



Cambio climático: Efecto del frente frío 35 del año 2021 en la vegetación del norte de Tamaulipas, México

Climate change: Effect of the 35th cold front of year 2021 on the vegetation of North Tamaulipas, Mexico

Cisneros-López, M. E.^{1*}, Silva-Serna, M. M.¹, Garza-Cedillo, R. D.¹, Santiago-Mejía, B. E.¹, Espinosa-Ramírez, M.¹, Hernández-Martínez, R.²

 Cisneros-López, M. E.
cisneros.maria@inifap.gob.mx

 Silva-Serna, M. M.
silva.mario@inifap.gob.mx

 Garza-Cedillo, R. D.
garza.ruben@inifap.gob.mx

 Santiago-Mejía, B. E.
santiago.estela@inifap.gob.mx

 Espinosa-Ramírez, M.
espinosa.martin@inifap.gob.mx

 Hernández-Martínez, R.
hernandez.rosendo@inifap.gob.mx

*Autor de correspondencia: cisneros.maria@inifap.gob.mx

¹ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Río Bravo Tamaulipas. Km 61 de la Carretera Matamoros Reynosa. Tamaulipas México.

² Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental las Huastecas. Carretera Tampico-Mante Km 55 Villa Cuauhtémoc, Altamira, Tamaulipas, México.

Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático
Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, León, Nicaragua
ISSN-e: 2410-7980

Periodicidad: Semestral
vol.10, núm.19, 2024

ribcc@ev.unanleon.edu.ni

Recepción: 20 Agosto, 2024
Aprobación: 23 diciembre, 2024

URL: https://revistas.unanleon.edu.ni/index.php/REB_ICAMCLI/article/view/1079

DOI: <https://doi.org/10.5377/ribcc.v10i19.20748>

Copyright © 2024 Rev. iberoam. bioecon. cambio clim. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua León (UNAN-León), Area de Conocimiento de ciencias agrarias y veterinarias/ Area Especifica de Agroecología y agronegocios /Centro de Investigación Ciencias Agrarias y Veterinarias. Dirección Académica. Departamento de Investigación. Unidad de publicaciones y eventos científicos.



Esta obra está bajo una licencia internacional
Creative Commons Atribución No Comercial Compartir Igual 4.0

Resumen

Antecedentes: Una masa de aire polar del norte del continente se desplazó hacia México en febrero del 2021. Las bajas temperaturas determinan la distribución natural de la vegetación. Este trabajo consistió en evaluar el daño por frío en la flora del norte de Tamaulipas, en ausencia de reportes previos. **Metodología:** El estudio se realizó en Río Bravo, Tamaulipas, del 22 de febrero al 22 de marzo del 2021, por medio de un censo en especies perennes. El daño por bajas temperaturas se evaluó mediante escala visual por especie. Se registró la temperatura mínima de febrero de 2001 a 2024. Temperatura ambiente, humedad relativa, precipitación, punto de rocío, presión barométrica y velocidad del viento (min, med y max) para 02/2021. **Resultados:** Los días 15-16/02/2021 fueron los más fríos con 36 horas acumuladas a $< 0^{\circ}$ C. El 79% de las especies nativas y 72% de las especies introducidas no tuvieron síntomas graves por baja temperatura. El pinabete fue la especie introducida dominante y no presentó daño; mientras que el guaje fue la especie nativa predominante, con 100% de individuos defoliados y mortalidad del 15% de la población. Las especies introducidas más sensibles fueron: buganvilla, framboyán, guayabo, jacaranda, neem y palma pigmea con 50 al 100% de individuos defoliados y mortalidad del 29 al 50%. **Conclusión:** Considerando el origen subtropical y tropical de la mayoría de las especies, el daño se considera parcial, menor al que se pudiera esperar, dadas las condiciones climáticas del evento.

Palabras claves: Aclimatación, daño, frío, helada, perennes

Abstract

Background: A polar air mass from the north of the continent moved towards Mexico in February 2021. Low temperatures determine the natural distribution of vegetation. This work consisted of evaluating cold damage in the flora of northern Tamaulipas, in the absence of previous reports. **Methodology:** The study was carried out in Río Bravo, Tamaulipas, from February 22 to March 22, 2021, through a census of perennial species. Damage from low temperatures was evaluated using a visual scale per species. The minimum temperature of February from 2001 to 2024 was taken. Ambient temperature, relative humidity, precipitation, dew point, barometric pressure and wind speed (min, med and max) for 02/2021. **Results:** The days 02/15-16/2021 were the coldest with 36 accumulated hours of $< 0^{\circ}$ C. 79% of the native species and 72% of the introduced species did not have serious symptoms due to low temperature. The fir was the dominant introduced species and did not present damage, while guaje was the predominant native species with 100% of plants defoliated and 15% of mortality in the population. The most sensitive introduced species were great bougainvillea, flamboyant, guava, jacaranda, neem tree and pygmy palm, 50 to 100% of plants defoliated and 29 to 50% mortality. **Conclusion:** Considering the subtropical and tropical origin of most species, the damage was partial, less than what could be expected, given the climatic conditions of the event.

Keywords: Acclimatization, chilling injury, frost, perennials

Introducción

El cambio climático se refiere a un cambio en las condiciones climáticas promedio, incluyendo variables tales como: temperatura, humedad, lluvia, nubosidad y patrones de viento, además de cambios en la frecuencia o severidad de estas condiciones ([Reyes-García et al., 2016](#)).

El clima sufre modificaciones en ciclos que se suceden a lo largo de periodos de tiempo, lo cual se considera un proceso natural; actualmente la frase “cambio climático” hace referencia a los cambios muy rápidos en el clima en los últimos 50 años ([Adamo et al., 2021](#)). La evidencia científica muestra que estos cambios no son impulsados por ciclos climáticos naturales a largo plazo, la causa principal es el calentamiento global ([Lynas et al., 2021](#)).

Las masas de aire son grandes cuerpos de aire que tienen una temperatura y humedad similares, las cuales influyen en el clima ([Zhou et al., 2009](#)). Estas masas de aire se mueven alrededor de la atmósfera por los vientos predominantes que soplan en una dirección (Schneider, 2006). En los límites entre las masas de aire se forman los frentes meteorológicos ([Cardozo et al., 2015](#)). Un frente es una zona límite o de transición entre dos masas de aire de distinta densidad y, por lo tanto, de distinta temperatura ([NOAA, 2024](#)).

Se denomina un frente frío al choque de dos masas de aire, una fría y una cálida, provocando la formación de tormentas severas ([Bitsa et al., 2019](#)). Los frentes fríos son impulsados por una masa de aire frío, a una velocidad entre 40 y 60 km h⁻¹ ([Lagerquist et al., 2020](#)). Este fenómeno puede provocar, además de las bajas temperaturas, lluvias, nevadas, oleaje y viento ([Catto y Raveh, 2019](#)). En México, la duración de estos eventos es entre cinco a siete días, con dirección de norte a sur; en el Golfo de México e Istmo de Tehuantepec, Oaxaca, se le conoce como “Norte” ([Mendoza et al., 2023](#)).

En febrero de 2021, se produjo la llegada de aire frío inusualmente fuerte a sotavento desde las Montañas Rocosas; el aire frío que estuvo presente en la zona del Yukón desde principios de febrero comenzó a desplazarse hacia el sur a mediados del mes, junto con un fuerte anticiclón, desde el Yukón a lo largo de la vertiente oriental de las Montañas Rocosas y llegó a Texas y el noreste de México en unos pocos días ([Hsu et al., 2022](#)).

En México, se pueden identificar 29 regiones agroecológicas, que se definen por sus condiciones climáticas y de suelo, así como por su potencial biofísico para la producción agrícola ([Contreras, 2012](#)). El estado de Tamaulipas se localiza en la región agroecológica de la llanura del noreste de la República Mexicana; entre las coordenadas: 22°12'31" y 27°40'52" de latitud norte, y 97°08'38" y los 100°08'51" de longitud oeste. Ocupa el séptimo lugar en cuanto a extensión territorial con 80,174.68 km², equivale al 4.1% del territorio continental del país; del total de la superficie, 4.97 millones de hectáreas se utilizan para la ganadería, 1.52 millones de hectáreas para la agricultura (965 mil son de temporal y 555 mil de riego), la superficie forestal es de 751 mil hectáreas, y para otros usos 762 mil hectáreas ([Instituto Nacional de Estadística y geografía \[INEGI\], 2017](#)).

