



Universidad
Mariana

Formulación de un protocolo para el manejo de heladas en la vereda Piacún del municipio de
Pupiales del departamento de Nariño

Jonathan David Cañar Ricaurte
Daniel Ronaldo Pantoja Revelo
Camilo José Santander Chalacan

Universidad Mariana
Facultad de Ingeniería
Ingeniería Ambiental
San Juan de Pasto

2023

Formulación de un protocolo para el manejo de heladas en la vereda Piacún del municipio de
Pupiales del departamento de Nariño

Jonathan David Cañar Ricaurte
Daniel Ronaldo Pantoja Revelo
Camilo José Santander Chalacan

Informe de investigación para optar al título de Ingenieros Ambientales

Asesor: Mg. Francisco Ricardo Mafla Chamorro
Co Asesor: Mg. Juan Carlos Narváez Burgos

Universidad Mariana
Facultad de Ingeniería
Ingeniería Ambiental
San Juan de Pasto

2023

Artículo 71: los conceptos, afirmaciones y opiniones emitidos en el Trabajo de Grado son responsabilidad única y exclusiva del (los) Educando (s)

Reglamento de Investigaciones y Publicaciones, 2007

Universidad Mariana

Agradecimientos

Queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento a todas las personas que desempeñaron un papel significativo en la conclusión de este proyecto de investigación. La culminación de esta tesis representa un hito crucial en nuestra carrera académica, y esto no habría sido posible sin el invaluable respaldo de aquellos que mencionamos a continuación:

Primordialmente, agradecemos a nuestro asesor, Francisco Ricardo Mafla Chamorro, así como a nuestro coasesor, Juan Carlos Narváez Burgos, y a la Docente Teresita Del Rocío Canchala Nastar, por su dedicación, orientación y apoyo constante a lo largo de todo este proceso. Sus conocimientos, paciencia y perspectiva crítica fueron fundamentales para dar forma a nuestras ideas y mejorar la calidad de la investigación.

Extendemos nuestro agradecimiento también a los miembros del jurado, Jaime Efrén Insuasty Enríquez y Pablo José Pabón Santacruz, por dedicar su tiempo, experiencia y brindar valiosas sugerencias que enriquecieron enormemente este trabajo. Sus comentarios constructivos fueron esenciales para perfeccionar tanto la estructura como el contenido de la tesis.

No queremos dejar de mencionar a nuestros compañeros de tesis, cuya compañía y apoyo brindaron un entorno de comprensión y aliento durante este desafiante proceso. Sus palabras de aliento y motivación fueron un estímulo constante para nosotros.

Por supuesto, no podemos olvidar a nuestras familias, quienes han sido una fuente inagotable de amor, comprensión y aliento. Su apoyo incondicional ha sido fundamental para alcanzar este logro académico.

Por último, expresamos nuestro agradecimiento a todas aquellas personas que, de una forma u otra, contribuyeron a nuestra formación académica y al desarrollo de esta tesis. Su influencia ha sido invaluable en nuestro camino hacia el éxito académico.

Contenido

Introducción	10
1. Resumen del proyecto.....	11
1.1. Descripción del problema	11
1.1.1. Formulación del problema	12
1.2. Justificación.....	12
1.3. Objetivos	13
1.3.1. Objetivo general	13
1.3.2. Objetivos específicos	13
1.4. Marco referencial o fundamentos teóricos.....	14
1.4.1. Marco de teórico.....	14
1.4.1.1. Descripción de una helada.....	14
1.4.1.2. Clases de heladas.	15
1.4.1.3. Amenaza natural.	16
1.4.1.4. Variabilidad climática.	16
1.5. Marco contextual.....	17
1.5.1. Estado del arte	18
1.5.1.1. Internacionales.....	19
1.5.1.2. Nacionales	19
1.6. Metodología	20
1.6.1. Tipo de investigación	20
1.6.2. Enfoque investigación.....	20
1.6.3. Línea de investigación ambiental	20
2. Presentación de resultados	22
2.1. Establecer los elementos del sistema de producción agrícola susceptibles a las heladas y las medidas de adaptación y prevención utilizadas por los agricultores que pueden ser afectados. ...	22
2.1.1. Cálculo de muestra de población.....	22
2.1.1.1. Población.....	22
2.1.1.2. Muestra.....	23
2.1.2. Informe técnico de la caracterización de la zona de estudio de acuerdo con la entrevista ..	25

2.1.2.1. Características sociodemográficas de la población.	26
2.1.2.2. Identificación de cultivos.	29
2.1.2.3. Medidas adoptadas para el manejo de heladas.	32
2.2. Análisis correlacional de variables hidro climatológicas ante la presencia de heladas basados en marcas históricas.....	34
2.2.1. Búsqueda de información.....	34
2.2.1.1. Temperatura.....	37
2.2.1.2. Nubosidad.....	38
2.2.1.3. Brillo solar.....	39
2.2.1.4. Humedad relativa máxima.....	42
2.2.1.5. Humedad relativa mínima.	45
2.2.2. Correlación de variables.....	45
2.3. Proponer una guía comunitaria para orientar las medidas de prevención y manejo de heladas en el municipio de Pupiales vereda de Piacún.....	47
2.3.1. Protocolo.....	47
2.3.2. Elaboración del folleto.....	48
3. Conclusiones.....	51
4. Recomendaciones.....	52
Referencias bibliográficas.....	53
Anexos.....	56

Índice de tablas

Tabla 1. Matriz de investigación.....	20
Tabla 2. Nivel de confianza.	24
Tabla 3. Glosario de variables hidrometeorológicas	36

Índice de figuras

Figura 1. Mapa de la zona de estudio	18
Figura 2. Cultivos de papa y grandes pastizales ganaderos	25
Figura 3. Género.....	26
Figura 4. Dedicación.....	27
Figura 5. Nivel de educación.....	27
Figura 6. Tiempo del mes con más frecuencia a suceder una helada.....	28
Figura 7. Cultivos de la zona.....	29
Figura 8. Fechas importantes en las que se presentó una helada	30
Figura 9. Sembrados de papa	31
Figura 10. ¿Cómo predecir una helada?	31
Figura 11. Manejo contra las heladas	32
Figura 12. Diferencia entre heladas.....	33
Figura 13. Brillo solar 1997-2002 diaria estación Aeropuerto San Luis	40
Figura 14. Brillo solar 2003-2012 diario Aeropuerto San Luis	41
Figura 15. Brillo solar 2013-2023 diario estación Aeropuerto San Luis.....	42
Figura 16. Humedad relativa máxima estación El Común	42
Figura 17. Humedad relativa mínima estación El Común.....	43
Figura 18. Humedad relativa mínima estación El Común.....	45
Figura 19. Folleto. Parte 1	49
Figura 20. Folleto. Parte 2	50

Índice de anexos

Anexo A. Estructura de la entrevista	56
Anexo B. Estructura de la entrevista	57
Anexo C. Estructura de la entrevista	58
Anexo D. Enlace estructura del folleto	58
Anexo E. Registro de temperatura en diez años de la estación Aeropuerto San Luis	59
Anexo F. Registro de temperatura en los últimos 10 años de la estación El Común	60
Anexo G. Registro de nubosidad en diez años de la estación Aeropuerto San Luis.....	61
Anexo H. Registro de nubosidad en un intervalo de cinco a diez en la estación El Común	62
Anexo I. Humedad relativa máxima estación El Común	63
Anexo J. Normalización de variables	63
Anexo K. Correlación de variables	66

Introducción

Las heladas, un fenómeno climático que se desencadena cuando la temperatura del aire desciende por debajo del punto de congelación del agua a 0 °C, tienen un impacto considerable en diversos aspectos de nuestra vida. Este proceso meteorológico desencadena la formación de una capa de hielo sobre la superficie terrestre, una manifestación natural con implicaciones significativas para la agricultura, la producción de alimentos y el bienestar de los organismos que dependen de estos recursos vitales.

Según Hurtado et al. (2008) existen varios tipos de heladas, pero los más comunes en nuestra región son las heladas blancas y las heladas negras. Las heladas blancas se originan cuando el vapor de agua se condensa y se congela sobre la superficie, dando lugar a una capa de hielo visible denominada "escarcha". Este tipo de heladas se produce cuando la temperatura desciende por debajo de 0 °C y la humedad relativa es alta. En contraste, las heladas negras se producen cuando la temperatura desciende por debajo de 0 °C, pero no se forma una capa de hielo visible en la superficie. Este tipo de heladas se produce en condiciones de baja humedad, cuando la temperatura no alcanza el punto de rocío.

Según Hurtado et al. (2008) las heladas son más frecuentes en áreas de clima frío, pero también pueden afectar a áreas de clima templado y cálido durante los meses de invierno. Es importante reconocer que las heladas pueden afectar a distintos cultivos de maneras variadas, por lo que es necesario adoptar medidas preventivas para mitigar los daños que pueden causar.

1. Resumen del proyecto

Esta investigación se adentró en una exploración exhaustiva de la fenomenología de las heladas, centrándose en su patrón de comportamiento, proceso de formación e impacto en los cultivos agrícolas. Con el firme propósito de contribuir al manejo efectivo de este fenómeno, se optó por desarrollar un método de evaluación que abarcara diversas variables relacionadas con la formación de heladas en la vereda de Piacún, ubicada en el municipio de Pupiales, Nariño. Este enfoque involucró la realización de detalladas entrevistas con agricultores locales para recopilar información valiosa sobre sus técnicas para prever y mitigar los efectos de las heladas en sus cultivos. Posteriormente, se llevó a cabo un minucioso análisis de las entrevistas recolectadas, seguido de la recopilación y análisis de diversos datos meteorológicos, tales como nubosidad, brillo solar, humedad relativa máxima, humedad relativa mínima y temperatura. Estos datos se utilizaron para llevar a cabo una evaluación exhaustiva de su influencia en la formación de heladas. Como resultado de estas investigaciones, se elaboró un folleto informativo diseñado para proporcionar orientación y apoyo en la predicción, prevención y control de este fenómeno de las heladas en la comunidad local.

1.1. Descripción del problema

Las heladas representan un desafío significativo tanto para la industria agrícola como para los pequeños productores en Colombia, especialmente en los departamentos de Boyacá, Santander, Norte de Santander, Cundinamarca y Nariño. Esto se debe a que algunas áreas de estos departamentos se encuentran a altitudes superiores a los 2.500 (m s. n. m.) metros sobre el nivel del mar, lo que las hace susceptibles a las heladas (Viloria, 2007). Esta condición se vuelve particularmente preocupante en los altiplanos, donde se cultivan productos como papa, flores, hortalizas y pastos. Según el estudio de Hurtado et al. (2008) lamentablemente, este fenómeno ha ocasionado pérdidas considerables en estos cultivos. En Nariño, la presencia recurrente de heladas en la región del Altiplano Nariñense y en una parte del norte de Ecuador ha llevado a la ruina a muchos campesinos cuya principal fuente de sustento proviene de la agricultura. Según Viracachá (2022) se estima que han sido afectadas hasta 5 o 6 mil hectáreas, principalmente en los cultivos de tubérculos como la papa, que son particularmente vulnerables a este fenómeno. Esto se debe a

que las plantas pierden calor, que es irradiado hacia la atmósfera durante procesos de radiación, y los cultivos sensibles pueden resultar dañados, llegando incluso a quemarse. En respuesta a esta problemática, se plantea la presente investigación con el objetivo de comprender el origen de las heladas, sus efectos, las medidas preventivas necesarias, las áreas afectadas y las fechas en que suelen ocurrir estos eventos. La finalidad es desarrollar un modelo comunitario y crear una guía accesible para las personas afectadas, de modo que puedan anticipar las heladas y los agricultores estén preparados para tomar las medidas necesarias para proteger sus cultivos y evitar pérdidas económicas.

1.1.1. Formulación del problema

El enfoque de esta investigación es de naturaleza exploratoria, por lo que no es necesario formular hipótesis. Esto se debe a que el objetivo es abordar un problema que aún no está claramente definido, en gran parte debido a la falta de conocimiento sobre las variables relacionadas con el fenómeno que se está investigando. En este caso específico, se ha tomado la decisión de no establecer hipótesis debido a la posibilidad de que el fenómeno meteorológico de las heladas no se presente, lo que podría impedir la realización de la actividad propuesta.

1.2. Justificación

En la zona del Altiplano Nariñense y en el municipio de Pupiales, la ausencia de medidas adecuadas de prevención y control de las heladas es evidente. Esta región, ubicada a una elevada altitud de 2.500 (m s. n. m.) específicamente a 3.014 (m s. n. m), es altamente propensa a la ocurrencia frecuente de heladas, lo que la hace vulnerable a las pérdidas en los cultivos. Según un estudio realizado por Hurtado et al. (2008), las pérdidas en los cultivos debido a las heladas en esta región pueden llegar a ser significativas, lo que impacta negativamente en la economía local y en la seguridad alimentaria.

La implementación de una guía comunitaria para combatir este fenómeno no solo contribuirá a la economía de la zona de estudio, sino que también proporcionará a los agricultores las herramientas adecuadas para prevenir y mitigar este evento meteorológico. Los principales

beneficiarios son, sin duda, los agricultores, ya que esta guía ayudará a reducir las pérdidas en sus cultivos, lo que a su vez ayudará a que los precios de los alimentos que producen no se eleven tanto. Esto, a su vez, beneficiará a los consumidores, ya que los productos agrícolas serán más accesibles.

Es importante destacar que las pérdidas en los cultivos tienen un impacto evidente en el medio ambiente, ya que los campesinos a menudo recurren a prácticas como la expansión de la frontera agrícola mediante la tala y quema de árboles para la producción de carbón con el fin de recuperar las pérdidas económicas. Según Hurtado et al. (2008) "las pérdidas en los cultivos pueden provocar una serie de impactos ambientales negativos, como la deforestación, la degradación del suelo y la contaminación del agua" (p. 123).

Contribuyendo a nivel nacional, se abre la oportunidad de mejorar un plan de gestión de riesgos con un enfoque en la prevención y el control de las heladas, de acuerdo con la Ley 1523 de 2012 del Congreso de Colombia (2012) proporciona un marco legal para abordar de manera más efectiva los riesgos naturales y climáticos, lo que puede fortalecer la resiliencia de las comunidades agrícolas ante las heladas y otros eventos adversos.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Formular un protocolo para el manejo de heladas en el municipio de Pupiales del departamento de Nariño.

1.3.2. Objetivos específicos

- Establecer los elementos del sistema de producción agrícola susceptibles a las heladas y las medidas de adaptación y prevención utilizadas por los agricultores que pueden ser afectados.
- Análisis correlacional de variables hidro climatológicas ante la presencia de heladas basados en marcas históricas.

- Proponer una guía comunitaria para orientar las medidas de prevención y manejo de heladas en el municipio de Pupiales vereda de Piacún.

1.4. Marco referencial o fundamentos teóricos

1.4.1. Marco de teórico

1.4.1.1. Descripción de una helada. Según Snyder y Melo (2010) la palabra "helada" se refiere a la formación de cristales de hielo en las superficies por la congelación del rocío o del vapor de agua. También se utiliza para describir un fenómeno meteorológico que puede dañar los cultivos y otras plantas.

Según el González y Torres (2012) la helada se define como la ocurrencia de una temperatura igual o menor a 0 °C a una altura de 2 metros sobre el nivel del suelo. En términos agrometeorológicos, esta temperatura marca el punto en el que los tejidos vegetales comienzan a dañarse debido a la congelación de la savia. Sin embargo, es importante destacar que la magnitud del daño depende de la fisiología de la planta, lo que se traduce en su grado de resistencia o susceptibilidad a las bajas temperaturas. Desde una perspectiva meteorológica, se considera que se ha alcanzado el grado de helada cuando la temperatura del aire a 2 metros de altura sobre el suelo es igual o inferior a cero grados. Generalmente, en estas condiciones, la temperatura es aún más baja que a esa altitud.

