

Helada intertropical, sus impactos y mitigación: una revisión bibliométrica

Intertropical frost, its impacts and mitigation: A bibliometric review

Ing. Diego Fernando Ortiz-Carrascal¹, y PhD. Diego Alejandro Gúzman-Arias²

¹Universidad Pontificia Bolivariana, Bucaramanga, Colombia. Facultad de Ingeniería Civil – Maestría en Ingeniería Civil, Email: diego.ortiz.2020@upb.edu.co, Orcid: <https://orcid.org/0009-0000-0222-4153>

²Universidad Pontificia Bolivariana, Bucaramanga, Colombia. Facultad de Ingeniería Civil – Maestría en Ingeniería Civil, Email: diego.guzman@upb.edu.co, Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-1071-9767>

Cómo citar: D.F. Ortiz-Carrascal y D. A. Gúzman-Arias, “Helada intertropical, sus impactos y mitigación: una revisión bibliométrica”, *Rev. Ingenio*, vol. 22, n°1, pp. 1-9, 2025, doi: <https://doi.org/10.22463/2011642X.4491>

Fecha de recibido: 10 de abril de 2024

Fecha aprobación: 17 de julio de 2024

RESUMEN

Palabras clave:

Helada, impactos, mitigación de efectos, variabilidad meteorológica, bibliometría.

Las heladas son un fenómeno climatológico en el cual la temperatura desciende a un valor igual o inferior a 0 °C durante un lapso de tiempo específico. Dicho fenómeno genera daños irreparables en el material vegetal presente en el suelo, afectando principalmente a la industria agroindustrial. Por lo tanto, este trabajo de revisión bibliográfica tiene como objetivo establecer los documentos más relevantes sobre el estudio de la helada intertropical, sus impactos y mitigación a nivel mundial, utilizando el software de acceso gratuito R-Studio y la paquetería Bibliometrix. Los resultados exponen que fueron publicados una cantidad de 24 documentos a partir de 1980 hasta el 2024, con una tasa de crecimiento del 1.63%. Los artículos fueron escritos por 20 autores, incluyendo 1 artículo de revisión y 23 artículos de investigación (publicados en 18 revistas). Estos documentos principalmente provienen de países como USA, Australia, France y Netherlands, publicados en revistas como Icarus, Journal Of Climate y Atmospheric Chemistry And Physics. Finalmente, profundizar su estudio es importante para aumentar el conocimiento científico y generar acciones para predecir su ocurrencia y gestionar maniobras de mitigación que impacten de manera positiva desarrollo socioeconómico de dichas zonas. Desde esta perspectiva, este artículo sintetiza una investigación sobre la helada intertropical, sus impactos y mitigación, ejecutando una revisión de literatura científica en bases de datos y repositorios.

ABSTRACT

Keywords:

Frost, impacts, mitigation of effects, meteorological variability, bibliometrix.

Frost is a climatic phenomenon in which the temperature drops to 0°C or lower for a specific period. This phenomenon causes irreparable damage to the plant material present in the soil, significantly impacting the agro-industrial sector. Therefore, this bibliographic review aims to identify the most relevant documents on the study of intertropical frost, its impacts, and mitigation efforts worldwide, utilizing the free software R-Studio and the Bibliometrix package. The results show that 24 documents were published from 1980 to 2024, with a growth rate of 1.63%. The articles were written by 20 authors, including 1 review article and 23 research articles (published in 18 journals). These documents primarily came from countries such as the USA, Australia, France, and the Netherlands, and were mainly published in journals like Icarus, Journal of Climate, and Atmospheric Chemistry and Physics. Finally, deepening the study of this phenomenon is crucial to increase scientific knowledge and generate actions to predict its occurrence and implement mitigation strategies that positively impact the socioeconomic development of affected areas. From this perspective, this article synthesizes research on intertropical frost, its impacts, and mitigation, through a comprehensive review of scientific literature from databases and repositories.

1. Introducción

Durante la evolución de la existencia humana las condiciones naturales, ambientales y climáticas han sido factores estrechamente relacionados e influyentes en el desarrollo económico y sociocultural, especialmente determinantes en la economía y estructura productiva, sobre todo en países que dependen de la agricultura como principal actividad económica; esto ha generado que las personas y comunidades construyan un conocimiento empírico sobre el

comportamiento climático y lo transmiten de generación en generación [1].

El clima es definido como las condiciones atmosféricas predominantes en una región [1], presenta en las últimas décadas la alteración en los ciclos lluviosos, secos, cálidos y fríos ocasionados por actividades antrópicas que han producido gases de efecto invernadero (GEI), los cuales son emitidos a la atmósfera reteniendo el calor, generando

Autor para correspondencia

Correo electrónico: diego.ortiz.2020@upb.edu.co (Diego Fernando Ortiz-Carrascal)



La revisión por pares es responsabilidad de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña
Artículo bajo la licencia CC BY-NC (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/deed.es>)

calentamiento global y cambio climático, alterando el equilibrio natural necesario para la supervivencia de los seres vivos en determinados pisos térmicos, los cuales están inicialmente adaptados [2]. De allí la importancia de estudiar dichas alteraciones, sus causas, consecuencias y posibles soluciones a largo y corto plazo.

La variabilidad climática junto con sus fluctuaciones produce cambios climáticos severos como sequías, inundaciones, exceso de lluvias y heladas que afectan principalmente a la agricultura, generando pérdidas económicas de gran magnitud, este problema recurrente exige que se realicen acciones que permitan mitigar sus efectos dentro de lo que es posible hacer a nivel de previsión y mitigación de los daños [3][4].

Uno de los principales fenómenos ocasionados por variabilidad de la temperatura en el clima son las heladas, definidas como la reducción de la temperatura del aire hasta los 0 °C o menos, producida por flujos de energía radiativa y advectiva; desde esta perspectiva, el presente documento forma un estado del arte sobre el fenómeno de la helada intertropical mediante la revisión de literatura científica, centrada en el desarrollo de dos (2) fenómenos específicos: la definición y caracterización del fenómeno de las heladas; y la descripción de la relación de las variables meteorológicas con la ocurrencia de este evento, así como de las acciones que permiten prevenir y mitigar sus efectos principalmente en la agricultura [5][6].

