



PERÚ

Ministerio  
del Ambiente

Servicio Nacional de  
Meteorología e Hidrología  
del Perú - SENAMHI

Dirección Zonal 3  
Cajamarca

# EFECTOS DE LAS HELADAS EN LA REGION DE CAJAMARCA



**Felipe Huamán Solís**

**Walter Iván Veneros Terán**

**Diciembre, 2018**

## **Presentación**

La abrupta topografía y la acentuada variabilidad climática del Perú, favorecen la ocurrencia de eventos hidroclimáticos extremos limitan la actividad agropecuaria, tales como las heladas, granizadas, sequías, entre otros.

Las heladas tienen un gran impacto en muchas actividades, como ser la agricultura y la ganadería, así como sobre la salud de la población, y en la región Cajamarca, en particular, la economía está fuertemente vinculada a estos sectores de producción y el impacto originado por las heladas es reflejado rápida y directamente en la economía.

El presente estudio tiene como objeto el determinar la relación existente entre los efectos de las heladas y la producción en el agro de la región de Cajamarca a partir del análisis y la evaluación de las heladas meteorológicas y agronómicas.

## **AGRADECIMIENTO**

Nuestro agradecimiento a todas aquellas personas que directa o indirectamente han hecho posible este trabajo, al que brindamos su valiosa colaboración.

Especialmente, a la Sra. Nelly Gonzales Cueva, en la búsqueda de los datos y al Ing. Rubén Omar Ortiz Vásquez por la revisión del texto.

## CONTENIDO

	<b>Página</b>
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	iii
<b>CONTENIDO</b> .....	iv
<b>INDICE DE TABLAS</b> .....	vi
<b>INDICE DE FIGURAS</b> .....	vii
<b>I. INTRODUCCION</b> .....	9
<b>1.1. Problema de Investigación</b> .....	9
<b>1.2. Planteamiento del Problema</b> .....	11
<b>1.3. Antecedentes</b> .....	12
<b>1.4. Justificación</b> .....	22
<b>1.5. Limitaciones</b> .....	22
<b>1.6. Objetivos</b> .....	22
<b>II. MARCO TEORICO</b> .....	23
<b>2.1. CONCEPTO DE HELADAS</b> .....	24
<b>2.2. FACTORES QUE INFLUYEN EN LA FORMACIÓN DE LAS HELADAS</b> .....	25
<b>2.2.1. La temperatura del aire</b> .....	25
<b>2.2.2. La nubosidad</b> .....	27
<b>2.2.3. El viento</b> .....	27
<b>2.2.4. Humedad</b> .....	27
<b>2.2.5. Constitución del suelo</b> .....	27
<b>2.2.6. El relieve del terreno</b> .....	28
<b>2.3. CLASIFICACIÓN DE HELADAS</b> .....	28
<b>2.3.1. Por su génesis</b> .....	28
<b>2.3.2. De acuerdo con la estación del año.</b> .....	31
<b>2.3.3. Por su aspecto visual</b> .....	32
<b>2.4. DAÑOS DE LAS HELADAS EN LAS PLANTAS</b> .....	33
<b>2.4.1. Daños de las heladas en el cultivo de maíz</b> .....	35
<b>2.4.2. Daños de las heladas en el cultivo de papa</b> .....	35
<b>2.4.3. Daños de las heladas en los cultivos de trigo y cebada</b> .....	36
<b>2.4.4. Daños de las heladas en el cultivo de frijol</b> .....	36
<b>2.5. CARACTERISTICAS DE LA AGRICULTURA DE LA REGIÓN DE CAJAMARCA</b> .....	36
<b>III. MARCO METODOLOGICO</b> .....	38
<b>3.1. HIPÓTESIS</b> .....	38

<b>3.2. VARIABLES</b> .....	38
3.2.1. Variable independiente.....	38
3.2.2. Variable dependiente.....	38
<b>3.3. METODOLOGÍA</b> .....	38
3.3.1. Tipo de estudio .....	38
3.3.2. Área de estudio.....	38
<b>3.4. INFORMACIÓN UTILIZADA</b> .....	41
3.4.1. Información Meteorológica.....	41
3.4.2. Información Estadística Agraria.....	42
<b>3.5. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS</b> .....	42
<b>3.6. ANÁLISIS DE DATOS</b> .....	42
3.6.1. Análisis de las heladas en Cajamarca.....	42
3.6.2. Evaluación de los efectos de las heladas en la producción del agro de la región de Cajamarca : cultivos de maíz, papa, trigo y frijol.....	43
3.6.3. Correlación de la temperatura mínima con la producción de los cultivos de maíz, papa, trigo y frijol .....	43
<b>IV. RESULTADOS</b> .....	44
<b>4.1. ANALISIS DE LAS HELADAS EN LA REGION DE CAJAMARCA</b> .....	44
4.1.1. Provincia de Cajamarca.....	44
4.1.2. Provincia de Celendín .....	48
4.1.3. Provincia de Contumazá .....	49
4.1.4. Provincia de Cajabamba.....	50
4.1.5. Provincia de San Marcos.....	51
4.1.6. Provincia de San Miguel .....	52
4.1.7. Provincia de Bambamarca.....	54
4.1.8. Provincia de Cutervo.....	55
4.1.9. Provincia de Chota.....	56
4.1.10. Provincia de Santa Cruz .....	57
<b>4.2. EVALUACIÓN DE LOS EFECTOS DE LAS HELADAS EN LA PRODUCCIÓN DEL AGRO DE LA REGIÓN DE CAJAMARCA: CULTIVOS DE MAÍZ, PAPA, TRIGO Y FRIJOL</b> .....	58
<b>4.3. CORRELACIÓN DE LA TEMPERATURA MÍNIMA CON LA PRODUCCIÓN DE LOS CULTIVOS DE MAÍZ, PAPA, TRIGO Y FRIJOL</b> .....	61
<b>5. CONCLUSIONES</b> .....	67
<b>6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	69
<b>7. ANEXOS: PANEL FOTOGRAFICO</b> .....	71

