

## PROBABILIDAD DE HELADA EN CUAUTITLÁN IZCALLI, MÉXICO

Gustavo Mercado-Mancera<sup>1\*</sup>, Isaac Ramón Arroyo-León<sup>2</sup>, Ana Karen Granados-Mayorga<sup>1</sup> y Jesús Navejas-Jiménez<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Departamento de Ciencias Agrícolas, FES-C, UNAM. Cuautitlán Izcalli, México.*

<sup>2</sup>*Licenciatura de Ingeniería Agrícola, FES-C, UNAM. Cuautitlán Izcalli, México.*

<sup>3</sup>*INIFAP. Sitio Experimental Valle de Santo Domingo. Cd. Constitución, BCS. México*

\*[gmercado@unam.mx](mailto:gmercado@unam.mx)

### Resumen

Las heladas son un fenómeno ambiental determinante en el desarrollo de los cultivos, puesto que pueden causar severos daños a la vida vegetal y con ello la disminución en el rendimiento o pérdidas totales de los cultivos. El objetivo fue analizar la probabilidad de ocurrencia de helada (PLH), en el municipio de Cuautitlán Izcalli, Estado de México. Se utilizaron datos del periodo de julio de 1987 a febrero de 2020 de la estación meteorológica Almaraz. Se consideraron el promedio mensual de temperatura mínima, el número de días con helada, y las fechas de primera y última helada. Para la determinación del PLH se emplearon los métodos de F.S. Da Mota y Distribución normal. El cálculo se realizó a una probabilidad del 5% y 20% de la ocurrencia de helada. Se realizó una comparación entre los métodos empleados y su prospectiva a futuro de la duración del PLH en el área de estudio. Los resultados muestran una tendencia de incremento en la temperatura mínima anual como en la temperatura media anual, y la disminución en el número de días con heladas. Con el método de F.S. Da Mota la duración fue de 190 y 211 días para el 5% y 20% de probabilidad, respectivamente. Con el método de Distribución normal se obtuvieron 32 días menos para una probabilidad del 5% y para la probabilidad del 20%. La prospectiva es que para el año 2030 la duración del PLH oscilará entre 234 y 254 días de acuerdo con la relación de las

variables. Se concluyó que los datos obtenidos tienen gran utilidad para la planeación agrícola, así como su empleo para la toma de decisiones, con el fin de disminuir los riesgos de daños por helada en los cultivos.

**Palabras clave:** Probabilidad de ocurrencia, periodo libre de helada, distribución normal.

## Introducción

Matías *et al.* (2014) definieron que una helada ocurre cuando la temperatura del aire cercano a la superficie del terreno disminuye a 0 °C o menos, durante un tiempo mayor a cuatro horas. Generalmente la helada se presenta en la madrugada o cuando está saliendo el sol.

En México las heladas se concentran alrededor del invierno, de tal forma que es posible representar su distribución como una curva normal donde el punto más alto se ubica hacia fines de un año o principios del siguiente. Bajo este esquema resulta fácil entender lo que significa la primera y la última helada (Pájaro y Ortiz, 1989).

Los principales elementos meteorológicos que influyen en la ocurrencia de las heladas son la ausencia de viento, y de nubosidad en el cielo, bajo contenido de humedad atmosférica y alta irradiación del suelo (Matías *et al.*, 2014). Asimismo, el descenso de la temperatura y la ocurrencia de heladas, constituyen uno de los fenómenos ambientales que más daño causa en la vida vegetal. Las pérdidas ocasionadas son variables y dependen principalmente del estado de desarrollo de la planta y de la intensidad y duración de la helada (Ruiz, 1989).

La agricultura es una empresa sujeta a riesgos y las heladas constituyen un peligro para el buen desarrollo de ella. Al estudiar la probabilidad de la ocurrencia de

helada se puede disminuir racionalmente el riesgo de sufrir pérdidas en la producción agrícola, al ubicar cronológicamente los cultivos fuera de las épocas de ocurrencia de las heladas, con un cierto margen de seguridad (Romo y Arteaga, 1989).

La probabilidad promedio de ocurrencia de heladas del periodo de septiembre a diciembre, proporciona un indicador del riesgo de presentación de la primera helada, la cual puede dañar a siembras tardías o a variedades de ciclo largo que se hayan establecido al inicio de la primavera. La última helada se considera a la que se presenta durante el primer semestre del año y suele tener efectos destructivos en cultivos que inician su desarrollo a principios de primavera, como el caso de algunos frutales (Martínez y Ruiz, 2005).

