

# PLANTEAMIENTO DE UN MODELO DE PREDICCIÓN DE HELADAS EN CULTIVOS DE ROSA EN LA SABANA DE BOGOTÁ

David Felipe González Botero

Tutor: Edna Montañez

Especialización en Planeación Ambiental y  
Manejo Integral de los Recursos Naturales

Faculta de Ingeniería  
Universidad Militar Nueva Granda

2018



# PLANTEAMIENTO DE UN MODELO DE PREDICCIÓN DE HELADAS EN CULTIVOS DE ROSA EN LA SABANA DE BOGOTÁ

## APPROACH OF A PREDICTION MODEL OF FROST EVENTS IN ROSE IN THE SABANA DE BOGOTÁ

David Felipe González Botero  
Bioingeniero, estudiante de especialización en Planeación Ambiental Y Manejo  
Integral De Recursos Naturales  
Universidad Militar Nueva Granada  
Bogotá, Colombia  
u2700816@unimilitar.edu.co

### Resumen

El presente artículo comprende una problemática ambiental que se presenta en los diferentes cultivos de rosa en el territorio nacional, caracterizada por la disminución de la temperatura en horas de la madrugada. Dentro del cuerpo del trabajo, se propone una alternativa a partir de índices meteorológicos que permiten obtener un rango de probabilidad de presencia de dicho evento climatológico. Estas variables características del evento de helada son evaluadas para establecer una escala de riesgo de ocurrencia, y de esta manera reducir daños fisiológicos en las rosas y de manera indirecta el impacto económico que puede producir este fenómeno.

*Palabras clave: Temperatura mínima, Cultivos, Riego, Temperatura del suelo, Temperatura de rocío, modelo de predicción, revisión bibliográfica.*

### Abstract

This article includes an environmental problem that occurs in the different rose cultivations in the national territory, characterized by the decrease in temperature in the early hours of the morning. Within the body of work, an alternative is proposed based on meteorological indices that allow obtaining a range of probability of presence of said weather event. These characteristic variables of the frost event are evaluated to establish a scale of risk of occurrence, and in this way reduce physiological damages in roses and indirectly the economic impact that this phenomenon can produce.

*Keywords: Minimum temperature, Crops, Irrigation, Soil temperature, Dew temperature, prediction model, bibliographic review.*

## INTRODUCCIÓN

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (FAO), en la mayoría de áreas del mundo, a excepción de las regiones con clima únicamente tropical, son posibles las temperaturas bajo cero. Las heladas pueden producirse incluso en países con climas tropicales en altitudes elevadas. Definiendo una helada como la temperatura a la cual los tejidos de la planta comienzan a sufrir daño. Donde se evidencian aspectos fisiológicos, como la resistencia o susceptibilidad del cultivo a bajas temperaturas en sus diferentes estados de desarrollo, altura de la planta sobre el nivel del suelo y la temperatura de la hoja. [1]

Según el IDEAM, El fenómeno de la helada en Colombia es bastante más frecuente de lo que podría esperarse y es causante de millonarias pérdidas a la agricultura de las tierras altas del país. Afecta áreas localizadas a más de 2500 metros sobre el nivel del mar, especialmente en los meses secos del año. [2]

Según las estadísticas nacionales el único tipo de helada que se presenta en el país, con muy escasas excepciones es la de radiación, originada por enfriamiento nocturno y por tanto desaparece generalmente a la salida del sol. La helada blanca es la de mayor ocurrencia en nuestro medio y el aspecto blanquecino del cultivo puede permanecer un tiempo después de la salida del sol, lo que indica que dentro del cultivo aún persiste la condición de helada. [2]

La pérdida de calor que se presentan en las plantas y el suelo al ceder a la atmosfera durante la noche por medio del proceso de radiación, es originada por las heladas de radiación. Es la helada típica de las regiones tropicales y son factibles de presentarse a partir de los 2500 metros sobre el nivel del mar. Estas heladas ocurren al presentarse un balance de energía negativo, es decir, cuando se pierde durante la noche mayor cantidad de energía de la ganada durante el día. [2]

Según la Asociación Nacional de Exportadores de Flores (Asocolflores) las heladas afectan una gran porción de hectáreas cultivadas con flores de exportación.

El Sistema de Información de precios del Sector Agropecuario (Sipsa); reportó pérdidas millonarias por los cambios bruscos de temperatura en el altiplano Cundiboyacense y la Sabana de Bogotá. Los cambios bruscos en la temperatura afectan los rendimientos de los cultivos en esta zona y establece un alto porcentaje en la producción de estos dos departamentos con cambios en el abastecimiento de alimentos, por consecuente una incidencia directa sobre el valor en el mercado de los productos. [3]

Directamente tiene afectación sobre los cultivos de flores de la Sabana de Bogotá, donde según indica Augusto Solano Mejía, presidente de la Asociación Colombiana de Exportadores de Flores, Asocolflores, se produce el 80% de las

flores colombianas que en temporada se exportan a los mercados internacionales para atender la demanda de San Valentín, particularmente a Estados Unidos y Canadá. [4]

De acuerdo a la información suministrada por los diferentes medios de comunicación del país, Cundinamarca, Boyacá y Nariño, son generalmente, los departamentos que sufren más los efectos de la temporada de sequía y fuertes heladas. Los sistemas productivos que podrían ser los más afectados por las heladas son flores, ganadería, hortalizas, como frijol, arveja, cebolla, habichuela, repollo, zanahoria, remolacha, entre otras, maíz y papa principalmente.

