HF) (Luedeling, 2012).

3.3 Modelo de pronóstico (Años Análogos)

El pronóstico de GDD y HF se realiza mediante la tecnología del INIFAP-PronEst, la cual como método de pronóstico utiliza años análogos, esto es, identifica años pasados que tengan similitud con las condiciones actuales del fenómeno de El Niño Oscilación Sur (ENOS). Para una descripción completa de la metodología de la PronEst consultar Corrales-Suastegui *et al.* (2014).

4. Desarrollo del software para generar el pronóstico

Para realizar los pronósticos, la metodología se desarrolló en el Sistema Operativo GNU/Linux, utilizando bash, herramientas CDO y el lenguaje de programación Python para agilizar el manejo de los datos.

A continuación, se muestra en la Figura 1 el ejemplo de funcionamiento del software (en registro de derechos de autor) de esta tecnología para calcular un pronóstico para noviembre-enero 2023-2024 de HF.

Una vez que ha terminado de ingresar la información para calcular el pronóstico de HF o GDD, según sea el caso, este iniciará el proceso y una vez finalizado, se presentará en pantalla un aviso de que ha terminado, como se muestra a continuación en la Figura 2.

Herramienta para pronóstico de grados día de desarrollo y horas frío para zonas productoras de nogal y vid en México

```
[arturo@rcm FichaTecnica_GDD_HF]$ ./pronosticoGDD_HF_v1.0.sh

#####
# Arturo Corrales Suastegui. INIFAP-CEPAB. 11/03/2024. e-mail: corrales.arturo@inifap.gob.mx; acsuastegui@gmail.com #
# Pronóstico de Grados Día de Desarrollo (GDD) y Horas Frío (HF) mensuales utilizando años análogos (AA) por medio de la tecnología INIFAP-PronEst. #
# Pronóstico mensual extendido de 1 hasta 3 meses para el periodo Octubre, Noviembre, Diciembre, Enero, Febrero, Marzo y Abril. #
# Este desarrollo tecnológico se integra como parte de AgroPron: https://appinifap.sytes.net/agropron/contacto.aspx #
#####
# Este programa requiere librerías netcdf, CDO, python 3 y las librerías de python: numpy, matplotlib, basemap, basemap-data-hires, netCDF4, scipy para su #
# correcto funcionamiento. #
# Para instalar en Debian/Ubuntu, por ejemplo, ejecute las siguientes dos líneas de código en la terminal: #
# sudo apt install libnetcdf-dev cdo python3 #
# pip install numpy matplotlib basemap basemap-data-hires netCDF4 scipy #
# El siguiente paquete es para visualizar archivos netcdf y su instalación es opcional. #
# sudo apt install ncview #
# Para su uso, desde una terminal ejecute: ncview archivo.nc #
#####

Indique la opción de una variable a pronosticar: 1 para GDD. 2 para HF. (ejemplo: 2)
2

#####
# Arturo Corrales Suastegui. INIFAP-CEPAB. 20/02/2024. #
# Pronóstico AgroPron de Horas Frío (HF) mensuales utilizando años análogos (AA) por medio de la tecnología INIFAP-PronEst. #
# Pronóstico de HF mensuales de 1 hasta 3 meses para el periodo Octubre, Noviembre, Diciembre, Enero, Febrero, Marzo y Abril. #
# Datos de entrada mensuales de HF en formato netcdf para este programa: #
# Base de datos histórica de HF mensuales para el periodo 1950-2020 a partir de ERA5 Land. t2m_ERA5_1950-2020_chh_monthly_0NDJFMA.nc #
# Climatología base de HF 1991-2020. t2m_ERA5_1991-2020_chh_monthly_0NDJFMA_yonmean_setaxis.nc #
# Este programa puede utilizar datos de HF mensuales a partir de otras fuentes si se mantiene el formato de los datos, así como AA obtenidos por otros métodos. #
# El cálculo de los HF se realiza mediante el modelo de Chandler (1942), donde se considera una HF cuando la temperatura horaria se encuentra entre 0°C y 7.2°C. #
# IMPORTANTE: #####
# Debido a que la base de datos de HF históricas cubre el periodo 1950-2020, los AA deben estar dentro del mismo periodo. #
#####

¿Cuál es el año de su primer mes de pronóstico? (ejemplo: 2021)
2021
Ingrese el número del primer mes a pronosticar (ej. 3 para pronosticar el mes de Marzo; 10 para Octubre; 11 para Noviembre; 2 para Febrero; 12 para Diciembre; etc.):
11
Ingrese el número del segundo mes a pronosticar en caso de haberlo:
12
Ingrese el número del tercer mes a pronosticar en caso de haberlo:
1
Ingrese los Años Análogos (AA) para el primer mes (ej. 1950 1965 1977 2010):
1953 1961 1975 1980 1995 2019
Ingrese los AA para el segundo mes (ej. 1950 1965 1980 1985 1997 2015). Deje vacío si no hay segundo mes de pronóstico:
1970 1977 1983 1989 1997 2000 2015
Ingrese los AA para el tercer mes (ej. 2012 2020). Deje vacío si no hay tercer mes de pronóstico:
1951 1968 1974 1980 1988 2001 2012 2017
```