El daño causado por las heladas puede ser drástico y afectar a toda la planta o, en algunos casos, puede limitarse a una pequeña parte del tejido, lo que puede provocar una disminución del rendimiento del cultivo y una disminución de la calidad del producto. Este daño comienza con la formación del primer núcleo de cristales de hielo en los tejidos, a expensas del vapor de agua presente en los espacios intercelulares (hielo extracelular). En condiciones naturales, el hielo nunca se formará dentro de las células (hielo intracelular). Los cristales de hielo actúan como si fuera aire seco, ya que la presión de vapor de agua en su entorno es menor que en una disolución enfriada. Como resultado, las células empiezan a perder agua, que se desplaza desde las vacuolas hacia las paredes celulares y, posteriormente, hacia los espacios intercelulares, donde se congela en contacto

con los núcleos de hielo previamente formados en esos espacios. Según Snyder y Melo (2010) el hielo extracelular se forma a expensas del vapor de agua presente en los espacios intercelulares. En algunos casos, el daño puede limitarse a una pequeña parte del tejido, lo que puede provocar una disminución del rendimiento del cultivo y una disminución de la calidad del producto.

1.4.1.2. Clases de heladas. Se reconocen las siguientes clases:

Helada por advección: se denomina helada de advección a la ocasionada por la invasión de grandes masas de aire frío procedentes de regiones polares y cuya acción es continua por varios días. Este tipo de heladas ocurren cuando una masa de aire, cuya temperatura es menor a 0°C, se posa encima de una región, desplazando la masa de aire más caliente de lo que originalmente estaba. Estas masas de aire vienen acompañadas de vientos moderados a fuertes, abundante nubosidad, baja humedad, descartando inversión de temperatura. Según Hurtado et al. (2008) las heladas por advección se caracterizan por la invasión de grandes masas de aire frío procedentes de regiones polares. Según Snyder y Melo (2010) las heladas por advección también se caracterizan por vientos moderados a fuertes, abundante nubosidad y baja humedad.

Helada por evaporación: Puede considerarse como una helada de advección cuando es provocada por la invasión de grandes masas de aire frío procedentes de regiones polares, y su efecto se extiende de manera continua durante varios días. Según Hurtado et al. (2008) estas heladas se producen cuando una masa de aire con una temperatura inferior a 0°C se establece sobre una región, desplazando la masa de aire más cálida que se encontraba previamente en esa área. Esta situación se caracteriza por la presencia de vientos moderados a fuertes, una nubosidad abundante y baja humedad, sin la presencia de una inversión térmica.

Helada por radiación: Este tipo de heladas es común en las regiones tropicales y ocurren con frecuencia a altitudes superiores a los 2.500 metros sobre el nivel del mar (msnm). Según Hurtado et al. (2008) se originan principalmente debido a la pérdida de calor que experimentan tanto las plantas como el suelo, cediendo este calor a la atmósfera durante la noche a través del proceso de radiación.

Helada blanca: Una helada blanca ocurre cuando el vapor de agua se condensa y se deposita en la superficie, creando una capa de hielo blanca que comúnmente llamamos "escarcha". Snyder y Melo (2010) afirman que este tipo de heladas se produce cuando la humedad relativa es alta y la temperatura del aire está por debajo de 0°C.

Helada negra: La helada negra ocurre cuando la temperatura desciende por debajo de 0°C, pero no se produce una capa de hielo visible en la superficie. Snyder y Melo (2010) señalan que esto se debe a que la humedad es lo suficientemente baja como para que la temperatura de la superficie no alcance el punto de rocío.

1.4.1.3. Amenaza natural. La amenaza natural se refiere a un fenómeno natural con el potencial de causar daños a las personas, propiedades y al medio ambiente, y está influenciada por una serie de factores sociales, económicos y políticos. De acuerdo con Ferrero y Gargantini (2003) la amenaza natural se define como "la expresión inevitable de la acción de la naturaleza sobre la sociedad". Esta definición se enmarca en el paradigma naturalista, que considera que las amenazas naturales son eventos que suceden independientemente de la intervención humana.

Por otro lado, Herzer et al. (2003) argumentan que los desastres no son simplemente el resultado de eventos geofísicos aislados, sino que son un proceso que involucra aspectos sociales, económicos y políticos desencadenados por fenómenos de origen natural. Esta definición se apoya en el paradigma socio-natural, que reconoce que las amenazas naturales están intrínsecamente vinculadas a factores sociales, económicos y políticos.

1.4.1.4. Variabilidad climática. La variabilidad climática se refiere a las fluctuaciones observadas en el clima durante períodos de tiempo relativamente cortos. Se registran valores por encima o por debajo de lo normal. La Normal Climatológica o valor normal, se utiliza para definir y comparar el clima y generalmente representa el valor promedio de una serie continua de mediciones de una variable climatológica, durante un período de por lo menos 30 años. A la diferencia entre el valor registrado de la variable y su promedio se le conoce como anomalía (Montealegre y Pabón, 2009).

En diferentes años, los valores de las variables climatológicas (temperatura, precipitación, etc.) fluctúan por encima o por debajo de lo normal. La secuencia de estas oscilaciones alrededor de los valores normales se conoce como variabilidad climática y su valoración se logra mediante la determinación de las anomalías.

El clima varía en escalas de tiempo y espacio. A través de los años, desde épocas remotas, se han presentado fluctuaciones del clima en diversas escalas de tiempo. Tales fluctuaciones se originan, generalmente, por modificaciones en la forma de interacción entre los distintos componentes del sistema climático y por cambios en los factores radiativos forzantes (Pabón, 1997).

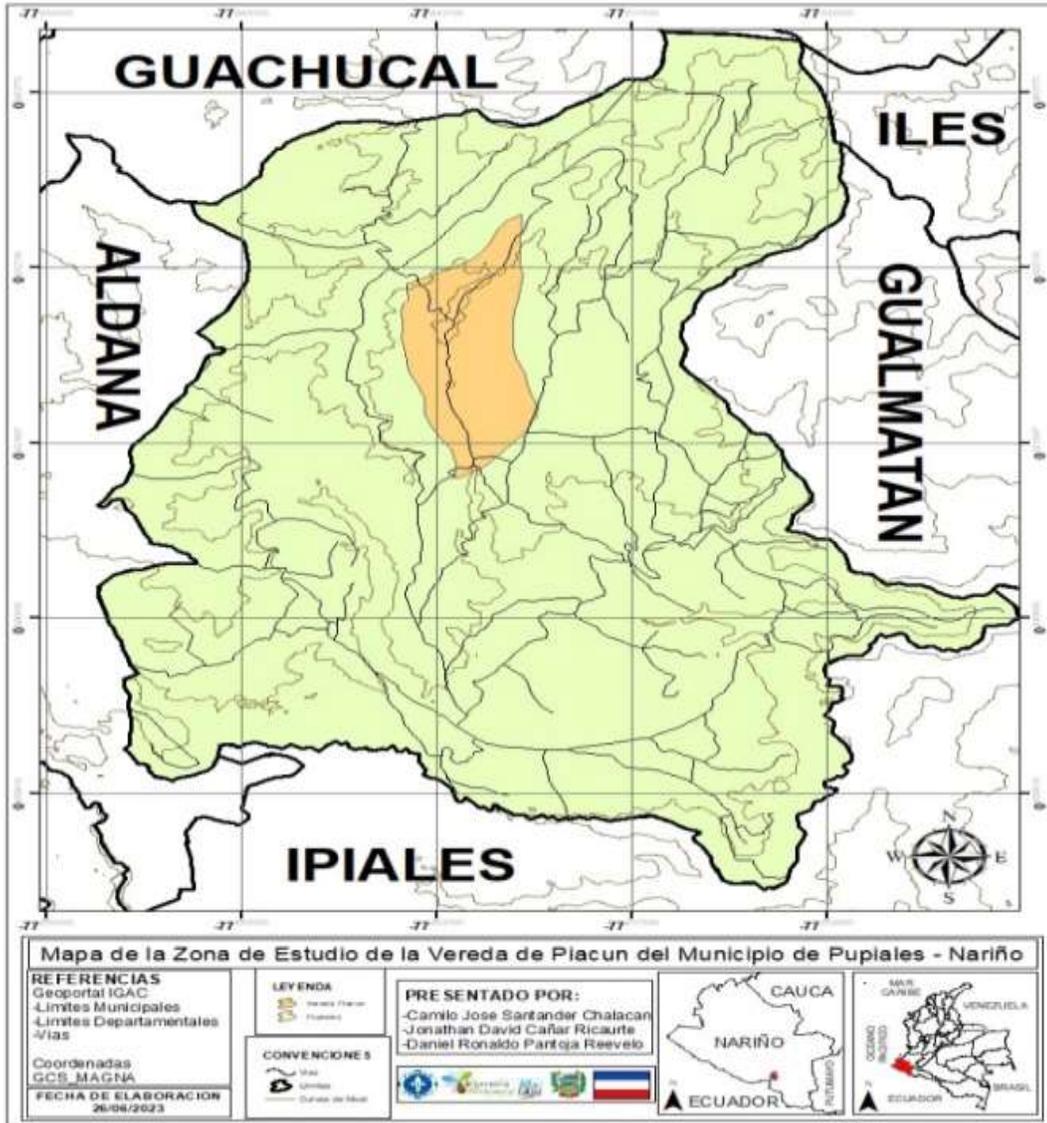
1.5. Marco contextual

Se eligió el municipio de Pupiales, que forma parte del Altiplano Nariñense, como el punto de partida para llevar a cabo este estudio. Pupiales se encuentra limitado al norte por el municipio de Sapuyes, al sur por el municipio de Ipiales, al este por el municipio de Gualmatán y al oeste por los municipios de Aldana y Guachucal. Su superficie total abarca 130,49 kilómetros cuadrados, con una zona urbana de 1,645 kilómetros cuadrados y una extensa área rural de 128,844 kilómetros cuadrados. La altitud de la cabecera municipal es de 3.014 (m s. n. m.), con una temperatura promedio de 12° Celsius. Además, se encuentra a una distancia de referencia de 7 kilómetros de Ipiales y 91 kilómetros de Pasto (Benavides, 2016).

Después de recopilar toda la información relevante, se seleccionó la vereda de Piacún dentro del municipio de Pupiales debido a sus características específicas que incluyen la presencia frecuente de heladas. Piacún se ubica a una altitud de 3.170 metros sobre el nivel del mar.

Figura 1

Mapa de la zona de estudio



1.5.1. Estado del arte

El tema por abordar se centra en el pronóstico de heladas en el altiplano nariñense. Las investigaciones para tener en cuenta se orientan hacia la comprensión de los distintos tipos de heladas que pueden manifestarse y la identificación de posibles variables propicias para su formación.

1.5.1.1. Internacionales. Fernández et al. (2008) en su investigación se basa en la predicción de heladas utilizando variables meteorológicas fácilmente disponibles, esto con el fin de crear un sistema que sea accesible a la comunidad, se tiene en cuenta la vulnerabilidad del cultivo de trigo, pero sin embargo este se puede utilizar en plantas perennes. según Pascale y Damario (como se citaron en Fernández et al. 2008) diseñaron un índice de peligrosidad de heladas teniendo en cuenta la vulnerabilidad del cultivo en momentos de floración en la floración y pequeños frutos verdes.

El aporte de esta investigación al proyecto es encontrar una correlación de variables meteorológicas con el fin de predecir una helada, conocer el daño que estas producen a la vegetación.

1.5.1.2. Nacionales. Gómez (2014) en su investigación denominada *caracterización, pronóstico y alternativas de manejo de las heladas en el sistema de producción lechero del Valle de Ubaté y Chiquirrá (Colombia)* mencionan que constantes variaciones de temperatura ser un factor importante para tener en cuenta a la hora de pronosticar y predecir una helada ya que se crea condiciones óptimas para la formación de este fenómeno meteorológico. lo que incide directamente en nuestro proyecto de investigación puesto que el objetivo es caracterizar una helada para poder prevenir daños, de esta investigación se tiene en cuenta que va a haber áreas de la zona que va a resultar más afectadas o son más favorables a formar una helada en donde se puede tener más precaución y establecer medidas de precaución y prevención para ser utilizadas por los productores.

Para Hurtado et al. (2008) el tema principal de su artículo es brindarnos información de cómo se origina el evento meteorológico denominado como helada también nos brinda datos de los tipos de heladas que existen y además como es su formación y cómo se diferencia una helada de otra además nos explica el daño que causa este evento a las plantas también este nos brinda información meteorológica de varios años para tener en cuenta.

El aporte que nos brinda este artículo es la información básica que nos brinda es para saber cómo se forma una helada, también nos ayuda a la identificación del tipo de heladas que podemos encontrar en nuestra zona de estudio y además nos explica cómo hace daño este fenómeno a los cultivos y la pérdida de muchos de ellos.

1.6. Metodología

1.6.1. Tipo de investigación

El enfoque de esta investigación es de naturaleza exploratoria, lo que significa que no es necesario formular hipótesis. Esto se debe a que el objetivo es abordar un problema que aún no está claramente definido, en gran parte debido a la falta de conocimiento sobre las variables relacionadas con el fenómeno que se está investigando. En este caso específico, se ha tomado la decisión de no establecer hipótesis debido a la posibilidad de que el fenómeno meteorológico de las heladas no se presente, lo que podría impedir la realización de la actividad propuesta.

1.6.2. Enfoque investigación

La investigación científica de esta idea de investigación tiene un enfoque mixto porque vamos a utilizar enfoques tanto cualitativos como cuantitativos.

1.6.3. Línea de investigación ambiental

Es una investigación de gestión ambiental ya que utilizamos la variable de gestión de riesgo.

Tabla 1

Matriz de investigación

Objetivo específico	Metas	Actividades	Producto
Establecer los elementos del sistema de producción agrícola susceptibles a las heladas y las medidas	-Identificación de cultivos susceptibles a presencia o ausencia del fenómeno. -Reconocer las	-Recolección de información secundaria. -Visita de campo zona de estudio (Pupiales).	Informe técnico.

<p>de adaptación y prevención utilizadas por los agricultores que pueden ser afectados.</p>	<p>medidas adoptadas para contrarrestar los daños por heladas.</p>	<p>-Realizar una entrevista a agricultores de la zona. -Análisis de información.</p>	
<p>Análisis correlacional de variables hidrometeorológicas ante la presencia de heladas basados en marcas históricas.</p>	<p>-Construir una base de datos hidrometeorológicos relacionados con la susceptibilidad a heladas. -Simulación de las variables de mayor predominancia en el fenómeno.</p>	<p>-Conocer las fechas exactas de cuánto se presentaron estos fenómenos meteorológicos. - Buscar datos meteorológicos de dichas fechas. -Realizar un análisis de información meteorológica utilizando para su verificación el método marcas históricas.</p>	<p>-Informe técnico. -Modelo implementado.</p>
<p>Proponer una guía comunitaria para orientar las medidas de prevención y manejo de heladas en Pupiales vereda de Piacún.</p>	<p>-Transferir conocimientos comunitarios y técnicos mediante un medio divulgación.</p>	<p>- Diseñar una guía para la identificación de heladas dirigida a los agricultores. -Diagramación de una guía.</p>	<p>Guía asequible para todos los agricultores.</p>

2. Presentación de resultados

2.1. Establecer los elementos del sistema de producción agrícola susceptibles a las heladas y las medidas de adaptación y prevención utilizadas por los agricultores que pueden ser afectados

Para iniciar esta investigación, se emprendió la tarea de recopilar información secundaria sobre el municipio de Pupiales, ubicado en el departamento de Nariño. Se demostró esencial obtener datos específicos sobre la vereda de Piacún, que constituye el enfoque central de este proyecto. El primordial era establecer una base informativa que caracterizara la zona, abordando aspectos como la dimensión de su población tanto en el ámbito rural como urbano, así como las actividades agrícolas predominantes y los tipos de agricultura practicados en la región.