El objetivo principal de este artículo de revisión es profundizar el conocimiento sobre el fenómeno de las heladas intertropicales considerando que no ha sido estudiado de forma profunda en este contexto geográfico. Considerando lo anterior, se realizó una revisión documental de la literatura científica en bases de datos y repositorios, donde los recursos tecnológicos permiten acceder al conocimiento generado de la observación, medición, pronóstico de la frecuencia, duración e intensidad de las heladas.

2. Materiales y métodos

2.1. Análisis bibliométrico (BA)

La bibliometría es una disciplina que se dedica al análisis cuantitativo de la producción científica a través del estudio de la literatura. Su objetivo es examinar la naturaleza y evolución de una determinada área de conocimiento. Para ello, se basa en la aplicación de métodos estadísticos y matemáticos a fuentes escritas, como artículos científicos, tesis, libros y otros documentos académicos. Estos elementos incluyen el idioma, palabras clave, descripciones, títulos, autores, tipo de documento y resúmenes. Asimismo, conocida como bibliografía estadística, su función principal es cuantificar y analizar publicaciones existentes, realizando estudios cuantitativos de unidades publicadas, bibliográficas

y sus sustitutos [7].

La bibliometría no solo se enfoca en el análisis de publicaciones científicas, sino que también se convierte en un instrumento crucial que puede evaluar la generación de conocimiento y sus consecuencias en el entorno. Se considera una subdisciplina de la cienciometría, ya que proporciona rasgos representativos de los resultados de una investigación, su desarrollo, forma y volumen, destacando la importancia tanto de las fuentes como de la propia investigación [8]. Las métricas científicas y los análisis bibliométricos son utilizados por los investigadores como referencia para nuevos estudios, con el objetivo de identificar nuevas tendencias científicas y fortalecer el capital intelectual dentro de las instituciones de educación superior [9].

El análisis bibliométrico generalmente sigue el procedimiento propuesto por [10], que consta de tres pasos [11][12]. La producción científica, especialmente libros y artículos, tienen una clasificación por áreas de conocimiento que permite su búsqueda en base de datos Scopus sin el apoyo de otros programas de computador especializados. [13] [12]. Todos los datos se analizan y discuten en un contexto enmarcado por la educación superior, de la cual derivan las publicaciones y producción intelectual. Cabe destacar que el proceso de revisión se desarrolló exclusivamente de la información tomada de Scopus sobre documentación científica y sus autores [14]. La base de datos Scopus fue seleccionada debido a su recopilación de artículos e información de alto valor, su rápido acceso, la consolidación clara de datos a lo largo del tiempo y la información gráfica actualizada sobre la producción científica [15].

2.2. Análisis bibliométrico (BA)

El BA se consolidó empleando la biblioteca Bibliometrix y la plataforma BiblioShiny del software RStudio® (V.2024.01.0) [16], un programa especializado capaz de reconocer toda la estadística bibliométrica en torno al tema de exploración, analizando y clasificando los rasgos más representativos de la literatura científica [12][17].

2.3. Recopilación de datos e información

Los datos fueron recopilados el 17 de Mayo de 2024 obtenidos de las publicaciones científicas de la base de datos Scopus sobre el estudio de la helada intertropical, sus impactos y mitigación a nivel mundial utilizando palabras clave (en inglés) como “heladas”, “fenómenos climáticos”, “helada intertropical”, concluyendo que la helada intertropical es un fenómeno complejo, que en la zona ecuatorial tiene una ocurrencia frecuente y de origen multicausal, que actualmente se ve influenciado por los fenómenos del “Niño” y de la “Niña”, y sumado a un bajo índice de predicción, hacen difícil la mitigación de sus efectos, especialmente en sectores como la agricultura, lo que amerita mayor investigación

desde las ciencias meteorológicas y climáticas.

3. Resultados y discusiones

3.1. Resultados bibliométricos

El análisis arrojó una cantidad de 24 documentos publicados a partir de 1980. Adicionalmente, el análisis de los resultados encontrados a partir del software bibliométrico (R-Studio) proyectó una tasa de crecimiento del 1.63% anual entre los años 1980 y 2023, considerando que a la fecha (mayo de 2024) no se evidenciaron artículos publicados.

En la Figura 1, se muestra el análisis de la base de datos global, resultado del BA concerniente a la helada intertropical, sus impactos y mitigación, considerando 24 documentos distintos, substancialmente en idioma inglés, debido a que es un idioma adoptado globalmente para la publicación científica. Unos 20 autores escribieron artículos, de los que se publicó 1 artículo de revisión y 23 artículos de investigación (publicados en 18 revistas). Es importante mencionar que estos documentos fueron publicados por países como USA, Australia, France y Netherlands, principalmente [18].



Figura 1. Resultados bibliométricos

3.2. Indicadores bibliométricos

La Figura 2 muestra el crecimiento de las publicaciones científicas por año (1.63 %), con un crecimiento exponencial. Este análisis de las publicaciones considera las fuentes de información más importantes, autorizadas y pertinentes para el tema de investigación que se está abordando (libros y artículos de revistas académicas/científicas revisadas por pares (peer-reviewed) y publicados por editoriales o revistas reconocidas para el campo de estudio, entre otros) [13] [20]. Asimismo, la publicación de documentos presenta una variabilidad significativa año tras año, con picos notables en ciertos años, los cuales pueden indicar periodos de alta actividad en publicaciones, posiblemente debido a eventos específicos, conferencias o avances significativos en la disciplina estudiada. Además, se observaron picos destacados en los años 2002, 2004, 2010 y 2014 donde hubo mayor publicación por parte de los autores.