Figura 1. Ejemplo del software para generar pronósticos de GDD y HF.

```
cd do ensemble: Processed 676888 values from 8 variables over 8 timesteps [1.89s 50MB]
cd do selmonth: Processed 84611 values from 1 variable over 7 timesteps [0.32s 46MB]
cd do sub: Processed 169222 values from 2 variables over 2 timesteps [0.00s 46MB]
cd do selmonth: Processed 84611 values from 1 variable over 7 timesteps [0.00s 46MB]
cd do sub: Processed 169222 values from 2 variables over 2 timesteps [0.00s 45MB]
cd do selmonth: Processed 84611 values from 1 variable over 7 timesteps [0.00s 46MB]
cd do sub: Processed 169222 values from 2 variables over 2 timesteps [0.00s 45MB]

Los archivos en formato netcdf del pronóstico (fcst_XYZ_mi.nc), anomalía (anom_XYZ_mi.nc) y climatología (clim_XYZ_mi.nc)
correspondientes al mes de pronóstico 'mi' se encuentran en el directorio

año_m1m2m3 (ej. 2023_120102 para un pronóstico que inició en diciembre 2023 y terminó en febrero 2024).

Inicia script de python para generar los mapas

Termina script

Fin del programa

(wrf) [arturo@rcm FichaTecnica_GDD_HF]$
```

Figura 2. Mensaje de que se ha terminado de realizar el pronóstico.

La información generada por el programa se guarda en una carpeta con el formato de año de inicio de pronóstico seguido de los meses pronosticados, como se menciona en la Figura anterior, en este ejemplo la carpeta se llama 2023_111201, en esta carpeta se encuentran los mapas de pronóstico de HF,

anomalías y climatologías de los meses pronosticados en formato png, así como los archivos correspondientes en formato netCDF (Figura 3), los cuales pueden ser visualizados en los Sistemas de Información Geográfica como QGIS, por mencionar uno.

Para el caso de un pronóstico de GDD, se seguiría un procedimiento similar al descrito en párrafos anteriores.

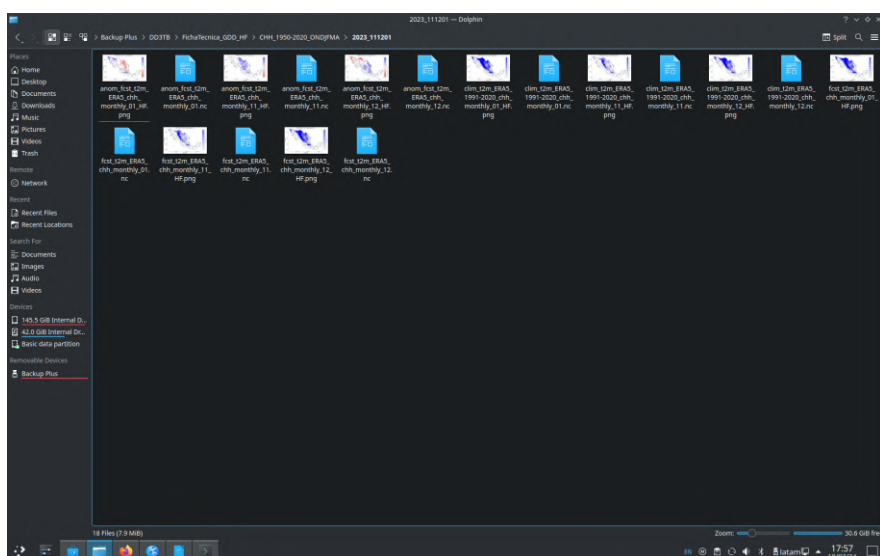


Figura 3. Carpeta generada por el software en la cual, se encuentran los archivos de salida del pronóstico como imágenes en formato png y archivos netcdf.

4.1 Pero ¿Qué son los datos netCDF?

Como se mencionó anteriormente, los archivos de datos de salida que genera la herramienta están en formato netCDF. Este es un formato de archivo destinado a almacenar datos científicos multidimensionales (variables) como las HF, los GDD, la precipitación, la temperatura, entre otras. Cada una de

estas variables se puede mostrar mediante una dimensión (por ejemplo, tiempo) en QGIS o en ArcGIS creando una vista de tabla o de capa a partir del archivo netCDF (<https://pro.arcgis.com/es/pro-app/latest/help/data/multidimensional/what-is-netcdf-data.htm>, fecha de acceso: 20/03/2024).