## INDICE DE TABLAS

Tabla N° 01 Estaciones meteorológicas utilizadas .....	41
Tabla N° 02 Clasificación de las condiciones térmicas de acuerdo a sus anomalías.....	43
Tabla N° 03 Comportamiento de las heladas en el valle de Cajamarca Período enero 1973 – diciembre 2017 .....	44
Tabla N° 04: Comportamiento de las heladas en La Encañada Período enero 2003 – diciembre 2017.....	45
Tabla N° 05 Comportamiento de las heladas en Granja Porcón Período junio 1966 – diciembre 2017.....	46
Tabla N°06. Comportamiento de las heladas en Namora Período diciembre 1987 – diciembre 2017.....	47
Tabla N° 7. Comportamiento de las heladas en Celendín Período enero 1964 – diciembre 2017.	48
Tabla N° 8. Comportamiento de las heladas en Contumazá Período enero 1965 – diciembre 2017 .....	49
Tabla N° 9. Comportamiento de las heladas en Cajabamba Período enero 1964 – diciembre 2017 .....	50
Tabla N° 10. Comportamiento de las heladas en San Marcos Período enero 1966 – diciembre 2017.....	52
Tabla N° 11. Comportamiento de las heladas en Llapa. Período enero 1987 – diciembre 2017....	52
Tabla N° 12. Comportamiento de las heladas en Quilcate. Período enero 1997 – diciembre 2017 .....	53
Tabla N° 13. Comportamiento de las heladas en Bambamarca. Período enero 1964 – diciembre 2017.....	54
Tabla N° 14. Comportamiento de las heladas en Cutervo Período febrero 1964 – diciembre 2017 .....	55
Tabla N° 15. Comportamiento de las heladas meteorológicas en Chota Período abril 1968 – diciembre 2017 .....	56
Tabla N° 16. Comportamiento de las heladas meteorológicas en Santa Cruz. Per. abril 1964 – diciembre 2017 .....	57
Tabla N° 17. Anomalías promedio de temperatura mínima mensual en la región Cajamarca.....	58
Tabla N° 18. Producción en toneladas de los principales cultivos conducidos al secano. ....	59
Tabla N° 19. Variación de la producción en toneladas con respecto al promedio.....	60
Tabla N° 20. Correlación entre la variación porcentual de la producción del maíz choclo y las anomalías de las temperaturas mínimas. ....	62
Tabla N° 21. Correlación entre la variación porcentual de la producción del maíz amiláceo y las anomalías de las temperaturas mínimas. ....	63
Tabla N° 22. Correlación entre la variación porcentual de la producción de la papa y las anomalías de las temperaturas mínimas.....	64
Tabla N° 23. Correlación entre la variación porcentual de la producción del trigo y las anomalías de las temperaturas mínimas.....	64
Tabla N° 24. Correlación entre la variación porcentual de la producción del frijol y las anomalías de las temperaturas mínimas.....	65

## INDICE DE FIGURAS

Figura N° 01 Perfil característico de la temperatura cerca a la superficie durante la ocurrencia de una helada radiativa. (Ahrens, 2005).....	30
Figura N° 02 Área de estudio con la ubicación espacial de las estaciones meteorológicas representativas .....	39
Figura N° 03 Marcha anual decadal de las temperaturas mínimas normales en Cajamarca (1981-2010).....	44
Figura N° 04 Marcha anual decadal de las temperaturas mínimas normales en La Encañada (2003-2010) .....	45
Figura N° 05 Marcha anual decadal de las temperaturas mínimas normales en Granja Porcón (1981-2010).....	46
Figura N° 06 Marcha anual decadal de las temperaturas mínimas normales en Namora (1987-2010) .....	47
Figura N° 07 Marcha anual decadal de las temperaturas mínimas normales en Celendín (1981-2010) .....	48
Figura N° 08 Marcha anual decadal de las temperaturas mínimas normales en Contumazá (1981-2010) .....	49
Figura N° 09 Marcha anual decadal de las temperaturas mínimas normales en Cajabamba (1981-2010) .....	50
Figura N° 10 Marcha anual decadal de las temperaturas mínimas normales en San Marcos (1981-2010).....	51
Figura N° 11 Marcha anual decadal de las temperaturas mínimas normales en Llapa (1987-2016). .....	52
Figura N° 12 Marcha anual decadal de las temperaturas mínimas normales en Quilcate (1981-2010). .....	53
Figura N° 11 Marcha anual decadal de las temperaturas mínimas normales en Bambamarca (1981-2010).....	54
Figura N° 14 Marcha anual decadal de las temperaturas mínimas normales en Cutervo (1981-2010). .....	55
Figura N° 15 Marcha anual decadal de las temperaturas mínimas normales en Chota (1981-2010). .....	56
Figura N° 16 Marcha anual decadal de las temperaturas mínimas normales en Santa Cruz (1981-2010).....	57
Figura N° 17 Variación de la producción de Maíz Choclo vs Anomalía de Temperatura Mínima ...	62
Figura N° 18 Variación de la producción de Maíz Amiláceo vs Anomalía de Temperatura Mínima	63
Figura N° 19 <i>Variación de la</i> producción de Trigo vs Anomalía de Temperatura Mínima .....	65
Figura N° 20 <i>Variación de la</i> producción de Frijol de Grano vs Anomalía de Temperatura Mínima 66	

## Resumen

En los últimos diez años el impacto ocasionado por las bajas temperaturas se ha venido incrementando en nuestro país. Según información publicada por el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SINAGERD), los fenómenos vinculados a las heladas, están causando graves daños a la población, así como a cultivos y animales. Tales efectos tienen relación directa con el mayor número de días en los que se presentan temperaturas extremadamente bajas, para la región Cajamarca, son generadas por irradiación y en menor medida por la invasión de masas de aire de origen antártico y, ocasionalmente, por un exceso de enfriamiento del suelo durante cielos claros y secos. Es por ello que resulta de primordial importancia articular esfuerzos multisectoriales para la identificación y ejecución de medidas sostenibles, así como actividades de preparación que permitan mitigar el impacto ante el fenómeno y mejorar las capacidades de respuesta en caso de una emergencia o desastre, y esta investigación servirá como base para llegar a aunar esfuerzos, mediante el estudio y caracterización de heladas meteorológicas para la región de Cajamarca.

***Palabras claves: helada, variabilidad climática, efectos en el agro.***



## **I. INTRODUCCION**

De los fenómenos extremos que mayor impacto tienen en los Andes peruanos, uno de los que más destaca son las heladas, que consisten en la disminución de la temperatura por debajo de cero grados centígrados. Esto tiene consecuencias perjudiciales para la población, ya sea por la pérdida de cultivos, mortalidad en la ganadería, mayor número de enfermedades respiratorias, etc (IGP, "Diagnóstico de la cuenca del Mantaro bajo la visión de cambio climático", 2005). En la región de Cajamarca, las heladas son consideradas como uno de los eventos extremos, que causan mayor deterioro en la salud de la población, aunado a la pérdida de producción en la agricultura. La ocurrencia de este fenómeno se presenta, especialmente, durante los meses de junio a agosto, asociados a poca cobertura nubosa y aire muy seco.

En esta investigación se analizarán las heladas en base a la información recopilada en las diferentes estaciones de la región Cajamarca, y de trabajos de campo que se realizaron con el fin de obtener datos íntimamente relacionados a los procesos de heladas como la temperatura superficial del suelo.