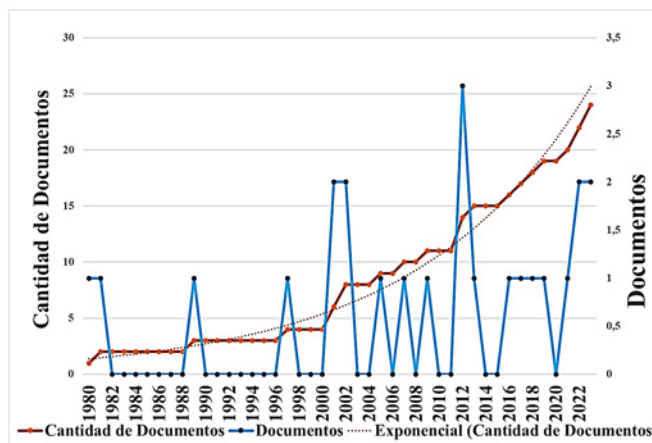
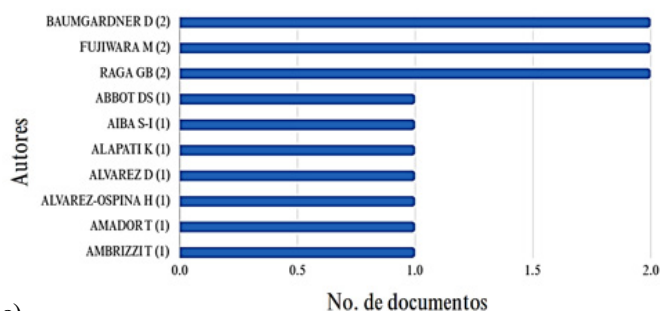


Figura 2. Crecimiento de las publicaciones científicas

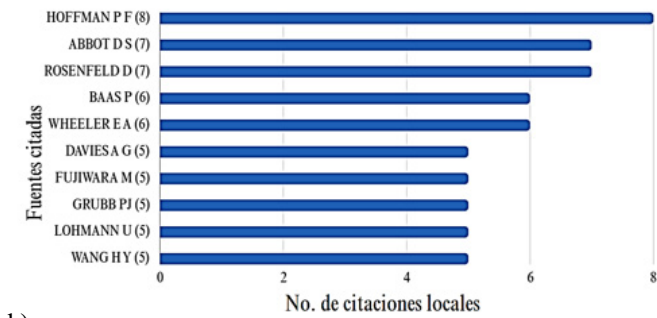
3.3 Resumen de las publicaciones

Las fuentes locales más citadas en el análisis bibliográfico se refieren a las fuentes de información producidas dentro del contexto geográfico o regional específico que es relevante para el tema de investigación, como se observa en la Figura 3. Donde se revelan las fuentes producidas por autores, instituciones o editoriales del mismo país, región o área local donde se está realizando la investigación [21]. Además, investigaciones, estudios empíricos o datos recopilados en ese contexto geográfico particular. Como también, publicaciones o informes de organizaciones nacionales. Asimismo, libros, revistas académicas o periódicos locales que abordan temas relevantes desde una perspectiva local o regional.

Por otra parte, autores más relevantes en el análisis bibliográfico hace referencia a los autores considerados como las mayores autoridades (Figura 3a), expertos o voces más influyentes en el tema o campo de estudio que se está investigando.



a)



b) **Figura 3.** Autores más citados a) por referencias, y b) por citaciones locales

La producción de los Autores a través del tiempo, en el análisis bibliográfico se representa en la Figura 4, la cual muestra el análisis de la evolución para la producción académica o las publicaciones de determinados autores relevantes a lo largo de un período de tiempo. Este análisis considera los autores más citados de manera local (es decir, los autores objeto del análisis bibliométrico).

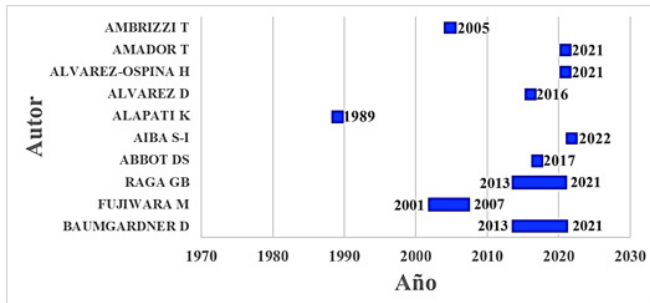
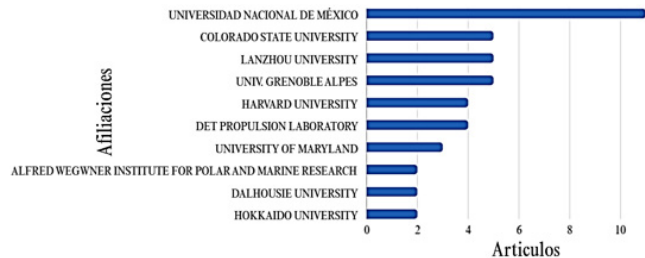


Figura 4. Producción de autores locales a través del tiempo

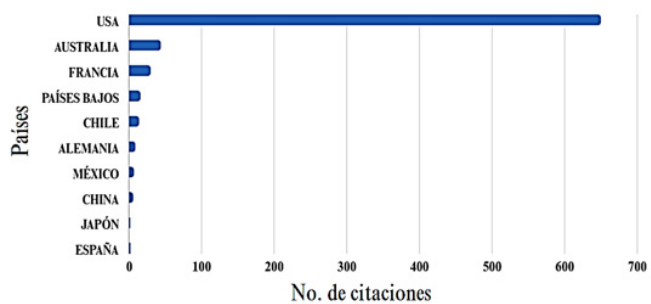
Afiliaciones más relevantes en el análisis bibliográfico se refiere a las instituciones, organizaciones o centros de investigación más prestigiosos y reconocidos que están asociados con los autores, investigadores o publicaciones más influyentes en el tema de estudio. Producción científica de los países en el análisis bibliográfico se refiere al estudio y análisis de la actividad de investigación y las publicaciones científicas generadas por diferentes naciones o países a nivel mundial. "Producción de los Países a través del Tiempo" en el análisis bibliográfico se refiere a examinar y analizar cómo ha evolucionado la producción científica y académica de diferentes países a lo largo de un período determinado. Países más citados en el análisis bibliográfico se refiere a aquellos países cuyos trabajos de investigación y publicaciones científicas reciben la mayor cantidad de citas por parte de otros investigadores y académicos a nivel mundial. De la Figura 4b, se pudo evidenciar un total de citaciones (TC) por la frecuencia de aparición por países de USA: 650, Australia: 44, France: 30, Netherlands: 16, Chile: 14, Germany: 9, México: 7, China: 6 y Japan-Spain: 2. Demostrando el gran interés de los países como USA, Australia y Francia en este tema de Helada intertropical, sus impactos y mitigación [19].