Para los cultivos perenes, se estima como riesgo aceptable el que se produzcan temperaturas mínimas iguales o inferiores a las temperaturas letales congelantes una vez cada veinte años, es decir, con una probabilidad de ocurrencia de heladas no mayor del 5%, que asegura un razonable desarrollo de los cultivos perennes. Para los cultivos anuales puede considerarse práctico un riesgo mayor de años, como un 20% de probabilidad, lo que implica la ocurrencia de heladas en uno de cada cinco años (Romo y Arteaga, 1989).

Straschvoy *et al.*, (2006) indicaron que uno de los objetivos de estos estudios de probabilidad es establecer una fecha de siembra que disminuya el riesgo de ocurrencia de ellas en etapas definidas como críticas para cada cultivo, es de suma importancia establecer las fechas medias de la primera y última helada (heladas tempranas y tardías).

## Objetivo

El objetivo del presente trabajo fue el análisis de la probabilidad de ocurrencia de helada (PLH), en el municipio de Cuautitlán Izcalli, Estado de México.

## Metodología

Los datos de temperatura fueron obtenidos del banco de datos de la estación meteorológica de la FES-Cuautitlán, UNAM, localizada en el municipio de Cuautitlán Izcalli, del periodo de julio de 1987 a febrero de 2022, la cual se ubica en la longitud Oeste 99° 11'42'' y en la latitud Norte 19°41'35'', a 2,256 msnm. La zona se caracteriza por tener un clima Templado subhúmedo con lluvias de verano, el más seco de los subhúmedos, con verano fresco, sin sequía intraestival, el mes más caliente es junio, con poca oscilación térmica (Angeles, 2022). Se emplearon los métodos de F.S. Da Mota, quien generó la fórmula siguiente para calcular esta probabilidad:

$$P = C \cdot I$$

Donde:

$$I = (m+1-x) / (m+1)$$

$$C = m/n$$

P = Probabilidad de ocurrencia de una helada

C = Constante

I = Índice de cálculo

n = Número de años estudiados

m = Número de años con heladas

x = Número de orden de la fecha de ocurrencia, ordenando las fechas de ocurrencia en orden creciente.

Con los valores de P y las fechas correspondientes se construye una gráfica, en la que se calculan las probabilidades de ocurrencia de helada después de una fecha (helada tardía) o antes de una fecha dada (helada temprana).

Además, se empleó el método de Distribución normal, donde a partir de los datos codificados de primera y última helada, se calcula la media ( $\mu$ ) y la desviación

estándar ( $\sigma$ ), para cada fecha. Para el cálculo de la probabilidad se utiliza la siguiente fórmula:

$$Z = (x - \mu) / \sigma$$

Donde:

Z= valor de Z calculada

X= valor codificado de primera o última helada

$\sigma$ = desviación estándar de los valores codificados

$\mu$ = media de los valores codificados

Con los valores de Z así calculados para cada dato, se entra a la Tabla de Probabilidad de hallar un valor al azar de Z y se encuentra la probabilidad de primera y última helada. Una vez determinadas las probabilidades se grafican los datos.

Es importante señalar que para valores de Z tabulados negativos, el valor de Z encontrado en la Tabla se expresa en porcentaje y se resta a 100 para encontrar la probabilidad de la última helada codificada.