El archivo netCDF contiene no solo los datos, además los metadatos (descripción del origen de los datos), es decir, la información sobre que contienen y como se crearon (Figura 4), lo cual es fundamental para facilitar su distribución y uso en un ámbito técnico-científico.

```
[arturo@rcm 2024_020304]$ ncdump -h anom_fcst_UC_TL10-TU30_monthly_02.nc
netcdf anom_fcst_UC_TL10-TU30_monthly_02 {
dimensions:
    time = UNLIMITED ; // (1 currently)
    bnds = 2 ;
    lon = 140 ;
    lat = 76 ;
variables:
    double time(time) ;
        time:standard_name = "time" ;
        time:long_name = "Time" ;
        time:bounds = "time_bnds" ;
        time:units = "days since 1925-1-1 12:00:00" ;
        time:calendar = "365_day" ;
        time:axis = "T" ;
    double time_bnds(time, bnds) ;
    float lon(lon) ;
        lon:standard_name = "longitude" ;
        lon:long_name = "longitude" ;
        lon:units = "degrees_east" ;
        lon:axis = "X" ;
    float lat(lat) ;
        lat:standard_name = "latitude" ;
        lat:long_name = "latitude" ;
        lat:units = "degrees_north" ;
        lat:axis = "Y" ;
    double uc(time, lat, lon) ;
        uc:standard_name = "heat unit" ;
        uc:units = "degree-day" ;
        uc:FillValue = -99999. ;
        uc:missing_value = -99999. ;
        uc:cell_methods = "time: sum" ;

// global attributes:
        :CDI = "Climate Data Interface version 2.0.4 (https://mpimet.mpg.de/cdi)" ;
        :Conventions = "CF-1.6" ;
        :title = "Heat units. INIFAP-CE Pabellón. Author: Arturo Corrales Suastegui (acsuastegui@gmail.com)" ;
        :subtitle = "Heat units derived from Livneh dataset (Livneh et al., 2015) using the single sine method
with lower threshold = 10°C and upper threshold = 30°C." ;
```

Figura 4. Ejemplo de los metadatos de un archivo netCDF generado con la herramienta de pronóstico de GDD y HF.

5. Pronóstico de GDD y HF para el periodo Febrero-Abril 2024

En las Figuras 5 a 10 se presentan las salidas de la tecnología en forma de mapas, así como su interpretación, como ejemplo se presenta el pronóstico generado por la aplicación para los GDD y HF en los meses de febrero, marzo y abril de 2024. Durante este periodo, que abarca finales de invierno e inicios de primavera, a medida que las temperaturas aumentan y se acumulan los GDD, los nogales comienzan a romper la dormancia. En este punto, los GDD ayudan a estimar el momento de la brotación y la floración, lo cual es crucial para la planificación de las labores agrícolas. Por otra parte, similar al nogal, la vid rompe la dormancia cuando se alcanzan ciertos niveles de GDD. La brotación marca el inicio del ciclo vegetativo de la vid, de igual manera, los GDD son esenciales para determinar el momento de la brotación y planificar actividades como la poda y la aplicación de tratamientos fitosanitarios.

5.1 Pronóstico de GDD para febrero 2024

En la Figura 5a se presenta el pronóstico de los GDD para febrero 2024. En la Figura 5b se muestra el promedio histórico de 30 años (1981-2010) de GDD para el mes de febrero. En la Figura 5c se presenta la anomalía de los GDD esperada para febrero 2024, es decir, la diferencia entre la Figura 5a y la Figura 5b. Como se muestra en la Figura 5c, las anomalías son negativas (color azul) en casi la totalidad del territorio nacional, lo que significa que se pronosticaron menos GDD en comparación con el promedio histórico.

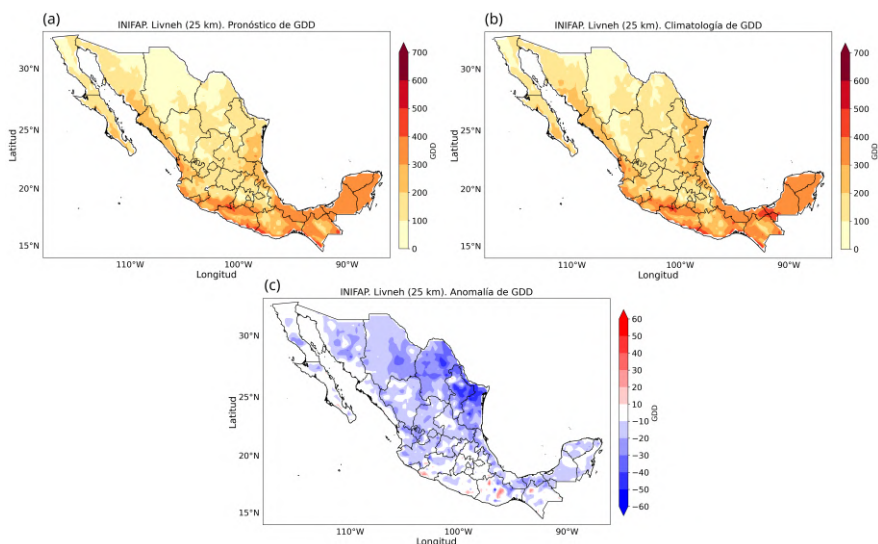


Figura 5. (a) Pronóstico de GDD para febrero 2024, (b) Climatología 1981-2010 de GDD para febrero y (c) Anomalía de GDD para febrero 2024.