Asimismo, se reconoce la importancia de identificar las áreas con mayor altitud sobre el nivel del mar, con el fin de determinar aquellas que presentan una mayor incidencia de heladas o son particularmente susceptibles a este fenómeno en el municipio. Por esta razón, se optó por centrar la investigación en la vereda de Piacún, que previamente fue identificada como la zona más afectada por las heladas en la región.

Posteriormente, Piacún fue seleccionado como el área de estudio para nuestra investigación. Luego de recopilar toda la información secundaria necesaria, se llevó a cabo entrevistas con los agricultores locales con el objetivo de obtener información precisa sobre la situación de los cultivos en la zona, prestando especial atención al fenómeno meteorológico de las heladas. La meta principal se centró en comprender cómo los agricultores logran anticipar la aparición de heladas, si emplean estrategias para prevenirlas y cuáles son los cultivos más vulnerables en esta área, entre otras cuestiones de relevancia.

2.1.1. Cálculo de muestra de población

2.1.1.1. Población. 81 habitantes de la vereda de Piacún del municipio de Pupiales – Nariño.

Para calcular el tamaño de muestra necesaria para llevar a cabo las entrevistas requeridas se recurrió a datos proporcionados por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE, 2018) quien ofreció información sobre la población de agricultores en la zona rural, en particular en la vereda de Piacún, donde se identificó una población de 81 personas. A partir de estos datos, se aplicó la fórmula de cálculo de muestra finita (ver fórmula 1) la cual se utiliza cuando se conoce el número total de unidades de observación, con el fin de determinar el tamaño de muestra necesario.

2.1.1.2. Muestra.

$$n = \frac{N * Z_{\alpha}^2 * p * q}{e^2 * (N - 1) + Z_{\alpha}^2 * p * q} \quad (1)$$

Donde:

n : Tamaño de muestra buscado

N : Tamaño de población

Z : Parámetros estadístico que depende el nivel de confiabilidad (NC)

e : Error de estimación máximo aceptado

p : Probabilidad de que ocurra el evento estudiado

q : Probabilidad de que no ocurra el evento estudiado

Para determinar el tamaño de muestra necesario, se aplicó la fórmula 1 teniendo en cuenta valores relevantes como el número de habitantes obtenido del DANE (2018) (81) y un nivel de confianza del 80%. Se utilizó un valor de 1,28 Z_{α} , que corresponde al porcentaje estimado de ocurrencia del evento (50%) y de no ocurrencia del evento (50%). Sin embargo, es importante tener en cuenta que las variables meteorológicas no son completamente predecibles durante el período de estudio. Además, se estableció un error estimado máximo aceptado del 5% para garantizar la precisión de la muestra obtenida. La tabla 2 muestra los niveles de confianza utilizados para este estudio.

Tabla 2

Nivel de confianza.

Nivel de confianza	Z_{alfa}
99,7%	3
99%	2,58
98%	2,33
96%	2,05
95%	1,96
90%	1,645
80%	1,28
50%	0,674

Una vez claros los valores necesarios para el cálculo de la muestra, se aplicó la fórmula 1 y se obtuvo el valor de la muestra que para este estudio corresponde a 54 habitantes de la vereda Piacún del municipio de Pupiales- Nariño. Posterior a ello, utilizando la información secundaria y la muestra calculada, se diseñó una entrevista con preguntas específicas que buscan comprender cómo los agricultores de la zona predicen y manejan el riesgo de las heladas en sus cultivos, a la vez que cumplió la función de resolver inquietudes de los investigadores en relación con este fenómeno.

Al realizar el recorrido en la zona rural de la vereda Piacún del municipio de Pupiales se encontró que la actividad agrícola predominante se centra en el cultivo de papa y los grandes pastizales, éstos últimos se utilizan como sustento de la ganadería; también se sostuvo charlas con los agricultores locales quienes compartieron experiencias valiosas en lo que respecta al cultivo de papa y las adversidades que enfrentan durante la cosecha debido a las heladas. La figura 2 muestra los cultivos de papa y los grandes pastizales de la zona.

Figura 2

Cultivos de papa y grandes pastizales ganaderos



2.1.2. Informe técnico de la caracterización de la zona de estudio de acuerdo con la entrevista

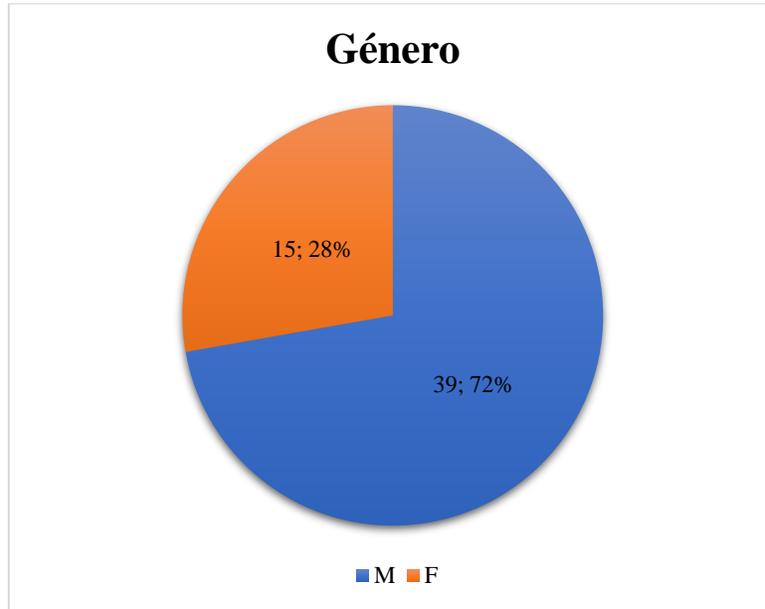
Las heladas son un fenómeno meteorológico que trae consigo impactos negativos en la agricultura provocando daño en los frutos de los cultivos reduciendo así su calidad y producción hasta llegar al grado de pérdida total de la cosecha, sin embargo, existen diversos tipos de heladas y dependiendo de su naturaleza son más peligrosas, entre ellas se encuentran las heladas por radiación, advección y evaporación, que se producen cuando las temperaturas de los cultivos bajan abruptamente hasta alcanzar valores de -0°C .

Pero existen distintos métodos para prevenirlas, los agricultores en su conocimiento empírico han desarrollado estrategias que reducen el daño tomando medidas como siembra en laderas, pero adicional a ello, con el avance de la tecnología existen sensores y estaciones meteorológicas que son útiles para predecir este fenómeno y alertar a los agricultores para adoptar medidas de cuidado (Traxco, 2022).

2.1.2.1. Características sociodemográficas de la población.

Figura 3

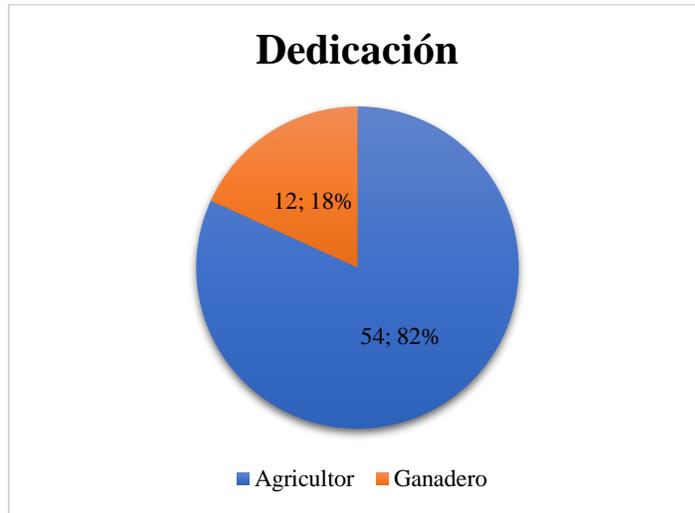
Género



Con la información obtenida a través del instrumento, se obtuvo que, de 54 personas entrevistadas, el 39.72% corresponden a sexo masculino y el 15.28% al sexo femenino lo que indica que las actividades agrícolas son desempeñadas en su mayoría por los hombres lo cual refleja la tradicional presencia masculina en el campo, teniendo un mayor conocimiento en el tema de heladas. La figura 3 muestra la distribución poblacional por sexo en la vereda Paicuán del municipio de Pupiales.

Figura 4

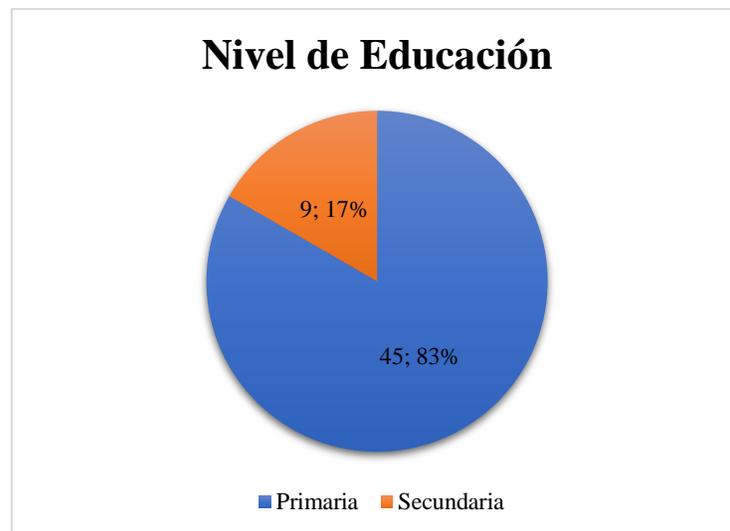
Dedicación



Ahora bien, al indagar sobre la ocupación de los agricultores, el 54.82% refirió dedicarse a la agricultura y el 12.18% a la ganadería, dentro de este último se destaca la cría de ganado lechero lo cual proporciona ingresos adicionales a las familias de la zona. La figura 4 muestra la distribución porcentual de la ocupación de los participantes de la entrevista en la vereda Paicún.

Figura 5

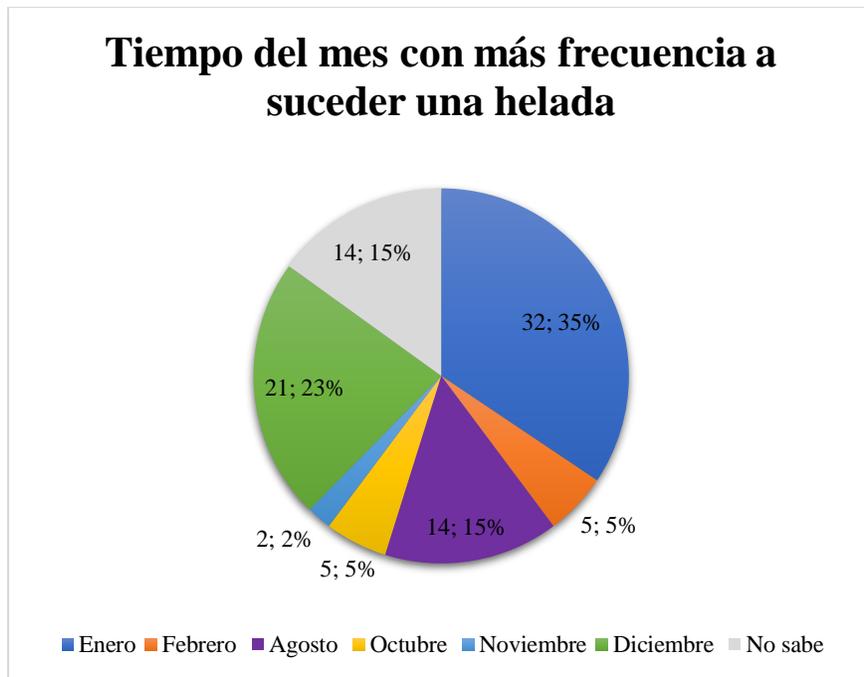
Nivel de educación



Por otra parte, la educación de los participantes en su mayoría es limitada, esto se afirma porque el 45.83% de la población encuestada refirió solo contar con estudios de básica primaria y solo el 9.17% de ellos terminaron sus estudios secundarios, estos resultados se dan debido a las restricciones económicas y la necesidad de contribuir al sustento familiar desde una edad temprana. La figura 5 muestra la distribución de la población de la vereda Paicún en el municipio de Pupiales- Nariño teniendo en cuenta su nivel de educación.

Figura 6

Tiempo del mes con más frecuencia a suceder una helada



Con la entrevista se observó que muchos de los participantes responden varios meses, en la figura 6 se observa que el evento más repetido en relación al mes con mayor frecuencia de sucesos de heladas en la región es en el mes de enero, la segunda fecha se asocia al mes de diciembre, por otra parte, las fechas menos probables de ocurrencia de una helada se da en el mes de noviembre.

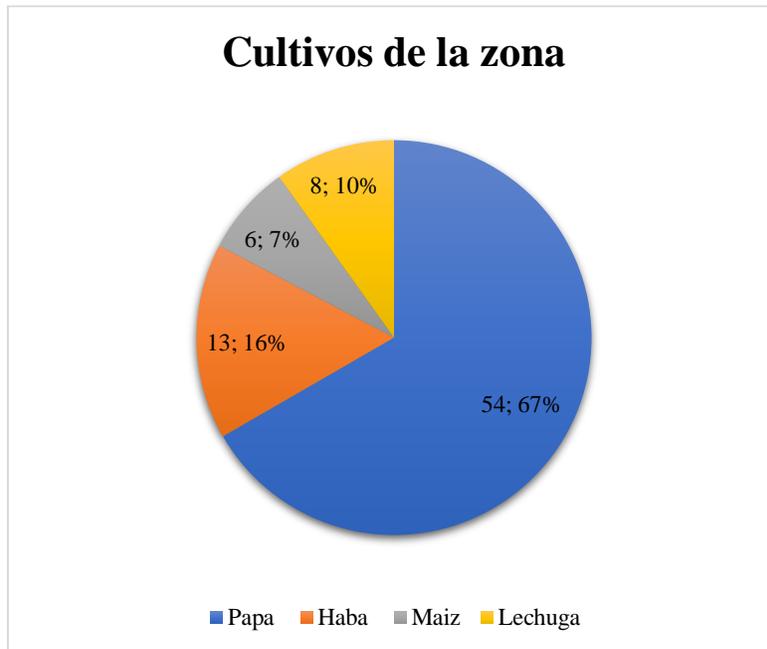
Al indagar sobre los cultivos de la zona, el 54.67% de los participantes afirmaron que la papa es el cultivo predominante puesto que es el considerado como el mayor sustento de los agricultores dado que es el cultivo que mayor ganancia aporta a su economía familiar y es el que tiene mayor

demanda en el mercado, por otra parte, en cuanto a los cultivos de haba, maíz y lechuga son cultivados en huertas para consumo exclusivo de las familias.

2.1.2.2. Identificación de cultivos.

Figura 7

Cultivos de la zona



De acuerdo con las estadísticas, los meses con mayor frecuencia de heladas son diciembre, enero, febrero, junio, julio y agosto, para el caso de este estudio, desde la información recolectada con la entrevista, el evento meteorológico más destacado en años previos ocurrió en agosto de 2022, en este orden de ideas, Hurtado et al. (2008) afirman que “generalmente en el centro del país predominan hacia el principio de año y en el sur del país ocurren con mayor frecuencia a mitad de año” (p. 12); esta información reviste gran relevancia para la investigación, ya que permite asociar el mes de agosto con el año en que se produjo y, de este modo, examinar en detalle el fenómeno de la helada.

La figura 7 plasma que fue el mes de agosto del año 2022 quien presentó las fechas importantes

en que se presentó una helada coincidiendo con el estudio de Hurtado et al. (2008) porque agosto tiene a presentar mayores heladas por la dirección del viento.