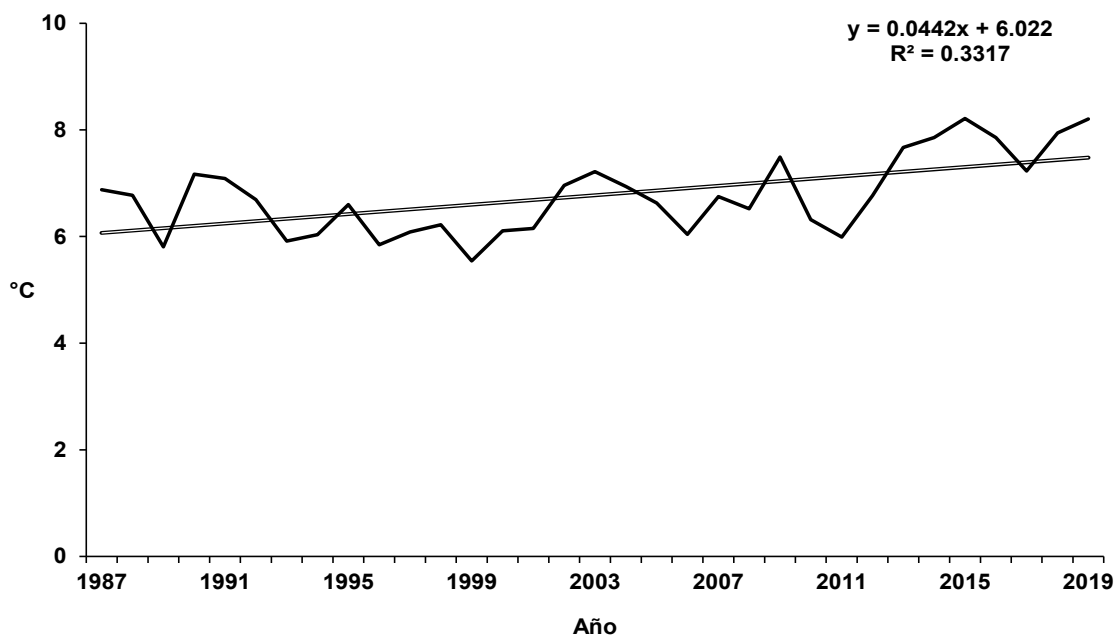
Para el caso de primera helada, si el valor de Z tabulada es positivo, el valor de Z se expresa en porcentaje y se resta a 100 para tener la probabilidad de ocurrencia en la fecha codificada.

Para los casos contrarios en los cálculos de primera y última helada se expresan los valores de Z de tablas directamente en porcentaje y tener así la probabilidad de ocurrencia de la fecha correspondiente.

## Resultados

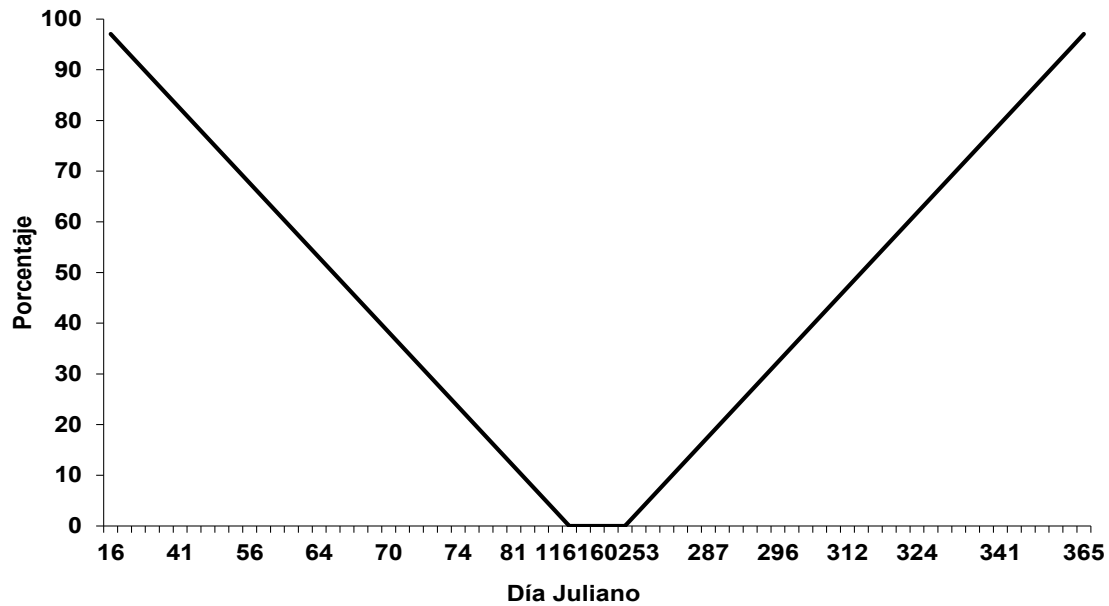
En la Figura 1 se presentan la tendencia de la temperatura ambiental mínima, promedio anual. Se observó una variación anual y la tendencia a incrementarse

progresivamente, esto puede ser el resultado de las variaciones en la zona aledaña a la estación, debido al cambio de uso del suelo que ha tenido esta región.