### **1.1. Problema de Investigación**

El propósito del presente estudio es determinar los efectos que ejercen las heladas en el agro de la región de Cajamarca, especialmente, en la producción de los cultivos de maíz, papa, trigo y frijol.

A consecuencia del cambio climático, la variabilidad climática se ha incrementado, generando nuevas condiciones atmosféricas, relacionadas directamente con la temperatura e indirectamente con la humedad y la precipitación.

La información climática es una de las variables considerada en la toma de decisiones de la gente ligada al agro, ayuda a reducir los impactos de los fenómenos adversos y aporta elementos para la reducción y transferencia del riesgo.

En el caso de las heladas, su uso supone el diagnóstico de las condiciones medias y su variabilidad. La fecha de ocurrencia de las heladas tempranas y tardías, así como su intensidad y ámbito de ocurrencia se toman en cuenta en la programación del calendario agrícola, así como de las propuestas más adecuadas que se decidan para minimizar este fenómeno.

Estadísticas recientes indican que, aproximadamente nueve de cada diez desastres naturales, acaecidos en el mundo están relacionados con el tiempo, el clima o el agua y las manifestaciones de las temperaturas extremas representan el 5%: olas de calor y heladas (OMM, 2006). Más del 80%, de los desastres naturales ocurridos en Sudamérica, en el periodo 1980-2005, están vinculados a factores hidrometeorológicos, estando el 3% asociados a temperaturas extremas (OMM, 2006).

La helada es un fenómeno meteorológico extremo recurrente que afecta negativamente a los seres vivos y el desarrollo de las actividades agrícolas.

El Ministerio del Ambiente del Perú informó que en el 2018, las heladas y los friajes tienen un gran impacto social, ya que afecta a 5,6 millones de peruanos que viven expuestos a estos fenómenos (“El Comercio”, 2018). Según (CENEPRED, 2014) la población con mayor probabilidad de afectación - menores a 5 años y de 60 años a más por enfermedades respiratorias, de los distritos, susceptibles a heladas, en Cajamarca, es de 156,974 habitantes.

Totalizando los daños producidos por las heladas meteorológicas a nivel nacional, en el periodo 1995 al 2017, tenemos 94 328 personas damnificadas, 5 385 762 personas afectadas, 408 muertos, 576 495 hectáreas afectadas y 187 032 hectáreas perdidas (INDECI, 2017). En el mismo periodo, los daños producidos por las heladas, en la región de

Cajamarca son 272 personas damnificadas, 9345 personas afectadas, y 19 603 hectáreas perdidas.

En la región de Cajamarca, las heladas meteorológicas se presentan generalmente en las partes altas de la zona andina y principalmente durante el invierno seco, aunque también suelen presentarse durante la primavera y el verano, siendo estas últimas las más perjudiciales, provocando graves pérdidas en los cultivos agrícolas y la ganadería, debido a que, en esta época del año, se encuentran en plena producción.

Las heladas meteorológicas que ocurren en esta Región del Perú, se caracterizan por ser de radiación, determinada por una gran pérdida de calor del suelo durante la noche, favorecida por el escaso o nulo viento y por un cielo sin nubosidad que provoca un fuerte enfriamiento de ese mismo suelo y de las capas de aire en contacto con él. Esa pérdida de calor es mayor cuando las noches son más largas y el contenido de humedad del aire es menor.

Generalmente se presentan durante las madrugadas o en las primeras horas de la mañana y no tienen mucha duración, debido a que con los primeros rayos del sol, la temperatura del aire asciende significativamente. Su ocurrencia es más frecuente e intensa en aquellas zonas que están sobre los 2800 m, sin embargo, también se han presentado, aunque con menor frecuencia e intensidad, en zonas más bajas, como valles andinos con altitudes mayores a los 2200 m.

## **1.2. Planteamiento del Problema**

### **1.2.1. Problema General**

¿Qué relación existe entre los efectos de las heladas y la producción del agro de la región de Cajamarca?

### **1.2.2. Problemas específicos**

- ¿Cómo son las heladas en Cajamarca?

- ¿Cuáles son los efectos en la producción del agro de la región de Cajamarca?
- ¿Cómo se correlacionan la temperatura mínima con la producción de los cultivos de maíz, papa, trigo y frijol?

### 1.3. Antecedentes

Las heladas y sus efectos en el agro, han sido bastante estudiadas en otras latitudes, pero en Cajamarca no se ha realizado ningún estudio, más aún con el enfoque de relacionar las heladas con la producción.

A continuación presentamos conclusiones y descripciones de algunos estudios y trabajos nacionales e internacionales:

- En el trabajo de (CENEPRED, 2014) se logró identificar la probabilidad de impactos sociales y económicos en los ámbitos geofiguras ante la ocurrencia de los descensos de la temperatura, en zonas susceptibles a heladas meteorológicas y friajes; para la priorización y formulación de las acciones de intervención, así como el seguimiento y evaluación de las mismas, por parte de las autoridades competentes en sus tres niveles de gobierno.
- En el trabajo de (Matías, Fuentes, & García, 2001) en el fascículo de “Heladas” concluye que: en México, el fenómeno de la helada se presenta con mayor intensidad durante los meses fríos del año. Sus impactos se dejan sentir principalmente en la población infantil y senil, así como en algunos cultivos. Para disminuir sus afectaciones se realizan campañas de protección en la población durante la temporada invernal y con ello se disminuyen los daños que provoca. La mayoría de ellos, se deben al desconocimiento de sus consecuencias y a la utilización inadecuada de los calentadores dentro de las viviendas, porque carecen de una ventilación suficiente, además, los indigentes no acuden a los albergues, con el fin de protegerse de los cambios bruscos de temperatura. En la República Mexicana cerca de 15 millones de habitantes son afectados por las heladas; para impulsar la prevención contra las heladas, es necesario considerar dos aspectos: la vulnerabilidad de la población ante el

fenómeno y el grado de peligrosidad de éste. En especial reduciendo la vulnerabilidad de la población se reducirían los daños de manera significativa, sobre todo la pérdida de la vida y la integridad.

- En el trabajo de (Carbonell, 2016), comprende la caracterización de heladas meteorológicas y agronómicas y su impacto en los cultivos de Alfalfa (*Medicago Sativa L.*), Avena (*Avena Sativa L.*) y Cebada Forrajera (*Hordeum Vulgare L.*) para la región Puno, en el cual se ha realizado un análisis físico-estadístico de la información obtenida a partir de observaciones diarias de las temperaturas mínimas, máximas y precipitación pluvial. Usó una red de 18 estaciones durante un periodo de 17 años (1996/2013). Mediante el cual puso en evidencia la existencia de tres grupos o clusters de estaciones meteorológicas para la región y los resultados de la caracterización de heladas indican que los pastos cultivados puestos en estudio se encuentran expuestos durante gran parte del año a las heladas tanto meteorológicas como agronómicas, lo cual repercute sobre la producción de biomasa y materia seca, quedando demostrado la estrecha relación lineal significativa que existe entre la variable temperatura y el rendimiento.