Con el fin de disminuir los efectos negativos en los eventos de heladas se aplican métodos de protección pasiva por parte de los agricultores, dentro de los que encontramos: Protección a través de cercas vivas, selección de especies resistentes, riego, manejo en la fertilización, control de plagas y manejo del suelo. [1]

En la actualidad, las principales acciones realizadas por parte de los cultivadores en presencia de una helada, estiman demasiados recursos e insumos que aumentan el presupuesto y la inversión. Dentro de las acciones principales podemos encontrar la de mantener húmedo el follaje de la flor y el suelo, permitiendo evitar las pérdidas de temperatura en la planta y el sustrato. Además, algunos cultivadores aplican suplementos nutritivos sobre la planta permitiendo aumentar su resiliencia y capacidad de soportar los cambios de amplio rango en la temperatura. En último lugar, optan por instalar barreras mecánicas para disminuir efectos negativos de fuertes vientos. Cada una de las protecciones mencionadas anteriormente genera un mayor costo en el presupuesto general del cultivador, además que son mecanismo que se deben realizar diariamente para evitar eventos de heladas no pronosticados.

Es por esta razón, que el cultivador necesita de un instrumento que permita conocer en porcentaje la probabilidad de que ocurra un evento de helada en la zona del cultivo.

El modelo de predicción se presenta en base a la ausencia de un sistema de fácil acceso para los cultivadores en el territorio, como un instrumento de prevención de daños fisiológicos en la planta. Además, de evitar el gasto elevado de insumos como nutrientes agua y soportes mecánicos en los cultivos.

Finalmente, este trabajo tiene como fin plantear un modelo básico en base a valores de variables meteorológicas de la Sabana de Bogotá como instrumento de predicción de heladas en cultivos de flor del género rosa. Lo anterior a partir de una revisión del estado arte con respecto a las metodologías implementadas actualmente para el pronóstico de heladas y una identificación de las variables ambientales a implementar en el modelo para la predicción de las heladas en cultivos de rosa.

## **1. MATERIALES Y MÉTODOS**

El presente trabajo maneja diferentes fases y actividades para alcanzar el objetivo central, en esta sección se explicarán y mencionaran cada una de las técnicas, insumos, instrumentos y variables que se implementaron para obtener la propuesta de un modelo matemático de predicción de heladas a partir de datos meteorológicos.

### **1.1. *Revisión bibliográfica.***

Teniendo en cuenta el tema central que pretende abarcar este trabajo, se realizó una revisión de bases de datos seleccionadas según las delimitaciones y variables previamente establecidas. Dicha selección de bases de datos se determinó en base a un planteamiento de modelos matemáticos a partir de variables meteorológicas como insumo principal. Estas bases de datos bibliográficas se encuentran disponible para la Universidad Militar Nueva Granada y diferentes entidades e instituciones que tienes acceso libre sobre algunos títulos. Dentro las bases de datos principalmente consultadas se encuentran: Science Direct, Google Académico, IEEE Xplore, Agronet, etc. Se filtran archivos para obtener artículos, libros o trabajos de grado relacionados dentro de los años comprendidos de 2000 en adelante.

### **1.2. *Extraction de variables meteorológicas.***

De los documentos, libros, artículos y trabajos de grados consultados durante la revisión bibliográfica mencionada en el enunciado anterior, se realizó una extracción de variables meteorológicas que los autores implementaban para el planteamiento del modelo matemático sugerido. Las variables implementadas por los autores durante los documentos, fueron seleccionadas por caracterización de heladas en un historial de mediciones que comprendían diferentes periodos de tiempo. A partir de la aplicación de los diferentes modelos matemáticos consultados durante la realización de este trabajo, los autores obtenían resultados conforme a la implementación de las diferentes variables meteorológicas. Estas variables eran calificadas según la incidencia de predicción de eventos de heladas, conforme a los resultados obtenidos.

### **1.3. *Planteamiento del modelo de predicción a partir de las variables extraídas***

Las variables meteorológicas que obtuvieron mayor incidencia y mejores resultados en la aplicación de los diferentes modelos matemáticos consultados en el presente trabajo, fueron seleccionados para su posterior implementación en el presente modelo matemático propuesto. Dicho modelo cuenta además con las condiciones meteorológicas y climáticas aportadas por un experto con más de

veinticinco (25) años de experiencia en el sector de la floricultura. Estas variables fueron combinadas para obtener mayor robustez y aplicabilidad de este modelo matemático en diferentes escenarios y poder predecir con mayor efectividad los eventos de heladas que se puedan presentar sobre cultivos de rosas en la Sabana de Bogotá.