5.2 Pronóstico de GDD para marzo 2024

Similarmente, en las Figuras 6a y 6b se presentan el pronóstico para marzo de 2024 y el promedio histórico para marzo, respectivamente. En las anomalías de GDD para marzo de 2024 se muestran valores positivos (color rojo) en regiones del sur de México, lo que significa que en esas regiones se pronosticaron más GDD en comparación con el promedio histórico. Contrariamente, en el norte del país se pronosticó un decremento o valores negativos.

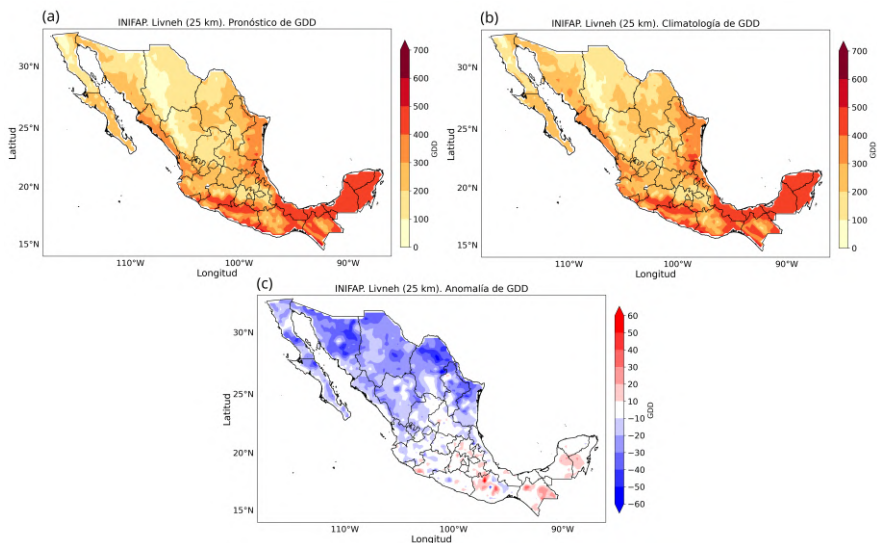


Figura 6. (a) Pronóstico de GDD para marzo 2024, (b) Climatología 1981-2010 de GDD para marzo y (c) Anomalia de GDD para marzo 2024.

5.3 Pronóstico de GDD para abril 2024

El pronóstico de GDD para abril de 2024 se muestra en la Figura 7a, así como el promedio histórico de 30 años de GDD para el mes de abril (7b). En las anomalías de GDD para abril de 2024 (Figura 7c) predominan decrementos (valores negativos) en gran parte del norte del país, mientras que para algunas regiones del sur de México las anomalías son positivas, es decir un incremento de los GDD.

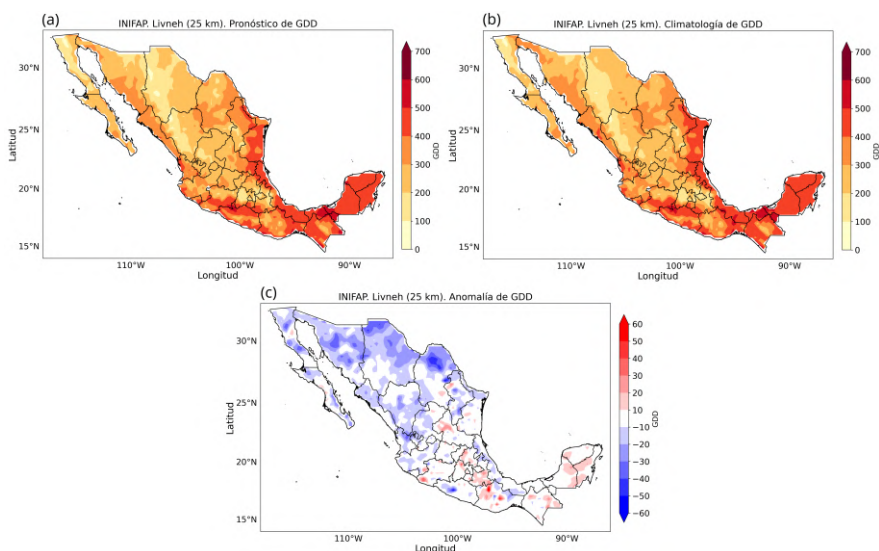


Figura 7. (a) Pronóstico de GDD para abril 2024, (b) Climatología 1981-2010 de GDD para abril y (c) Anomalía de GDD para abril 2024.

5.4 Pronóstico de HF para febrero 2024

En la Figura 8a se muestra el pronóstico de HF para febrero 2024. En la Figura 8b se presenta el promedio histórico de 30 años (1991-2020) de HF para el mes de febrero. En la Figura 8c se muestra la anomalía de HF esperada para febrero 2024, es decir, la diferencia entre el pronóstico (Figura 8a) y el promedio histórico (Figura 8b). Como se muestra en la Figura 8c, las anomalías son positivas (color azul), lo que significa que se pronosticaron más HF en comparación con el promedio histórico, en otras palabras, durante febrero de 2024 se pronosticó una mayor acumulación de frío.