Los tipos de climáticos en el estado son: secos, semisecos, cálidos, semicálidos y templados. El territorio tamaulipeco incluye gran parte de la Planicie Costera Nororiental, la cual nace al sur del Río Bravo y se extiende a lo largo del litoral del Golfo de México; por otra parte, el Municipio de Río Bravo tiene un clima semiseco muy cálido y de extremos; con dos estaciones climáticas bien diferenciadas, el verano con temperaturas que superan los 40 °C, y el invierno comúnmente suave con un promedio de 10 °C, pero con frentes fríos que hacen que se descienda hasta más abajo de los -10 °C ([Vargas et al., 2007](#)). La condición edáfica característica del área de estudio es la baja fertilidad de los suelos, además son someros, con bajos niveles de materia orgánica ([Espinosa Ramírez et al., 2011](#)), así mismo, la disponibilidad y calidad del agua está limitada ([Frausto Ortega, 2016](#)) por la presencia de sequías recurrentes ([Dobler y Bocco, 2021](#)).

Los tipos de climáticos en el estado son: secos, semisecos, cálidos, semicálidos y templados. El territorio tamaulipeco incluye gran parte de la Planicie Costera Nororiental, la cual nace al sur del Río Bravo y se extiende a lo largo del litoral del Golfo de México; por otra parte, el Municipio de Río Bravo tiene un clima semiseco muy cálido y de extremos; con dos estaciones climáticas bien diferenciadas, el verano con temperaturas que superan los 40 °C, y el invierno comúnmente suave con un promedio de 10 °C, pero con frentes fríos que hacen que se descienda hasta más abajo de los -10 °C ([Vargas et al., 2007](#)). La condición edáfica característica del área de estudio es la baja fertilidad de los suelos, además son someros, con bajos niveles de materia orgánica ([Espinosa et al., 2011](#)), así mismo, la disponibilidad y calidad del agua está limitada ([Frausto Ortega, 2016](#)) por la presencia de sequías recurrentes ([Dobler y Bocco, 2021](#)).

En México se denominó frente frío número 35 del 10 al 18 de febrero de 2021, el cual se relacionó con un sistema de alta presión con valor en su centro de 1027 mb. Ingresó por el noreste del país la tarde del 10 de febrero, como un sistema frontal de larga duración que afectó al territorio mexicano por siete días ([Secretaría de Marina \[SMAR\], 2022](#)).

La temperatura es un factor ambiental importante en el crecimiento y desarrollo de las plantas, dependiendo de su origen se determina su distribución geográfica ([Valverde et al., 2024](#)). En las especies vegetales existe un rango de temperatura donde prosperan ([Satyakam et al., 2022](#)). La resistencia a las bajas temperaturas está determinada genéticamente, también está influenciada por el grado y duración de las temperaturas frías ([Pimsler et al., 2020](#)).

En general los estudios para evaluar el daño por frío se realizan por medio de una escala visual en frutos durante la etapa posterior a la cosecha, en el almacenamiento, la cual varía según el tipo de fruto (Quiroz-González et al., 2017). En estado de plántula en las especies anuales pueden ser bajo condiciones de campo o en condiciones controladas (Moradtalab et al., 2018; Sari et al., 2020); mientras que el daño por heladas en frutales o cultivos perennes, se puede realizar durante la ocurrencia de heladas en campo (Chaar, 2013) o en cámaras frías (Valverde et al., 2024).

En el caso de la vegetación de Río Bravo, dentro del área de estudio se trata de diferentes especies perennes compuestas por arbustos y árboles en estados avanzados del desarrollo e incluso algunos que ya cesaron de crecer. El objetivo de este trabajo fue evaluar el impacto del frente frío 35 del año 2021 en la vegetación de Río Bravo, Tamaulipas, México, por medio de un estudio descriptivo bajo condiciones de campo.

Materiales y métodos

Área de estudio

La evaluación se realizó en los terrenos del Campo Experimental Río Bravo (CERIB), del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), con localización geográfica 25° 57' 16.9" N, 98° 01' 05.7" O; altitud 25 m, ubicado en la región Norte del Estado de Tamaulipas.

El Campo Experimental tiene una extensión total de 124 hectáreas, de las cuales 65 son para cultivos anuales de temporal y riego; 12 ha corresponden a reserva forestal, tres hectáreas a jardines y el resto a infraestructura diversa.

El suelo del área de estudio del CERIB-CIRNE (Centro de Investigación Regional del Noreste) mostró niveles bajos de materia orgánica (< 2.0 %), con moderada salinidad (ph=7.8) y (CE= 0.73 dS m⁻¹) con textura o clase textural arcillo-arenosa. En relación a los macro elementos (ppm): 14.41 (N-NO₃) P (11.26) y K-extraíble (686). Los micronutrientes (ppm): Fe, Cu, Zn, Mn, Ca, Mg y Na (0.303, 1.11, 0.81, 2.10, 1.18, 1.75 y 12.125, respectivamente. Las sales (me L⁻¹): CaCO₃ (0.0), HCO₃ (1.55), Cloruros (2.55), NO₃ (1.40) y Sulfatos (11.39).

Los suelos poseen buena retención de humedad aprovechable, con moderados contenidos de potasio y fósforo, deficiente en los micro elementos de hierro y zinc, así mismo, Los suelos tienen bajo contenido de cloruros y sodio.

El área de estudio, cuenta con una estación meteorológica, la cual permite tener el registro de variables climáticas, in situ (Tabla 1). La temperatura media anual de 28.9 °C; así mismo la temperatura promedio del mes más frío (enero) es 15.2 °C; por otra parte, la temperatura del mes más cálido (agosto) es 35.5 °C. Tiene una precipitación anual media de 648 milímetros y el mes más lluvioso es septiembre.

Tabla 1.

Estadísticas históricas climatológicas (1961-2003) de temperatura y precipitación de la estación Río Bravo, Tamaulipas.

	Mes												
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
TMax (°C)	20.2	22.2	26.5	29.6	31.6	34.2	35.5	35.5	33.1	30.1	25.8	22.1	28.9
TMin (°C)	10.2	11.5	15.1	18.9	21.8	23.7	24	23.9	22.5	19	15.2	11.8	18.1
TMinm (°C)	-7.0	-8.3	-1.0	1.0	6.0	16.0	19.0	16.0	11.0	1.0	-1.3	-9.0	-9.0
TMed (°C)	15.2	16.9	20.8	24.3	26.7	28.9	29.8	29.7	27.8	24.5	20.5	17	23.5
PP (mm)	34.9	40.8	26.2	40	66.8	64	55.5	69	113.7	73.7	32.5	31.1	648
NDpp	6	5	3	3	5	5	5	5	8	5	5	5	60

Fuente: Silva et al. (2007). TMax, TMin, TMed y TMinm: Temperatura máxima mínima, media y minimorum; PP: Precipitación y NDpp: número de días con precipitación.

Datos climáticos

El análisis del efecto de la temperatura sobre la vegetación del área de estudio, se basó en el registro de la temperatura del año 2001 al 2021. Los datos se obtuvieron de la estación meteorológica del Campo Experimental del Río Bravo del INIFAP hasta el año 2016, y a partir de ese año hasta la fecha actual, de la estación localizada en Estación Control, dentro del mismo municipio, perteneciente al Servicio Meteorológico Nacional (25°97'16.9"N; 97° 82'05.7"O).

En el caso de los datos promedio para el mes de febrero del año 2021, tales como: temperatura ambiente (°C), humedad relativa (%), velocidad del viento (km h⁻¹), punto de rocío (°C) y presión barométrica (mbar), así como los datos de temperatura por hora los días 15 y 16 de febrero, se obtuvieron de la estación localizada en el aeropuerto de McAllen, Texas en EUA (26°12'59"N; 98°14'11"O), por ser la más cercana al área de estudio con registros climáticos por hora/día.

Conducción de la evaluación

Composición florística

La diversidad vegetal se determinó por medio de un censo, en el área de estudio. El tipo de muestreo que se utilizó para la evaluación fue dirigido (Sarmiento-Muñoz et al., 2019), debido a que las especies arbustivas y arbóreas se localizan en forma dispersa en manchones dentro del área de estudio. Identificación de las especies vegetales

La información se clasificó en dos grandes grupos de especies: nativas de México e introducidas, cuyo centro de origen es diverso en el resto del mundo. Los individuos se contabilizaron por especie, género y familia botánica, conforme a sus características morfológicas; para lo cual se utilizaron referencias sobre la flora del estado de Tamaulipas y sur de Texas EUA ([González-Suárez et al., 2020](#); [Martínez et al., 2019](#); [Taylor, 2014](#); [Mora y Ávalos, 2013](#)). El muestreo consistió en cuantificar en las especies vegetales presentes las siguientes variables: número de individuos por especie y forma biológica que se basa en los biotipos fundamentales, tales como árboles, arbustos y hierbas.