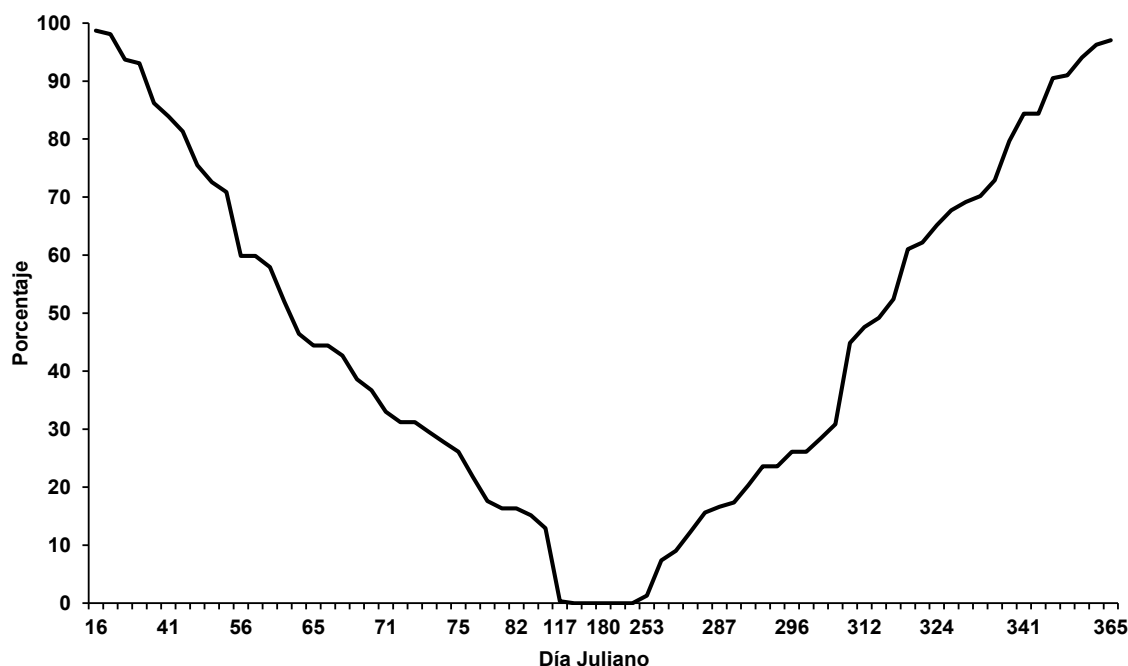
**Figura 1. Tendencia de la temperatura mínima, promedio anual, de 1987 al 2019. Estación meteorológica FES-C. Cuautitlán Izcalli, México.**

En la Figura 2 se presenta el periodo libre de heladas (PLH) obtenido por el método de F.S. Da Mota, el cual es de 190 días, esto es, inicia el 25 de marzo y finaliza el 01 de octubre, al 5% de probabilidad de ocurrencia de helada. Con el 20% de probabilidad el periodo calculado es de 211 días, que inicia el día 18 de marzo y finaliza el 15 de octubre.