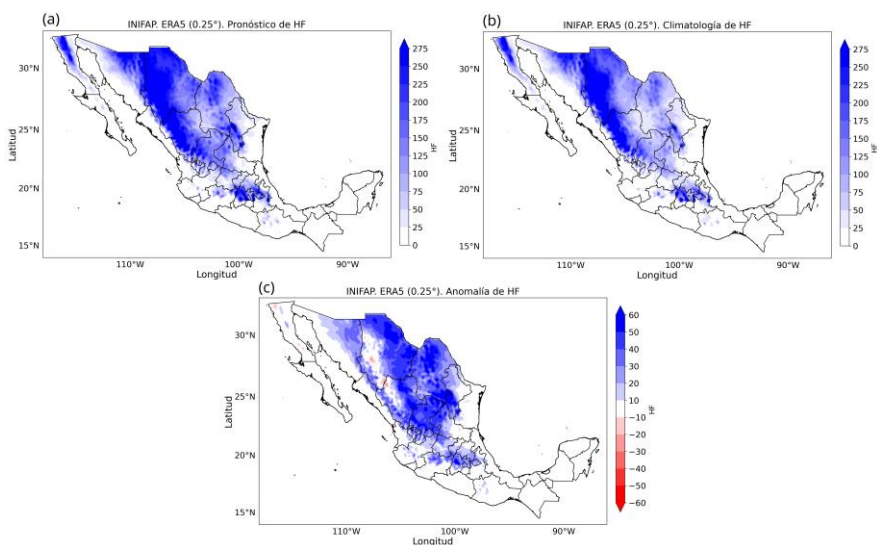


Figura 8. (a) Pronóstico de HF para febrero 2024, (b) Climatología 1991-2020 de HF para febrero y (c) Anomalia de HF para febrero 2024.

5.5 Pronóstico de HF para marzo 2024

Similarmente, en las Figuras 9a y 9b se presenta el pronóstico de HF para marzo de 2024 y el promedio histórico de HF para marzo, respectivamente. En las anomalías de HF durante marzo de 2024 se muestran valores positivos (color azul) en regiones del norte de México, así como en Baja California, lo que significa que en esas regiones se pronosticaron más HF en comparación con el histórico (1991-2020).

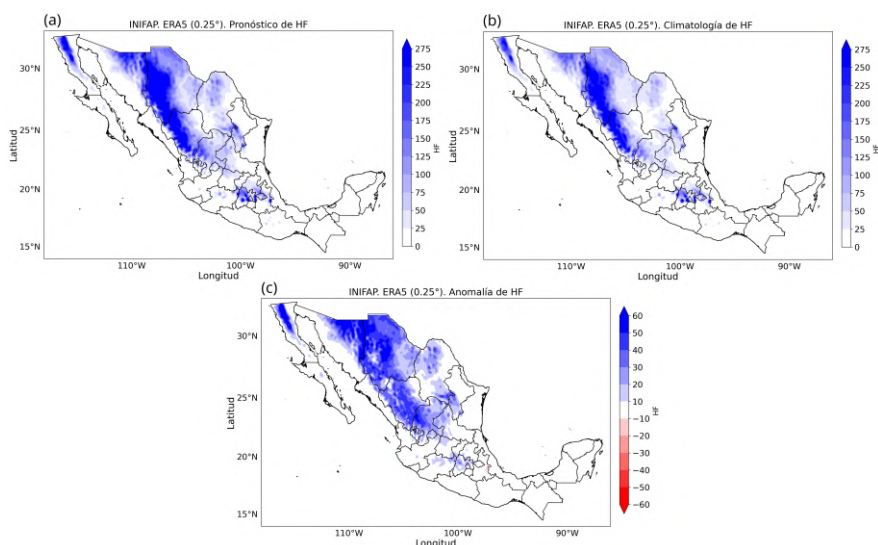


Figura 9. (a) Pronóstico de HF para marzo 2024, (b) Climatología 1991-2020 de HF para marzo y (c) Anomalia de HF para marzo 2024.

5.6 Pronóstico de HF para abril 2024

El pronóstico de HF para abril de 2024 y el promedio histórico de HF para abril se muestran en la Figura 10a y Figura 10b, respectivamente. Las anomalías de HF para el mes de abril de 2024 (Figura 10c), muestran valores positivos (color azul) en Baja California y zonas serranas del norte de México, es decir, en estas regiones se pronosticaron más HF para abril de 2024 con respecto al promedio histórico (1991-2020) de abril.