#### **1.4. Metodología de combinación de variables para predicción del riesgo de un evento de helada.**

Posterior a la extracción de las variables meteorológicas de mayor incidencia en la revisión bibliográfica de los diferentes modelos matemáticos para la predicción de eventos de heladas a nivel nacional e internacional, se realizará una clasificación según el rango de medida de dicha variable en términos de magnitud, alta, media y baja. Lo anterior, para realizar una metodología mediante el cruce de variables meteorológicas según la magnitud de incidencia, para finalmente obtener una clasificación de riesgo de presencia de evento helada en la Sabana de Bogotá.

## **2. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

En términos meteorológicos se dice que la helada es la presencia de una temperatura igual o menor a 0°C a una altura de dos metros sobre el nivel del suelo, donde reglamentariamente se ubican las casetas de medición meteorológica. [1]

El término de helada podría definirse en el campo agrometeorológico como la temperatura a la cual los tejidos de la planta comienzan a sufrir daño. En esta definición intervienen aspectos fisiológicos, como la resistencia susceptible del cultivo a bajas temperaturas en sus diferentes estados de desarrollo, altura de la planta sobre el nivel del suelo y la temperatura de la hoja [1].

### **2.1 ASPECTOS RELEVANTES Y VARIABLES METEOROLÓGICAS IMPLEMENTADAS POR LOS DIFERENTES AUTORES CONSULTADOS.**

#### **2.1.1 Amne El Cheikh and Anthony Jacobi; Mathematical model for frost and densification on float surfaces:**

Una helada ocurre cuando la transferencia de calor está debajo del punto de congelación. Las variables implementadas fueron temperatura del aire, humedad, temperatura del suelo, velocidad del aire.

Además, se menciona que cuando una masa de aire húmeda pasa por encima de una superficie fría que tiene una temperatura por debajo del punto de congelación del agua, se forma.

### **2.1.2 Luca Ghielmi and Emanuele Eccel; Descriptive models and artificial neural networks for spring frost prediction in a agriculture mountain area:**

Este trabajo tuvo como área de estudio los Alpes italianos – Trentino. En los periodos de Marzo – Abril. Las variables implementadas fueron temperatura del atardecer, humedad atmosférica, viento, temperatura de suelo y duración de la noche.

Además, el autor plantea modelo de predicción numérica de tiempo (NWP): Simulación de la disminución de la temperatura de los valores medios en las estaciones al atardecer. Tasa de pérdida constante de temperatura, según la ley de Stefan Boltzmann.

Dentro del trabajo, se realiza una revisión bibliográfica que comprende diferentes autores. Estos autores utilizaron las siguientes variables:

Brunt (Autor): Temperatura al atardecer, tiempo de puesta del sol, coeficiente de difusión térmica del suelo, balance de radiación de onda larga y tiempo transcurrido desde la puesta del sol.

Chudnosky (Autor): Temperatura del atardecer, balance de radiación de onda larga, coeficiente de altitud y mes, coeficiente de velocidad de viento y humedad del suelo.

Posteriormente, Luca Ghielmi and Emanuele Eccel obtuvieron una red neuronal de una estación meteorológica que cuenta con 7 entradas y una salida. Temperatura de aire de atardecer, duración de la noche, humedad relativa, temperatura del suelo, temperatura mínima del día, temperatura máxima del día y velocidad de viento.

Finalmente, se definieron nuevas variables: Temperatura de aire (2 metros), temperatura del suelo (2 centímetros), humedad relativa, velocidad viento (10 metros), velocidad de viento a las 20:00, velocidad promedio en la mañana, temperatura máxima del día, temperatura mínima del interior y duración del día.

Algunas conclusiones que obtuvieron los autores:

- Variable más importante según el autor: Temperatura del atardecer. Es una temperatura que se espera mantener durante toda la noche.
- La temperatura mínima del día anterior, humedad relativa y la temperatura máxima son parámetros importantes.
- Solo en algunas ocasiones la temperatura del suelo y la duración de la noche eran variables importantes.
- La velocidad del viento es la variable más importante de medición en este elemento.

**2.1.3 Keoma Brun-Laguna and Ana Laura Diedrichs; Demo of the peach lot-based frost event prediction system for precision agriculture:**

Un evento de helada ocurre cuando la temperatura es tan baja que los cultivos no pueden recuperar su tejido o la estructura interna. Es posible una predicción de un evento de helada a partir de una medición y monitoreo de la temperatura y la humedad de una estación meteorológica cercana. El sistema de detección cuenta con variables como temperatura de aire, humedad relativa, humedad de suelo y temperatura del suelo.