**Figura 2. PLH, método de F.S. Da Mota, de 1987-2020. Estación meteorológica Almaraz.**

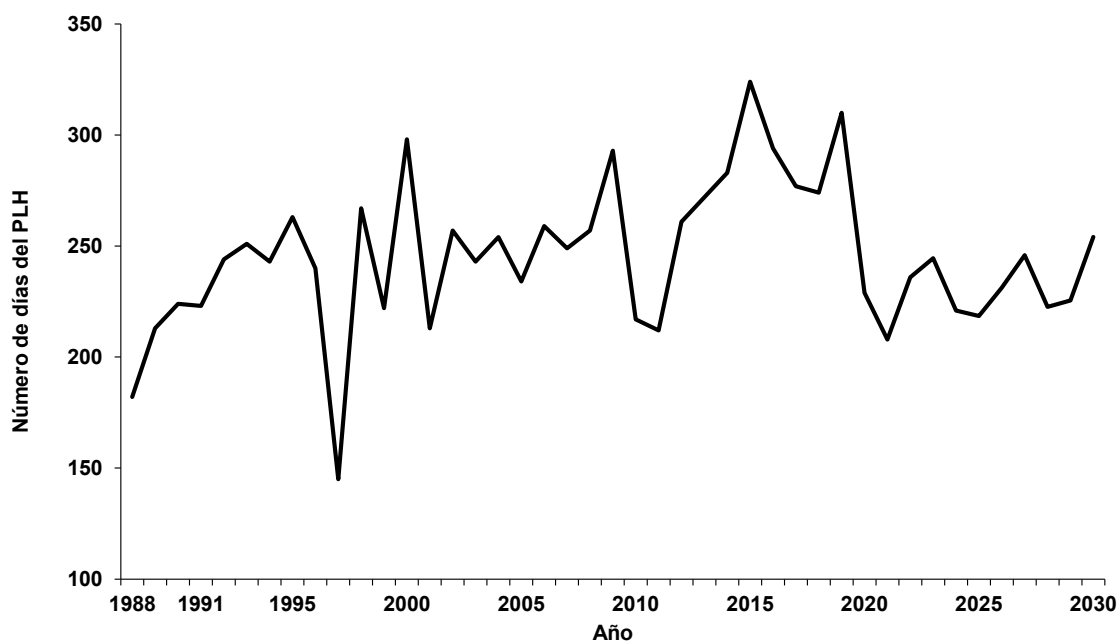
Los resultados obtenidos por el método de Distribución normal muestran que el PLH es de 158 días para una probabilidad de ocurrencia del 5% y de 214 días para el 20% de probabilidad. El periodo con un 5% de probabilidad inicia el 26 de abril y finaliza el 01 de octubre. En el caso de 20% de probabilidad, el periodo inicia el día 18 de marzo y finaliza el 18 de octubre (Figura 3).



**Figura 3. PLH, método de Distribución normal, de 1987-2020. Estación meteorológica Almaraz.**

La elección del método a aplicar para el cálculo de la probabilidad de ocurrencia de heladas dependerá de los datos con que se cuente, así como el porcentaje de certidumbre que se desee obtener. El PLH calculado por el método de Distribución normal para una probabilidad de 5% presentó una diferencia de 32 días menos con respecto al obtenido por el método de F.S. Da Mota, esto es, representa una disminución en dicho periodo lo cual puede repercutir en la elección adecuada de cultivos perennes y su manejo correspondiente. El periodo de bajo riesgo de helada calculado para una probabilidad del 20% oscila entre 211 y 214 días, en el cual es posible tener varios ciclos de producción y obtener mayor aprovechamiento de los recursos. Además, se determinó la prospectiva de la duración del PLH mediante un análisis de regresión simple entre el PLH con la temperatura media y mínima, para la década de 2020 a 2030 (Figura 4).





**Figura 4. Duración del PLH observado de 1988 al 2019 y su tendencia para la década 2020-2030 obtenida de la regresión PLH-Tmedia+Tmínima. Estación meteorológica Almaraz.**

Se observó que la duración del PLH se mantiene en un intervalo de 207 a 259 días lo cual representa una variación amplia para los siguientes 10 años. Asimismo, la disminución en la duración del PLH en las décadas anteriores, contrasta con el aumento de este PLH en los siguientes años, debido a la prospectiva del aumento de la temperatura ambiental en el área de estudio (Arroyo, 2022). La utilidad de este cálculo de prospectiva del PLH es prever la duración de dicho periodo para los años consecuentes, lo que es de gran ayuda al momento de realizar la planeación de las actividades agrícolas en campo, desde la elección del cultivo, la selección de la fecha de siembra más adecuada, la calendarización de labores en campo, entre otras.

## Discusión

Se prevé un aumento gradual de la temperatura mínima para el año 2030 y con ello un incremento en la duración del PLH hasta de 259 días, que implica una disminución de acumulación de frío en los frutales caducifolios, por ejemplo.

La utilidad de este cálculo de prospectiva del PLH es prever la duración de dicho periodo para los años consecuentes, lo que es de gran ayuda al momento de realizar la planeación de las actividades agrícolas en campo, desde la elección del cultivo, la selección de la fecha de siembra más adecuada, la calendarización de labores en campo, entre otras.

La probabilidad indica qué posibilidades hay de experimentar temperaturas que causen daño en un año dado y el riesgo nos dice la probabilidad de que ocurra una helada a lo largo de un periodo dado, por ello, el análisis de probabilidad y riesgo de heladas es una herramienta útil en la toma de decisiones, la cual dependerá del tipo de cultivo (Snyder *et al.*, 2010).