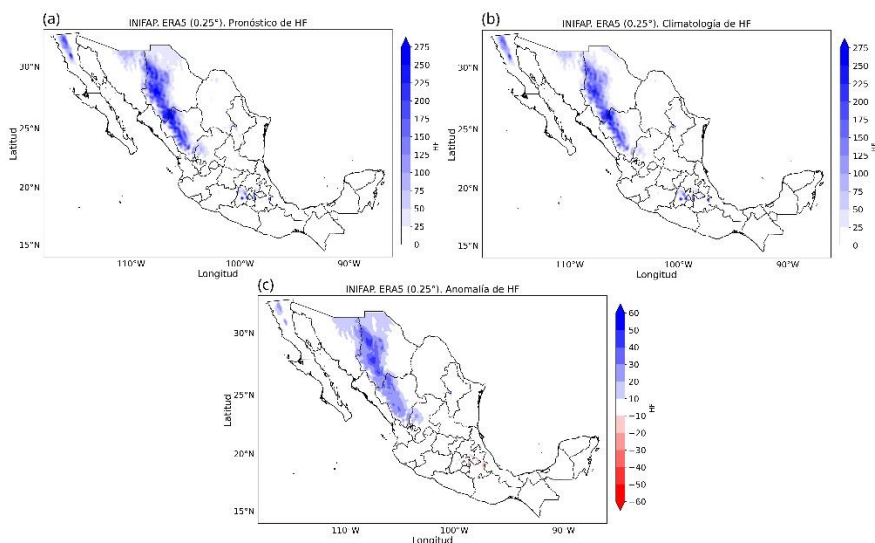


Figura 10. (a) Pronóstico de HF para abril 2024, (b) Climatología 1991-2020 de HF para abril y (c) Anomalia de HF para abril 2024.

6. Validación del pronóstico de GDD y HF para febrero y marzo de 2024

Para validar el pronóstico se contó con información registrada de GDD y HF para los meses de febrero y marzo de 2024. Los GDD y HF pronosticados se contrastaron con los registros de GDD y HF a partir de los datos del reanálisis ERA5 y de la base de datos Global Unified Temperature del Climate Prediction Center (CPC, disponible en: <https://psl.noaa.gov/data/gridded/data.cpc.globaltemp.html>).

Para evaluar la herramienta de pronóstico de GDD y HF, de manera preliminar, se realizó la diferencia (bias) entre el mes pronosticado y el mes observado. El bias o sesgo, nos proporciona información respecto al grado de desviación del valor simulado con el valor

observado. Cuando es negativo significa que el modelo subestima; cuando es positivo significa que el modelo sobreestima, cuando adopta un valor cercano a cero indica una falta de sesgo o bias, el cual se acerca al valor real o registrado.

El sesgo de los GDD indica una subestimación de -50 a -100 GDD en todo el país para febrero y marzo de 2024 (Figura 11 a y b, respectivamente). Por otra parte, para las HF se encontró una sobreestimación de 20 a 60 HF, principalmente sobre el Altiplano Norte y Centro del país para febrero, solamente en la Península de Baja California hubo una subestimación (Figura 11c), similarmente para marzo de 2024 (Figura 11d). Lo anterior sugiere que el pronóstico fue frío en contraste con las observaciones y además indica la necesidad de integrar otras bases de datos para la evaluación del modelo, así como, ampliar el periodo de evaluación.

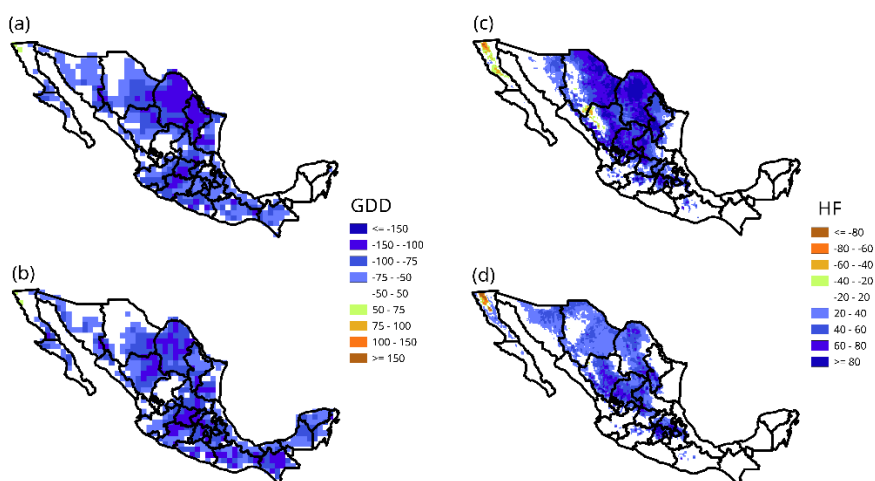


Figura 11. Bias de GDD para febrero (a) y marzo (b) de 2024. Bias de HF para febrero (c) y marzo (d) de 2024.

7. Disponibilidad del pronóstico

El pronóstico de GDD y HF se encuentra en fase de validación y en constante desarrollo, no obstante, está disponible en formato PDF mediante dropbox en la siguiente liga:

<https://www.dropbox.com/sh/lgttl1ihcamj4d0x/AADXYm4WjcXCsQCdYi2eSc7Xa?dl=0>

De igual forma, se pone a disposición del público en general a través del siguiente correo electrónico: corrales.arturo@inifap.gob.mx

Una vez concluido el trámite del registro de propiedad intelectual del software de la tecnología, la herramienta estará, públicamente, disponible.