Figura 8

Fechas importantes en las que se presentó una helada



Sin embargo, al tratarse de hortalizas son más propensas a dañarse por las heladas porque “son un conjunto altamente heterogéneo de vegetales de diferentes familias botánicas, con diversos órganos de consumo, tales como raíces, tubérculo, bulbos, tallos, hojas, inflorescencias, frutos, semillas los principales daños son los siguientes, muerte o daño de plántulas recién germinadas” (Martínez et al., 2007, p. 41)

Con lo anterior, las heladas pueden afectar seriamente a siembras directas y a almácigos, quemadura de follaje es la sintomatología más visible y puede ir desde un daño parcial en hojas más expuestas hasta muerte total de la planta, aborto floral de especial importancia en habas y arvejas que se encuentran en floración, muerte total o parcial de frutos en formación y detención del crecimiento o de la maduración de frutos. Según Martínez et al. (2007). La figura 9 muestra las afectaciones de la helada en un cultivo de papa.

Figura 9

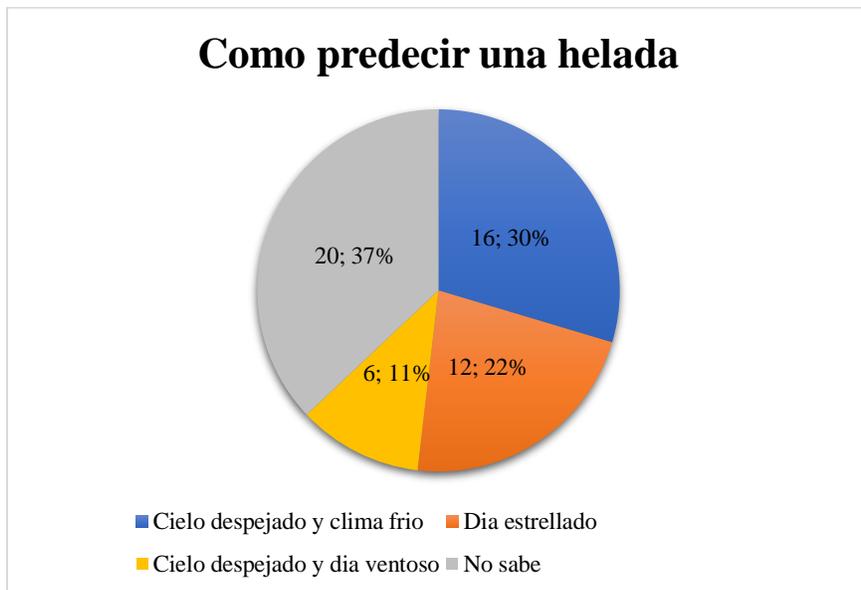
Sembrados de papa



De acuerdo con Martínez et al. (2007) entre las principales especies que son susceptibles a q se dañen al estar en contacto con una helada se encuentra la albahaca, ají, berenjena, haba, camote, maíz, melón, papa, pepino, pepino dulce, pimiento, frijol verde y granado, sandía, tomate, zapallo, zapallito italiano frutos.

Figura 10

¿Cómo predecir una helada?



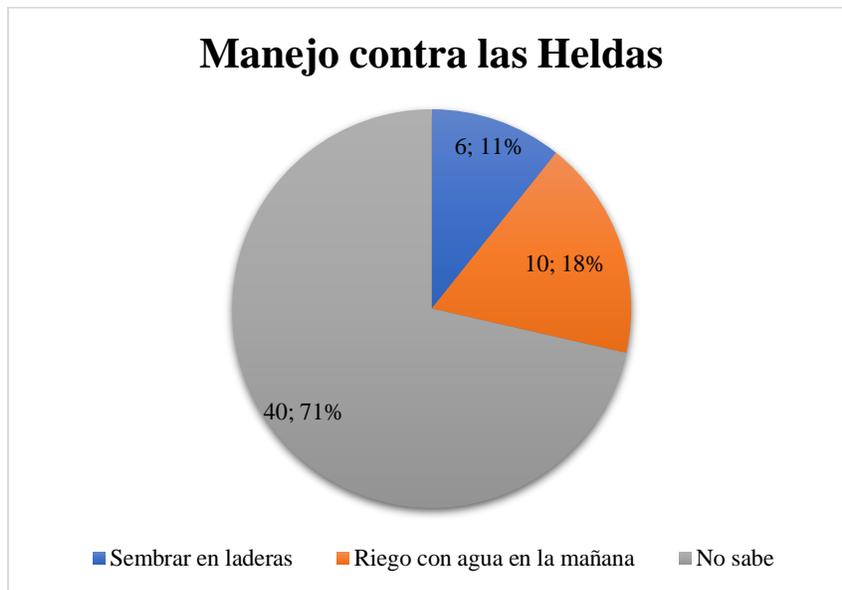
Al analizar la capacidad de los agricultores y ganaderos de la zona para predecir heladas, se

evidencia que la mayoría de ellos posee conocimientos sobre diferentes señales indicativas. El 12.22% de los participantes afirmaron que saben de una helada cuando el cielo se encuentra despejado durante una noche estrellada 6.11% con el cielo despejado en un día ventoso, 16.30% de ellos por su parte refieren que detectan una helada con los días estrellados, sin embargo, el 20.32% de los participantes admitió no tener conocimiento sobre cómo anticipar la ocurrencia de heladas. La gráfica 7 muestra la distribución porcentual para cada una de las alternativas con las que los agricultores y ganaderos logran predecir una helada en su terreno.

2.1.2.3. Medidas adoptadas para el manejo de heladas.

Figura 11

Manejo contra las heladas



La falta de conocimiento o la falta de medidas preventivas contra las heladas son comunes entre muchos agricultores, quienes consideran que este fenómeno es inevitable y que no se pueden tomar acciones para contrarrestarlo. En consecuencia, algunos de ellos permiten que sus cultivos sufran daños sin tomar ninguna medida. No obstante, existe un grupo reducido de agricultores que han implementado estrategias efectivas para reducir los efectos adversos de las heladas. Dos de estas alternativas incluyen el riego temprano por la mañana y la siembra en laderas.

De acuerdo con los resultados obtenidos en la entrevista, el 10.18% de los agricultores adoptan medias de manejo contra las heladas mediante el riego con agua en la mañana y el 6.11% de ellos optaron por sembrar en laderas, tal como se muestra en la figura 11, esto con el fin de reducir el impacto que genera la helada en los cultivos.

Figura 12

Diferencia entre heladas



En cuanto a la diferencia entre heladas, los participantes refirieron tener conocimiento en dos tipos de helada, en este orden de ideas, la gráfica 9 plasma que el 27.34% de los agricultores conoce la helada seca que de acuerdo con Snyder y Melo (2010) “es más peligrosa que la helada de agua porque tiende a dañar los cultivos y se produce cuando el vapor de agua se deposita sobre la superficie del cultivo y forma una capa blanca denominada escarcha” (p. 16), el 26.32% de los agricultores conoce la helada de agua que es aquella que presenta gotas de rocío en los cultivos y pastos y es común encontrarla en las mañanas sin llegar a formar hielo, por tanto, de acuerdo con Snyder y Melo (2010) este fenómeno se conoce como helada negra y se presenta cuando la temperatura cae por debajo de 0°C y no se forma hielo sobre la superficie. Si la humedad es suficientemente baja, entonces la temperatura de la superficie puede que no alcance la temperatura del punto de rocío y no se formará escarcha.

Gracias a la entrevista realizada a los agricultores, se obtuvo información invaluable sobre cómo interpretan las heladas y las estrategias que utilizan para predecirlas, manejarlas y controlarlas. Aunque las heladas son un fenómeno natural inevitable, esta información permite dar un paso adelante: desarrollar un método de predicción de heladas basado en la recopilación de datos meteorológicos relacionados con los factores que las generan.

De este modo se determinó que el cultivo más susceptible a daños por las heladas es el maíz y por ello, dado que es uno de los cultivos más frecuentes en el área de estudio se hace necesario tomar medidas para predecir y cuidar los cultivos y aunque los agricultores adoptaron la medida de sembrar en ladera y riego en la mañana, desde la ingeniería se puede optimizar este proceso a través de la creación de un modelo matemático preciso que contribuya a la predicción de este fenómeno climático.

2.2. Análisis correlacional de variables hidro climatológicas ante la presencia de heladas basados en marcas históricas

2.2.1. Búsqueda de información

Para dar cumplimiento al análisis correlacional de variables hidro climatológicas ante la presencia de heladas basados en marcas históricas se llevó a cabo la búsqueda exhaustiva de información relacionada con los factores que influyen en la formación de las heladas. Según Bravo et al. (2020) entre los elementos contribuyentes al desarrollo de heladas se encuentran la nubosidad, el brillo solar, la velocidad del viento, la humedad relativa y la temperatura. Además, se realizó una visita a las instalaciones del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) con el fin de obtener información adicional sobre este fenómeno.

Además, se investigaron las bases meteorológicas que se emplearon para la obtención de los datos necesarios en la predicción de las heladas. En particular, se revisaron los datos de la base meteorológica del Aeropuerto San Luis, con código (52055230), ubicada en Aldana – Nariño, y la base meteorológica de El Común, con código (52045090), ubicada en Pupiales – Nariño. La información recopilada de estas estaciones fue fundamental para llevar a cabo los cálculos y

análisis necesarios en relación con este fenómeno.

Adicional a ello, se realizó la búsqueda exhaustiva de información para determinar las fechas en las cuales se produjeron heladas en el altiplano nariñense, específicamente en el municipio de Pupiales, por tanto, el objetivo de esta búsqueda se centró en la verificación de la existencia de heladas a través de noticias y analizar las variables en mención para comprender el desarrollo del fenómeno y su efecto en la zona.

Posterior a ello se obtuvieron los datos meteorológicos cruciales de la estación del Aeropuerto San Luis que abarcan las variables esenciales como nubosidad, intensidad solar y temperatura mínima, dado que en esta estación únicamente se encontró este registro meteorológico, se recolectó información de la estación EL Común para fortalecer los ya obtenidos, en esta estación se encontraron datos de nubosidad, humedad relativa mínima y máxima y temperatura mínima; estos datos se obtuvieron desde la página web del IDEAM con acceso exclusivo a las variables.

Completada la descarga de información se realizó el análisis de la misma para determinar que los datos provenientes de la estación del aeropuerto San Luis son más precisos y confiables, por tanto son la base para este estudio, esta selección se fundamenta en la precisión y confiabilidad de sus mediciones lo cual permite un análisis preciso y riguroso del fenómeno de las heladas en la región, produciendo resultados confiables que serán de gran beneficio para la comunidad agrícola de la región ya que son ellos los principales interesados en el tema. De esta manera se garantiza la integridad y calidad de la investigación.

La tabla 3 muestra la descripción de las variables hidro meteorológicas de importancia para llevar a cabo la investigación.

La Tabla 4 proporciona un resumen claro de las variables meteorológicas fundamentales que han sido utilizadas en el contexto de la investigación. Cada variable se presenta de manera concisa, acompañada de una breve definición que destaca su importancia en el estudio. Además, se ofrece una descripción detallada del método de medición empleado para la recopilación de datos.

Tabla 3

Glosario de variables hidrometeorológicas

Variable	Concepto	¿Cómo se mide?
Temperatura	Se define subjetivamente como caliente y frío, de modo que caliente corresponde a temperatura más alta que frío (Vázquez, 2017). Se deriva de la idea de cuantificar el grado de calor o frío de un objeto o sustancia y se basa en la observación de los cambios producidos por una variación de temperatura siempre y cuando no ocurra fusión o ebullición	Para medir la temperatura se utilizan diversos instrumentos para obtener medidas precisas como: Termómetro de mercurio Termómetro digital Termistor Termopar Pirómetro Las unidades más comunes son Celsius (°C), Fahrenheit (°F) y Kelvin (°K)
Nubosidad	Según Bravo et al. (2020) las nubes desempeñan un papel importante en el balance energético de la tierra y actúan como una barrera que evita la pérdida de energía al absorber la radiación solar y emitirla nuevamente, lo cual ayuda a reducir las diferencias entre las ganancias y pérdidas de energía en la atmósfera, moderando las variaciones térmicas en la superficie terrestre.	Se mide a través de: Observación visual Satélites meteorológicos, Radares meteorológicos, Estaciones meteorológicas. Permiten estudiar la nubosidad y comprender su impacto en el clima y el balance energético de la Tierra.
Brillo solar	Se define como “la medición de las horas de sol efectivo en el día (brillo	Se mide en horas al día con la ayuda de un heliógrafo de Campbell-Stokes

Variable	Concepto	¿Cómo se mide?
	solar o insolación), que se asocia a la cantidad de tiempo durante el cual la superficie del suelo es irradiada por la radiación solar directa” (IDEAM, 2021, p. 4).	Con este parámetro es posible calcular la radiación solar mediante un modelo de regresión lineal simple llamado angstrom modificado.
Humedad relativa máxima y mínima	Indica la cantidad de vapor de agua presente en el aire y se utiliza para describir cuan cerca está el aire de alcanzar su saturación máxima antes de que se produzca la condensación y forme nubes, rocío o precipitación. Cuando alcanza el 100% se asocia con niebla, lluvia o humedad ambiental alta, pero cuando se encuentra en 0% es indicador de aire seco. Contribuye con la conservación de los alimentos y el monitoreo de la calidad de aire.	Se utiliza un higrómetro para realizar la medición de este parámetro en unidades de porcentaje

2.2.1.1. Temperatura. Teniendo en cuenta el concepto de temperatura de la tabla 3 y la información recopilada en línea como los informes del Banco de la República (2023) respaldan de manera contundente la ocurrencia de heladas porque durante el periodo de análisis, al examinar las noticias se destacan valores extremadamente bajos en un rango de temperaturas que se sitúan entre -0.8 y 3 °C lo cual es un indicador de la presencia de heladas, dado que son significativamente bajos contribuyendo al fenómeno de helada en la región.

De igual forma, de acuerdo a los datos recopilados en la estación del aeropuerto San Luis se evidenció que a lo largo de un periodo de 10 años, las temperaturas máximas y mínimas de la región oscilan en rangos inferiores a los 0° donde la temperatura mínima cae por debajo de la marca histórica (Ver anexo E) sin embargo, se han documentado escasas ocasiones donde se ha

manifestado el fenómeno de helada, lo cual concuerda con la información previamente mencionada acerca de la reducción de las temperaturas en los días previos al evento. Durante este lapso, se han identificado valores térmicos que han descendido por debajo de la marca de 0 grados centígrados, seguidos posteriormente por una tendencia al aumento gradual de las temperaturas.

Pasa lo mismo al comparar los valores de temperatura obtenidos en la estación de El Común, donde también se evidencian dispersiones de temperatura por debajo de la marca histórica siendo esto indicio de un fenómeno de helada, donde la recurrencia del mismo se presenta en el mes de mayo de 2008, noviembre de 2016, abril de 2018, y agosto de 2019 (Ver anexo F) con una temperatura mínima de 0°C. De esta manera se contrasta la información teórica con la obtenida durante la entrevista donde los agricultores refirieron que es en el mes de agosto cuando se presentan las heladas con mayor frecuencia.

Es fundamental tener en mente que la falta de un seguimiento meticuloso y constante de los datos meteorológicos puede dar lugar a ciertas discrepancias en la información proporcionada. Sin embargo, se observa que los rangos de temperatura relacionados con las heladas se mantienen aproximadamente en torno a los 0 grados centígrados.

En el transcurso del periodo comprendido entre 2007 y 2012 en la estación de El Común, se afirma que los valores de temperatura se mantienen en proximidad a los 0°C (Ver anexo F). Además, se aprecia un patrón en el comportamiento de estos valores: en los días anteriores a la formación de la helada, tendencia a descender, mientras que en los días posteriores muestran una tendencia al alza. Este patrón refuerza la evidencia de la presencia y posterior disipación de las heladas durante el período bajo análisis.

2.2.1.2. Nubosidad. De acuerdo con los datos recolectados en la estación del Aeropuerto San Luis (Aldana), se observó que el comportamiento de la nubosidad en los días previos y posteriores a la formación de la helada.