La Figura 5d muestra el mapa mundial de colaboración entre Países, es una herramienta visual que muestra las colaboraciones científicas entre diferentes países. Este mapa permite a los investigadores y analistas entender mejor cómo se distribuye la producción científica a nivel global y qué países están colaborando entre sí en la investigación académica.

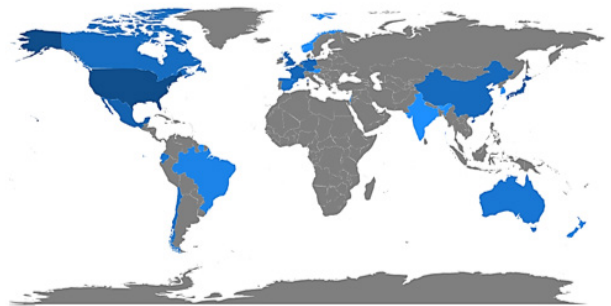
a)



b)



c)



d)

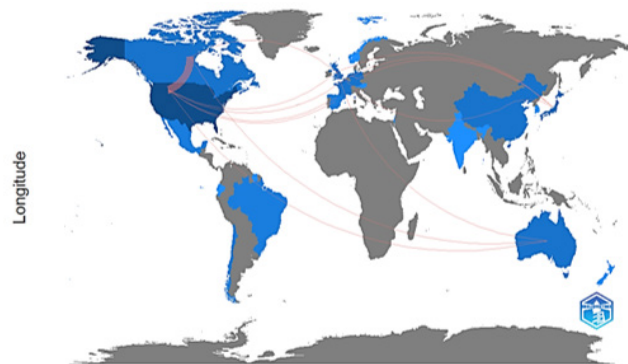


Figura 5. Instituciones más relevantes del análisis bibliográfico, a) Tabla de resultados, b) Frecuencia de aparición de países, c) Mapa mundial, d) Colaboración entre países

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) [22], conocimientos ancestrales no son suficientemente reconocidos por la comunidad científica, por esto surge la necesidad de profundizar en el estudio del clima y apoyarse en sistemas como la red de radares, estaciones meteorológicas y satélites los cuales permiten hacer predicciones del estado del tiempo, especialmente de las heladas. Al respecto hay que decir que los países ubicados entre los trópicos y el círculo polar fueron los primeros en predecir la ocurrencia de heladas, estableciendo planes de mitigación de los efectos para proteger las cosechas [23].

Las heladas como fenómeno climático ocurren por la disminución de la temperatura alcanzando los 0 °C, son una amenaza permanente para las comunidades rurales, agricultores y ganaderos en los países integrantes de la Comunidad Andina de Naciones (CAN), Colombia, Ecuador, Perú, Bolivia y Venezuela, los daños de las cosechas no solo producen pérdidas económicas sino también generan situaciones de inseguridad alimentaria y hambruna en poblaciones que dependen de estos cultivos [24].

Documentos más citados Globalmente en el análisis bibliográfico se muestran en la Tabla 1, evidenciando publicaciones científicas o académicas que han recibido la mayor cantidad de citas en todo el mundo, independientemente del país de origen de los autores o la institución que publicó el documento. Como se observó, Hoffman, P 2017 fue el autor con más citaciones (421), seguido de Pross, J 2012 (244) y Rossbacher, L 1981 (126), autores de gran relevancia para el análisis de la temática desarrollada [25][26].

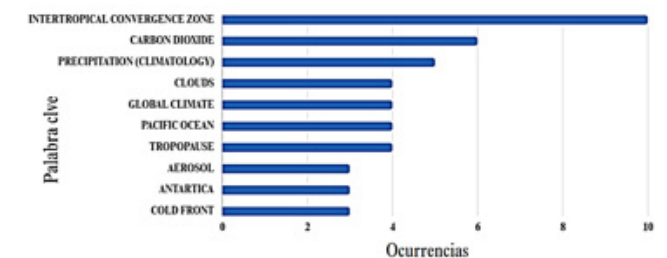
Tabla 1. Documentos más citados de forma global.

Documento	Total, de Citaciones	Cita
HOFFMAN PF, 2017, SCI ADV	421	[27]
PROSS J, 2012, NATURE	244	[28]
ROSSBACHER LA, 1981, ICARUS	126	[29]
BERG W, 2002, J CLIM	85	[30]
FUJIWARA M, 2001, GEOPHYS RES LETT	64	[31]
SONG X, 2012, J CLIM	51	[32]
PEZZA AB, 2005, INT J CLIMATOL	44	[33]
BASANTES-SERRANO R, 2016, J GLACIOL	30	[34]
MUNCHAK SJ, 2012, J CLIM	28	[35]
SCHABER GG, 1980, ICARUS	26	[36]
DOUTÉ S, 2002, ICARUS	24	[37]
KIEU CQ, 2009, J ATMOS SCI	23	[38]
WHEELER EA, 2019, IAWA J	18	[39]
FORTUIN JPF, 2007, J GEOPHYS RES	16	[40]
NOWAJEWSKI P, 2018, ICARUS	13	[41]

Por otra parte, se logró obtener un análisis de las revistas más importantes del BA realizado, de donde se puede evidenciar que Icarus, Journal Of Climate y Atmospheric Chemistry And Physics, presentan una cantidad de documentos de 4, 3 y 2, respectivamente; a su vez en una menor proporción (1 documento) las revistas Atmosfera, Atmospheric Research, Geophysical Research Letters, Iawa Journal, Industrial Crops And Products, International Journal Of Climatology, Journal Of Biogeography, Journal Of Geophysical Research Atmospheres, Journal Of Glaciology, Journal Of The Atmospheric Sciences, Meteorology And Atmospheric Physics, Nature, Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, Science Advances y Tropics, las cuales son de alto impacto y categoría Q1.