- En (Sanabria, 2012) busca calibrar y validar 03 modelos de pronósticos de heladas, dos modelos mecanicistas (Cellier y Lhomme) y validó un modelo empírico. El modelo Cellier que pronostica temperatura del aire a diferentes niveles, fue calibrado y validado para altura de 10 cm (Bias  $-0.6$  y RMSE  $1,8^{\circ}\text{C}$ ) en la localidad Santa Ana, ajustando los parámetros de la capacidad calorífica (C) a  $3,3 \text{ Jm}^{-3}\text{K}^{-1}$ , la conductividad térmica (kT) a  $1,2 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ , y la radiación neta estimada con la fórmula de Swinbank. El modelo Lhomme, que pronostica la temperatura del cultivo, no se aprobó su uso, pero se ajustó la constante  $\mu$  de la radiación atmosférica a 1,31, para el valle, similar al propuesto por Sridhar y Elliot (2002). El modelo empírico determinado a través de ecuaciones de regresión lineal múltiple, pronostica temperaturas mínimas a nivel de caseta meteorológica para el inicio (B=  $0,0^{\circ}\text{C}$ , RMSE=  $1,9^{\circ}\text{C}$ ) y final de la campaña agrícola (B=  $0,0^{\circ}\text{C}$  a  $-1,1^{\circ}\text{C}$ , RMSE=  $1,9^{\circ}\text{C}$  a  $2,3^{\circ}\text{C}$ ), muestra mejor

correlación al final de la campaña agrícola ( $R^2$  : 0,5 a 0,6) que para el inicio ( $R^2$  : 0,3 a 0,4); este modelo se validó para las localidades de Huayao, Jauja y para Santa Ana al final de campaña agrícola. En conclusión se pueden usar los modelos Cellier para pronosticar temperaturas mínimas a nivel de 10 cm de altura en la localidad de Santa Ana y el modelo empírico para pronosticar la temperatura mínima a nivel de la caseta, durante la temporada de inicio y final de la campaña agrícola, en las tres localidades.

- En (Bagdonas, 1978), se discuten las técnicas de predicción de temperaturas mínimas y / o la ocurrencia de heladas utilizadas en varios países. Las técnicas empíricas, teóricas, semi-teóricas y subjetivas ordinarias empleadas actualmente se describen y evalúan. Además, una breve revisión histórica describe la evolución de las fórmulas de predicción de heladas en los últimos 90 años.

- En (Léoni, 2016) menciona que ciertas condiciones ambientales, las heladas pueden formarse y desarrollarse en la superficie del evaporador del sistema de refrigeración por aire. Cuando la temperatura de la superficie está por debajo del punto de rocío y por encima del punto triple del agua, las gotas de líquido se condensarán en la superficie. Si el punto de rocío se mantiene positivo y la temperatura de la superficie se reduce por debajo del punto triple, las gotas de líquido comienzan a congelarse. La escarcha también puede aparecer por la desublimación: el vapor de agua cambia directamente a la escarcha. La desublimación ocurre cuando la temperatura de la superficie y el punto de rocío están por debajo del punto triple del agua. La capa de escarcha actúa como (i) un aislante térmico entre el aire húmedo y la superficie fría y (ii) reduce significativamente el área de flujo de aire entre las aletas del evaporador, lo que aumenta la caída de presión del aire. En consecuencia, se reduce el rendimiento energético del sistema. Se necesita una operación de descongelación para recuperar el rendimiento regular. Esta operación consume energía y reduce el coeficiente de rendimiento.

- (Martínez, Ibacache, & Rojas, 2007) en el boletín “Las heladas en la agricultura” definen los mecanismos de transferencia de energía: conducción, radiación, calor latente, convección y advección. Además del punto de rocío y los tipos de heladas.

Luego desarrollan el efecto de las heladas sobre la producción de especies frutales, teniendo en cuenta factores como: especie y variedad, edad de las plantas, estado fenológico y ubicación del huerto. También la incidencia de las heladas en especies frutales: papayas, chirimoyas, paltos, olivos, cítricos y vides. Posteriormente se describen el efecto de las heladas sobre los cultivos anuales y hortalizas en Chile, y los métodos de control de heladas: pasivos, activos, uso de ventiladores y uso de aspersores.

Por último, identifican las prácticas agronómicas que se deben realizar, posteriores al daño por heladas.

- (Snyder, Paulo de Melo, & Matulich, 2010) en la publicación: “Protección contra heladas: fundamentos, practica y economía”, revisan los factores físicos, químicos y biológicos involucrados en el daño por heladas a las plantas agrícolas y hortícolas, y presentan los métodos más utilizados de protección contra las heladas. Además, la publicación proporciona las herramientas de análisis por ordenador para ayudar a los agricultores a diseñar y gestionar los métodos de protección contra heladas, investigar el riesgo de las temperaturas de congelación y para analizar los aspectos económicos en relación al riesgo, para poder decidir sobre los costes y beneficios de los diferentes métodos de protección.

Esta es la primera publicación FAO específicamente escrita sobre protección contra heladas, que amplía enormemente los contenidos, sintetiza y simplifica información técnica compleja de la literatura para proporcionar directrices claras para reducir las pérdidas ocasionadas por el daño por helada – pérdidas que pueden ser económicamente devastadoras para los agricultores y sus comunidades locales.

Debaten sobre las condiciones meteorológicas típicas durante las heladas, y proporciona las herramientas de ordenador para predecir las temperaturas mínimas y la tendencia de las temperaturas durante las noches de heladas de radiación. Además presenta información sobre cómo los factores ambientales (condiciones del suelo, presencia de nubes, niebla cubiertas vegetales, etc.) afectan al balance de energía y cómo estos factores afectan a la tendencia de las temperaturas.

Por otro lado, debate sobre qué ocurre a los tejidos de las plantas cuando se producen las temperaturas de congelación, y presenta información sobre la sensibilidad de las plantas al dalo por heladas. Se presentan los factores biológicos que influyen en la congelación (incluyendo el estadio de crecimiento, el contenido de solutos de las células y las bacterias formadoras de núcleos de hielo), y se discuten los métodos de gestión que se pueden utilizar para manipular estos factores (elección de porta injertos y variedades, aplicación de agua, fertilidad del suelo, control de bacterias, etc).