De este modo, antes del fenómeno se observa la disminución significativa de la presencia de nubes con el reporte de valores bajos, lo cual indica que el cielo tiende a estar despejado o bien con

baja presencia de nubes durante este periodo, sin embargo, en los días posteriores a la helada, se observa un aumento en la nubosidad, donde los valores ascienden y se vuelve a encontrar una presencia más significativa de nubes en el cielo (Ver anexo G). Esto sugiere que después de la formación de la helada, la cobertura nubosa comienza a incrementarse gradualmente.

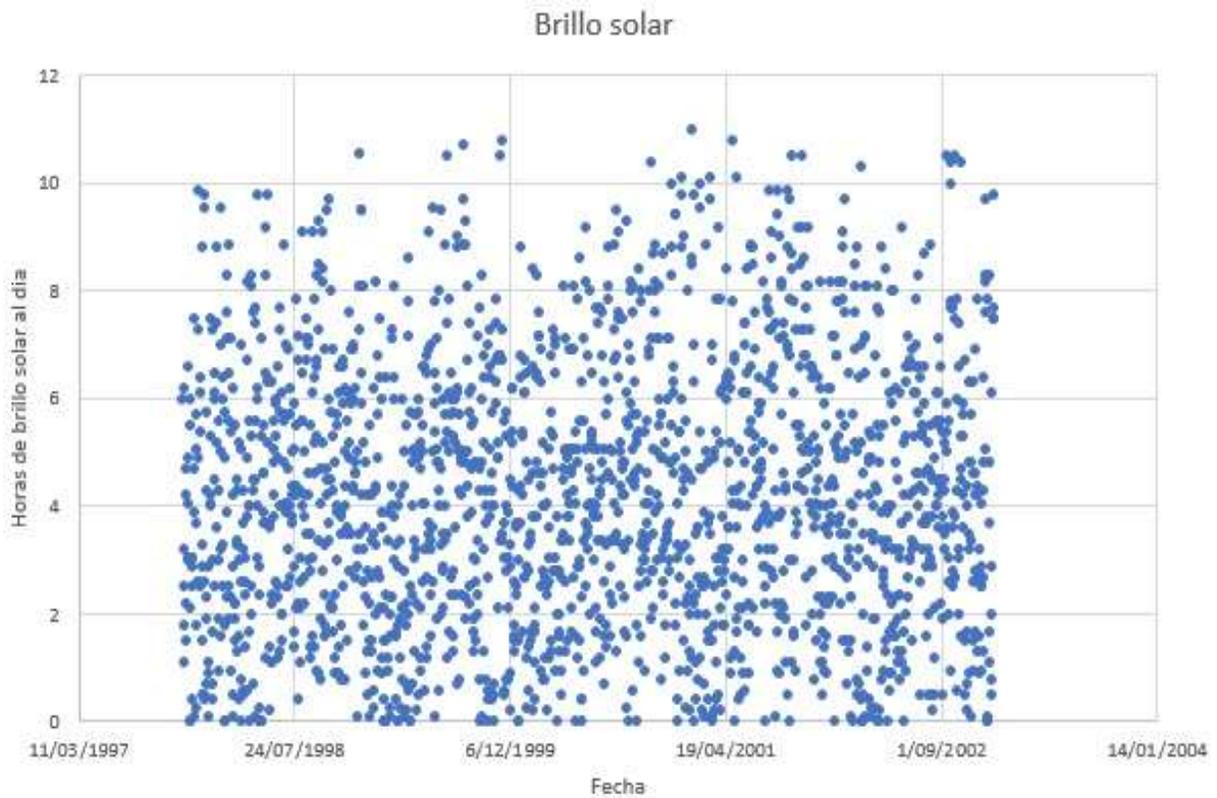
Ahora bien, desde los datos obtenidos en la estación El Común se confirma la presencia de valores y comportamientos similares en relación con la nubosidad registrada por la estación Aeropuerto San Luis durante el periodo de helada respaldando así la consistencia en el comportamiento de las nubes durante este fenómeno meteorológico. De esta forma, en las dos estaciones se evidencia el patrón de disminución de nubes en los días previos a la helada con el indicador de cielo despejado y el incremento gradual de las mismas conforme el fenómeno pasa por la región. (Ver anexo H) Aunque los datos capturados por la estación El Común oscilan entre 5 y 10 años, los resultados son acordes para describir el fenómeno de helada en la vereda Paicún, sin embargo, es importante mencionar que la estación del Común presenta algunas limitaciones en cuanto a su equipamiento y revisión continua. Como resultado, es posible que algunos valores no se encuentren disponibles en esta estación. Esto puede dificultar el análisis completo de la nubosidad y su relación con la formación de heladas en esta área.

2.2.1.3. Brillo solar. El proceso de recopilación de datos meteorológicos implica la obtención de información a lo largo de diferentes fechas, con el propósito de llevar a cabo un análisis estadístico que permita evaluar las relaciones entre diversas variables.

Con este parámetro es posible calcular la radiación solar mediante un modelo de regresión lineal simple denominado Angstrom modificado.

Figura 13

Brillo solar 1997-2002 diaria estación Aeropuerto San Luis

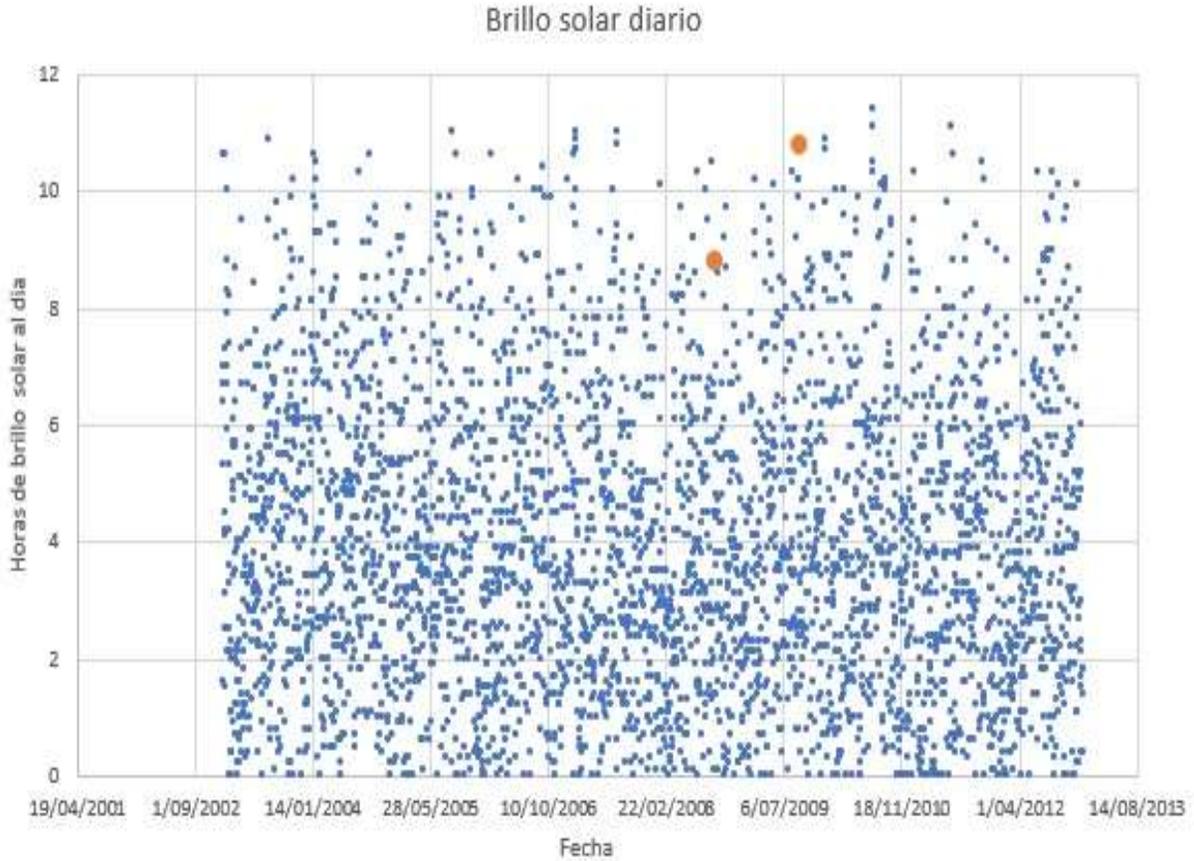


La figura 13 muestra la recopilación de datos acerca de las horas de luz solar diaria almacenadas en la estación Aeropuerto San Luis con el objetivo de investigar si existe una variación entre las horas y la incidencia de heladas, sin embargo, al examinar la gráfica no se observa ninguna tendencia histórica que sugiera una relación significativa entre los dos factores.

Por otra parte, en la figura 13 se identificaron dos eventos de heladas a través del **método de maracas históricas**, donde se destaca que las horas de luz solar superan consistentemente las 8 horas diarias, indicando una fuerte presencia de sol y una prolongada duración de la exposición solar, este patrón sugiere la posibilidad de una relación entre la abundancia de horas de sol y la ocurrencia de heladas.

Figura 14

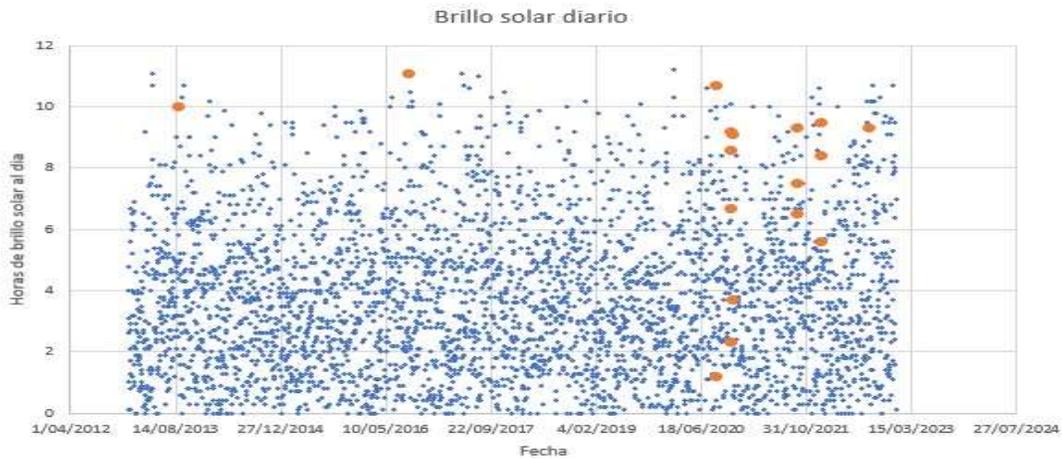
Brillo solar 2003-2012 diario Aeropuerto San Luis



Ahora bien, en la figura 13 se dispone la información adicional a través del método de marcas históricas, lo que permite identificar variaciones en las horas de insolación en los días en que se registran heladas. Para evaluar si esta variable está fuertemente correlacionada con la presencia de heladas, es necesario llevar a cabo un análisis estadístico. Se aprecia que, en algunos días, los valores de brillo solar son notables altos o bajos, lo que podría relacionarse con eventos climáticos particulares.

Figura 15

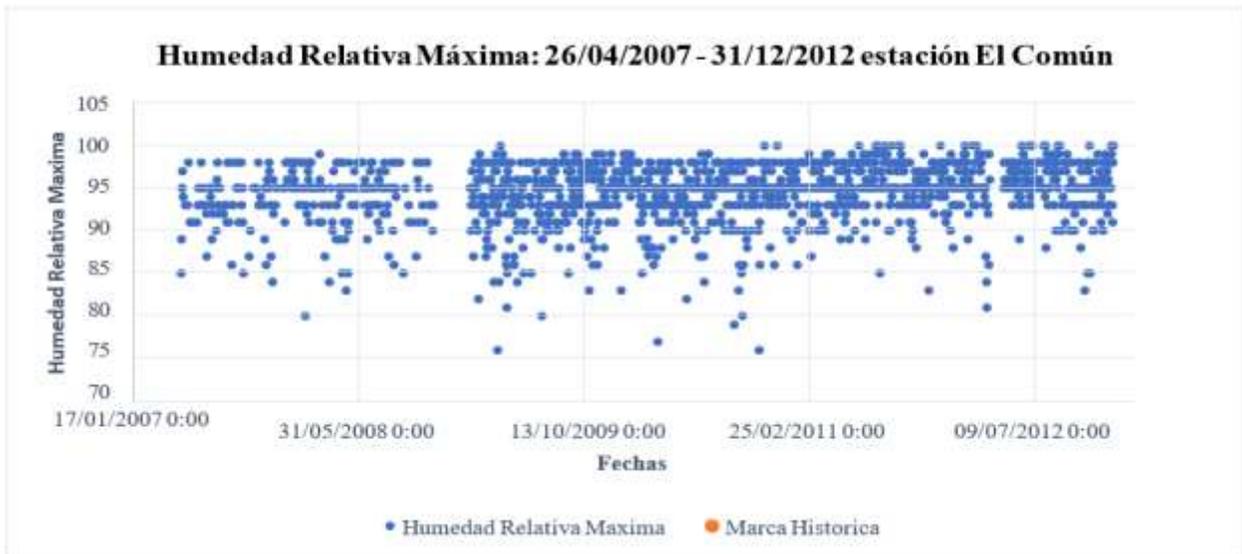
Brillo solar 2013-2023 diario estación Aeropuerto San Luis



2.2.1.4. Humedad relativa máxima. La humedad relativa es un parámetro importante en meteorología, ya que influye en las condiciones de confort humano, en el desarrollo de nubes y precipitaciones, en la formación de neblina y en otros aspectos relacionados con el clima. También desempeña un papel relevante en actividades como la agricultura, la conservación de alimentos y el monitoreo de la calidad del aire.

Figura 16

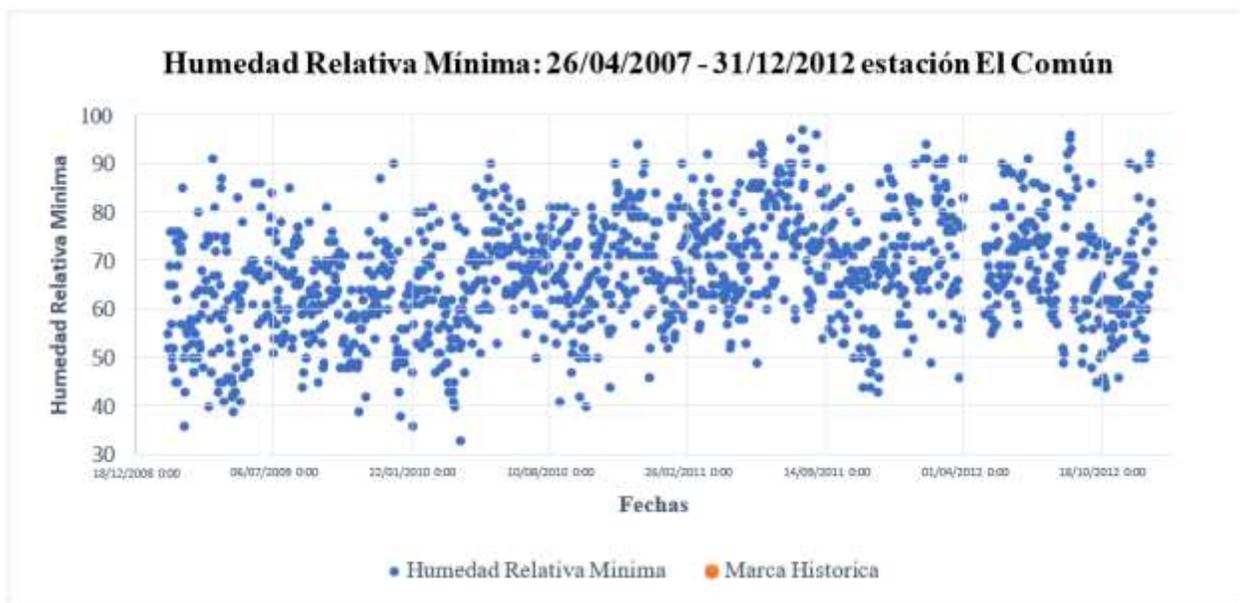
Humedad relativa máxima estación El Común



En las figuras 15 y 16 se presentan en color azul los datos de humedad máxima y mínima respectivamente de la estación meteorológica el Común, pero por cuestiones técnicas en los días en los que se presentaron heladas según las marcas históricas no hay datos registrados por parte de la estación común, ya que en estos días no estaba en funcionamiento por lo cual no se obtienen los valores de la humedad relativa.