En algunos casos se trata de especies introducidas, con baja frecuencia o menos conocidas en la localidad; se identificaron por medio de una herramienta digital que utiliza fotografías en su aplicación llamada Plantnet ([Pl@ntNet, 2024](#)), y posteriormente se seleccionó una clave taxonómica de la especie para verificar el resultado.

Daño por bajas temperaturas

La evaluación del daño se realizó por medio de la estimación visual de los síntomas externos en las plantas. La diversidad de vegetal presente en el área de estudio no permitió establecer una escala por cada especie, para lo cual se adaptó la propuesta de la Sociedad Europea de la Investigación de la Maleza ([Metcalfe et al., 2023](#)). La escala va de 0.0 al 100.0%; donde 0.0% indica sin efecto y 100.0% la muerte de la planta.

La escala se utiliza para evaluar la toxicidad del cultivo a los herbicidas, y puede usarse en cualquier especie ya que el efecto tóxico de los herbicidas causa muchos síntomas similares a los que ocasiona el daño por bajas temperaturas, tales como: clorosis, quemaduras, deformaciones en tejidos jóvenes, hasta la muerte en plantas susceptibles ([Roberts, 2019](#)). La evaluación se realizó del 22 de febrero al 22 de marzo del año 2021.

A nivel de especie, las variables que se midieron fueron, por medio del daño visual en el follaje, incluso la muerte de la planta:

Defoliación=Número de individuos con pérdida de follaje/ NIVE x 100

Quemaduras foliares= Número de individuos con quemaduras en las hojas/NIVE x 100

Proporción de individuos muertos (PP)= NIM/NIVE

Donde: número de individuos totales (NIVE); número de individuos muertos (NIM)

Análisis estadístico

Los datos de las variables en este estudio se midieron por medio de la estadística descriptiva (media aritmética y proporciones), con el programa Microsoft Excel para Windows versión 10 de 64 bits.

Resultados y Discusión

Condiciones climáticas

Los registros de la temperatura mínima promedio para el mes de febrero desde el año 2001 al presente (Tabla 2), mostraron lo siguiente: El quinquenio del año 2021 al 2024 tuvo en promedio, los registros de menor temperatura (11.5 °C); por la presencia en el año 2022 de un registro (8.8°C), por debajo de la media histórica del mes (11.5 °C); mientras que en año 2021 en descenso fue de solo un grado.

El quinquenio más cálido fue entre los años 2016 al 2020 con un promedio de 14.6 oC, tres grados por arriba del histórico; lo anterior, debido a que en el año 2017 se registró una temperatura con valor record de 17.2 °C, muy alto para ser invierno. Con respecto a los periodos 2001 al 2005, 2006 al 2010 y 2011 al 2015, la diferencia con el histórico reportado fue de 1.1, 0.8 y 0.4 °C, respectivamente ([Tabla 2](#)).

Es importante mencionar que la ciudad de McAllen, Texas, EUA, está a 27 km en línea recta con Río Bravo, Tamaulipas, ya que no hay accidentes geográficos entre ambas. Durante el periodo del año 2001 al 2024, durante el mes de febrero se tienen registros en nueve años de mínimas temperaturas extremas de -17.7 °C (0 °C); tres ocurrieron en el quinquenio (2001-2005); en comparación con el quinquenio 2021 a la fecha solo un evento en el año 2022.

Conforme a los datos en la estación de McAllen, hay al menos un año en un quinquenio donde se pueden presentar eventos con valores por debajo de la temperatura de congelación que pueden alcanzar niveles extremos. Incluso después del frente frío número 35 del año 2021 (10.5 °C), se tuvieron registros en el año 2022 con una temperatura mínima promedio más baja (8.8°C).

Tabla 2. Registro por quinquenio de la temperatura mínima en el mes de febrero. Norte de Tamaulipas.

Año	Tmin (°C)	Año	Tmin (°C)	Año	Tmin (oC)	Año	Tmin (°C)	Año	Tmin (°C)
2001	14.4	2006	11.1	2011	10.8	2016	12.9	2021	10.5
2002	10.3	2007	11.5	2012	14.0	2017	17.2	2022	8.8
2003	11.6	2008	14.0	2013	13.8	2018	15.4	2023	12.6
2004	11.1	2009	14.5	2014	10.9	2019	14.7	2024	13.6
2005	15.6	2010	10.4	2015	10.0	2020	12.7	2025	--
Media	12.6		12.3		11.9		14.6		11.5

Tmin: Temperatura mínima promedio.

La diferencia entre ambos años, fue la duración de las bajas temperaturas. En año 2022, la caída de la temperatura ocurrió en forma súbita entre las 12:00 horas a las 15:00 horas: de 26 °C pasó a -17.7 °C, después se incrementó a 29 °C. En ambos casos no se registró precipitación.

Los fenómenos atmosféricos que influyen en el clima, tales como el calentamiento estratosférico repentino, el estiramiento del vórtice polar estratosférico y la reflexión de las ondas no tuvieron una contribución perceptible al frío récord en América del Norte, durante el mes de febrero del año 2021; es probable que la circulación troposférica y el acoplamiento bidireccional entre la tropósfera y la estratósfera fueron contribuyentes dominantes (Davis et al., 2022).

Durante el frente frío número 35, que avanzó sobre el Norte de Tamaulipas a nivel local se tuvieron registros de la temperatura ambiente máxima, media y mínima en Río Bravo, Tamaulipas fueron 22±5.6, 15±3.9 y 9±2.8 °C, respectivamente (Tabla 3); la variación más grande se observó en la temperatura mínima con 30.5 %; en comparación con la temperatura máxima y media; con respecto a la precipitación se registraron 10.1 mm de lluvia. En el periodo histórico de 1961 al 2003; del mes de febrero, se reportan 22 °C (Tmax), 16.9 °C (Tmed) y 11.5 °C (Tmin); con una temperatura mínima minimorum de -8.3 °C y 40.8 mm de precipitación (Silva et al., 2007); es decir un grado menos de temperatura mínima promedio y cuatro veces menor precipitación.

El frente frío disminuyó su velocidad al tocar tierra en la costa, a nivel local la velocidad máxima de los vientos fue de 30 km h⁻¹ (Tabla 3).

En comparación con los vientos 83.3 km h⁻¹ frente a costas de Tamaulipas y Veracruz; estas condiciones prevalecen el 13 de febrero y para el 14 de febrero, el sistema de alta presión se fortalece a 1046 mb, por lo que, el 15 de febrero se registran rachas de viento de 92.6 km h⁻¹ en el centro del Golfo de México y de 74.0 a 83.3 km h⁻¹ en el oeste del mismo (SMAR, 2022).

La ola de frío extremo del mes de febrero del 2021, puede ser atribuida a una anomalía de circulación de fondo a gran escala sobre el Pacífico Norte y América del Norte que fue una manifestación, tanto de la variabilidad natural; es decir, un patrón negativo Pacífico-América del Norte, como de una tendencia del calentamiento que comenzó a fines de la década de 1990 (Hsu et al., 2022).

Tabla 3. Variables climáticas del mes de febrero 2021. Río Bravo Tamaulipas. México

Promedio	Temperatura (°C)			Punto de rocío (°C)			Presión barométrica (milibares)		
	Max	Med	Min	Max	Med	Min	Max	Med	Min
Media	22	15	9	7	1	2	1017	1014	1011
σ	5.6	3.9	2.8	1.7	0.3	6.8	7.0	6.4	6.2
(%)	25.6	25.5	30.5	25.2	35.2	331.8	0.7	0.6	0.6
	Velocidad del viento (km h ⁻¹)			Humedad relativa (%)					
	Max	Med	Min	Max	Med	Min			
Media	30	18	8	91	75	49			
σ	6.7	5.6	7.1	7.8	11.5	17.7			
(%)	22.1	30.9	92.3	8.5	15.3	36.2			

σ: desviación estándar.