**2.1.4 P. F. Verdes, P. M. Granitto, H. D. Navone, and H. A. Ceccatto; Frost prediction with machine learning techniques.**

Diseño de redes neuronales artificiales; Clasificadores Bayes simples y K-vecino más cercano. Cuentan con una serie de tiempos de temperatura, temperatura bulbo seco y húmedo, cobertura de nubes e intensidad de viento.

**2.1.5 Michel F. Ciemochowski; Multichannel frost ice and snow detecting device**

Las variables implementadas fueron temperatura de la superficie, temperatura de la atmosfera y humedad atmosférica.

**2.1.6 Hyojin Lee, Jong A. Chun, Hyun-Hee Han and Sung Kim; Prediction of frost occurrences using statical modeling approaches.**

Las características principales de una helada de radiación: Cielos despejados, sin viento y baja temperatura de punto de Rocío. Mientras que una helada advectiva: Cielos nublados, vientos fuertes, sin inversión de temperatura, baja humedad.

Las variables implementadas fueron temperatura mínima, temperatura mínima de hierba, temperatura de punto de rocío, velocidad de viento, humedad relativa media, humedad relativa mínima, cantidad de nubes.

Floor (Autor): Velocidad de viento, cantidad total de nubes, temperatura mínima, temperatura mínima de hierba.

Sistema meteorológico nacional (NWS) emite alarma cuando la temperatura de aire alcanza los 0 grados centígrados y la velocidad de viento tiene un valor de 16 kilómetros por hora.

Chevalier (Autor): Temperatura predichas de aire, temperatura punto de rocío y velocidad actual del viento.



Takle (Autor): En carreteras se implementan; Máximos y mínimos de temperatura del día anterior, estimaciones de temperatura de aire, temperatura de punto de rocío, cobertura de nubes, precipitación, velocidad media del viento.

Finalmente, las heladas ocurrieron cuando la temperatura mínima era de  $-2^{\circ}\text{C}$ ; Temperatura de hierba es de  $-6,1^{\circ}\text{C}$  a  $-7,4^{\circ}\text{C}$  y la velocidad de viento es de 1,6 m/s a 2,3 m/s.

### **2.1.7 Patricia Acuña, Roberto Ahumada García, and José Reyes Suarez**

La sensibilidad ambiental depende del estado de desarrollo. Los estados fenológicos más vulnerables son la floración y el cuajado de frutos.

Una radiación adventica: Paso de un frente frío con invasión de masas de aire a bajas temperaturas. Mientras que una radiación radiactiva: Enfriamiento de las capas bajas de la atmosfera y de los cuerpos que en ella se encuentran debido a la emisión de calor terrestre. Se producen cuando el día es calmado ya que la ausencia del viento impide mezclar estas capas.

Se realizó un estudio de un registro de 143 heladas en el 2010-2015, se obtuvo como resultado el promedio de intensidad de estas heladas es de  $-1,6^{\circ}\text{C}$  (2015) y el menor dato es de  $-4,88^{\circ}\text{C}$ . Duración promedio de 4 horas y 30 minutos.

Finalmente, la caracterización de eventos de las heladas: 50% de los eventos son entre las 00:00 am y las 3:00 am. El 90% de los eventos son 00:00 am y 7:00 am.

Las variables implementadas fueron temperatura, humedad relativa, radiación solar, punto de rocío, velocidad y dirección de viento.

### **2.1.8 Comportamiento meteorológico sugerido por el experto en floricultura.**

Hans Vanegas, con más de 25 años de experiencia en el sector de floricultura a nivel nacional e internacional, sugiere la presencia de un evento de helada sobre un cultivo de flores en la Sabana de Bogotá bajo las siguientes condiciones meteorológicas:

- Cuando la humedad relativa después del medio día está por debajo del 50% y la temperatura por encima de 25 grados Celsius, en presencia de un cielo despejado.
- Si a las 12 de la noche el cielo continúa despejado y la temperatura llega a 0 grados Celsius y la humedad continúa por debajo de 50%.

## 2.2 CUADRO COMPARATIVO DE LA REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.

El siguiente es un cuadro comparativo de la revisión bibliográfica realizada en el presente trabajo donde se investigaron los principales artículos, documentos y tesis disponibles en la web sobre la predicción de eventos de heladas a nivel nacional e internacional. De cada trabajo fueron extraídos el concepto central que manejaban sobre el evento de heladas, las variables meteorológicas y las observaciones principales basadas en ideas relevantes e importantes de los documentos consultados.