8. Conclusiones

El pronóstico de grados día de desarrollo y horas frío para México, incluidas las zonas productoras de nogal y vid, reprodujo los patrones espaciales de las variables pronosticadas de GDD y HF, conforme a los dos meses evaluados (el último mes no se evaluó, porque durante la realización de esta publicación aún no estaban disponibles los registros). No obstante, el pronóstico mostró un sesgo negativo en los GDD y positivo en las HF. Como trabajo en curso se evaluará un mayor número de muestras mediante pronósticos retrospectivos o hindcasts para un periodo mayor de 20 o 30 años, además, se integrarán otras bases de datos para la validación del modelo y se explorará una técnica de corrección por sesgo para reducir el error en el pronóstico. De igual manera, el software está en mejora continua.

9. Bibliografía

- Baskerville, G.L., and Emin, P. (1969). Rapid estimation of heat accumulation from maximum and minimum temperatures. *Ecology* 50:514-517. (Single sine method)
- Chandler, W.H. (1942). *Deciduous orchards*. Lea and Febiger, Philadelphia
- Chhetri, A., Ramjan, Md., and Dolley, N. (2018). Various model of calculating of chill units in fruits crops. *Indian Farmer*, 5(04):439-442.
- Corrales-Suastegui, A., Martinez-Diaz, G., Ruiz-Alvarez, O., Gonzalez-Gonzalez, M.A., and Pavia, E.G. (2022). Temperature and Precipitation Towards the End of the 21st Century in Pecan Producing Areas of Mexico. In: Rao, C.M., Patra, K.C., Jhajharia, D., Kumari, S. (eds) *Advanced Modelling and Innovations in Water Resources Engineering. Lecture Notes in Civil Engineering*, vol 176. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-16-4629-4_17
- Corrales-Suastegui, A., Ruiz-Alvarez, O., Torres-Alavez, J.A., and Pavia, E.G. (2021). Analysis of Cooling and Heating Degree Days over Mexico in Present and Future Climate. *Atmosphere* 2021, 12, 1131. <https://doi.org/10.3390/atmos12091131>
- Corrales-Suastegui, A., González-Jasso, L.A., Narváez-Mendoza, M.P., González González, M.A., Ruíz-Álvarez, O., y Maciel-Pérez, L. H. (2014). PronEst: aplicación informática para generar pronósticos estacionales de lluvias y heladas de uno a tres meses.

Folleto Técnico Núm. 62, INIFAP-CIRNOC-CEPAB 21 p.

Flores-Gallardo, H., Ojeda, W., Flores, H., Mejía-Sáenz, E., y Ibarra, E. (2012). Grados día y la programación integral del riego en el cultivo de papa. *Terra Latinoamericana*. 30. 59-67.

Hersbach, H., Bell, B., Berrisford, P., et al. (2020). The ERA5 global reanalysis. *Q J R Meteorol Soc.* 2020; 146: 1999–2049. <https://doi.org/10.1002/qj.3803>

Livneh, B., Bohn, T.J., Pierce, D.S., Munoz-Ariola, F., Nijssen, B., Cayan, D., Vose, R., and Brekki, L.D. (2015). Development of a spatially comprehensive, daily hydrometeorological data set for Mexico, the conterminous U.S., and southern Canada: 1950-2013, *Nature Scientific Data*, 2, 150042. doi:10.1038/sdata.2015.42

Luedeling, E. (2012). Climate change impacts on winter chill for temperate fruit and nut production: A review. *Scientia Horticulturae*, 144, 218 - 229.

Luedeling, E., and Brown, P. (2011). A global analysis of the comparability of winter chill models for fruit and nut trees. *International journal of biometeorology*, 55. 411-21. 10.1007/s00484-010-0352-y.

Terence, L.W., Wu, H., Sharpe, P.J.H., Scholfield, R.M., and Coulson, R.N. (1984). Modeling Insect Development Rates: A Literature Review and Application of a Biophysical Model. *Forum Annals of the Entomological Society of America*. 77: 208-225.

La cita correcta de este folleto es:

Corrales-Suastegui, A., González-González, M.A., Martínez-Díaz G., González-Jasso, L.A., Narváez-Mendoza M.P. 2024. Herramienta para pronóstico de grados día de desarrollo y horas frío para zonas productoras de nogal y vid en México. Folleto Informativo Núm. 18, INIFAP-CIRNOC-CEPAB 20 p. ISBN: 978-607-37-1670-3

Comité Editorial del CIRNOC

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

Comité Editorial del CE Pabellón

Dr. Arturo Corrales Suastegui
Dr. Omar Iván Santana
Dr. Miguel Angel González González
M.C. Carlos Rojas Santillán