Al presente no existen antecedentes del efecto del daño por frío o de heladas en la masa arbustiva o arbórea de la región norte de Tamaulipas. La atención se centra en los cultivos de sorgo y maíz.

El sorgo (*Sorgum bicolor Moench*) es el cultivo más importante durante el otoño-invierno que cubre la mayor parte de la superficie abierta del norte del estado con cerca de 500 mil hectáreas (Servicio de Información Agroalimentaria pesquera [SIAP], 2024), ya que la afectación tiene implicaciones económicas por el siniestro al cultivo y las potenciales mermas al rendimiento (Alejandro-Allende et al., 2020).

Este cereal es un cultivo adaptado a zonas cálidas (Vera-Hernández et al., 2018), donde las temperaturas mínimas promedio durante el período de crecimiento generalmente se mantienen por encima de los 18°C (Antony et al., 2019). En general la respuesta a los mecanismos moleculares vegetales, que afectan las temperaturas frías de congelamiento (< 0°C) son diferentes en comparación con el estrés por frío (0°C a 15°C), como lo señala Palta y Weiss (2018).

En el caso de especies frutales, el daño por congelación en los tejidos vegetales es considerado un estrés abiótico principal en los cultivos frutales (Chaar, 2013).

Los factores ambientales tienen una importancia en limitar el crecimiento y adaptación de la masa vegetal. A nivel local en el área de estudio durante el periodo del 10 al 18 de febrero del 2021, que corresponde al frente frío número 35 se presentaron bajas temperaturas, el día 15 osciló entre -3.8 °C a 0.6 °C por 24 horas; así mismo el día 16 fueron entre -3.3 °C a 0.0 °C por 12 horas; en total se acumularon en 36 horas de temperaturas por abajo del punto de congelación del agua.

El frente frío número 35 se produjo por el movimiento de una masa de aire polar, que llegó desde el sur de Texas EUA al norte de Tamaulipas (SMAR, 2022). Este evento generó las condiciones para una helada de tipo advección; es decir el aire frío fluye en un área para reemplazar el aire más caliente que está presente antes del cambio meteorológico. Lo anterior ocasionará nubosidad, vientos de moderados a fuertes, a menudo las temperaturas caerán por debajo del punto de fusión (0 °C) y permanecerán así todo el día (Snyder et al., 2010).

Una helada se presenta cuando la temperatura del aire cercano a la superficie del terreno disminuye a 0 °C o menos, durante un tiempo mayor a cuatro horas, presentándose generalmente en las madrugadas o cuando está amaneciendo (Valverde et al., 2024). Las heladas en el estado de Tamaulipas están en relación directa con el clima, la cercanía con el golfo de México y a la altitud de sus tierras, con una frecuencia de heladas en la región norte menor a 20 días al año (Secretaría de gobernación [SEGOB], 2011).

En los siguientes párrafos se describirá el efecto del evento climático en la flora nativa e introducida. La reacción al estrés por frío varía según el nivel de temperatura, la duración y la etapa fenológica. Las bajas temperaturas pueden provocar deshidratación de los tejidos y déficit hídrico, debido a la reducción en la absorción de agua y a un desbalance con la tasa de transpiración de las hojas (Aroca et al., 2012; Bekele et al., 2014).

Composición florística

Existe diversidad genética en la vegetación del área bajo estudio (Tabla 4). En total se contabilizaron 602 individuos de especies introducidas, que correspondieron a 20 familias, 26 géneros y 27 especies diferentes, las cuales se introdujeron al Campo Experimental de Río Bravo, en el Norte de Tamaulipas.

La familia más importante en este registro fue la Fabaceae, con cuatro especies de tipo arbóreo: amboyna (*Pterocarpus indicus* Willd.), framboyán [*Delonix regia* (Bojer) Raf.], falsa caoba (*Bauhinia variegata* L.) y mezquite (*Prosopis glandulosa* Torr.). En segundo lugar, Myrtaceae: guayabo (*Psidium guajava* L.), eucalipto blanco (*Eucalyptus globulus* Labill.) y eucalipto rojo (*Eucalyptus camaldulensis* Dehnh.), mientras que el resto de familias están constituidas por una sola especie.

El origen geográfico, las especies se ubican en zonas tropicales y subtropicales del mundo, con excepción durazno [*Prunus persica* (L.) Batsch], que son originarios de zonas con clima templado a frío (Tabla 4). En el caso del guayabo (*Psidium guajava* L.) se considera una especie exótica o introducida ya que no hay certeza de cuál es su centro de origen el cual puede ser Centro América y/o México (Bandera y Pérez, 2015).

Tabla 4. Especies introducidas a Río Bravo Tamaulipas, México.

Número	Familia	Nombre común	Especie
1	Araceae	Garra de león	<i>Philodendron bipinnatifidum</i> Schott ex Endl.
2	Arecaceae	Palma col	<i>Livistona australis</i> (R.Br.) Mart.
2	Arecaceae	Palma pigmea	<i>Phoenix roebelenii</i> O'Brienn.
3	Bignoniaceae	Jacaranda	<i>Jacaranda mimosifolia</i> D. Don.
4	Boraginaceae	Anacahuita	<i>Cordia boissierie</i> A. DC.
5	Cactaceae	Pitahaya	<i>Selenicereus undatus</i> (Haworth) D.R. Hunt
6	Casuarinaceae	Casuarina	<i>Casuarina equisetifolia</i> L.
7	Cupressaceae	Ciprés	<i>Platycladus orientalis</i> (L.) Franco
8	Cycadaceae	Cica	<i>Cycas revoluta</i> Thumb.
9	Fabaceae	Amboyna	<i>Pterocarpus indicus</i> Will.
9	Fabaceae	Framboyán	<i>Delonix regia</i> (Bojer ex Hook.) Raf.
9	Fabaceae	Falsa caoba	<i>Bauhinia variegata</i> L.
9	Fabaceae	Mezquite	<i>Prosopis glandulosa</i> Torr.
10	Iridaceae	Iris de África	<i>Dietes bicolor</i> (Steud.) Sweet ex Klatt
11	Juglandaceae	Nogal	<i>Juglans regia</i> L.
12	Meliaceae	Neem	<i>Azadirachta indica</i> A. Juss.
12	Meliaceae	Paraíso	<i>Melia azedarach</i> L.
13	Moraceae	Higuera	<i>Ficus carica</i> L.
14	Myrtaceae	Guayabo	<i>Psidium guajava</i> L.
14	Myrtaceae	Eucalipto blanco	<i>Eucalyptus globulus</i> Labill.
14	Myrtaceae	Eucalipto rojo	<i>Eucalyptus camaldulensis</i> Dehnh.
15	Nyctaginaceae	Buganvilla	<i>Bougainvillea spectabilis</i> Will.
16	Oleaceae	Fresno sureño	<i>Fraxinus berlandieriana</i> A. DC.
17	Pittosporaceae	Azar de china	<i>Pittosporum tobira</i> (Thunb.) W.T.Aiton
18	Rosaceae	Durazno	<i>Prunus persica</i> (L.) Batsch
19	Rutaceae	Naranja agrio	<i>Citrus aurantium</i> L.
20	Tamaricaceae	Pinabete	<i>Tamarix aphylla</i> (L.) H. Karst.

En el área bajo estudio no se observó la misma diversidad genética en las especies nativas de México, en comparación con las especies introducidas de otras regiones del mundo (Tabla 5). En total se contabilizaron 558 individuos, que correspondieron a ocho familias con 11 géneros diferentes. Con respecto al número de individuos, el grupo de especies nativas fue similar al grupo de especies introducidas (602).

El tipo de vegetación nativa de la región Norte de Tamaulipas, se encuentra compuesta por cultivos anuales, debido a la perturbación que sufrió por el cambio de uso del suelo, cuando se desmontó una gran parte de la Planicie Costera Nororiental. Lo anterior, para propósitos agrícolas con un potencial hasta 2 millones de hectáreas ([SIAP, 2024](#)), cuyos principales cultivos son el sorgo y el maíz ([Alejandro-Allende et al., 2020](#); [Reséndiz Ramírez et al., 2014](#)).

Antecedentes previos de la vegetación en el estado de Tamaulipas, registran un total de 215 especies, pertenecientes a 173 géneros y 60 familias de plantas fanerógamas, siendo la mayoría nativas (88%) y las familias mejor representadas fueron Fabaceae y Asteraceae ([González-Suárez et al., 2020](#)). En esta evaluación se registraron en total 35 géneros. Asimismo, de las 29 familias presentes solo el 38% correspondió a vegetación nativa de México, con representación de las familias Asparagaceae y Cactaceae ([Tabla 5](#)).