Autor	Concepto	Variable	Observación
Amne El Cheikh and Anthony Jacobi	Una helada ocurre cuando la transferencia de calor esta debajo del punto de congelación	Temperatura del aire, humedad, temperatura del suelo, velocidad del aire.	Cuando una masa de aire húmeda pasa por encima de una superficie fría que tiene una temperatura por debajo del punto de congelación del agua, se forma.
Luca Ghielmi and Emanuele Eccel	-	Temperatura de aire (2 metros), temperatura del suelo (2 centímetros), humedad relativa, velocidad viento (10 metros), velocidad de viento a las 20:00, velocidad promedio en la mañana, temperatura máxima del día, temperatura mínima del interior y duración del día.	*Variable más importante según el autor: Temperatura del atardecer. Es una temperatura que se espera mantener durante toda la noche. *La temperatura mínima del día anterior, humedad relativa y la temperatura máxima son parámetros importantes. *Solo en algunas ocasiones la temperatura del suelo y la duración de la noche eran variables importante. *La velocidad del viento es la variable más importante de medición en este elemento.
Brunt	-	Temperatura al atardecer, tiempo de puesta del sol, coeficiente de difusión térmica del suelo, balance de radiación de onda larga y tiempo transcurrido desde la puesta del sol.	-
Chudnosky	-	Temperatura del atardecer, balance de radiación de onda larga, coeficiente de	-

		altitud y mes, coeficiente de velocidad de viento y humedad del suelo.	
Keoma Brun-Laguna and Ana Laura Diedrichs	Un evento de helada ocurre cuando la temperatura es tan baja que los cultivos no pueden recuperar su tejido o la estructura interna.	Temperatura de aire, humedad relativa, humedad de suelo y temperatura del suelo.	Es posible una predicción de un evento de helada a partir de una medición y monitoreo de la temperatura y la humedad de una estación meteorológica cercana.
P. F. Verdes, P. M. Granitto, H. D. Navone, and H. A. Ceccatto	-	Serie de tiempos de temperatura, temperatura bulbo seco y húmedo, cobertura de nubes e intensidad de viento.	-
Michel F. Ciemochowski	-	Temperatura de la superficie, temperatura de la atmósfera y humedad atmosférica.	-
Hyojin Lee, Jong A. Chun, Hyun-Hee Han and Sung Kim	Las características principales de una helada de radiación: Cielos despejados, sin viento y baja temperatura de punto de Rocío. Mientras que una helada advectiva: Cielos nublados, vientos fuertes, sin inversión de temperatura, baja humedad.	Temperatura mínima, temperatura mínima de hierba, temperatura de punto de rocío, velocidad de viento, humedad relativa media, humedad relativa mínima, cantidad de nubes.	Las heladas ocurrieron cuando la temperatura mínima era de -2°C; Temperatura de hierba es de -6,1°C a -7,4°C y la velocidad de viento es de 1,6 m/s a 2,3 m/s.
Floor	-	Velocidad de viento, cantidad total de nubes, temperatura mínima, temperatura mínima de hierba.	-
Chevalier	-	Temperatura predichas de aire, temperatura punto de rocío y velocidad actual del viento.	-
Takle		Máximos y mínimos de temperatura del día anterior, estimaciones de temperatura de aire,	

	-	temperatura de punto de rocío, cobertura de nubes, precipitación, velocidad media del viento.	-
Patricia Acuña, Roberto Ahumada García, and José Reyes Suarez	<p>Una radiación adventica: Paso de un frente frío con invasión de masas de aire a bajas temperaturas.</p> <p>Mientras que una radiación radiactiva: Enfriamiento de las capas bajas de la atmosfera y de los cuerpos que en ella se encuentran debido a la emisión de calor terrestre. Se producen cuando el día es calmado ya que la ausencia del viento impide mezclar estas capas.</p>	Temperatura, humedad relativa, radiación solar, punto de rocío, velocidad y dirección de viento	Se realizó un estudio de un registro de 143 heladas en el 2010-2015, se otuvo como resultado el promedio de intensidad de estas heladas es de -1,6°C (2015) y el menor dato es de -4,88°C. Duración promedio de 4 horas y 30 minutos. Finalmente, la caracterización de eventos de las heladas: 50% de los eventos son entre las 00:00 am y las 3:00 am. El 90% de los eventos son 00:00 am y 7:00 am.

Tabla 1. Tabla comparativa de revisión bibliográfica: Autores, variables, concepto y observaciones

<b>Clasificación eventos heladas</b>		
<b>Radiación</b>	<b>Advección</b>	<b>Evaporación</b>
La pérdida de calor que se presentan en las plantas y el suelo al ceder a la atmosfera durante la noche por medio del proceso de radiación, es originada por las heladas de radiación. Es la helada típica de las regiones tropicales y son factibles de presentarse a partir de los 2500 metros sobre el nivel del mar. [2]	Ocurre en la invasión de masas de aire frío originario de las regiones polares y se presentan de manera continua por varios días. En latitudes medias y altas es donde son más características. [2]	Después de una precipitación desciende la humedad relativa del aire, la vegetación intercepta parte de la precipitación reteniendo el agua en el follaje y troncos, se produce una intensa evaporación, el calor de evaporación que el agua necesita para pasar del estado líquido al gaseoso lo toma de las plantas y en consecuencia la temperatura de algunos órganos vegetales desciende a límites que ocasionan daños. [2]

Tabla 2. Tabla clasificación de heladas en vegetación.