Edición

Dr. Arturo Corrales Suastegui

Diseño y fotografía

Dr. Arturo Corrales Suastegui

Código UNESCO-INIFAP

MX-0-250201-52-02-10-11-18

El proceso editorial de esta publicación y el formato electrónico se terminó en Septiembre de 2024, en el Campo Experimental Pabellón; Kilómetro 32.5 Carretera Aguascalientes-Zacatecas. C. P. 20671 Pabellón de Arteaga, Aguascalientes, México

Publicación Electrónica disponible en
la biblioteca digital del INIFAP:

https://vun.inifap.gob.mx/BibliotecaWeb/_Content

www.gob.mx/inifap



Instituto Nacional de Investigaciones
Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Centros de Investigación y Campos Experimentales del INIFAP



AGRICULTURA
SECRETARÍA DE AGRICULTURA, GANADERÍA Y DESARROLLO RURAL

inifap
Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

CENTROS DE INVESTIGACIÓN REGIONAL

NOROESTE

- 1 Valle de Mexicali
- 2 Todos Santos
- 3 Costa de Hermosillo
- 4 Dr. Norman E. Borlaug
- 5 Valle del Fuerte
- 6 Valle de Culiacán

NORTE CENTRO

- 7 La Campana
- 8 Delicias
- 9 Valle del Guadiana
- 10 La Laguna
- 11 Zacatecas
- 12 Pabellón

NORESTE

- 13 Saltillo
- 14 Río Bravo
- 15 General Terán
- 16 Las Huastecas
- 17 San Luis

PACÍFICO CENTRO

- 18 Santiago Ixcuintla
- 19 Centro - Altos de Jalisco
- 20 Tecoman
- 21 Valle de Apaxtzingán
- 22 Uruapan

CENTRO

- 23 Bajío
- 24 Valle de México

PACÍFICO SUR

- 25 Zacatepec
- 26 Iguala
- 27 Valles Centrales de Oaxaca
- 28 Centro de Chiapas
- 29 Rosario Ixtapa

GOLFO CENTRO

- 30 San Martínito
- 31 Cotaxtla
- 32 La Posta
- 33 Ixtacuaco
- 34 El Palmer
- 35 Huamanguillo

SURESTE

- 36 Edmú
- 37 Mocochá
- 38 Chetumal

CENTROS NACIONALES DE INVESTIGACIÓN DISCIPLINARIA

- 39 AF (Agricultura Familiar)
- 40 SAI (Salud Animal e Inocuidad)
- 41 FYMA (Fisiología y Mejoramiento Animal)
- 42 RASPA (Relación Agua, Suelo, Planta, Atmósfera)
- 43 COMEF (Conservación y Mejoramiento de Ecosistemas Forestales)
- 44 CNRG (Centro Nacional de Recursos Genéticos)

- Sede de Centro de Investigación Regional
- Campo Experimental
- Oficinas Centrales

Directorio del Campo Experimental Pabellón

Dr. Luis Reyes Muro.....Director de Coordinación y Vinculación

Personal investigador

Dra. Alma Delia Báez González.....	Vulnerabilidad Climática
Dr. Arturo Corrales Suastegui.....	Vulnerabilidad Climática
Dr. Miguel Ángel González González.....	Vulnerabilidad Climática
M. C. Luis Antonio González Jasso.....	Vulnerabilidad Climática
M.I.T.C. Mario P. Narváez Mendoza.....	Vulnerabilidad Climática
Dr. Víctor Manuel Rodríguez Moreno.....	Vulnerabilidad Climática
Dr. Omar Iván Santana.....	Bovinos leche y forrajes
Dr. Esteban S. Osuna Ceja	Fertilidad de Suelos y Nutrición Vegetal
M.C. Sergio Arellano Arciniega.....	Frijol
Dr. Manuel Antonio Galindo Reyes.....	Frutales
Dr. Jorge Artemio Zegbe Domínguez.....	Frutales
M.C. Luis Martín Macías Valdez.....	Hortalizas
M.C. Luis Humberto Maciel Pérez.....	Ingeniería de Riego
M. Sc. Arturo Cruz Vázquez.....	Mecanización
M.C. Ernesto Martínez Reyes*	Mecanización
M.C. Carlos Rojas Santillán.....	Mecanización
M.C. Raúl Vidal García Hernández*.....	Mecanización
Dr. Francisco Garibaldi Márquez.....	Mecanización
M.C. Karla Vanessa de Lira Ramos*	Sanidad Forestal y Agrícola
Dr. Ernesto González Gaona.....	Sanidad Forestal y Agrícola
Dr. Guillermo Sánchez Martínez.....	Sanidad Forestal y Agrícola
Dra. Mercedes Borja Bravo.....	Socioeconomía
Dr. Alfonso Peña Ramos.....	Mejoramiento Genético en Maíz

*Becario/a



www.gob.mx/inifap

Actualmente la información que existe de pronósticos climáticos mensuales con alcance a tres meses de variables agrometeorológicas como Grados Día de Desarrollo (GDD) y Horas Frío (HF) es escasa. Lo anterior representa una oportunidad para generar información complementaria a los pronósticos climáticos mensuales de precipitación y heladas de la tecnología PronEst, en especial para las regiones productoras de nogal pecanero y vid en el país.