Además, discuten a fondo sobre los principales métodos de protección pasiva contra heladas (no laboreo, humedecimiento de suelos secos, eliminación de las cubiertas del suelo, etc.) para proporcionar a los agricultores los métodos de protección contra heladas más eficaces en costes. Se presenta una discusión de los métodos de protección activos (estufas de combustible líquido y sólido, riego por superficie, aspersores y ventiladores) para indicar como trabajan los métodos y cómo hay que gestionarlos, de forma aislada o combinada, para una protección óptima.

En el volumen 2 se presenta una discusión rigurosa de los riesgos y la economía de los distintos métodos de protección, junto a los programas de ordenador necesarios para simplificar los cálculos. El texto y los programas Excel que lo acompañan deberían ayudar a los agricultores y a los consultores a tomar decisiones acertadas frente a las diferentes alternativas de métodos de protección en base a la



eficacia en los coste, dependiente de los riesgos locales de las heladas y otros factores.

- El (IGP, "Eventos meteorológicos extremos (sequías, heladas y lluvias intensas) en el valle del Mantaro", 2012) en el libro sobre "Eventos meteorológicos extremos (sequías, heladas y lluvias intensas) en el valle del Mantaro", señalan que las heladas suelen ser frecuentes en la cuenca y valle del Mantaro, presentándose por lo general entre mediados y fines de abril, con los valores más bajos y la mayor ocurrencia durante el invierno, sobre todo en junio y julio.

Las heladas de intensidades menores o iguales a 0°C., se distribuyen en el valle del Mantaro principalmente de abril a setiembre, entre 2 y 16 días en promedio por mes, con el valor más alto en julio. El 95% de heladas de esta intensidad se presenta en los meses fríos y secos entre mayo y agosto y el 5% restante entre setiembre y abril, durante la temporada cálida y húmeda.

Las heladas de intensidades menores o iguales a 5°C. pueden ocurrir en todo el año, con valores menores a 10 días, entre diciembre y marzo, que representan en promedio, entre el 3 y 5% del total de heladas en el año.

Asimismo, estas autoras manifiestan que el SENAMHI (1989), realizó un análisis de información meteorológica del valle del Mantaro de los años 1984 – 1987, con temperaturas menores o iguales a 0°C. y a 0.5 m. del suelo, concluyendo que el 83% de las heladas que suelen darse en el valle del Mantaro son fundamentalmente radiativas y el resto del tipo advectivo.

También, analizaron el caso de heladas meteorológicas menor o igual a 0°C., de la estación de Huayao, para el periodo de setiembre a abril, sumando 46 eventos entre enero 1990 a diciembre 2007, de los cuales sólo se halló información por horas para 38 eventos, determinándose así: 44,7% de los casos con 2 ó 3 horas, 42% con una sola hora, 8% de los casos con 4 horas seguidas y solo 5% con 5 horas de duración. Además se observó que las heladas,

generalmente, se presentan entre las 4 y 6 am. Aunque existen casos excepcionales en los cuales se registran aproximadamente a partir de las 2 am. y terminan entre las 6 y 7 am.

Habiéndose calculado la distribución mensual (en porcentaje) de las diferentes intensidades de las heladas se tienen como resultado que las heladas agronómicas ligeras, con temperaturas mínimas con un rango mayor a 3 °C. y menor o igual a 6 °C. , se registran en mayor proporción entre setiembre y diciembre, además de abril con un valor alrededor del 11%. Las heladas suaves, con temperaturas mínimas con un rango mayor a 0 °C. y menor o igual a 3 °C, se observan particularmente en mayo (18%) y después entre agosto y setiembre (alrededor del 14%). Las heladas moderadas con temperaturas mínimas con un rango, mayor a -3 °C. y menor o igual a 0 °C, se presentan entre mayo y agosto, con un máximo en julio (30%) y las severas; con temperaturas mínimas con un rango superior a -6 °C y menor o igual a -3°C., ocurren, en mayor porcentaje entre junio y agosto, con un máximo en julio (47% del total por año).

En cuanto a la distribución espacial de las heladas, los autores recuerdan que el SENAMHI (1989) preparó mapas para todo el valle del Mantaro, donde se observa que la zona norte es la de mayor enfriamiento en todo el valle, durante eventos de heladas radiativas y por el contrario se nota una relativa calidez en la zona sur y suroeste, asociando esta característica, principalmente, a la diferencia de altitud de la zona norte respecto al sur, recordando por ejemplo que la ciudad de Jauja se encuentra a una altitud de 3400 metros, mientras que diques está a una altitud de 3100 metros.

En otras investigaciones, sobre la distribución espacial de las heladas (Transmonte, 2009) el interés se centró en obtener información detallada a nivel de poblados y adyacentes, sobre la distribución espacial de las heladas, pero reconociendo el vasto conocimiento de los pobladores sobre las características de su ambiente, específicamente sobre las distribuciones térmicas en casos de heladas. Se trabajó con dos poblados de diferente característica

socio-económica, culturales y ambientales, Quilcas (3.330 msnm.) zona más rural, agreste y con mayor altura con agricultura básicamente de secano (solo por lluvias), y Concepción (3.283 msnm.), zona semirural, de piso de valle, mayormente agrícola, con un sistema de riego parcialmente regulado y con gran acceso al resto del valle.

En general, en ambos lugares la mayoría coincidió (similarmenete a lo obtenido por el SENAMHI), que las zonas más frías se caracterizan por ubicarse en las porciones bajas de las pendientes o cerros, zonas altas (por encima de 3.600 msnm) y “peladas” (rocosa y/o sin vegetación), aéreas planas extensas con poca o sin cobertura arbórea y zonas cerca al río (Mantaro); mientras que las zonas más cálidas se ubican principalmente en las laderas libres de los cerros y en zonas con alta vegetación arbórea y/o rodeada de cercos “vivos” de árboles o arbustos.

- (Alarcón & Trebejo, 2010), en el “Atlas de Heladas del Perú”, establecen como objetivo general la caracterización climática del régimen de heladas meteorológicas y agronómicas a nivel nacional.

Para el cumplimiento de este objetivo evalúan la distribución espacial y temporal de las heladas en el país, determinan los aspectos climáticos relevantes a la ocurrencia de la primera y última helada , y periodo libre de heladas para las temperaturas de -6, -3, 0, 3 y 6 °C. , la frecuencia de heladas a nivel mensual como anual y las correspondientes intensidades de toda la serie histórica utilizando herramientas estadísticas adecuadas para el análisis climático de la ocurrencia de este tipo de evento meteorológico.