3.4. Análisis de las palabras claves

La Figura 6a muestra las palabras más frecuentes en el análisis bibliográfico, considerando el conjunto de documentos, textos o publicaciones relacionados con un tema o campo de estudio específico. El análisis de estas palabras clave y su frecuencia subraya la necesidad de un enfoque multidisciplinario para comprender y mitigar los impactos de las heladas intertropicales. Nótese que las palabras más frecuentes son: Intertropical convergence zone, Carbon dioxide, y Precipitation (climatology) con 10, 6 y 5 apariciones, respectivamente; Seguidas de otras como Clouds, Global climate, Pacific ocean, Tropopause, Aerosol, Antarctica y Cold front en una menor proporción [42]. Asimismo, la Figura 6b proporciona una visión clara de diversos temas y su relevancia en el estudio de las heladas intertropicales, destacando la importancia de factores climáticos globales y locales. La nube de Palabras clave es una representación visual de las palabras más frecuentes en un conjunto de datos de texto, donde el tamaño de cada palabra es proporcional a su frecuencia de aparición.



a)



a)

Figura 6. a) Palabras clave más frecuentes, b) Nube de palabras clave

La Red de Co-ocurrencia mostrada en la Figura 7a, es una representación gráfica de las relaciones entre palabras o términos que aparecen juntos con frecuencia en un conjunto de datos de texto. En una red de co-ocurrencia, cada nodo (o vértice) representa una palabra o término, y los enlaces (o aristas) entre los nodos indican que esas palabras co-ocurren o aparecen juntas en los documentos analizados. Cuanto más grueso o robusto sea el enlace, mayor es la frecuencia de co-ocurrencia entre esas palabras. La Figura 7b muestra el mapa temático, el cual se utiliza para identificar y representar las temáticas principales y las relaciones entre ellas dentro de un conjunto de publicaciones científicas. Este tipo de mapa ayuda a los investigadores a comprender mejor la estructura y la evolución de un campo de estudio específico.

Por lo general, los agricultores utilizan indistintamente los términos “heladas” y “congelación”, la cual ocurre a temperaturas cercanas a cero grados ($0\text{ }^{\circ}\text{C}$); también puede hablarse de “helada meteorológica” a la que ocurre a una temperatura mínima diaria que no supera los $0\text{ }^{\circ}\text{C}$; también existe la “helada agronómica” o sea aquella en que el descenso de temperatura es crítico para los cultivos, pero sin llegar necesariamente a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ [45].

Una helada produce un riesgo agrícola cuando la temperatura desciende tanto que causa daño a la estructura funcional de la planta, puede presentarse una destrucción parcial de los órganos y tejidos vegetales o la muerte total de las plantas, los efectos destructivos de las heladas en las plantas dependen de factores fisiológicos como resistencia y susceptibilidad del cultivo a bajas temperaturas, altura sobre el nivel del suelo y temperatura que alcanzan las hojas, pues de esto va a depender el daño, también influyen factores biológicos de la planta como variedad y especie, estado fenológico y condiciones fitosanitarias. Dentro de los factores meteorológicos se tiene: tiempo de duración de las bajas temperaturas, velocidad del enfriamiento y condiciones atmosféricas que anteceden el fenómeno [46].

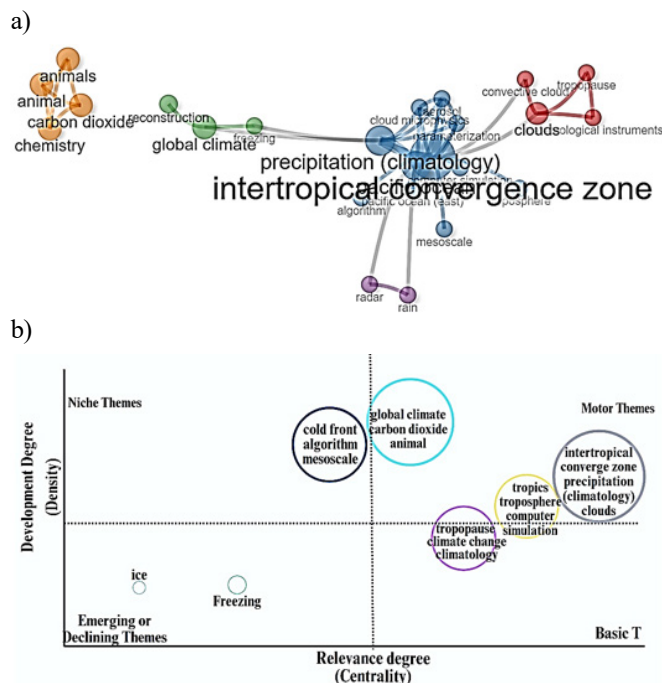


Figura 7. a) Red de co-ocurrencia de las palabras clave, b) Mapa temático

Según Artundaga [43] una helada es una situación en donde la temperatura desciende al punto de congelación (0°C) o por debajo de él, sin tener relevancia si se forman o no cristales de hielo. Desde el punto de vista meteorológico una helada se presenta cuando la temperatura del aire a 1.5 metros del suelo desciende a un valor igual o menor a cero grados (0°C), independientemente de la duración o de la intensidad, este fenómeno atmosférico ocurre cuando la temperatura del aire en las cercanías del suelo es inferior a los cero grados (0°C), desde el concepto técnico una “helada” hace referencia a la formación de cristales de hielo sobre las superficies, por ejemplo, por la congelación del rocío y el hielo se deposita en las hojas, también ocurre cuando hay cambio de estado de agua (líquido) o sólido (hielo), esto ocurre internamente en las plantas, con lo cual estas se “queman” y mueren [44].

4. Conclusiones y Tendencias en el área

La revisión bibliométrica sobre la helada intertropical, sus impactos y mitigación revela un campo de estudio con crecimiento constante, colaboración internacional y un enfoque multidisciplinario. Los hallazgos resaltan la importancia de este fenómeno en la agroindustria y la necesidad de estrategias efectivas para mitigar sus efectos. La investigación futura debe continuar utilizando herramientas bibliométricas para mapear el progreso y fomentar la colaboración entre científicos y políticas medioambientales que puedan abordar los desafíos planteados por las heladas intertropicales. Considerando lo anterior, se establecen las siguientes conclusiones:

Los impactos de las heladas intertropicales son muy severos en la agricultura, causando pérdidas económicas significativas. Los cultivos sensibles al frío son los más afectados, lo que puede llevar a problemas de seguridad alimentaria en las regiones afectadas.