Teniendo en cuenta los documentos, trabajos, tesis y artículos consultados, fueron seleccionadas un grupo de variables ambientales mediables que en los resultados obtenidos por los autores tuvieron un comportamiento positivo en la detección temprana de heladas alrededor del mundo. Para la selección de estas variables se tuvo en cuenta que están pudieran ser medidas, establecidas y reproducidas en el área de impacto del presente trabajo.

### 2.3 CLASIFICACIÓN DE VARIABLES METEOROLÓGICAS

Las variables ambientales que obtuvieron un impacto positivo y que fueron seleccionadas por el autor para formar parte del modelo de detección de heladas en la sabana de Bogotá, son las siguientes: Temperatura del aire durante el día, humedad durante el día, velocidad del aire, temperatura máxima del día, temperatura mínima del día, temperatura de punto de rocío, nubosidad (cobertura de nubes/nubosidad), temperatura del aire a media noche, humedad relativa a media noche.

De esta forma, se realizó una clasificación de cada una de las variables seleccionadas anteriormente para obtener una agrupación según el rango de medida de cada una de estas. En esta clasificación se establecieron tres grupos de magnitud principales: Alto (rojo), medio (amarillo) y bajo (verde). Las tablas de clasificación por variables meteorológicas se observan a continuación:

- **Temperatura de aire; Temperatura máxima del día; Temperatura mínima del día; Temperatura de punto de rocío:**

El calor del sol atraviesa la capa de aire que rodea la Tierra, pero apenas la caldea. Se precisa que la superficie terrestre recoja primero ese calor y que, a su vez, lo vaya cediendo a las capas inferiores de aire próximas al suelo. Así pues, la atmósfera se calienta en un proceso de «ida y vuelta» a expensas del calor que irradia la tierra. Cuanto más caliente se encuentra el aire, mayor es la cantidad de vapor que puede mantener en suspensión y más probable la formación de nubes; en cambio, el aire seco y transparente facilita la irradiación de calor del suelo hacia el espacio y facilita la helada. [6]

<b>Temperatura de aire (°)</b>	
Rango	Clasificación
<i>Temperatura &lt; 2°</i>	<b>Alto</b>
<i>3° &lt; Temperatura &lt; 15°</i>	<b>Medio</b>
<i>16° &lt; Temperatura &lt; 27°</i>	<b>Bajo</b>

Tabla 3. Tabla clasificación de Temperatura de aire.

<b>Temperatura mínima del día (°)</b>	
Rango	Clasificación
<i>Temperatura &lt; 2°</i>	<b>Alto</b>
<i>3° &lt; Temperatura &lt; 15°</i>	<b>Medio</b>
<i>16° &lt; Temperatura &lt; 27°</i>	<b>Bajo</b>

Tabla 4. Tabla clasificación de temperatura mínima del día.

<b>Temperatura máxima del día (°)</b>	
Rango	Clasificación
$27^{\circ} < \text{Temperatura} < 16^{\circ}$	Alto
$15^{\circ} < \text{Temperatura} < 3^{\circ}$	Medio
$2^{\circ} < \text{Temperatura}$	Bajo

Tabla 5. Tabla clasificación de temperatura máxima del día.

<b>Temperatura punto de rocío</b>	
Rango	Clasificación
$0^{\circ} < \text{Temperatura}$	Alto
$\text{Temperatura} < 0^{\circ}$	Bajo

Tabla 6. Tabla clasificación de temperatura de punto de rocío.

- **Humedad relativa durante el día:**

Si la humedad es suficientemente baja, entonces la temperatura de la superficie puede que no alcance la temperatura del punto de formación de hielo y no se formará escarcha. Cuando la humedad es alta, el hielo es más probable que se deposite y se produce una “helada blanca”. Como el calor se libera durante el proceso de deposición del hielo, las heladas blancas normalmente producen menos daño que las heladas negras [1].

<b>Humedad durante el día (%)</b>	
Rango	Clasificación
$\text{Humedad} < 50\%$	Alto
$51\% < \text{Humedad} < 80\%$	Medio
$81\% < \text{Humedad} < 100\%$	Bajo

Tabla 7. Tabla clasificación de humedad durante el día.

<b>Humedad (Medianoche)</b>	
Rango	Clasificación
$\text{Humedad} < 50\%$	Alto
$51\% < \text{Humedad} < 80\%$	Medio
$81\% < \text{Humedad} < 100\%$	Bajo

Tabla 8. Tabla clasificación humedad a medianoche.

- **Velocidad de aire:**

De noche, las capas inferiores de la atmósfera son las más frías, y un viento moderado que las mezcle entre sí, haciendo descender las superiores (más templadas) y elevando las inferiores (más frías), trae consigo una defensa contra la helada [6].