Entre las especies nativas, la más importante con valor forestal fue el ébano (*Pithecellobium ébano*), árbol endémico de la vegetación de la selva baja espinosa subcaducifolia de Tamaulipas ([Tabla 5](#)), la cual se localiza en la zona donde crecen especies arbóreas que alcanzan alturas variables de 8 a 10 m, en climas cálidos subhúmedos que varían desde Af y Aw hasta Aw1, se localiza en el rango altitudinal de 250 hasta 750 m.s.n.m ([Treviño y Valiente, 2005](#)).

Tabla 5. Especies nativas en Río Bravo Tamaulipas, México.

Número	Familia	Nombre común	Especie
1	Asparagaceae	Chochas	<i>Yucca treculeana</i> Carrière
1	Asparagaceae	Agave	<i>Agave weberi</i> J.F.Cels ex J.Poiss.
1	Asparagaceae	Mezcal de maguey	<i>Agave angustifolia</i> Haw.
2	Cactaceae	Nopal tunero costero	<i>Opuntia stricta</i> (Haw.) FALTA
2	Cactaceae	Nopal	<i>Opuntia elatior</i> Mill.
2	Cactaceae	Nopal cuijo	<i>Opuntia engelmannii</i> Salm-Dyck ex Engelm
2	Cactaceae	Órgano	<i>Pachycereus marginatus</i> Britton & Rose
3	Davalliaceae	Helecho serrucho	<i>Nephrolepis cordifolia</i> (L.) C. Presl
4	Fabaceae	Guaje	<i>Leucaena leucocephala</i> de Wilt.
4	Fabaceae	Ébano	<i>Pithecellobium ébano</i> (Berland.) C. H. Mull.
5	Lauraceae	Aguacate criollo	<i>Persea americana</i> Mill. var. <i>drymifolia</i>
6	Palmaceae	Palma de michero	<i>Sabal mexicana</i> Mart.
7	Scrophulariaceae.	Cenizo	<i>Leucophyllum frutescens</i> (Berl.) I.M. Johnst.
8	Verbenaceae	Duranta verde	<i>Duranta erecta</i> L.

Daño por bajas temperaturas

Después del evento climático del frente frío número 35, la vegetación del área empezó a manifestar el daño a consecuencia de las bajas temperaturas ([Tabla 6](#)). Los síntomas de efecto de las bajas temperaturas fueron diferentes entre la vegetación. Hay especies que se dividieron en dos clases porque tuvieron diferente altura; además, 19 especies tuvieron forma biológica de árboles y siete arbustos ([Tabla 6](#)).

La especie dominante fue el pinabete [*Tamarix aphylla* (L.) H. Karst] con el 45.8% de los individuos, el cual no presentó daños relevantes por las bajas temperaturas; es un árbol que puede sobre pasar los diez metros de altura, tolerante a la sequía extrema y salinidad del suelo y de crecimiento rápido ([Walker et al., 2006](#)). Esta especie fue introducida al área de estudio como cortina rompe vientos, sobre todo por la presencia de los vientos denominados “nortes”. *T. aphylla* tiene estrategias de adaptación anatómicas y fisiológicas, para adaptarse a diferentes tipos de estrés abióticos ([Bencherif et al., 2020](#)).

En el resto de especies arbóreas se registraron seis especies con defoliación en diferentes grados (amboyna, framboyán, guayabo, jacaranda, naranjo agrío y neem), dos con ligeras quemaduras en los bordes del follaje (mesquite, fresno y pinabete); así mismo diez especies arbóreas no tuvieron ningún daño: ciprés, durazno, eucalipto blanco y rojo, falsa caoba, higuera, nogal, palma col, paraíso y pinabete ([Tabla 4](#)).

En el caso del pinabete se contabilizaron 262 individuos, de los cuales presentaron síntomas de quemaduras foliares leves aquellos que tuvieron una altura entre 5 a 10 metros, que representan el 5% de la población. Los daños fueron severos desde la defoliación completa hasta la muerte de la planta ordenados de mayor a menor: en la pitahaya (100%), guayabo (57%), palma pigmea (50%), framboyán (33%), buganvilla (30%), neem (26%), jacaranda (20%) y mezquite (13%).

Los principales daños a consecuencia de las baja temperaturas en plantas sensitivas, se pueden atribuir al desorden metabólico por la acumulación de metabolitos tóxicos ([Reshi et al., 2023](#)). En el caso de esta evaluación las especies introducidas tuvieron pérdida de individuos por mortalidad, con efecto inmediato, lo cual es indicativo de la magnitud del evento climatológico y de la sensibilidad de la especie al frío.

El registro de las especies introducidas al área de estudio mostró que tenían diversidad genética, la mayoría tienen como centro de origen, clima tropical y subtropical. Este hecho implica que el descenso de la temperatura por abajo del punto de congelamiento tendría un mayor impacto en este grupo de especies, lo cual no ocurrió, considerando que se registraron bajas temperaturas por 36 horas continuas. Esta respuesta puede ser atribuida al porcentaje de humedad relativa ambiental, la cual osciló el día 15 de febrero entre 54 a 89% y el 16 de febrero entre 67 a 100%, lo cual pudo ayudar a compensar el efecto del daño por frío ([Afolabi et al., 2023](#)).

Tabla 6. Efecto del daño por el frente frío número 35 del año 2021 en la vegetación introducida.

Nombre común	NIVE	Altura (m)	FB	Daño visual frecuente	NIM	PP
Amboyana	6	3 a 4	árbol	Defoliación 30%	0	0
Anacahuita	12	2 a 4	arbusto	Ninguno	0	0
Azhar de china	10	0.60	arbusto	Quemadura leve hojas 20%	0	0
Bugamilia	20	1 a 3	arbusto	Defoliación completa	6	0.30
Casuarina	20	5 a 9	árbol	Ninguno	0	0
Cica	5	1.5	arbusto	Quemaduras foliares 20 %	0	0
Cipres	2	3	árbol	Ninguno	0	0
Durazno	2	1.5 a 3	árbol	Ninguno	0	0
Eucalipto blanco	1	20	árbol	Ninguno	0	0
Eucalipto rojo	2	3	árbol	Ninguno	0	0
Falsa caoba	3	4	árbol	Ninguno	0	0
Framboyán	15	10	árbol	Defoliación completa	5	0.33
Fresno sureño	25	10	árbol	Quemaduras foliares 20 %	0	0
Garra de león	15	0.50 a 0.80	arbusto	Quemaduras foliares 20 %	0	0
Guayabo	7	4 a 6	árbol	Defoliación completa	4	0.29
Higuera	3	1 a 3	árbol	Ninguno	0	0
Iris de África	40	0.7	arbusto	Quemaduras foliares 20 %	0	0
Jacaranda	10	15 a 20	árbol	Defoliación 50%	2	0.20
Mezquite	40	6 a 9	árbol	Ninguno	0	0
Mezquite	30	2 a 3	árbol	Quemaduras foliares 20 %	5	0.13
Naranjo agrio	20	2 a 3	árbol	Defoliación entre 20 % a 50%	0	0
Neem	23	3 a 10	árbol	Defoliación completa	6	0.26
Nogal	1	8	árbol	Ninguno	0	0
Palma col	20	3 a 5	árbol	Ninguno	0	0
Palma pigmea	2	1.7	arbusto	Quemaduras foliares 50 %	1	0.50
Paraíso	5	3 a 6	árbol	Ninguno	0	0
Pinabete	250	10 a 20	árbol	Ninguno	0	0
Pinabete	12	5 a 10	árbol	Quemaduras foliares 20 %	0	0
Pitahaya	1	1.5	arbusto	Quemadura completa	1	1.00

FB: Forma biológica. Datos por especie. NIVE: Número de individuos totales. NIM: Número de individuos muertos; PP: proporción de la población de individuos muertos.

El Norte de Tamaulipas es un área geográfica donde se presentan eventos de bajas temperaturas en forma regular, la adaptación local en los límites térmicos y la expresión genética puede facilitar la tolerancia al frío en una diversidad de especies ([Pimsler et al., 2020](#)).