Desde 1980 hasta 2024, se han publicado 24 documentos sobre la helada intertropical, con una tasa de crecimiento anual del 1.63%. Esto indica un interés creciente en el estudio de este fenómeno y sus efectos. Los estudios sobre heladas intertropicales se han publicado principalmente en revistas científicas de alto impacto como "Icarus", "Journal Of Climate" y "Atmospheric Chemistry And Physics". Los autores más citados incluyen a Hoffman P. (2017), Pross J. (2012) y Rossbacher L. (1981).

Por otra parte, se establecen las siguientes tendencias

relacionadas con el BA realizado sobre Helada intertropical, sus impactos y mitigación:

Impactos Significativos en la Agroindustria: las heladas intertropicales tienen un impacto negativo severo en la agricultura, causando daños irreparables a los cultivos y afectando la producción agrícola. Este impacto se refleja en la atención significativa que el tema ha recibido en la investigación científica [47].

Importancia del Cambio Climático: los estudios muestran que el cambio climático juega un papel crucial en la ocurrencia y severidad de las heladas intertropicales, factores como el aumento de las concentraciones de dióxido de carbono y los cambios en los patrones de precipitación son esenciales para entender y predecir estas heladas.

Necesidad de Estrategias de Mitigación: existe una necesidad urgente de desarrollar estrategias efectivas para mitigar los efectos de las heladas intertropicales. Esto incluye el desarrollo de modelos climáticos predictivos, prácticas agrícolas adaptativas y políticas medioambientales robustas.

Enfoque Multidisciplinario: la investigación sobre heladas intertropicales y sus impactos se beneficia de un enfoque multidisciplinario, involucrando ciencias atmosféricas, agronomía, y ciencias del clima. La colaboración internacional y la diversidad de revistas en las que se publican los estudios subrayan la naturaleza integral de este campo de investigación [48].

Perspectiva Futura y Relevancia Socioeconómica: profundizar en el estudio de las heladas intertropicales es crucial no solo para avanzar en el conocimiento científico sino también, para implementar acciones que puedan predecir y mitigar su impacto. Esto tiene un potencial positivo significativo en el desarrollo socioeconómico de las regiones afectadas.

Modelos Climáticos Avanzados: una tendencia emergente es el desarrollo y uso de modelos climáticos avanzados que integren variables como la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), niveles de CO₂ y patrones de precipitación para mejorar la predicción de heladas intertropicales [49].

Agricultura Adaptativa: La investigación está orientándose hacia prácticas agrícolas adaptativas, como la creación de cultivos resistentes al frío y el desarrollo de sistemas de alerta temprana que permitan a los agricultores prepararse mejor ante la posibilidad de heladas.

Impactos en la Biodiversidad: se está incrementando el interés en estudiar cómo las heladas intertropicales afectan la biodiversidad y los ecosistemas. Este enfoque es crucial para comprender los cambios en la resiliencia ecológica y

la conservación de especies en regiones intertropicales [18].

Políticas y Gestión del Cambio Climático: la formulación de políticas que aborden el cambio climático y las emisiones de gases de efecto invernadero está ganando relevancia. Estas políticas son esenciales para mitigar los impactos de las heladas intertropicales y promover la sostenibilidad ambiental.

Colaboración Internacional en Investigación: hay un aumento en la colaboración internacional en estudios sobre heladas intertropicales. Países como Estados Unidos, Australia y Francia están liderando investigaciones conjuntas, lo que fomenta un intercambio de conocimientos y recursos que puede acelerar el desarrollo de soluciones efectivas [50].

5. Referencias

- [1] J. D. Pabón Caicedo, "Cambio climático en Colombia: Tendencias en la segunda mitad del siglo XX y escenarios posibles para el siglo XXI," *Rev. la Acad. Colomb. Ciencias Exactas, Físicas y Nat.*, vol. 36, pp. 261–278, Jun. 2012.
- [2] Y. F. Martínez- Estupiñán, C. Martínez-Guerra, y O. Carrero-Monroy, "De vías férreas a carreteras urbanas. Análisis para la ciudad de Barrancabermeja," *Revista Ingenio*, vol. 16, no. 1 SE-Artículos de Investigación, pp. 16–22, Jan. 2019, doi: <https://doi.org/10.22463/2011642X.2345>.
- [3] L. N. y J. N., "Efectos del cambio climático: Una mirada al Campo," *Rev. Ciencias Agrícolas*, vol. 35, pp. 79–91, Dec. 2018, doi: <https://doi.org/10.22267/rcia.183502.93>.
- [4] D. M. Criado-Rodríguez, W. A. Pacheco-Vergel, y N. Afanador-García, "Vulnerabilidad sísmica de centros poblados: estudio de caso," *Revista Ingenio*, vol. 17, no. 1 SE-Artículos de Investigación, pp. 43–48, Jan. 2020, doi: <https://doi.org/10.22463/2011642X.2441>.
- [5] M. Andrades Rodrigues y C. Nuñez Leon, "Fundamentos de climatología," España, 2012. doi: 978-84-695-2799-3.
- [6] R. A. García-León, M. Grave-Capistran, J. Maya-López, y A. Ballesteros-Argüello, "Evaluación experimental de esfuerzos usando la correlación de imagen digital," *Revista Ingenio*, vol. 18, no. 1, pp. 49–53, 2021, doi: <https://doi.org/10.22463/2011642X.2670>.
- [7] E. S. López et al., "Bibliometry, an efficient to assess the postgraduate scientific activity," *Medisur*, vol. 7, no. 4, pp. 291–294, 2009.
- [8] T. A. Escorcía Otálora, "Análisis bibliométrico como herramienta para el seguimiento de publicaciones científicas, tesis y trabajos de grado," Pontificia Universidad Javeriana, 2008. [Online]. Available: <https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/8212>