## Conclusión

Debido a que se contaron con los datos de ocurrencia de las fechas de primera y última helada, el método que más se ajustó fue el de Distribución normal, que permitió definir de forma más precisa la probabilidad de ocurrencia de las fechas de primera y última helada y, por lo tanto, de la duración del periodo libre de heladas. El poder definir este periodo es de gran importancia para la planificación de los cultivos de interés, asimismo, para disminuir el riesgo de ocurrencia de helada en etapas definidas como críticas para cada cultivo.

## Agradecimientos

Se agradece el apoyo del personal técnico de la estación meteorológica de la FES-Cuautitlán, por el aporte de los datos climáticos.

## Referencias

Angeles, F.S.B. (2022). *Determinación de la normal climática de 1987 a 2022 de la Estación Meteorológica Almaraz*. Tesis de Licenciatura. FES-Cuautitlán, UNAM. México. 106 pp.

Arroyo, L.I.R. (2022). *Estudio de la probabilidad de ocurrencia de helada en Cuautitlán Izcalli, Estado de México*. Tesis de Licenciatura. FES-Cuautitlán, UNAM. México. 42 pp.

Martínez, B.O.U., & Ruiz, C.M. (2005). *Riesgo de heladas para la agricultura en la región sureste del estado de Coahuila*. INIFAP-CIRNE. Campo Experimental Saltillo. Publicación Especial Núm. 5. Coahuila, México. 66 pp.

Matías, R.L.G., Fuentes, M.O., & García, J.F. (2014). *Heladas*. Sistema Nacional de Protección Civil. Versión electrónica. México D.F. 37 pp.

5. Pájaro, H.D., & Ortiz, S.C.A. (1989). *Estimación del periodo de crecimiento por disponibilidad de agua y libre de heladas para la República Mexicana*. Memorias de la II Reunión Nacional de Agroclimatología. UACH. Chapingo, Méx. 145-163.

Romo, G.J., & Arteaga, R.R. (1989). *Meteorología Agrícola*. UACH. México. 442 pp.

Ruiz, C.J.A. (1989). *Ocurrencia de heladas y métodos preventivos para la región productora de guayaba en los estados de Zacatecas y Aguascalientes*. Desplegable para productores Núm. 1. INIFAP-CIFAP-ZACATECAS. Jalpa, Zacatecas, México. 22 pp.

Snyder, R.L., De Melo, A.J.P., & Villar, M.J.M. (2010). *Protección contra las heladas: Fundamentos, práctica y economía*. Serie sobre el Medio Ambiente y la Gestión de Recursos Naturales. FAO. Roma. 257 pp.

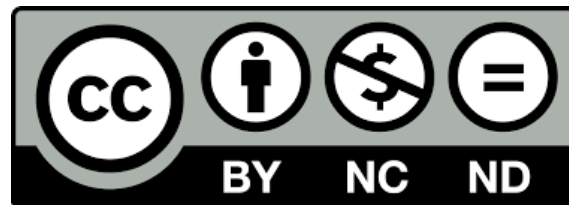
Straschvoy, J.V., Di Bella, C.M., Jaimes, F.R., Oricchio, P.A., & Rebella, C.M. (2006). Caracterización espacial del estrés hídrico y de las heladas en la región pampeana a partir de información satelital y complementaria. *RIA*, 35(2): 117-141.



D. R. © UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO.

Excepto donde se indique lo contrario esta obra está bajo una licencia Creative Commons Atribución No comercial, No derivada, 4.0 Internacional (CC BY NC ND 4.0 INTERNACIONAL).

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es>



#### ENTIDAD EDITORA

Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán.

Av. Universidad 3000, Universidad Nacional Autónoma de México, C.U., Delegación Coyoacán, C.P. 04510, Ciudad de México.

#### FORMA SUGERIDA DE CITAR:

Mercado-Mancera, G., Arroyo-León, I. R., Granados-Mayorga, A. K., y Navejas-Jiménez, J. (2022). Probabilidad de helada en cuautitlán izcalli, México. *MEMORIAS DEL CONGRESO NACIONAL DE TECNOLOGÍA (CONATEC)*, Año 5, No. 5, septiembre 2022 - agosto 2023.

Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. UNAM.

[https://tecnicosacademicos.cuautitlan.unam.mx/CongresoTA/memorias2022/mem2022\\_ExtensoPaper10.html](https://tecnicosacademicos.cuautitlan.unam.mx/CongresoTA/memorias2022/mem2022_ExtensoPaper10.html)