En especies perennes tales como el olivo (*Olea europea* L.), se reporta que los tejidos vegetales muestran diferentes respuestas a los eventos de congelación, durante el frío invernal, tales como el efecto en las hojas, los brotes y las ramas, incluso con afectación de todo el árbol, hasta la muerte, por temperaturas inferiores a -7.6°C; este umbral puede variar entre cultivares ([Valverde et al., 2020](#)).

En el caso de las especies frutales introducidas como nativas en esta evaluación, solo presentaron en las hojas, en estado vegetativo; puesto que, la etapa más vulnerable a los descensos de temperatura es la reproductiva; siendo las heladas las causantes de mayores pérdidas ([Chaar, 2013](#)).

La especie nativa dominante fue el guaje (*[L. leucocephala* (Lam.) de Wild], con el 59% de individuos (Tabla 7). Es importante mencionar el efecto del frente frío sobre esta especie, ya que todos los individuos se defoliaron al cien por ciento. Además, el daño por las bajas temperaturas ocasionó la mortalidad del 15% de la población (Tabla 7). Esta especie se introdujo en el área de estudio, como un recurso para la restauración de agostaderos y praderas en el Norte de Tamaulipas ([Piña, 2005](#)).

En cuanto a las especies que se utilizaron para plantaciones forestales comerciales en orden de importancia son: *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh, *Leucaena leucocephala* Lam. de Wild y *Eucalyptus globulus* Labill, en el municipio de Río Bravo y el resto del Norte de Tamaulipas ([Castro y Juárez, 2010](#)). En esta evaluación las dos especies de eucalipto no tuvieron afectación de las bajas temperaturas.

El guaje tiene mayor adaptación y potencial de producción de biomasa en áreas tropicales y subtropicales ([Martínez et al., 2019](#)); esto explicaría la respuesta o grado de susceptibilidad al frío que mostró esta especie ([Tabla 7](#)). El guaje se considera como una de las 100 especies más invasoras a escala global. A pesar de su amenaza potencial, su introducción se promueve cada vez más para la agro silvicultura, la ornamentación, el sombreado en las regiones forestales cálidas y templadas ([Vossler y Delucchi, 2022](#)).

En zonas como Río Bravo, Tamaulipas, el guaje tendría una adaptación potencial, conforme a la magnitud de las bajas temperaturas y la intensidad de los frentes fríos, que regularmente se presentan durante el invierno, e incluso por eventos extremos.

Tabla 7. Efecto del daño por el frente frío número 35 del año 2021 en la vegetación nativa.

Nombre Común	NIVE	Altura (m)	FB	Daño visual frecuente	NIM	PP
Agave	7	0.30 a 1.20	arbusto	Quemaduras pencas 70 %	4	0.57
Aguacate criollo	1	3	árbol	Defoliación completa	0	0.00
Cenizo	1	1.5	arbusto	Ninguna	0	0.00
Chochas	6	1 a 3	arbusto	Defoliación completa	3	0.50
Duranta verde	10	0.7	arbusto	Quemaduras foliares 20 %	0	0.00
Ébano	30	5 a 15	árbol	Ninguno	0	0.00
Ébano	10	5 a 15	árbol	Ninguno	0	0.00
Guaje	330	2 a 6	árbol	Defoliación completa	50	0.15
Helecho serrucho	40	0.30 a 0.60	arbusto	Quemadura foliares 20 %	0	0.00
Mezcal de maguey	2	0.6	arbusto	Ninguno	0	0.00
Nopal	30	2 a 4	árbol	Quemaduras cladodios 20 %	0	0.00
Nopal cuijo	20	2 a 3	arbusto	Quemaduras en cladodios 20 %	0	0.00
Nopal tunero	16	1 a 4	arbusto	Quemadura del cladodio 20 %	1	0.06
Órgano	5	1 a 3	arbusto	Ninguno	0	0.00
Palma de michero	50	15 a 20	árbol	Quemadura foliares 20 %	0	0.00

FB: Forma biológica. Datos por especie. NIVE: Número de individuos totales. NIM: Número de individuos muertos; PP: proporción de la población de individuos muertos.

Otras especies, que mostraron susceptibilidad al frío desde quemaduras hasta la muerte de individuos fueron: agave (57%); chochas (50%) y nopal tunero (6%). Estas especies son nativas de México, pero su hábitat se encuentra desde el centro hasta el sur del estado de Tamaulipas ([González-Suárez et al., 2020](#)) en regiones menos frías ([Silva et al., 2007](#)).

Las lesiones por frío pueden afectar a todas las partes de la planta. Los tejidos de las hojas y los tallos se dañan cuando se forma hielo dentro de las células de la planta, lo que ocurre típicamente durante una helada rápida. Las plantas resistentes o tolerantes al frío a menudo pueden soportar este tipo de formación de hielo ([Wassan et al., 2021](#)); cuando esto sucede, el tejido de la planta muere.

Las plantas tienen lesiones marrones y blandas por la pérdida de integridad estructural ([Yahia et al., 2019](#)). Por otra parte, las condiciones de viento, durante un evento de bajas temperaturas, puede causar daños por desecación y ocasionar quemaduras en los bordes las hojas, debido a que la planta pierde más agua de la que absorbe, especialmente cuando el suelo está congelado ([Wilson, 2022](#)). Incluso, los síntomas del daño por congelación invernal se desarrollan hasta que llegan las temperaturas cálidas ([Charrier et al., 2018](#)), las cuales en esta región del Norte de Tamaulipas empiezan desde el mes de marzo.

Conclusiones

En un periodo de 24 años de registros de la temperatura mínima promedio, durante el mes de febrero se presentaron años más cálidos, que el promedio histórico registrado, entre los años 2016 al 2020 con tres grados por arriba.

En promedio el mes de febrero del año 2022, fue el más frío (8.8 °C), en comparación con el mes de febrero del año 2021 (11.5 °C) durante el frente frío número 35. La diferencia entre ambos registros fue el número de horas en las que se acumularon temperaturas por debajo del punto de congelación. En año 2022, la caída de la temperatura ocurrió en forma súbita a partir del mediodía y duró así por tres horas, mientras que en el año 2021 fue de 36 horas continuas, con ausencia de precipitación, lo que impidió que nevase.

El frente frío número 35 del 2021 generó condiciones para una helada de tipo advección. Los daños visuales por efecto de la helada fueron quemaduras en las hojas, defoliación en diferentes grados y en las especies más sensibles al frío la muerte de la planta. El 79% de las especies nativas y 72% de las introducidas no tuvieron síntomas graves por las bajas temperaturas.

En futuros programas de reforestación en la localidad es importante este antecedente. Considerando el origen tropical y subtropical de la mayoría de las especies, el daño fue parcial y menor al que se pudiera esperar, dadas las condiciones climáticas del evento, lo cual puede explicarse por la capacidad de aclimatación de la flora a las bajas temperaturas típicas de la región Norte de Tamaulipas. Este tipo de estudio permite describir una situación en un momento dado del tiempo, se utiliza para generar hipótesis y proporcionar una base para investigaciones específicas, con estudios analíticos. En futuras propuestas de investigación, sobre el efecto de los frentes fríos con bajas temperaturas extremas en la localidad, se podrían realizar con una combinación de experimentos controlados y monitoreo ambiental, ya que influyen también en el resto del ecosistema incluyendo fauna local e incluso comunidades rurales.

Agradecimientos

Al proyecto INIFAP “Boletines mensuales del estado que guardan los componentes clima, suelo y cultivos en la región norte de Tamaulipas”, por la información proporcionada. Al Ph. D. Héctor Manuel Cortinas Escobar por su apoyo en la revisión del manuscrito original.

Declaraciones

Fondos: Este estudio no fue financiado.

Conflicto de intereses: Los autores no tienen intereses financieros que revelar. No hay conflictos e intereses.

Cumplimiento de estándares éticos: No se realiza ningún experimento, con personas o animales.

Contribuciones de autor: CLMAE: Conceptualización, elaboración de la metodología y levantamiento del datos; SSMM: Información climática; GCR: Revisión de la edición final con el formato oficial de la revista; SMBE: Levantamiento del censo; MER: Responsable del análisis de suelo e interpretación; RHM: Levantamiento del censo.

Disponibilidad de datos: Los datos del estudio están disponibles por medio del autor principal y se pueden solicitar. No son de acceso abierto en una base de datos pública.