- [9] R. D. Buitrago-Pulido, "Análisis bibliométrico sobre la producción científica en distribución en planta en la red Redalyc durante el periodo 2007 - 2017," *Sci. Tech.*, vol. 24, no. 3 SE-Industrial, pp. 446–450, Sep. 2019, doi: <https://doi.org/10.22517/23447214.21401>
- [10] E. D. Quintero-Duran, J. C. Bayona-Gómez, M. A. Grave-Capistran, L. A. Moreno-Pacheco, J. Martínez-Trinidad, y R. A. García-León, "Análisis bibliométrico sobre las tendencias actuales de la normativa utilizada en tanques de almacenamiento de petróleo," *Revista Ingenio*, vol. 21, no. 1 SE-Artículos de Investigación, pp. 45–53, Jan. 2024, doi: <https://doi.org/10.22463/2011642X.4402>.
- [11] SNIES-Mineducación, "Sistema Nacional de Información de la Educación Superior," WebPage. [Online]. Available: <https://hecaa.mineducacion.gov.co/consultaspublicas/ies>
- [12] R. A. García-León, J. Martínez-Trinidad, y I. Campos-Silva, "Historical Review on the Boriding Process using Bibliometric Analysis," *Trans. Indian Inst. Met.*, vol. 74, no. March, pp. 541–557, 2021, doi: <https://doi.org/10.1007/s12666-020-02174-6>.
- [13] I. F. Aguillo, "Is Google Scholar useful for bibliometrics? A webometric analysis," *Scientometrics*, vol. 91, no. 2, pp. 343–351, 2012, doi: <https://doi.org/10.1007/s11192-011-0582-8>.
- [14] R. Pico-Saltos, P. Carrión-Mero, N. Montalván-Burbano, J. Garzás, y A. Redchuk, "Research Trends in Career Success: A Bibliometric Review," *Sustainability*, vol. 13, no. 9. 2021. doi: <https://doi.org/10.3390/su13094625>.
- [15] M. Visser, N. J. van Eck, y L. Waltman, "Large-scale comparison of bibliographic data sources: Scopus, Web of Science, Dimensions, Crossref, and Microsoft Academic," *Quant. Sci. Stud.*, vol. 2, no. 1, pp. 20–41, Apr. 2021, doi: https://doi.org/10.1162/qss_a_00112.
- [16] M. Aria y C. Cuccurullo, "bibliometrix : An R-tool for comprehensive science mapping analysis," *J. Informetr.*, vol. 11, no. 4, pp. 959–975, 2017, doi: <https://doi.org/10.1016/j.joi.2017.08.007>.
- [17] R. A. García-León, J. A. Gómez-Camperos, y H. Y. Jaramillo, "Scientometric Review of Trends on the Mechanical Properties of Additive Manufacturing and 3D Printing," *J. Mater. Eng. Perform.*, 2021, doi: <https://doi.org/10.1007/s11665-021-05524-7>.
- [18] L.-A. Casado-Aranda, J. Sánchez-Fernández, y M. I. Viedma-del-Jesús, "Analysis of the scientific production of the effect of COVID-19 on the environment: A bibliometric study," *Environ. Res.*, vol. 193, p. 110416, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110416>.
- [19] B. Elango, "Growth of Scientific Publications: an Analysis of Top Ten Countries," *Libr. Philos. Pract.*, vol. 2018, pp. 1–10, 2018.
- [20] Q. He, G. Wang, L. Luo, Q. Shi, J. Xie, y X. Meng, "ScienceDirect Mapping the managerial areas of Building Information Modeling (BIM) using scientometric analysis," *Int. J. Proj. Manag.*, vol. 35, no. 4, pp. 670–685, 2017, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2016.08.001>.
- [21] C. V. dos Santos-Araújo, J. P. Matos-Xavier, y R. Lopes-Pereira, "Determinación de esfuerzos en losas de hormigón bidireccional mediante el método de diferencias finitas," *Revista Ingenio*, vol. 18, no. 1 SE-Artículos de Investigación, pp. 25–32, Jan. 2021, doi: <https://doi.org/10.22463/2011642X.2662>.
- [22] FAO, *Protección contra heladas: fundamentos, práctica y economía*. Rima: FAO, 2010.
- [23] E. Caro, Calderón, "Predicción temprana de heladas en cultivos de altura, empleando métodos de aprendizaje de máquinas," *Universidad Nacional de Colombia*, 2022.
- [24] T. Ayllon, *Meteorología y climatología*, México: Editorial , 2018., Trillas. Mexico, 2013.
- [25] H. Haris, M. F. Chow, F. Usman, L. M. Sidek, Z. A. Roseli, y M. D. Norlida, "Urban Stormwater Management Model and Tools for Designing Stormwater Management of Green Infrastructure Practices," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 32, p. 12022, 2016, doi: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/32/1/012022>.
- [26] M. P. Ricardo Calzadilla, A. Gómez Arias, R. Martín Fernández, V. Cutie Cansino, y O. Martínez Díaz, "Estudio de las precipitaciones para el diseño de sistema de captación de agua de lluvia," *Rev. Ing. Agrícola*; Vol. 10, Núm. 2 abril-mayo-junio, May 2020, [Online]. Available: <https://revistas.unah.edu.cu/index.php/IAgric/article/view/1242>
- [27] P. F. Hoffman et al., "Snowball Earth climate dynamics and Cryogenian geology-geobiology," *Sci. Adv.*, vol. 3, no. 11, p. e1600983, Nov. 2017, doi: <https://doi.org/10.1126/sciadv.1600983>.
- [28] J. Pross et al., "Persistent near-tropical warmth on the Antarctic continent during the early Eocene epoch," *Nature*, vol. 488, no. 7409, pp. 73–77, 2012, doi: <https://doi.org/10.1038/nature11300>.
- [29] L. A. Rossbacher y S. Judson, "Ground ice on Mars: Inventory, distribution, and resulting landforms," *Icarus*, vol. 45, no. 1, pp. 39–59, 1981, doi: [https://doi.org/10.1016/0019-1035\(81\)90005-1](https://doi.org/10.1016/0019-1035(81)90005-1).
- [30] R. E. Dickinson et al., "Nitrogen Controls on Climate Model Evapotranspiration," *J. Clim.*, vol. 15, no. 3, pp. 278–295, 2002, doi: [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2002\)015<0278:NCOCME>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2002)015<0278:NCOCME>2.0.CO;2).
- [31] M. Fujiwara, F. Hasebe, M. Shiotani, N. Nishi, H. Vömel, y S. J. Oltmans, "Water vapor control at the tropopause by equatorial Kelvin waves observed over the Galápagos," *Geophys. Res. Lett.*, vol. 28,