Los autores afirman que el “Atlas de heladas” constituye una herramienta que permitirá a los planificadores de la actividad agropecuaria tomar las decisiones más adecuadas respecto al emplazamiento y la relación de especies vegetales a sembrar, de conformidad a su periodo vegetativo y su tolerancia o resistencia a las heladas; asimismo se podrá contar con información apropiada para

atenuar el impacto de las heladas en la actividad ganadera de los pobladores altoandinos. El documento es de gran aplicabilidad en la orientación de extensionistas, ganaderos, fruticultores y organismos gubernamentales y privados.

- (Fernández-Long & Barnatán, 2015) en el artículo científico sobre “Información agroclimática de las heladas en la Argentina: generación y uso”, presentaron y analizaron diferentes abordajes en el cálculo de las fechas medias de las primeras y últimas heladas. Además se generó una base de datos con información agroclimática de heladas para dos umbrales (0 °C. y 3 °C. ) en 124 estaciones meteorológicas distribuidas en todo el territorio de la República Argentina que se pudo disponible en un sitio web (<http://www.agro.uba.ar/heladas/>).

Asimismo, se presentan las fechas que poseen un 20% de probabilidad de ocurrencia de heladas, por ser este un nivel de riesgo aceptable en una producción agropecuaria rentable de cultivos anuales.

El análisis de los métodos utilizados, pone de manifiesto importantes diferencias de los resultados, principalmente, cuando se realiza en las localidades ubicadas en climas más cálidos en los que no todos los años se presentan heladas. En estos casos es fundamental aclarar la metodología utilizada para que el análisis de los resultados no lleve a decisiones incorrectas. Es de suma importancia recordar que las fechas de primera y últimas heladas suelen condicionar los calendarios agrícolas y determinar en muchos casos la elección en las fechas de siembra de muchos de los cultivos de grano que se realizan en nuestro país. Es por esto que la probabilidad de ocurrencia de las primeras y últimas heladas debe ser calculada para toda la serie de años y no sólo para los años en que ocurrió el evento.

Por último, el análisis espacial de los resultados pone de manifiesto la gran influencia de los principales factores determinantes del clima en la distribución espacial de las isóneas, generando una gran

variabilidad en los resultados, con periodos de heladas meteorológicas que van desde los 300 días en Tierra del Fuego a cero días en el norte de la Argentina.

Tampoco hay áreas suficientemente extensas en las cuales el periodo medio libre de heladas agrometeorológicas permita la explotación, sin riesgos, de especies que no resisten los 3 °C. en abrigo.

- (Caminada Vallejo, 2015) en su artículo “El eterno retorno de las heladas en el Perú. ¿Existen adecuadas políticas para combatir dicho fenómeno en el Perú”, entre sus conclusiones señalan las siguientes :

Las heladas en la zonas alto andinas hacen aún más dura la vida de sus pobladores por obvias razones ya expuestas, pero entre otras porque la tecnología útil para la vida cotidiana no llega. Las viviendas son demasiado básicas y no cuentan con tecnologías para hacerlas térmicas. Además las personas viven muy aisladas las unas de las otras, es decir el Estado, no solo debe luchar contra la inclemencia del clima, sino con el desempeño de funciones descentralizadas que permitan un progreso en el desempeño de vida de la población peruana ubicada en estas zonas geográficas, acaecidas por los males de los fenómenos naturales, y social-económicos de la pobreza y pobreza extrema.

Debido a la altitud y la climatología, los modos de vida de los habitantes alto andinos (alpaqueros y agricultores de subsistencia), son altamente vulnerables y están poco diversificados en cuanto a las fuentes disponibles de ingresos.

Debido a la escasez, se incrementan los precios de los productos alimenticios, dando lugar a una peor alimentación. Las consecuencias de estos eventos se manifiestan en los meses siguientes y de manera progresiva afectando a comunidades que en gran parte no informan sus pérdidas debido a sus niveles de pobreza. La emergencia no es provocada por un fenómeno espectacular, aislado y concreto, sino por la concatenación de eventos climáticos más agudos de lo normal y

con ocurrencia atemporal con relación a calendarios de producción y cosecha tradicionales. El deterioro de los modos de vida de los más vulnerables pueden degenerar hasta el punto de provocar situaciones de pobreza extrema y falta de alimentación adecuada.

#### **1.4. Justificación**

Este estudio va a complementar conocimientos existentes en otros países, pero que en Cajamarca no se han realizado, relacionando las heladas y sus efectos en la producción de los principales cultivos de esta Región. Es necesario que los investigadores planificadores y agricultores dispongan de datos y del conocimiento necesario para enfrentarse a los problemas de la producción agraria, provocadas por las variaciones meteorológicas y climáticas.

#### **1.5. Limitaciones**

Solo se han considerado cultivos de mayor horizonte de siembra como el maíz, papa, trigo y frijol.

#### **1.6. Objetivos**

##### **1.6.1. Objetivo General**

- Determinar la relación existente entre los efectos de las heladas y la producción en el agro de la región de Cajamarca.

##### **1.6.2. Objetivos Específicos**

- Analizar las heladas en la región de Cajamarca.
- Evaluar los efectos de las heladas, en la producción del agro de la región de Cajamarca: cultivos de maíz, papa, trigo y frijol.
- Correlacionar la temperatura mínima con la producción de los cultivos de maíz, papa, trigo y frijol.

## II. MARCO TEORICO

Tanto las heladas como el daño que provocan son esencialmente fenómenos de carácter físico. Para comprender como se produce una helada revisaremos someramente los procesos de transferencia de calor, que son los siguientes: convección, transmisión, radiación y cambio de estado.

La **convección** se puede visualizar si imaginamos lo que sucede cuando se calienta agua en un recipiente. La llama calienta el fondo del recipiente y este el agua que se encuentra sobre él. Al calentarse el agua disminuye su densidad y suben burbujas de agua caliente hacia la superficie, calentando el agua de más arriba. Por este proceso toda el agua del recipiente se calienta.

Lo mismo sucede con el aire sobre el suelo caliente, en el día se produce una temperatura alta a nivel del suelo; luego el aire cercano a él se calienta y asciende por diferencia de densidad. A la inversa si el suelo está frío, en la noche, no hay movimiento del aire hacia arriba y la temperatura será baja a nivel del suelo.

La convección es importante en el caso de las heladas. Además, el aire frío (que es más pesado que el aire cálido) tiende a acumularse en las depresiones del terreno y se escurre a lo largo de las pendientes.

La **transmisión** es el movimiento de calor que se produce al interior de una barra de metal, si a éste se le calienta por una prenda podemos sentir que, después de un rato, se sentirá caliente en el otro extremo. En el suelo se produce movimiento de calor por esta vía.

La radiación es la emisión y transferencia de energía en forma de ondas electromagnéticas o partículas; al mismo tiempo la propia energía se denomina energía radiante. El flujo de radiación, a través de una superficie, es la energía que atraviesa la unidad de superficie en la unidad de tiempo. Un concepto fundamental es el de cuerpo negro que

absorbe toda la radiación recibida y emite, a cualquier temperatura, la máxima cantidad de energía radiante.