<b>Velocidad de aire (Km/h)</b>	
Rango	Clasificación
$15 \text{ Km/h} > \text{Velocidad}$	Alto
$7 \text{ Km/h} < \text{Velocidad} < 14 \text{ Km/h}$	Medio
$0 \text{ Km/h} < \text{Velocidad} < 6 \text{ Km/h}$	Bajo

Tabla 9. Tabla clasificación velocidad de aire.

- **Nubosidad:**

Las nubes vienen a comportarse como “pantallas de la atmósfera”, amortiguando las variaciones extremas de la temperatura, por el día interceptan la disminución de las temperaturas máximas, por la noche se oponen al enfriamiento del suelo por irradiación con lo que se atenúan las temperaturas mínimas. Por lo tanto, la irradiación del suelo es mayor cuando el cielo está despejado, existiendo entonces mayor peligro de helada de radiación [6].

Nubosidad	
Rango	Clasificación
<i>Cielo despejado</i>	Alto
<i>Medio</i>	Medio
<i>Cielo cubierto</i>	Bajo

Tabla 10. Tabla clasificación nubosidad.

## 2.4 METODOLOGIA DE CRUCE DE VARIABLES

Estas nueve variables clasificadas anteriormente tienen incidencia directa sobre la presencia de un evento de helada en la Sabana de Bogotá. La presencia de una o más de estas variables en rangos de medida determinados, atenúan o aumentan la probabilidad de riesgo sobre cultivos de Rosa en el área de estudio. Por esta razón, se realizó un cruce de variables, donde de manera hipotética se establecía magnitud alta, media o baja para cada variable y se determina su clasificación como riesgo alto de evento de helada.

En la siguiente tabla se realiza el proceso anteriormente mencionado, además de una clasificación del tipo de helada con posible presencia según el cruce de variables.

Metodología de cruce de variables evento HELADA										
TA	HRD	VA	TMAX	TMIN	NUB	TPR	T12	H12	Riesgo	Tipo de Helada
A	B	B	A	A	A	A	A	A	Alto	Radiación (Negra)
M	B	B	A	A	A	A	A	A	Alto	Radiación (Negra)
B	B	B	A	A	A	A	A	A	Alto	Radiación (Negra)
A	B	B	A	A	M	A	A	A	Alto	Radiación (Negra)
M	B	B	A	A	M	A	A	A	Alto	Radiación (Negra)
B	B	B	A	A	M	A	A	A	Alto	Radiación (Negra)
A	B	B	A	A	A	B	A	A	Alto	Radiación (Blanca)
M	B	B	A	A	A	B	A	A	Alto	Radiación (Blanca)
B	B	B	A	A	A	B	A	A	Alto	Radiación (Blanca)
A	B	B	A	A	M	B	A	A	Alto	Radiación (Blanca)
M	B	B	A	A	M	B	A	A	Alto	Radiación (Blanca)
B	B	B	A	A	M	B	A	A	Alto	Radiación (Blanca)
M	-	A	-	B	-	-	-	-	Alto	Advección

M	-	A	-	B	-	-	-	-	Alto	Advección
M	-	A	-	B	-	-	-	-	Alto	Advección
B	-	A	-	B	-	-	-	-	Alto	Advección
B	-	A	-	B	-	-	-	-	Alto	Advección
B	-	A	-	B	-	-	-	-	Alto	Advección

Tabla 11. Tabla de Metodología de cruce variables meteorológicas.

## 2.5 DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO

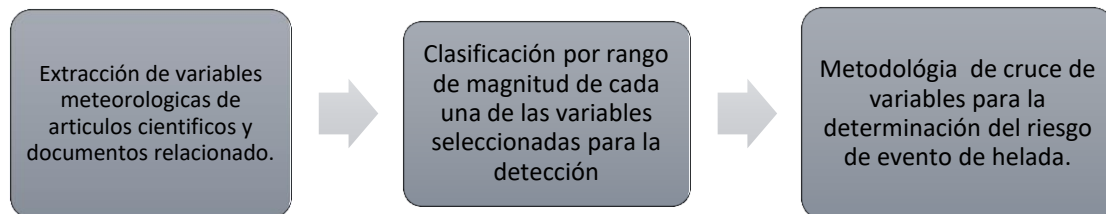


Figura 1. Diagrama de flujo del proceso del modelo de predicción de evento de Helada.

## 3. CONCLUSIONES

- A partir de la revisión bibliográfica se lograron extraer las variables meteorológicas que según lo autores habían tenido mayor incidencia y resultados positivos en la aplicación de modelos de predicción de heladas alrededor del mundo. Las variables anteriormente mencionadas son: Temperatura del aire durante el día, humedad durante el día, velocidad del aire, temperatura máxima del día, temperatura mínima del día, temperatura de punto de rocío, nubosidad (cobertura de nubes/nubosidad), temperatura del aire a media noche, humedad relativa a media noche.
- Por medio de una metodología de cruces de las variables mencionadas, se logró establecer una determinación del riesgo en escala de probabilidad de ocurrencia. De esta manera, se logra establecer los momentos en los que es necesario activas barreras activas o pasivas para proteger los cultivos de rosa de daños fisiológicos que puede producir un evento de helada. Lo anterior puede ayudar a disminuir gastos económicos innecesarios en probabilidad baja de riesgo de helada.
- Finalmente, se logró plantear satisfactoriamente un modelo básico en base a valores de variables meteorológicas de la Sabana de Bogotá como instrumento de predicción de heladas en cultivos de flor del género rosa. A partir de una revisión del estado arte con respecto a las



metodologías implementadas actualmente para el pronóstico de heladas y una identificación de las variables ambientales con una relevancia directa sobre una helada.