Referencias bibliográficas

- Adamo, N., Alansari, N., & Sissakian, V. (2021). Review of Climate Change Impacts on Human Environment: Past, Present & Future Projections. *Engineering*, 13(6), 605-630. <https://doi.org/10.4236/eng.2021.1311044>
- Afolabi, A. S., Choi, I.-L., Lee, J. H., Kwon, Y. B., & Kang, H.-M. (2023). High-Relative-Humidity Storage Reduces the Chilling Injury Symptoms of Red Sweet Peppers in the Breaker Stage. *Horticulturae*, 9(1), article 116. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9010116>
- Alejandro-Allende, F., García-Mata, R., García-Sánchez, C., Mora-Flores, J. S., & Sangerman Jarquín, D. M. (2020). Competitividad de la producción de sorgo en el Norte de Tamaulipas, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(1), 139-150. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i1.1914>
- Antony, R. M., Kirkham, M. B., Todd, T. C., Bean, S. R., D. Wilson, J., R. Armstrong, P., Maghirang, E., & L. Brabec, D. (2019). Low-temperature tolerance of maize and sorghum seedlings grown under the same environmental conditions. *Journal of Crop Improvement*, 33(3), 287-305. <https://doi.org/10.1080/15427528.2019.1579139>
- Aroca, R., Porcel, R., & Ruiz, L. J. M. (2012). Regulation of root water uptake under abiotic stress conditions. *Journal Experimental Botany*, 63(1), 43-57. <https://doi.org/10.1093/JXB/ERR266>
- Bandera, F. E. & Pérez, P. L. (2015). Mejoramiento genético de guayabo (*Psidium guajava* L.). *Cultivos Tropicales*, 36(Supl. 1), 96-110.
- Bekele, W. A., Fiedler, K., Shiringani A., Schnaubelt D., Windpassinger S., Uptmoor R., Friedt, W., & Snowdon, R. J. (2014). Unravelling the genetic complexity of sorghum seedling development under low-temperature conditions. *Plant Cell Environmental*, 37 (3), 707-723. <https://doi.org/10.1111/pce.12189>
- Bencherif, K., Trodi, F., Hamidi, M., Dalpè, Y., Hadj-Sahraoui, A.L. (2020). Biological Overview and Adaptability Strategies of Tamarix Plants, *T. articulata* and *T. gallica* to Abiotic Stress. In: Giri, B., Sharma, M.P. (eds) *Plant Stress Biology*. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-15-9380-2_14

- Bitsa, E., Flocas, H., Kouroutzoglou, J., Hatzaki, M., Rudeva, I., & Simmonds, I. (2019). Development of a front identification scheme for compiling a cold front climatology of the mediterranean. *Climate*, 7(11), 11: 130. <https://doi.org/10.3390/cli7110130>
- Cardozo, Balbino, A., Reboita, S. M. S., & García, S. R. (2015). Climatology of cold fronts over South America and its relation with the southern. *Revista Brasileira de Climatologia*, 17(2): 9-26. <https://doi.org/10.5380/abclima.v17i0.40124>
- Castro, S., U. B., & Juárez, R. C. R. (2010). Estudio regional forestal: Cuenca de San Fernando Estado: Tamaulipas. <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/9/3420Estudio%20Regional%20Forestal%202801>
- Catto, J. L., & Raveh, R.S. (2019). Climatology and dynamics of the link between dry intrusions and cold fronts during winter. Part I: Global climatology. *Climate Dynamics*, 53(3), 1873-1892. <https://doi.org/10.1007/s00382-019-04745-w>
- Chaar, J. E. (2013). Resistencia a heladas en plantas frutales. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 17(3), 109-121.
- Charrier, G., Lacointe, A., & Améglio T. (2018). Dynamic modeling of carbon metabolism during the dormant period accurately predicts the changes in frost hardiness in walnut trees *Juglans regia* L. *Frontiers in Plant Science*, 9: Article 1746. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01746>
- Contreras, S. C., Galindo Mendoza, M. G. y Ibarra Zapata, E. (2012). Las regiones agroecológicas de México. Memorias SELPER. <https://www.researchgate.net/publication/282878725>
- Davis, N. A., Richter, J. H., Glanville, A. A., Edwards J., & Lajoie, E. (2022). Limited surface impacts of the January 2021 sudden stratospheric warming. *Natural Communications*, 13(1), 1136. <http://doi.org/10.1038/s41467-022-28836-1>
- Dobler, M. C., & Bocco, G. (2021). Social and environmental dimensions of drought in Mexico: An integrative review. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 55: Article 102067. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2021.102067>
- Espinosa Ramírez, M., Andrade Limas, E., Rivera Ortiz, P., & Romero Díaz, A. (2011). Degradación de suelos por actividades antrópicas en el norte de Tamaulipas, México. *Papeles de Geografía*, (53-54), 77-88. <https://revistas.um.es/geografia/article/view/143451>
- Frausto Ortega, J. (2016). Abasto del agua en la frontera norte de Tamaulipas. *Frontera Norte*, 28(55), 153-182. <https://doi.org/10.17428/rfn.v28i55.146>
- González-Suárez, M., Mora-Olivo, A., Villanueva-Gutiérrez, R., Lara-Villalón, M., Vanoye-Eligio, V., & Guerra-Pérez, A. (2020). Diversidad de la flora de interés apícola en el estado de Tamaulipas, México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 11 (3), 914-932. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v11i3.4717>
- Hsu, H. H., Hong, H. J., Chen, T. Y. Chen, L.Y., & Tseng, W. L. (2022). 2021 Texas cold snap: Manifestation of natural variability and a recent warming trend. *Weather and Climate Extremes*, 37: Article 100476, <https://doi.org/10.1016/j.wace.2022.100476>
- Instituto Nacional de Estadística y geografía [INEGI]. (2017). Anuario Estadístico y Geográfico de Tamaulipas 2017. https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/anuarios_2017/702825094928.pdf
- Lagerquist, R., Allen, J.T., & McGovern, A. (2020). Climatology and variability and warm and cold fronts over north america from 1979 to 2018. *Journal of Climate*, 33(15), 6531-6554. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-19-0680.1>
- Lynas, M., Houlton, B. & Perry, S. (2021). Greater than 99% consensus on human caused climate change in the peer-reviewed scientific literatura. *Environmental Research Lettetsrs*, 16: Article 114005. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac2966>
- Martínez-Hernández. P.A., Cortés Díaz., E., Purroy Vásquez. R., Palma García. J., Del Pozo-Rodríguez, M. P. P. y C. Vite-Cristóbal. (2019). *Leucaena leucocephala* (LAM.) de WIT especie clave para una producción bovina sostenible en el trópico. *Tropical & Subtropical Agroecosystems*, 22(2), 331-357. <http://dx.doi.org/10.56369/tsaes.2707>