La transmisión de calor por radiación es importantísima en el fenómeno de las heladas por ser el proceso dominante y el más rápido.

El calor, al igual que la luz, puede transmitirse por ondas (radiación electromagnética) llamadas infrarrojas o de onda larga, que nosotros no vemos; pero que podemos sentir. Por ejemplo, cuando acercamos las manos a un objeto caliente sin tocarlo.

Todo cuerpo a una temperatura superior al cero absoluto (-273 °C) pierde energía por radiación debido al movimiento de sus moléculas. A la temperatura del cero absoluto las sustancias ya no tienen energía cinética que ceder.

La superficie del suelo se enfría en la noche, pues pierde su calor por radiación, el aire sobre él se enfría y ello contribuye a la producción de una helada.

El **cambio de estado** se da, cuando el agua pasa del estado sólido a líquido o gaseoso, absorbiendo al cambiar de lugar se puede generar el proceso inverso, es decir, pasar de gaseoso a líquido o a sólido, liberando el calor absorbido. Por ejemplo un gramo de hielo debe absorber 80 calorías para transformarse en agua líquida y un gramo de agua, 600 calorías para formar vapor de agua. A la inversa, un gramo de vapor de agua libera 600 calorías para transformarse en agua líquida y éste 80 calorías para formar hielo.

## **2.1. CONCEPTO DE HELADAS**

Desde el punto de vista estrictamente meteorológico, se considera que se ha producido, una helada cuando, el termómetro de mínima, instalado en el interior de una caseta meteorológica a 1.5 metros de altura, marca una temperatura igual o inferior a cero grados Celsius.



Por otra parte, teniendo en cuenta el criterio agrometeorológico, se considera que se produce una helada, cuando la temperatura ha disminuido lo suficiente, al punto tal de producir daños en los órganos de los vegetales.

Hay plantas que resisten temperaturas muy bajas; otras, en cambio, sucumben en pocos minutos en cuanto el termómetro desciende unas décimas por debajo de cero. Incluso no es preciso que la temperatura se encuentre bajo cero: con temperaturas de más de 2°C, por encima de cero se *chamuscan* los botones, hojas y flores al evaporarse el agua de la escarcha a la salida del Sol. En algunos casos la savia de los árboles que fluye por sus vasos leñosos, los rompe al congelarse, pues el agua, al convertirse en hielo, aumenta de volumen y hace estallar las membranas celulares.

En otros casos, con temperaturas de escarcha la transpiración del agua desprendida por la planta se convierte en hielo y, a su vez, la absorción que la compensa de esa pérdida se ve dificultada, porque el enfriamiento del suelo se produce más rápidamente que el de la savia vegetal, y éste, a su vez, más rápido que el del aire exterior. Ello implica que en el interior del vegetal se produce un desequilibrio entre los procesos de transpiración y absorción, el agua que sale de la célula vegetal no es repuesta y va quedando solidificada en los espacios interiores y en el exterior de las ramas. Con este proceso la planta puede quedar prácticamente seca y marchita.

## **2.2.FACTORES QUE INFLUYEN EN LA FORMACIÓN DE LAS HELADAS**

### **2.2.1. La temperatura del aire**

La radiación es la principal fuente de calor para los vegetales, las producciones térmicas de los tejidos solo intervienen muy débilmente a causa de la irradiación intensa de la superficie de la planta expuesta al aire, la cual asegura su equilibrio térmico con el ambiente.

La transpiración representa, un mecanismo importante desde el punto de vista de la disposición del exceso de energía calorífica.

La temperatura del aire va decreciendo a medida que nos elevamos. Por la noche, el suelo irradia intensamente hacia la atmósfera y enfría las capas de aire próximas a él (entre unos 5 y 20 metros, especialmente) haciendo que la temperatura de este estrato acuse un descenso muy marcado, mientras que por encima de él los valores térmicos son mayores que junto al suelo. A este salto de temperatura en las proximidades del suelo se le llama *inversión* térmica de irradiación y desempeña un papel básico en las heladas actuando como una barrera que evita el intercambio con las capas de aire superiores. Debajo de esta inversión queda estancado aire muy frío y transparente.

Cuando la temperatura desciende por debajo de cero los vegetales responden a este enfriamiento de modo muy desigual, dependiendo su resistencia a factores externos, principalmente, de la humedad del aire e internos, vinculados al estado de desarrollo de las plantas.

La temperatura del suelo interesa sobre todo a las raíces y a su velocidad de absorción. Una misma planta de maíz sembrada, en octubre o en diciembre se desarrolla en condiciones térmicas diferentes de tal manera que afectan a la estructura de sus paredes celulares y, a causa de ello, se modifica la resistencia de la planta a los parásitos de la base del tallo.

En la altitud, siendo la radiación solar más intensa, aumenta la diferencia que se observa al mediodía entre la temperatura de la superficie del suelo y la de las capas de aire próximas a uno y otro lado, de la obtenida a 2 metros, en un aire relativamente frío. Esta es una de las características del clima de montaña.

En los climas tropicales, la temperatura de la superficie del suelo desnudo es muy superior a la del aire, la resistencia a las temperaturas altas es menor en las raíces que en los órganos

aéreos; por ello la repoblación forestal por siembra resulta a veces dificultosa.

### **2.2.2. La nubosidad**

La nubosidad es otro factor de tener en cuenta, pues las nubes vienen a comportarse como pantallas de la atmósfera, amortiguando las variaciones extremas de la temperatura: por el día interceptan la insolación (lo que disminuye las temperaturas máximas), por la noche se oponen al enfriamiento del suelo por irradiación (con lo que se atenúan las temperaturas mínimas). Por lo tanto, la irradiación del suelo es mayor cuando el cielo está despejado, existiendo entonces mayor peligro de helada.

### **2.2.3. El viento**

El viento es otro factor de interés. De noche, las capas inferiores de la atmósfera son las más frías, y un viento moderado que las mezcle entre sí, haciendo descender las superiores más templadas y elevando las inferiores, más frías, trae consigo una defensa contra la helada.

### **2.2.4. Humedad**

El grado de humedad del ambiente es también muy importante, al bajar la temperatura, se produce la condensación (proceso que implica una liberación de calor). Por ello a veces, un riego oportuno por aspersión o inundación puede atenuar los daños de una helada. Es curioso que la helada y la niebla respondan a los mismos fenómenos característicos: irradiación del suelo, que enfría el ambiente, y viento encalmado; la niebla se forma en aire húmedo y la helada con aire seco.