## **Bibliografía**

- [1] Snyder, R. L, Melo-Abreu, J.P & Matulich, 2010. *Protección contra heladas: fundamentos, prácticas y economía*. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
- [2] Gómez, O.C & Triana, C.F. (2012). *Actualización Nota Técnica de las Heladas*. Bogotá: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.
- [3] El Tiempo. (2001). Así atacan las heladas. Bogotá: Periódico El Tiempo.
- [4] Revista Dinero (2007). Heladas afectan producción de flores y productores evalúan efecto, Bogotá: Revista Dinero (Web).
- [5] Gómez, D, A. (2014). *Caracterización, pronóstico y alternativas de manejo de las heladas en el sistema de producción lechero del valle de Ubaté y Chiquinquirá (Colombia)*. Tesis inédita de maestría. Facultad de Ciencias, Departamento de Geociencias, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá D.C.
- [6] Pedraza, L. G. (1962). *Las Heladas*. Madrid: Ministerio de Agricultura .
- [7] Cheikh, A. y Jacobi, A. (2014). A mathematical model for frost growth and densification on flat surfaces. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. Volumen (77), pp. 604–611.
- [8] Ghielmi, L y Eccel E. (2006). Descriptive models and artificial neural networks for spring frost prediction in an agricultural mountain area. *Computers and Electronics in Agriculture*. Volumen (54), pp. 101-114
- [9] Diedrichs, A. L., Tabacchi G., Grünwaldt G., Pecchia M., Mercado G., y González F. (2014). Low-Power Wireless Sensor Network for Frost Monitoring in Agriculture Research. *IEEE Biennial Congress of Argentina (ARGENCON)*, pp. 525-530.
- [10] Brun-Laguna, K., Diedrichsy, A., Chaarz, J. E., Dujovnex D., Taffernaberry, J. C., Mercadoy G. y Watteyne T. (2016). *IEEE* .
- [11] Emmanouil, G., Galanis, G. y Kallos, G. (2006) Statistical methods for the prediction of night-time cooling and minimum temperature. *Meteorol*. Volumen (13) pp. 169–178.
- [12] Verdes, P. F., Granitto, P. M., Navone, H. D. y Ceccatto H. A. (2000). FROST PREDICTION WITH MACHINE LEARNING TECHNIQUES. *Instituto de Física Rosario (CONICET-UNR)*.

- [13] Lee, H., Chun, J. A., Han, H. H., y Kim S. (2016) Prediction of Frost Occurrences Using Statistical Modeling Approaches. *Hindawi Publishing Corporation*.
- [14] FERNANDEZ, M. A., Barnatan, I. E., Spescha, L., Hurtado, R. y Murphy G. (2005). Caracterización de las heladas en la región pampeana y su variabilidad en los últimos 10 años.
- [15] Sánchez D. (2015) Riesgo de heladas por inversión térmica en la huerta de Murcia: incidencia en la actividad agraria. Instituto. *Interuniversitario de Geografía*. Volumen (64), pp. 73 - 86.
- [16] Gómez Latorre, D. A. (2014). Caracterización, pronóstico y alternativas de manejo de las heladas en el sistema de producción lechero del valle de Ubaté y Chiquinquirá (Colombia). *Universidad Nacional de Colombia*
- [17] Long, M. E., Barnatan, I. E. y García Skabar, Y. (2004). Horas con helada y su peligrosidad en seis localidades de la argentina.
- [18] Allen, C. C. (1957). A simplified equation for minimum temperature prediction. *Monthly weather review*. pp. 119-120
- [19] Melko, A. y Levins, L. (2012). Methods of the environmental risk analysis and assessment, the modified method of the risk index. *Safety of Technogenic Environment*. pp. 50-56
- [20] Moller-Acuña, P., Ahumada-García, R. y Reyes-Súarez, J. (2016). Predicción de Episodios de Heladas Basado en Información Agrometeorológica y Técnicas de Aprendizaje Automático. *IEEE*
- [21] Ovando, G., Bocco, M. y Sayago, S. (2005). Redes neuronales para modelar predicción de heladas. *Agricultura Técnica*. Volumen (65) pp. 65-73.
- [22] Jaramillo Robledo, A. (2005). Clima andino y café en Colombia. *Federación Nacional de Cafeteros de Colombia*.