- no. 16, pp. 3143–3146, Aug. 2001, doi: <https://doi.org/10.1029/2001GL013310>.
- [32] X. Song, G. J. Zhang, y J.-L. F. Li, “Evaluation of Microphysics Parameterization for Convective Clouds in the NCAR Community Atmosphere Model CAM5,” *J. Clim.*, vol. 25, no. 24, pp. 8568–8590, 2012, doi: <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-11-00563.1>.
- [33] A. B. Pezza y T. Ambrizzi, “Dynamical conditions and synoptic tracks associated with different types of cold surge over tropical South America,” *Int. J. Climatol.*, vol. 25, no. 2, pp. 215–241, 2005, doi: <https://doi.org/10.1002/joc.1080>.
- [34] R. Basantes-Serrano et al., “Slight mass loss revealed by reanalyzing glacier mass-balance observations on Glaciar Antisana 15α (inner tropics) during the 1995–2012 period,” *J. Glaciol.*, vol. 62, no. 231, pp. 124–136, 2016, doi: <https://doi.org/10.1017/jog.2016.17>.
- [35] S. J. Munchak, C. D. Kummerow, y G. Elsaesser, “Relationships between the Raindrop Size Distribution and Properties of the Environment and Clouds Inferred from TRMM,” *J. Clim.*, vol. 25, no. 8, pp. 2963–2978, 2012, doi: <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-11-00274.1>.
- [36] G. G. Schaber, “The surface of Io: Geologic units, morphology, and tectonics,” *Icarus*, vol. 43, no. 3, pp. 302–333, 1980, doi: [https://doi.org/10.1016/0019-1035\(80\)90177-3](https://doi.org/10.1016/0019-1035(80)90177-3).
- [37] S. Douté, R. Lopes, L. W. Kamp, R. Carlson, y B. Schmitt, “Dynamics and Evolution of SO₂ Gas Condensation around Prometheus-like Volcanic Plumes on Io as Seen by the Near Infrared Mapping Spectrometer,” *Icarus*, vol. 158, no. 2, pp. 460–482, 2002, doi: <https://doi.org/10.1006/icar.2002.6889>.
- [38] C. Q. Kieu y D.-L. Zhang, “Genesis of Tropical Storm Eugene (2005) from Merging Vortices Associated with ITCZ Breakdowns. Part I: Observational and Modeling Analyses,” *J. Atmos. Sci.*, vol. 65, no. 11, pp. 3419–3439, 2008, doi: <https://doi.org/10.1175/2008JAS2605.1>.
- [39] E. A. Wheeler, P. Baas, y L. Boucher, “Wood evolution: Baileyan trends and Functional traits in the fossil record,” *IAWA J.*, vol. 40, no. 3, pp. 488–529, 2019, doi: <https://doi.org/10.1163/22941932-40190230>.
- [40] J. P. F. Fortuin et al., “Origin and transport of tropical cirrus clouds observed over Paramaribo, Suriname (5.8°N, 55.2°W),” *J. Geophys. Res. Atmos.*, vol. 112, no. D9, May 2007, doi: <https://doi.org/10.1029/2005JD006420>.
- [41] P. Nowajewski, M. Rojas, P. Rojo, y S. Kimeswenger, “Atmospheric dynamics and habitability range in Earth-like aquaplanets obliquity simulations,” *Icarus*, vol. 305, pp. 84–90, 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.icarus.2018.01.002>.
- [42] N. A. López Hernández, O. L. Palacios-Vélez, M. Anaya-Garduño, J. Chávez-Morales, J. E. Rubiños-Panta, y M. García-Carrillo, “Diseño de sistemas de captación del agua de lluvia: alternativa de abastecimiento hídrico,” *Rev. Mex. Ciencias Agrícolas*, vol. 8, no. 6, pp. 1433–1439, 2017, doi: <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i6.314>.
- [43] I. R. Artunduaga Salas, “Principios básicos de ocurrencia de las heladas y su control.” Colombia, 1982.
- [44] J. M. Viñas, *Conocer la Meteorología*, Libros Sin. España: Alianza, 2019.
- [45] IDEAM-UNAL, *La variabilidad climática y el cambio climático en Colombia*, Universidad Nacional, 2018.
- [46] M. Fernández, I. Barnatán, L. Spescha, R. Hurtado, y G. Murphy, “Caracterización de las heladas en la región pampeana y su variabilidad en los últimos 10 años,” *Rev. la Fac. Agron.*, vol. 25, no. 1, p. 10, 2005.
- [47] R. A. García-León, E. F. Solano, y J. B. Pedrozo, “Design of portable traction mechanism for the deployment of the mobile gun sprinkler system for agricultural crops in rural zones,” *Prospectiva*, Apr. 2019, doi: <https://doi.org/10.15665/rp.v17i1.1864>.
- [48] R. A. García-León, W. Jaimes-Gonzalez, L. D. Becerra, E. Flórez-Solano, M. Cabellos-Martínez, y D. Meneses-Torres, “Application of the QFD method to the design of a cocoa pulping machine,” *Int. J. Syst. Assur. Eng. Manag.*, pp. 1–12, 2021, doi: <https://doi.org/10.1007/s13198-021-01416-0>.
- [49] Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, “Objetivos de desarrollo sostenible,” WebPage. [Online]. Available: www.co.undp.org/content/colombia/es/home/sustainable-development-goals.html.
- [50] K. E. Trenberth y J. T. Fasullo, “Climate extremes and climate change: The Russian heat wave and other climate extremes of 2010,” *J. Geophys. Res. Atmos.*, vol. 117, no. 17, 2012, doi: <https://doi.org/10.1029/2012JD018020>.