Figura 17

Humedad relativa mínima estación El Común



En el periodo comprendido entre 2013 y 2023, se registraron once eventos de heladas significativos según los datos históricos disponibles, estas heladas fueron notablemente distintas debido a que se presentaron en condiciones de alta humedad relativa máxima, superiores al 80%, estos registros indican que se trató de heladas por radiación, un fenómeno que se produce en noches despejadas y sin viento, cuando la radiación térmica se emite desde la superficie terrestre hacia el espacio.

Durante este proceso de radiación térmica, el suelo y los objetos cercanos a la superficie se enfrían rápidamente, lo que puede llevar a que su temperatura descienda por debajo del punto de congelación del agua, incluso en presencia de altos niveles de humedad relativa, por lo cual es

importante destacar que, en estos casos, la humedad relativa alta no impidió la formación de heladas, sino que las condiciones atmosféricas propicias permitieron que se desarrollaran a pesar de ello.

Las heladas por radiación son especialmente influenciadas por factores como la radiación solar, la altitud, la duración de la noche y la presencia de nube, sin embargo, en este periodo específico de tiempo, se evidenció que la humedad relativa alta no fue suficiente para evitar la formación de heladas, esto se debe a que, aunque el aire contenía una gran cantidad de vapor de agua en comparación con su capacidad máxima a una determinada temperatura, las condiciones propicias para el enfriamiento rápido de la superficie y la posterior congelación del agua estuvieron presentes.

Por otra parte, durante el periodo comprendido entre 2020 y 2021, se registraron un total de seis eventos de heladas significativos, según los datos disponibles en ese lapso, estas heladas se caracterizaron por presentar valores muy altos de humedad relativa, alcanzando hasta un 98%, este nivel de humedad relativa tan elevado jugó un papel fundamental en la formación de estas heladas, ya que indica que el aire contenía una gran cantidad de vapor de agua en comparación con su capacidad máxima a una determinada temperatura. En consecuencia, este exceso de humedad puede condensarse en forma de rocío o escarcha sobre la superficie, contribuyendo así al fenómeno de las heladas. (Ver anexo I)

Este tipo de eventos resalta la complejidad de los fenómenos meteorológicos y la importancia de considerar múltiples factores en su análisis. La humedad relativa alta puede ser un factor que dificulte la formación de heladas en ciertos escenarios, pero no es el único determinante pues, la presencia de condiciones favorables, como noches despejadas y sin viento, puede contrarrestar el efecto de la humedad y propiciar la formación de heladas incluso en condiciones de alta humedad relativa.

De este modo, los hallazgos registrados concluyen que la interacción entre la humedad relativa, la radiación térmica y otros factores es compleja y variable, por ello, el comprender de manera más amplia estos patrones y tendencias permitieron la anticipación y adaptación de manera efectiva a los fenómenos de heladas.

2.2.1.5. Humedad relativa mínima. Durante el lapso comprendido entre 2013 y 2020, se produjeron dos episodios históricos notables de heladas, caracterizados por la presencia de un nivel de humedad relativa mínimo de 70 %. Sin embargo, entre el año 2020 y finales del 2022, se detectó un periodo en el que se registró un aumento en la frecuencia de las heladas, alcanzando un total de 13 eventos de heladas que se anotaron con valores inferiores al 60 % de humedad relativa mínima tal como se muestra en la figura 18.

Figura 18

Humedad relativa mínima estación El Común



Estos valores reducidos de humedad relativa mínima denotan que el aire presenta un nivel de humedad relativamente bajo y contiene menos vapor de agua en suspensión. Esta condición se manifiesta durante ciertas épocas del año en las cuales el aire se torna más árido, como durante el invierno, específicamente en los meses de enero, agosto, septiembre y noviembre. Es relevante destacar que las heladas han ocurrido con una mayor frecuencia a lo largo del año 2020, llegando a ser las más intensas de la última década. Según lo reportado por Semana (2020) esto se refleja en cada una de las gráficas, donde se evidencia un evento de mayor magnitud durante este período.

2.2.2. Correlación de variables

Utilizando los datos previamente mencionados y considerando que solo se utilizarían los registros de la estación del aeropuerto de San Luis, se extrajeron un total de 18 puntos de datos históricos.

Con el fin de proceder con la clasificación entre ellos, se llevó a cabo la normalización de las tres variables, dado que cada una de ellas presentó unidades diferentes. Para lograr esto, se aplicó la fórmula de distribución normal (ver formula 2) a cada conjunto de valores de manera que todos quedaran expresados en unidades equivalentes, permitiendo así una comparación adecuada.

Normalizar datos.

$$Z_i = \frac{X_i - \bar{X}}{S} \quad (2)$$

Donde:

Z_i = Dato normalizado

X_i = Datos de la serie

\bar{X} = Media de los datos de la serie

S = Desviación estándar de los datos de la serie

A través de la aplicación de la ecuación 2 se procedió a efectuar los cálculos correspondientes para cada una de las variables obtenidas previamente con el fin de continuar con el proceso de correlación entre ellas, (ver anexo J) de este modo, la evaluación entre las variables (temperatura, nubosidad y brillo solar) proporcionó información valiosa sobre su interacción. En particular, al analizar la relación entre la temperatura mínima y la nubosidad, donde se observó una compensación de 0.6177, lo que indica una compensación positiva moderadamente fuerte (ver anexo K) esto significa que a medida que la temperatura mínima aumenta, la nubosidad también tiende a aumentar, aunque no necesariamente de manera proporcional o directa.

Se empleó la página web gratuita StatsKingdom, que proporcionó correlaciones precisas utilizando tanto el coeficiente de correlación de Pearson como el de Spearman (ver anexo K). Este fenómeno se debe a las condiciones meteorológicas es decir, cuando la temperatura disminuye, se crean las condiciones propicias para la formación de nubes bajas, como estratocúmulos o nubes catalogadas como estratos, estas nubes actúan como aislantes térmicos, atrapando el calor radiante emitido por la tierra, a este fenómeno se le conoce como "efecto manta de las nubes", en consecuencia, las nubes pueden prevenir la pérdida de calor desde la superficie de la tierra hacia la atmósfera, reduciendo así la probabilidad de que la temperatura alcance el punto de congelación y

genere heladas.

Por otro lado, la valoración entre la temperatura mínima y el brillo solar es de -0,7032, lo que indica una valoración negativa (ver anexo K) lo que indica que cuando una de las variables aumenta, la otra tiende a disminuir y viceversa, por tanto, cuando hay un alto brillo solar, la temperatura mínima tiende a ser baja, lo que aumenta la probabilidad de heladas. En resumen, los datos obtenidos muestran una clara relación entre las tres variables y la presencia de heladas en la región y se observa que cuando la nubosidad disminuye a menos de 3 octas trae consigo el incremento del brillo solar y puede derivar en que la temperatura mínima sea inferior a 3°C, estos patrones permitieron comprender de manera más clara cómo se relacionan las variables entre sí y como influyen en la probabilidad de heladas.

2.3. Proponer una guía comunitaria para orientar las medidas de prevención y manejo de heladas en el municipio de Pupiales vereda de Piacún

Con el fin de cumplir el tercer objetivo que consistió en proponer una guía comunitaria para orientar las medidas de prevención y manejo de heladas en la vereda Piacuán del municipio de Pupiales-Nariño se consideró que esta guía es una herramienta útil para transmitir a los agricultores los resultados de la investigación, donde se plasmó de manera comprensible el conocimiento técnico de los investigadores con el fin de facilitar la identificación de las heladas y las medidas preventivas para minimizar los daños causados por este fenómeno en los cultivos, para lograrlo se siguieron los pasos que se mencionan a continuación:

2.3.1. Protocolo

Con base en la información recopilada en los objetivos anteriores se desarrolló un protocolo integral para abordar el problema de las heladas, así como la creación de un folleto informativo dirigido a las comunidades agrícolas, con el propósito de proporcionarles herramientas para prevenir y gestionar las heladas de manera efectiva.

A partir de los resultados obtenidos, se confirmó la validez de las observaciones de los agricultores en cuanto a la predicción de las heladas, desde un enfoque más técnico, se identificó

que las condiciones propicias para la formación de heladas incluyen un cielo despejado con una nubosidad reducida (menos de 3 octas), un incremento en el brillo solar y noches con temperaturas mínimas por debajo de 3 °C. Cuando estas variables coinciden, aumenta significativamente la probabilidad de que se produzcan heladas.

El objetivo de esta guía comunitaria es brindar apoyo a las comunidades agrícolas con medidas preventivas que no impliquen costos adicionales significativos ni afecten su situación económica, en este sentido, entre las recomendaciones se incluye la siembra de árboles cercanos a los cultivos, ya que estos actúan como protectores y cortinas rompevientos, además, el uso de abonos orgánicos se ha demostrado efectivo como aislante, reduciendo la pérdida de calor del suelo, los túneles plásticos similares a invernaderos pero más simples de construir también son recomendados para proteger los cultivos de las heladas y la elección de las ubicaciones adecuadas con resguardo del viento frío y exposición solar óptima y con una pendiente adecuada es fundamental para la protección de los cultivos (Rotoplas, 2022).

Además, se identificaron las medidas que pueden ser tomadas después de que ha ocurrido una helada, donde el método de antorchas que genera calor para proteger las plantas es una opción beneficiosa (CORDIS, 2021). De acuerdo con Tex Delta (2023) “las mantas térmicas diseñadas específicamente para cubrir cultivos son eficaces para proteger las plantas después de una helada” (p. 1). Es recomendable rociarlas después del evento con el objeto de que actúen como aislante y se inicie la transferencia de calor a las plantas y mantener el suelo húmedo puesto que el agua absorbe y libera calor de manera gradual contribuyendo a la protección de los cultivos y reduce el riesgo de daños provocados por las heladas (Rotoplas, 2022).

De este modo, se proporcionó a las comunidades agrícolas un conjunto completo de estrategias y medidas para hacer frente a las heladas de manera eficiente para minimizar sus impactos durante la cosecha.

2.3.2. Elaboración del folleto

Con el propósito de asistir a la comunidad agrícola de la zona de Piacún- Pupiales se elaboró un

folleto informativo que tiene como objetivo proporcionar una guía detallada sobre las heladas y se enfoca en las señales de formación de las heladas, los cultivos que se ven afectados en la región y la importancia de utilizar instrumentos de medición meteorológica esenciales para los cultivos, estos recursos son fundamentales para comprender y combatir eficazmente este fenómeno.

Las figuras 19 y 20 muestran el folleto que reúne toda la información recopilada de manera clara y accesible por lo que se convierte en una valiosa fuente de conocimiento que proporcionará orientación precisa a los agricultores para enfrentar y superar los desafíos que las heladas pueden representar para sus cultivos. Por tanto, se espera que esta información sea de gran utilidad para preservar y proteger las cosechas de manera efectiva, lo que a su vez garantizará el bienestar económico de la comunidad y contribuirá al suministro de alimentos de calidad para toda la comunidad.

Figura 19

Folleto. Parte 1

HELADAS

DEFINICIÓN:
Son condiciones climáticas que provocan la congelación del agua y la formación de hielo en áreas, plantas y cultivos.

TIPOS DE HELADAS
En la zona de estudio se identifican dos heladas con frecuencia:

- HELADA BLANCA**
El vapor de agua se deposita sobre la superficie y forma una capa blanca de hielo.
- HELADA NEGRA O DE AGUA**
No se forma hielo sobre la superficie, pues la temperatura de superficie no alcanza la del punto de rocío y no se formará escarcha.

CULTIVOS AFECTADOS

- Papa
- Arveja
- Maíz
- Haba

COMO DETECTAR UNA HELADA
Los día anterior a la formación de la helada:

- NUBOSIDAD: ESCASEZ DE NUBES**
Una escasa presencia de nubes, puede indicar que se avecina una helada debido a la falta de retención de calor.
- BRILLO SOLAR: AUMENTO CALOR**
Se experimenta un aumento en la temperatura, con condiciones soleadas "hay mucho sol".
- TEMPERATURA: NOCHES FRIAS**
La noche en la que se forma la helada es más fría que cualquier otra noche del año.

INSRTUMENTOS DE COMO DETECTAR UNA HELADA

- TEMPERATURA**
Tener un termómetro cerca de los cultivos, permite monitorear las temperaturas diarias y tomar precauciones cuando esta llegue a disminuir a -3 grados centígrados.
- BRILLO SOLAR**
Se observar un aumento de temperatura en los días anteriores a la helada y la presencia de este es constante.
- NUBOSIDAD**
Observar la cantidad de nubes presentes. Cuando se observan pocas o escasas nubes, es importante tomar precauciones.

El objetivo primordial de este folleto es proporcionar a los agricultores, tanto a aquellos con experiencia en la agricultura como a los que están dando sus primeros pasos en este campo, un

conocimiento claro y de fácil acceso acerca del proceso de formación de las heladas. Nuestra meta es que esta información sea comprensible y práctica para todos, sin importar su nivel de experiencia en la agricultura.

Figura 20
Folleto. Parte 2

MEDIDAS ANTES DE LA HELADA

- SIEMBRA DE ARBOLES**
Sembrar arboles alrededor del cultivo este sirve como protector y como (cortinas rompe vientos).

- ABONOS ORGANICOS**
 El abono orgánico, actúa como un aislante, reduciendo la pérdida de calor del suelo.
- TUNEL PLASTICO**
Opera de manera similar al invernadero, pero su construcción es más sencilla y se puede crear de forma casera cuando se busca resguardarse de las heladas.

- UBICACION ADECUADA**
ubicación que brinde protección, áreas que estén resguardadas del viento frío y que tengan buena exposición al sol y que tengan una pendiente.


MEDIDAS DESPUES DE LA HELADA

- METODOS DE ANTORCHAS**
Es beneficioso encender antorchas que generen calor para que la planta pueda resistir y mantenerse resguardada, evitando así que la helada dañe el cultivo.

- MANTA TERMICA**
 Están diseñadas específicamente para cubrir los cultivos y constituyen una excelente opción para proteger las plantas de las heladas.
- RIEGO INMEDIATAMENTE**
Se la rocía cuando halla sucedido la helada; servirá como aislante, no podrá evaporarse gracias a las bajas temperaturas y, de congelarse, el calor acumulado podrá transferirse a la planta.

- SUELO HUMEDO**
 Además de mantener el suelo libre de malezas y desechos, es esencial mantenerlo húmedo. El agua absorbe el calor de manera más gradual y a su vez, lo libera de forma más pausada.

PREVENCION Y CONTROL FRENTE A LAS HELADAS



ELABORADO POR

- CAMILO JOSÉ SANTANDER CHALACAN.
- DANIEL RONALDO PANTOJA REVELO.
- JONATHAN DAVID CAÑAR RICAURTE.

PROGRAMA INGENIERIA AMBIENTAL PASTO - NARIÑO 2023



3. Conclusiones

La entrevista realizada a agricultores de la vereda Piacún del municipio de Pupiales, Nariño, evidenció que, si bien los agricultores de la zona poseen un conocimiento sólido sobre las heladas, existe una brecha entre este conocimiento y la aplicación efectiva de medidas preventivas. Esta brecha se debe, principalmente, a la falta de orientación sobre cómo adaptarse a las heladas y qué medidas específicas implementar. Los agricultores entrevistados manifestaron que, a pesar de su familiaridad con el fenómeno, desconocen cómo implementar medidas efectivas para proteger sus cultivos. Es crucial abordar esta discrepancia para garantizar la protección de los cultivos, especialmente las hortalizas como la papa, el maíz y el haba, que se han identificado como particularmente vulnerables ante las heladas. La implementación de programas educativos y la promoción de prácticas agrícolas resistentes al clima podrían desempeñar un papel fundamental en cerrar esta brecha y fortalecer la resiliencia de la comunidad agrícola frente a este desafío climático.