- Mendoza, M., Ramírez, R., Ocaña, K. y Ávila, D. L. (2023). Efecto del oleaje debido a un evento “Norte” en el Golfo de México. <https://imt.mx/resumen-boletines.html?IdArticulo=575&IdBoletin=202>
- Metcalfe, H., Bürger, J., Redwitz, C. V., Cirujeda, A., Fogliatto, S., Dostatny, D. F., Gerowitt, B., Glemnitz, M., González-Andújar, J. L., Hernández Plaza, E., Izquierdo, J., Kolářová, M., Nečajeva, J., Petit, S., Pinke, G., Schumacher, M., Ulber, L., Vidotto, F., & Fried, G. (2023). The utility of the ‘Arable Weeds and Management in Europe’ database: Challenges and opportunities of combining weed survey data at a European scale. *Weed Research*, 63(1), 1-11. <https://doi.org/10.1111/wre.12562>
- Mora, M. O., & Ávalos, J.G. (2013). Plantas Silvestres Cd. Victoria, Tamaulipas, México del Bosque Urbano. Instituto de Ecología Aplicada Universidad Autónoma de Tamaulipas. Universidad Autónoma de Tamaulipas. 141 p. https://www.researchgate.net/publication/259238957_Plantas_Silvestres_del_Bosque_Urbano_Cd_Victoria_Tamaulipas_Mexico
- Moradtalab, N., Weinmann, M., Walker, F., Höglinger, B., Ludewig, U., & Neumann, G. (2018). Silicon improves chilling tolerance during early growth of maize by effects on micronutrient homeostasis and hormonal balances. *Frontier Plant Science*, 9: Article 420. <http://doi: 10.3389/fpls.2018.00420>
- NOAA. (2024). Annual 2023 Global Climate Report. Accessed January 17, 2024. <https://www.ncei.noaa.gov/access/monitoring/monthly-report/global/202313>
- Palta, J. P., & Weiss, L. S. (2018). Ice formation and freezing injury: An overview on the survival mechanisms and molecular aspects of injury and cold acclimation in herbaceous plants. En P. H. Li & L. Christersson (Eds.), *Advances in Plant Cold Hardiness* (1.a ed., pp. 143-176). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781351069526-11>
- Pimsler, M. L., Oyen, K. L., Herndon, J. D., Jackson, M., Strange, J. P., Dillon, M. E., & Lozier, J. D. (2020). Biogeographic parallels in thermal tolerance & gene expression variation under temperature stress in a widespread bumble bee. *Science Reproduction* 10(1), Article 17063. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-73391-8>
- Piña, M. O. (2005). Informe final del Proyecto CJ039: Prácticas de restauración y conservación de suelos de uso agropecuario. <http://www.conabio.gob.mx/institucion/proyectos/resultados/Informe%20final%20-%20CJ039ok.pdf>
- Pl@ntNet (2022). Regional floras are based on WCVP. Govaerts R (ed.). 2022. The World Checklist of Vascular Plants (WCVP). Royal Botanic Gardens, Kew. <https://identify.plantnet.org/es>
- Quiroz-González, B., Corrales-García, J. J. E., Colinas-León, M. T. B., & Ybarra-Moncada, M. C. (2017). Identification of variables correlated with chilling injury in Pitahaya (*Hylocereus undatus* Haworth). *Agrociencia*, 51(2), 153-172.
- Reshi, Z. A., Ahmad, W., Lukatkin, A. S., & Javed, S. B. (2023). From nature to lab: A review of secondary metabolite biosynthetic pathways, environmental influences, and in vitro approaches. *Metabolites*, 13(8), article 895. <https://doi.org/10.3390/metabo13080895>
- Reséndiz Ramírez, Z., López Santillán, J. A., Briones Encinia, F., Mendoza Castillo, Ma. D. C., & Varela Fuentes, S. E. (2014). Situación actual de los sistemas de producción de grano de maíz en Tamaulipas, México. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 22(62), 69-75. <https://doi.org/10.33064/iycuaa2014623640>
- Reyes-García, V., Fernández-Llamazares, Á., Guèze, M., Garcés, A., Mallo, M., Vila-Gómez, M., & Vilaseca, M. (2016). Local indicators of climate change: The potential contribution of local knowledge to climate research. *Wiley Interdiscip Review Climate Change*, 7(1):109-124. <https://doi.org/10.1002/wcc.374>
- Roberts, D. (2019). Diagnosing herbicide injury on trees and landscape plants. https://hort.extension.wisc.edu/files/2023/02/MNLA_TML_JF19_Diagnosing_Herbicide_Injury_Roberts89.pdf
- Sari, N., Silverman, E. R., D., & Wehner, T. C. (2020). Effects of cold durations on chilling injury in *Lagenaria* germplasm. *Hortscience*, 55(10), 1551–1557. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI15184-20>
- Sarmiento-Muñoz, T., Alanís-Rodríguez, E., Mata-Balderas, J. M., & Mora-Olivo, A. (2019). Estructura y diversidad de la vegetación eñosa en un área de matorral espinoso tamaulipeco. *CienciaUAT*, 14(1), 31-44. <https://doi.org/10.29059/cienciauat.v14i1.10011>
- Satyakam, Z. G, Singh, R. K., & Kumar, R. (2022). Cold adaptation strategies in plants—An emerging role of epigenetics & antifreeze proteins to engineer cold resilient plants. *Front Genetics*, 13: article 909007. <https://doi.org/10.3389/fgene.2022.909007>
- Schneider,

- Schneider, T. (2006). The general circulation of the atmosphere. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 34(1), 655–688. <https://doi.org/34.031405.125144>
- Secretaría de gobernación [SEGOB] (2011). Atlas de riegos del estado de Tamaulipas. 341 p. <https://www.tamaulipas.gob.mx/proteccioncivil/wp-content/uploads/sites/36/2017/09/atlas-de-riesgos-del-estado-de-Tamaulipas.pdf>
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP]. (2024). Anuario estadístico de la producción agrícola. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Ciudad de México. <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-agricola-33119>
- Silva, S. M., Medina, G.G., Ruiz C., J. A., Díaz, P. y Cano, G. M.A. (2007). Estadísticas Climatológicas básicas del estado de Tamaulipas (periodo 1961-2003). INIFAP-SAGARPA. Centro de Investigación Regional Noreste. Campo Experimental, Río Bravo. Libro Técnico No.2. 314 pg.
- Secretaría de Marina [SMAR]. (2022). Resumen anual de frentes fríos que afectaron aguas y costas mexicanas. 69 pp. <https://meteorologia.semarnet.gob.mx/directorio/pdf/resumenff.pdf>
- Snyder, R. L., Melo-Abreu, P., & Villar-Mir, J. M. (2010). Protección contra las heladas: fundamentos, práctica y economía. Volumen I. Publicaciones de Medio Ambiente, Cambio Climático y Bioenergía. 241 p. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación Roma. <https://www.fao.org/4/y7223s/y7223s.pdf>
- Taylor, R. B. (2014). *Common Woody Plants and Cacti of South Texas*. A Field Guide. Series: Texas Natural History Guides. (223 p). Ed. Texas Tech University Press.
- Treviño, C. J., & Valiente, B. A. (2005). *La vegetación de Tamaulipas y sus principales asociaciones vegetales*. Biodiversidad Tamaulipe ca Dirección General de Educación Superior Tecnológica. Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria.
- Valverde, P., Lodolini, E. M., Giorgi, V., Garcia-Lopez, M. T., & Neri, D. (2024). An easy methodology for frost tolerance assessment in olive cultivars. *Front Plant Science*, 15: Article 1397534. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1397534>
- Valverde, P., Zucchini, M., Polverigiani, S., Lodolini, E. M., López-Escudero, Fco. J., & Neri, D. (2020). Olive knot damages in ten olive cultivars after late-winter frost in central Italy. *Scientia Horticulturae*, 266, Article 109274. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109274>
- Vargas, T. V., Hernández, R. M. E., Gutiérrez, L. J., Plácido, D. C. J., & Jiménez, C. A. (2007). Clasificación climática del estado de Tamaulipas, México. *CienciaUAT*, 2(2), 15-19.
- Vera-Hernández, P., Ortega Ramírez, M. A., Martínez Núñez, M., Ruiz-Rivas, M., & Rosas-Cárdenas, F. D. F. (2018). Proline as a probable biomarker of cold stress tolerance in Sorghum (*Sorghum bicolor*). *Mexican Journal of Biotechnology*, 3(3), 77-86. <https://doi.org/10.29267/mxjb.2018.3.3.77>
- Vossler, F. G., & Delucchi, G. (2022). *Leucaena leucocephala* (Fabaceae), Especie Invasora En La Argentina. *Boletín De La Sociedad Argentina De Botánica*, 57 (4), 14-29. <https://doi.org/10.31055/1851.2372.v57.n4.37327>
- Walker, L. R., Barnes, P. L., & Powell, E.A. (2006). Tamarix aphylla: a newly invasive tree in Southern Nevada. *Western North American Naturalist*, 66(2), 191-201. [https://doi.org/10.3398/1527-0904\(2006\)66\[191:TAANIT\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.3398/1527-0904(2006)66[191:TAANIT]2.0.CO;2)
- Wassan, S., Xi, C., Jhanjhi, N., & Binte-Imran, L. (2021). Effect of frost on plants, leaves, and forecast of frost events using convolutional neural networks. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 17(10). <https://doi.org/10.1177/15501477211053777>
- Wilson, J. (2022). Protecting plants from cold temperatures. Publication Number: P2303. Mississippi State University Extension. <http://extension.msstate.edu/publications/protecting-plants-cold-temperatures>
- Yahia, E. M., Carrillo-López, A., & Sañudo, A. (2019). Physiological disorders and their control. In *Postharvest Technology of Perishable Horticultural Commodities* (pp. 499-527). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813276-0.00015-8>
- Zhou, Y., Liu, L., & Deng, G. (2009). Comparisons of the generalized potential temperature in moist atmosphere with the equivalent potential temperature in saturated moist atmosphere. *Advances in Meteorology*, 2009, 1-9. <https://doi.org/10.1155/2009/105265>