La recopilación de variables climáticas a partir de la plataforma del IDEAM permitió identificar la estación meteorológica del aeropuerto San Luis, ubicada en el municipio de Aldana-Nariño, como la principal y más cercana a la zona de estudio, proporcionando la información más completa para el manejo de heladas. El análisis de estas variables confirmó una relación significativa entre ellas y la presencia de heladas, respaldada mediante la aplicación de métodos de evaluación reconocidos como la evaluación Pearson y la evaluación de Spearman. La identificación de las fechas con presencia de heladas permitió realizar un análisis más detallado y enfocado, complementando la información con datos obtenidos de noticias y periódicos. Esta integración de datos provenientes de distintas fuentes fortalece la validez de los resultados y contribuye a un entendimiento más preciso del fenómeno de las heladas en la zona de estudio.

Los descubrimientos de esta investigación son pertinentes para la planificación y el diseño de estrategias de manejo de heladas en la zona de estudio. La comprensión de la relación entre las variables climáticas y la incidencia de heladas ofrece una valiosa herramienta para que agricultores y autoridades tomen medidas para mitigar los daños provocados por este fenómeno. Estos hallazgos contribuyen al conocimiento científico, y tienen aplicaciones prácticas directas en la toma de decisiones que impactan la agricultura y el manejo de riesgos en la región.

4. Recomendaciones

Se recomienda realizar entrevistas en diversas localidades del altiplano nariñense donde se incluyan municipios como Sapuyes, Túquerres, Potosí, Cumbal, Aldana, Imués y Guachucal dado que esta estrategia permitirá la recopilación de información significativa sobre las prácticas de los agricultores en relación con el control y la prevención de las heladas con el objeto de identificar posibles métodos y enfoques alternativos para minimizar las pérdidas en los cultivos y proteger la economía local de los efectos adversos de las heladas.

Se recomienda llevar a cabo un análisis de otras variables climatológicas para evaluar su influencia en la incidencia de las heladas. Entre estas variables se incluyen la velocidad del viento, la humedad relativa máxima, la humedad relativa mínima, la precipitación, la dirección del viento, entre otros. Este paso permitirá examinar el comportamiento de estas variables y su relación con otros factores, con el propósito de identificar posibles correlaciones. Esto, a su vez, fortalecerá la robustez de los análisis que se llevarán a cabo y contribuirá a la capacidad de realizar pronósticos o predicciones más precisas de este fenómeno climático.

Una recomendación adicional que se quiere destacar es la importancia de no limitar la investigación netamente a realizar análisis de correlación entre variables, sino también a desarrollar un modelo de predicción de este fenómeno lo que permitirá contribuir a la formulación de estrategias de manejo específicas para prevenir y mitigar los daños causados por las heladas a los campesinos. La creación de un modelo de predicción nos brindará las herramientas necesarias para afrontar de manera más efectiva este fenómeno meteorológico, lo que resultará fundamental en la protección de la agricultura local y la economía de la región.

Referencias bibliográficas

- Banco de la República. (2023). *Gestión ambiental: una estrategia en cada frente*.
<https://www.banrep.gov.co/es/blog/gestion-ambiental-banco-republica-estrategia-cada-frente>
- Benavides, O. (2016). *Estudio socioeconómico de la población del área rural del municipio de Pupiales, para el año 2013*. [Tesis de pregrado, Universidad de Nariño] Sired Udenar:
<https://sired.udenar.edu.co/7736/1/91564.pdf>
- Bravo, R., Quintana, J., & Reyes, M. (2020). *Heladas. Factores, tendencias y efectos en frutales y vides*. Instituto de Investigaciones Agropecuarias:
<https://biblioteca.inia.cl/handle/20.500.14001/6847>
- CORDIS. (2021). *¿Las antorchas pueden proteger realmente los viñedos de las heladas?*.
<https://cordis.europa.eu/article/id/435392-can-flaming-torches-really-save-a-vineyard-from-frost/es>
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística [DANE]. (2018). *Censo nacional de población y vivienda*. <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/censo-nacional-de-poblacion-y-vivenda-2018>
- Fernández, M., Murphy, G., & Torterolo, M. (2008). Índice de riesgo sistémico de heladas (IRISH). *Agronomía Tropical*, 58(1), 65-68. <https://n9.cl/bcs6s>
- Ferrero, A., & Gargantini, D. (2003). El riesgo como oportunidad. *Revista INVI*, 18(47), 72 - 78.
<https://doi.org/10.5354/0718-8358.2003.62234>
- Gómez, D. (2014). *Caracterización, pronóstico y alternativas de manejo de las heladas en el sistema de producción lechero del Valle de Ubaté y Chinguirá (Colombia)*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Colombia] Repositorio Unal:
<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/30038>

González, O., & Torres, C. (2012). *Actualización nota técnica heladas*. Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM]: <http://sgi.ideam.gov.co/documents/21021/21147/Documento+FINAL+actualizacion+nota+tecnica+heladas.pdf/e10a0183-62e6-410a-8e96-7e0739f6f06b>

Herzer, H., Rodríguez, C., Celis, C., Bartolome, M., & Caputo, M. (2003). *Convivir con el riesgo o la gestión del riesgo*. INRENA – FAO.

Hurtado, G., Mayorga, R., & González, Y. (2008). *Las heladas en Colombia*. IDEAM: <http://atlas.ideam.gov.co/basefiles/hela-text.pdf>

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM]. (2021). *Guía para el análisis, detección de errores y verificación del brillo solar*. <http://sgi.ideam.gov.co/documents/412030/561097/M-GDI-M-G007+Guia+brillo+solar+V1/05ee0340-0058-47c6-a5eb-889f8b74c2e1?version=1.0>

Ley 1523 de 2012. (2012, 24 de abril). Congreso de Colombia. Diario Oficial No. 48.411: http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley_1523_2012.html

Martínez, L., Ibacache, A., & Rojas, L. (2007). *Efectos de las heladas en la agricultura*. Instituto de Investigaciones Agropecuarias: <https://biblioteca.inia.cl/handle/20.500.14001/7167>

Montealegre, J., & Pabón, E. (2009). *Escalas de la variabilidad climática*. https://www.rds.org.co/aa/img_upload/aea709feb9d6e6499a219fa83c2c5451/Escalas_de_la_variabilidad_clim_tica.pdf

Pabón, D. (1997). *Variabilidad Climática*. Organización Meteorológica Mundial.

Rotoplas. (2022). *¿Cómo proteger los cultivos de las heladas?* Rotoplas Agroindustria: <https://rotoplas.com.ar/agroindustria/como-proteger-los-%20cultivos-de-las-heladas/>

- Semana. (2020). *Así es el plan de atención para productores afectados por las heladas*.
<https://www.semana.com/amp/asi-es-el-plan-%20de-atencion-para-productores-afectados-por-las-heladas/1573/>
- Snyder, R., & Melo, J. (2010). *Protección contra las heladas: fundamentos, práctica y economía - Volumen I*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO]:
<https://www.fao.org/publications/card/es/c/ca3a4ef2-284c-%20539a-b4e0-60e9ca232749/>
- Tex Delta. (2023). *Manta térmica para agricultura*. <https://texdelta.com/blog/manta-termica-para-agricultura/>
- Traxco. (2022). *Las heladas impactan altamente en los cultivos y agricultura*.
<https://www.traxco.es/blog/tecnologia-del-riego/heladas>
- Vázquez, A. (2017). *Calor y temperatura*. Universidad de Alicante:
<https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/95287/1/Tema-4-Calor-y-temperatura.pdf>
- Viloria, J. (2007). *Economía del departamento de Nariño: ruralidad y aislamiento geográfico*.
<https://www.banrep.gov.co/sites/default/files/publicaciones/archivos/DTSER-87.pdf>
- Viracachá, W. (2022). *Fuertes heladas en el sur de Nariño provocan millonarias pérdidas en cultivos de papa*. Blu Radio: <https://www.bluradio.com/blu360/pacifico/fuertes-heladas-en-el-sur-de-narino-provocan-millonarias-perdidas-en-cultivos-de-papa>

Anexos

Anexo A. Estructura de la entrevista

Universidad Mariana Pasto Nariño
Facultad de Ingeniería
Ingeniería Ambiental

Objetivo de la Encuesta

Tener información de los conocimientos, pronósticos y manejo que realizan los agricultores de la vereda de Piacun del Municipio de Nariño.

FORMULARIO ENTREVISTA HELADAS

Detalles de la entrevista

Nombre del Entrevistador: _____ Fecha: _____ Vereda: _____

Edad y nombre del Entrevistado: _____

A que se dedica: Agricultor Ganadería
Otros: _____

Nivel de educación: Primaria Universitario
 Secundaria No tiene estudios
Otros: _____

Coordenadas: _____

Preguntas que se le va a realizar al Agricultor

Pregunta n°1: ¿Usted Reconoce una Helada? _____

Si

No

Notas: _____

Pregunta n°2: ¿Sabe en qué tiempo del año se da las Heladas? _____

Notas: _____

Anexo B. Estructura de la entrevista

2 | P á g i n a

Pregunta n°3: ¿Qué cultivos se dan en la zona?

Notas: Papa Maíz Arveja Haba Cebolla Lechuga Cilantro Zanahoria

Otros:

Pregunta n°4: ¿Qué cultivos son más propensos a dañarse en una Helada?

Notas: Papa Maíz Arveja Haba Cebolla Lechuga Cilantro Zanahoria

Otros:

Pregunta n°5: ¿Usted cómo puede predecir o decir que va a suceder una Helada?

Notas:

Pregunta n°6: ¿Usted que métodos realiza para manejar las Heladas y así no perder cultivos?

Notas:

Pregunta n°7: ¿Recuerda una helada la cual realizo muchos daños a los cultivos y tuvo pérdidas grandes?

Notas: Mes /Año

Pregunta n°8: ¿Usted recibe alguna ayuda del gobierno cuando pasa este fenómeno?

Anexo C. Estructura de la entrevista

3 | P á g i n a

Notas: Si

No

Cuáles:

Pregunta n°9: ¿Hay diferentes formas de helada?

Notas:

¿Además de las heladas que más puede dañar los cultivos de factores climáticos?

Pregunta n°10:

Notas:

Pregunta n°11: ¿A usted le gustaría tener una Revista de cómo prevenir y manejar las Heladas?

Notas: Si

No

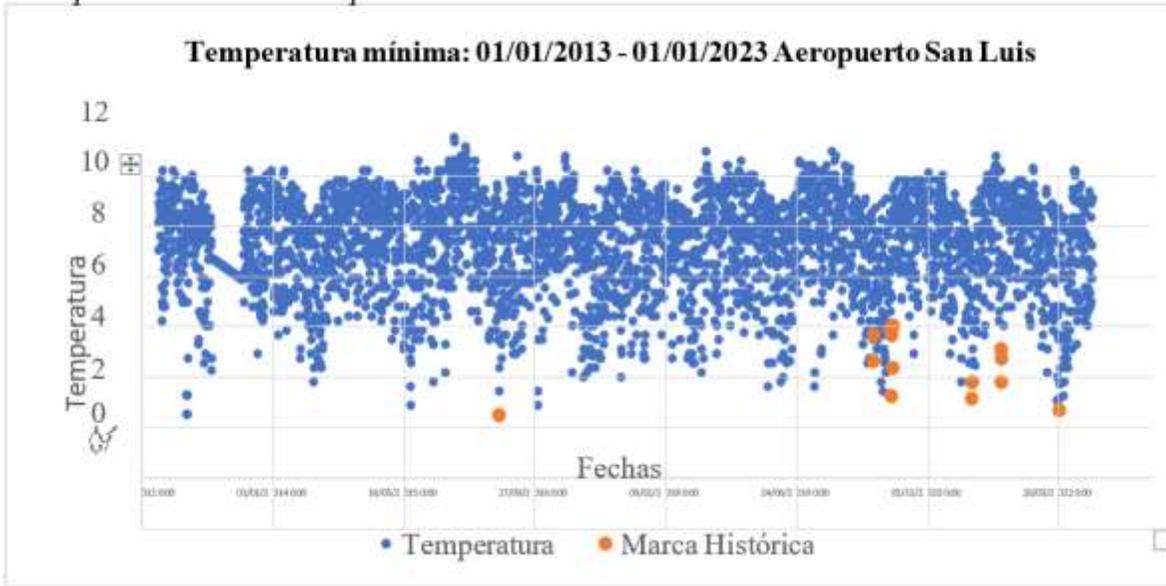
Notas adicionales

Anexo D. Enlace estructura del folleto

Santander, C., Pantoja, D., Cañar, J. (2023). *Prevención y control frente a las Heladas*. https://www.canva.com/design/DAFvyjtBz6o/uD5a_WbRra2rzjw-ZPptng/view?utm_content=DAFvyjtBz6o&utm_campaign=designshare&utm_medium=link&utm_source=publishsharelink

Anexo E. Registro de temperatura en diez años de la estación Aeropuerto San Luis.

Temperatura estación Aeropuerto San Luis



Temperatura estación Aeropuerto San Luis



Anexo F. Registro de temperatura en los últimos 10 años de la estación El Común

Temperatura estación El Común



Temperatura estación El Común



Anexo G. Registro de nubosidad en diez años de la estación Aeropuerto San Luis

Nubosidad estación Aeropuerto San Luis



Nubosidad estación Aeropuerto San Luis en 9 años



Anexo H. Registro de nubosidad en un intervalo de cinco a diez en la estación El Común

Nubosidad Estación El Común

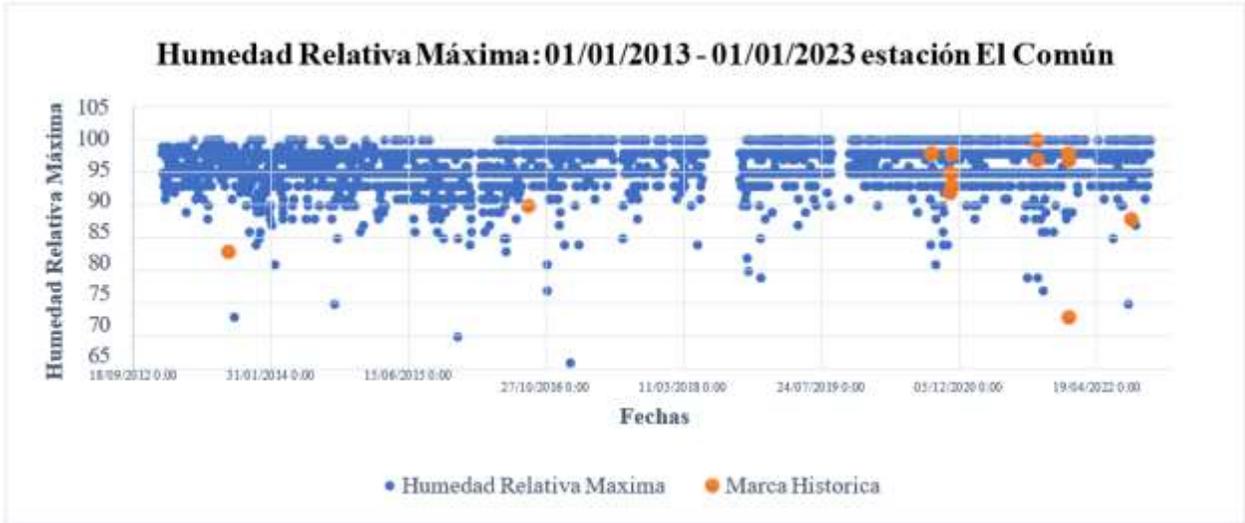


Nubosidad estación El Común



Anexo I. Humedad relativa máxima estación El Común

Humedad relativa máxima estación El Común



Anexo J. Normalización de variables

Temperatura

Datos y cálculos de temperatura mínima de la estación Aeropuerto San Luis

No	Fechas	Temperatura C° Areopuerto	Normalizado
1	23/08/2022	-0,6	-1,170183909
2	9/01/2022	1,6	0,405982173
3	8/01/2022	0,6	-0,310456955
4	7/01/2022	2	0,692557824
5	15/09/2021	0,6	-0,310456955
6	14/09/2021	-0,1	-0,811964345
7	11/11/2020	3	1,408996952
8	10/11/2020	1,2	0,119406521
9	9/11/2020	3	1,408996952
10	5/11/2020	2,6	1,122421301
11	4/11/2020	0	-0,740320432
12	3/11/2020	2,8	1,265709126
13	27/08/2020	2,6	1,122421301
14	26/08/2020	1,5	0,33433826
15	24/08/2016	-0,8	-1,313471735
16	30/08/2013	-0,8	-1,313471735
17	13/09/2009	-0,6	-1,170183909
18	12/09/2008	0	-0,740320432

Análisis estadístico temperatura mínima de la estación Aeropuerto San Luis

<i>Temperatura Areopuerto</i>	
Media	1,03333333
Error típico	0,32899133
Mediana	0,9
Moda	-0,6
Desviación estándar	1,395792
Varianza de la muestra	1,94823529
Curtosis	-1,54623642
Coficiente de asimetría	0,11548038
Rango	3,8
Mínimo	-0,8
Máximo	3
Suma	18,6
Cuenta	18

Nubosidad

Datos y cálculos de Nubosidad de la estación Aeropuerto San Luis.

No	Fechas	Nubosidad Octas Areopuerto	Normalizado
1	23/08/2022	1,66	-0,548862378
2	9/01/2022	1,33	-1,172235711
3	8/01/2022	1	-1,795609043
4	7/01/2022	2,33	0,716774387
5	15/09/2021	2,33	0,716774387
6	14/09/2021	2	0,093401055
7	11/11/2020	2,66	1,340147719
8	10/11/2020	1,66	-0,548862378
9	9/11/2020	2,33	0,716774387
10	5/11/2020	2,66	1,340147719
11	4/11/2020	1,66	-0,548862378
12	3/11/2020	2	0,093401055
13	27/08/2020	3	1,982411153
14	26/08/2020	2	0,093401055
15	24/08/2016	1,66	-0,548862378
16	30/08/2013	2	0,093401055
17	13/09/2009	1,5	-0,851103994
18	12/09/2008	1,33	-1,172235711

Análisis estadístico de Nubosidad de la estación Aeropuerto San Luis

<i>Nubosidad Areopuerto</i>	
Media	1,95055556
Error típico	0,12477554
Mediana	2
Moda	1,66
Desviación estándar	0,52937779
Varianza de la muestra	0,28024085
Curtosis	-0,44835587
Coficiente de asimetría	0,22656557
Rango	2
Mínimo	1
Máximo	3
Suma	35,11
Cuenta	18

Brillo solar

Datos y cálculos de Brillo solar de la estación Aeropuerto San Luis

No	Fechas	Brillo solar W/m ² Areopuerto	Normalizado
1	23/08/2022	9,3	0,506819039
2	9/01/2022	5,6	-0,762133894
3	8/01/2022	9,5	0,57541109
4	7/01/2022	8,4	0,198154812
5	15/09/2021	6,5	-0,453469667
6	14/09/2021	9,3	0,506819039
7	11/11/2020	3,7	-1,413758373
8	10/11/2020	9,1	0,438226989
9	9/11/2020	6,7	-0,384877616
10	5/11/2020	2,3	-1,893902727
11	4/11/2020	9,2	0,472523014
12	3/11/2020	8,6	0,266746863
13	27/08/2020	1,2	-2,271159004
14	26/08/2020	10,7	0,986963393
15	24/08/2016	11,1	1,124147494
16	30/08/2013	10	0,746891216
17	13/09/2009	10,8	1,021259418
18	12/09/2008	8,8	0,335338913

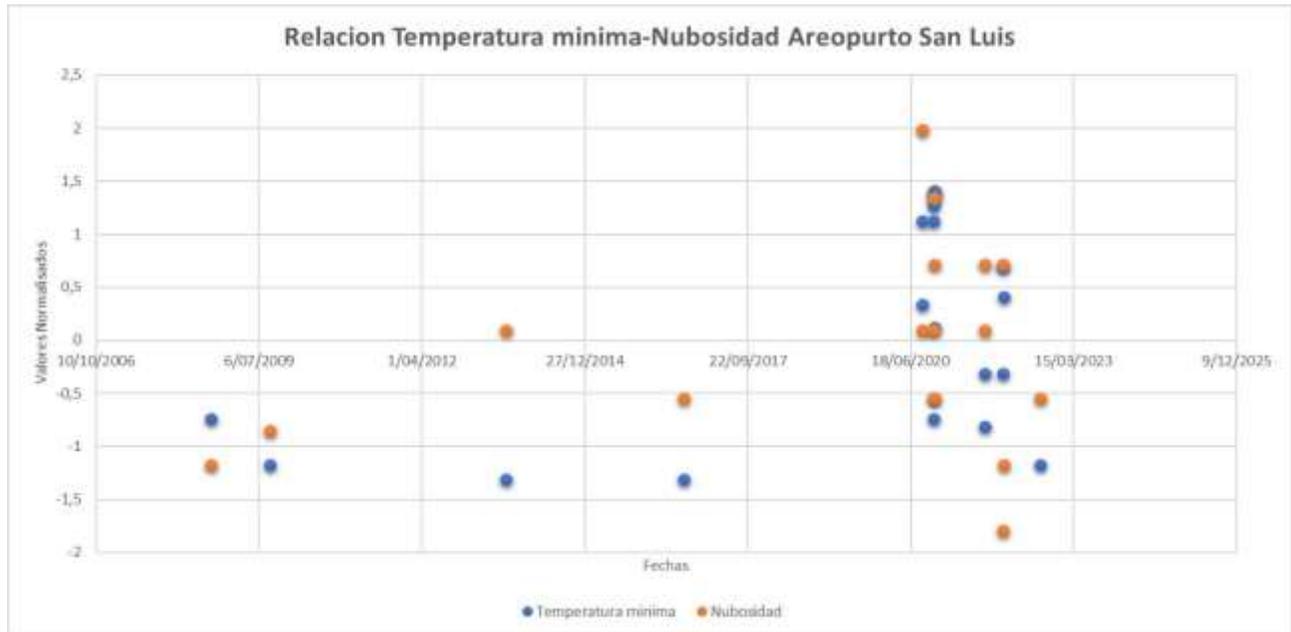
Fuente: esta investigación.

Análisis estadístico de Brillo solar de la estación Aeropuerto San Luis

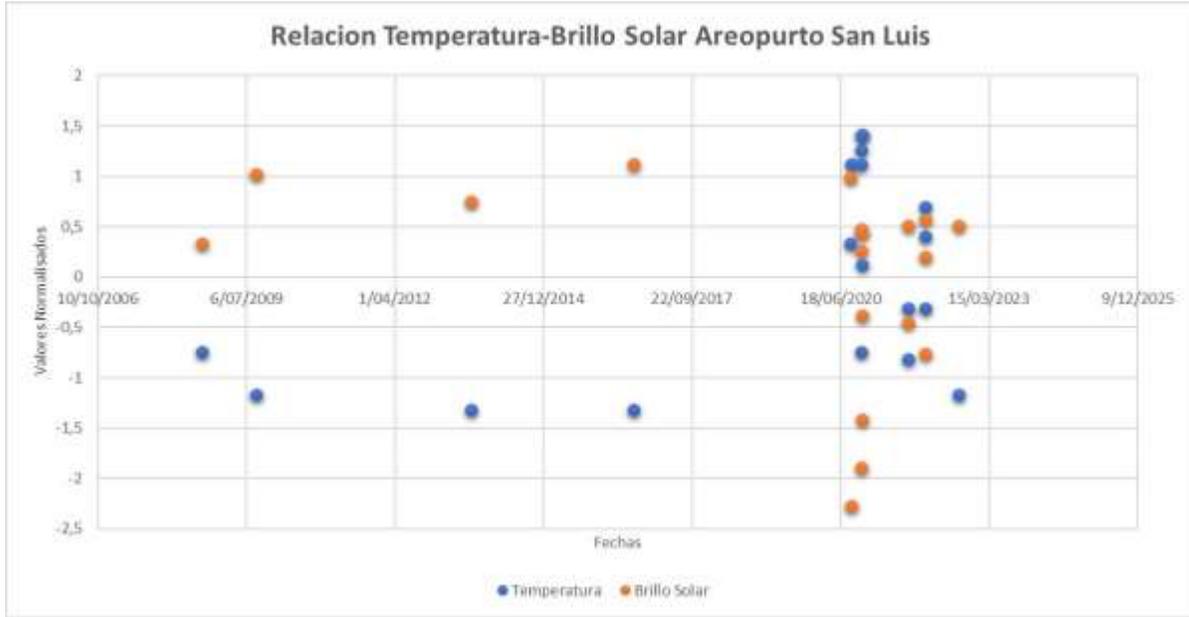
Brillo solar Areopuerto	
Media	7,8222222
Error típico	0,68725824
Mediana	8,95
Moda	9,3
Desviación estándar	2,91578978
Varianza de la muestra	8,50183007
Curtosis	0,42453367
Coefficiente de asimetría	-1,1486928
Rango	9,9
Mínimo	1,2
Máximo	11,1
Suma	140,8
Cuenta	18

Anexo K. Correlación de variables

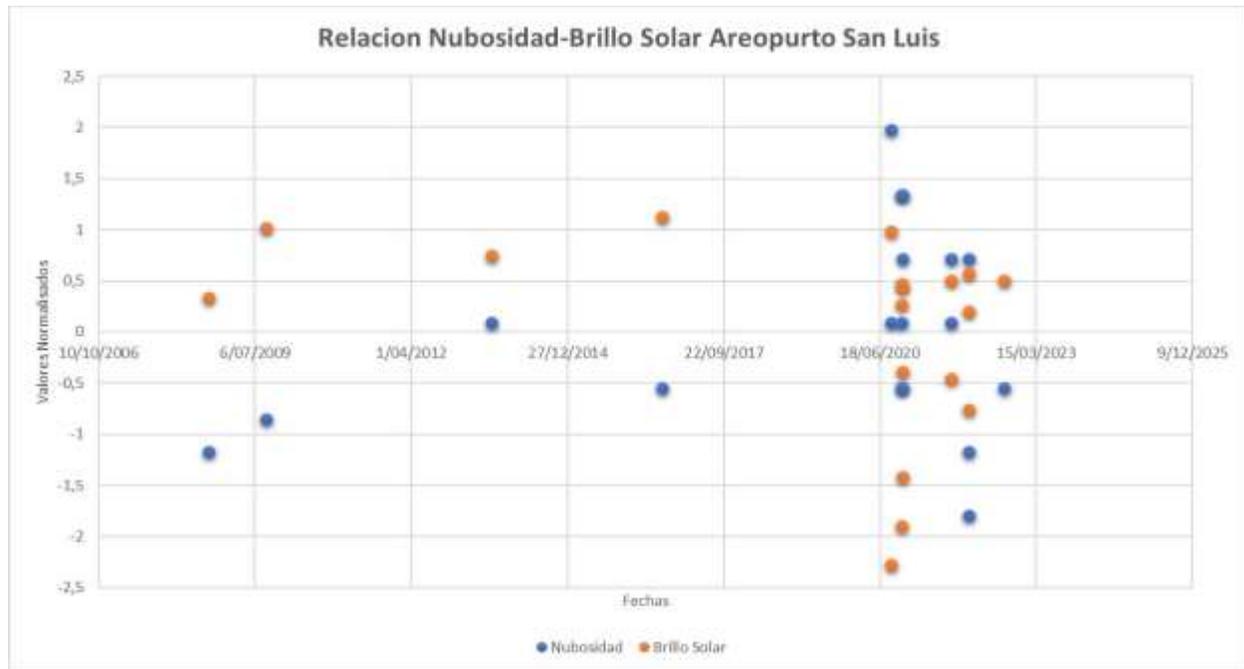
Relación de variables temperatura mínima y nubosidad de la estación Aeropuerto San Luis



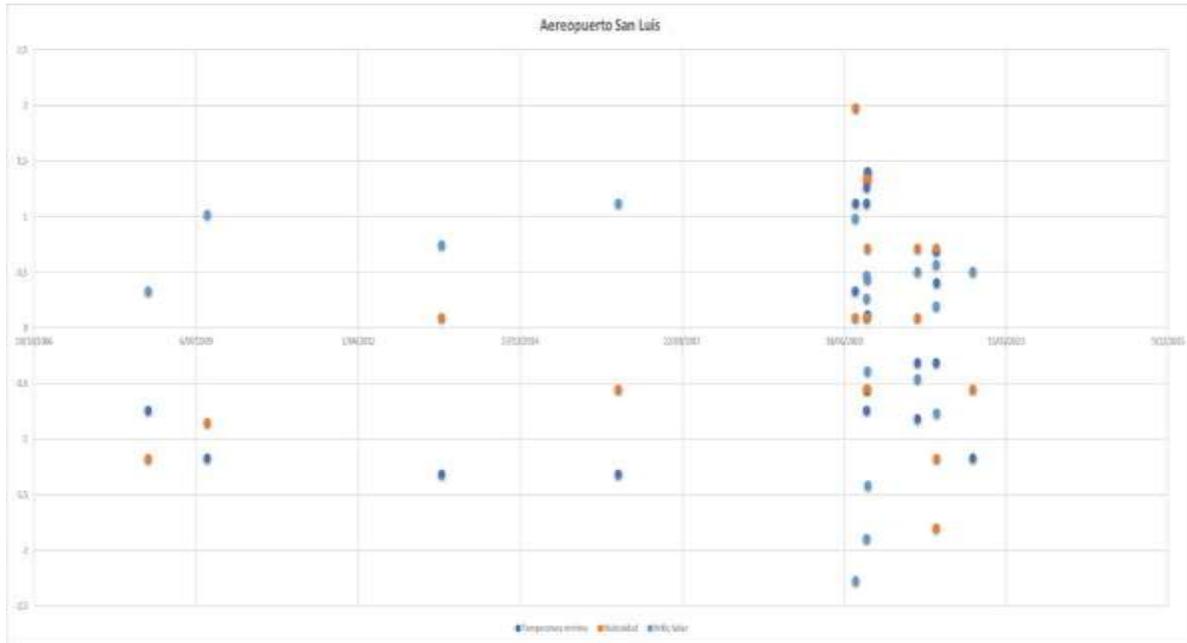
Relación de variables Brillo solar y temperatura mínima de la estación Aeropuerto San Luis



Relación de variables Brillo solar y nubosidad de la estación Aeropuerto San Luis



Relación de Temperatura mínima, Brillo solar y nubosidad de la estación Aeropuerto San Luis.



Se empleó la página web gratuita StatsKingdom, que proporcionó correlaciones precisas utilizando tanto el coeficiente de correlación de Pearson como el de Spearman.

Correlación Pearson de Temperatura mínima, Brillo solar y nubosidad de la estación Aeropuerto San Luis

	<i>Temperatura</i>	<i>Nubosidad</i>	<i>Brillo solar</i>
<i>Temperatura</i>	1		
<i>Nubosidad</i>	0,6177	1	
<i>Brillo solar</i>	-0,7032	-0,7034	1

Correlación Spearman de Temperatura mínima, Brillo solar y nubosidad de la estación Aeropuerto San Luis

	<i>Temperatura</i>	<i>Nubosidad</i>	<i>Brillo solar</i>
<i>Temperatura</i>	1		
<i>Nubosidad</i>	0,5682	1	
<i>Brillo solar</i>	-0,7742	-0,5903	1