### **2.2.5. Constitución del suelo**

La constitución del terreno tiene cierta influencia para la helada; los suelos sueltos y pedregosos resultan más fáciles conductores del calor y tienen, por tanto, variaciones de temperatura mayores, enfriándose más rápidamente y favoreciendo la helada.

### **2.2.6. El relieve del terreno**

La topografía del terreno es más decisiva aún, las temperaturas más bajas se registran en las cumbres de las montañas o en el fondo de los valles, siendo las tierras de media ladera más templadas. El aire frío desciende por las vertientes, estancándose en el fondo el valle. Si este aire encuentra un seto o un muro, se forma allí un área de aire frío, e inmediatamente debajo, los cultivos estarán mal defendidos por eso, se debe evitar el fondo de las hondonadas, que son puntos de acumulación del aire frío.

## **2.3. CLASIFICACIÓN DE HELADAS**

Las heladas se pueden agrupar desde los puntos de origen climatológico, época de ocurrencia y aspecto visual (Matías, Fuentes, & García, 2001).

### **2.3.1. Por su génesis**

#### **a) Heladas por Advección**

Recibe el nombre de advección el transporte, en sentido horizontal, del frío o del calor por medio de los vientos y de las masas del aire.

Se originan cuando una masa de aire muy frío invade una región. Sus efectos en la agricultura son catastróficos, pues a las bajas temperaturas se superpone el efecto del viento, que llega muy frío y seco, disminuyendo el calor a los tallos y plantas. Estas masas de aire sumergen a la región en una ola de frío, que mata brotes y ramas, las cuales toman un aspecto negro al marchitarse, como si se hubiesen quemado, de ahí el nombre de “heladas negras” con que popularmente se las conoce.

## **b) Heladas por Irradiación**

La superficie terrestre se calienta durante el día por la acción de los rayos solares. Por la noche la tierra irradia el calor recibido durante el día, y la superficie terrestre se enfría, junto con la capa de aire que está en contacto con el suelo.

Como consecuencia del enfriamiento producido por la irradiación terrestre, el vapor del agua se condensa sobre la superficie terrestre y se forman gotas de rocío. Si el enfriamiento es muy intenso, el vapor del agua pasa directamente al estado de hielo, formándose la escarcha, que se deposita en forma de escamas sobre la superficie terrestre y los objetos situados en ella como edificios, hierbas y árboles, entre otros.

Estas heladas son conocidas por los agricultores como heladas blancas, ya que a veces van acompañadas de escarchas.

Las heladas de irradiación están vinculadas a los siguientes factores

- Inversión de temperatura próxima al suelo, con una capa de aire muy frío a ras de tierra,
- Aire seco, frío, diáfano y transparente, con muy buena visibilidad
- Viento encalmado
- Poca humedad en el ambiente, con diferencias del orden de 3°C a 8°C, entre las temperaturas del termómetro seco y húmedo).

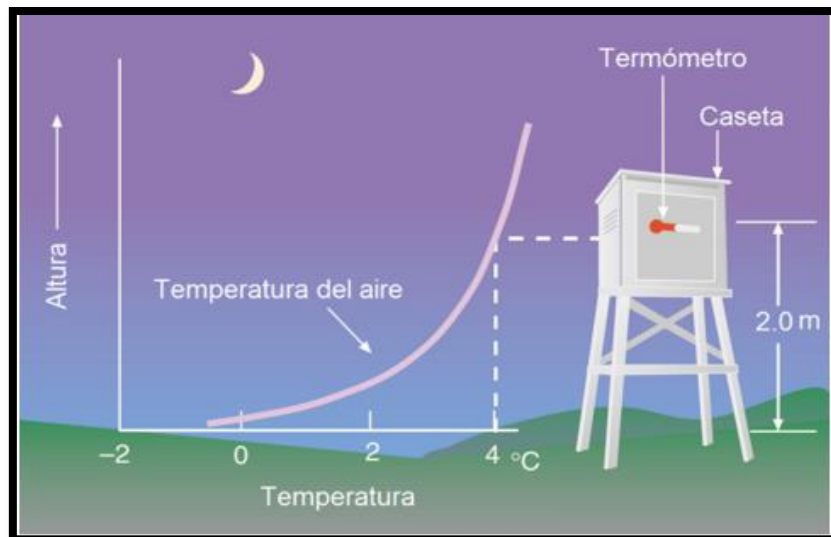


Figura N° 01 Perfil característico de la temperatura cerca a la superficie durante la ocurrencia de una helada radiativa. (Ahrens, 2005)

Durante las noches claras o cuando el cielo está libre de la presencia de nubes, la superficie terrestre recibe menos energía de la atmósfera de la que recibiría si el cielo presentara presencia de nubes. Esto hace que la temperatura de la superficie descienda aún más, de manera que se incrementa la probabilidad de la presencia de un evento de helada. Los vientos muy débiles también son favorables para la generación de un evento de helada ya que favorecen la no mezcla del aire adyacente a la superficie (más frío) con el aire por encima de este nivel (más cálido).

### c) Heladas de evaporación

La evaporación del agua es un fenómeno físico que produce absorción de calor, que el líquido toma de sí mismo y de los cuerpos que le rodean.

Cuando el agua que recubre las plantas se evapora con mucha rapidez, la temperatura de estas desciende notablemente. Si la temperatura de algunos órganos de los vegetales desciende hasta valores negativos se producen los efectos propios de la helada.

Se pueden producir heladas de este tipo, después de una precipitación originada por el paso de un frente frío. En estos casos, al descender la humedad relativa del aire se evapora

con rapidez la película de agua que recubren las platas. La intensidad de la helada, cuando llega a producirse, depende de la temperatura del aire y de la cantidad de agua que se evapora. Si existen corrientes de aire aumenta la posibilidad de evaporación y, por tanto, el riesgo de que se produzca la helada.

La evaporación rápida de la escarcha a la salida del Sol, ocasiona, con mucha frecuencia, este tipo de heladas.

### **2.3.2. De acuerdo con la estación del año.**

Se tienen tres clases de heladas:

#### **a. Heladas primaverales**

Este tipo de helada afecta principalmente a los cultivos de ciclo anual como el maíz, cuando se encuentran en la etapa de brotación de ramas o con pocos días de crecimiento. Se presentan cuando en el ambiente se genera un descenso de temperatura.

#### **b. Heladas otoñales**

También llamadas heladas tempranas, son perjudiciales para los cultivos porque pueden interrumpir bruscamente el proceso de formación de botones de las flores y la maduración de frutos. A estas heladas se les atribuye la reducción de la producción agrícola de una región. Se forman por la llegada de las primeras masas de aire frío de origen polar sobre el país durante los meses de marzo y abril.

#### **c. Heladas Invernales**

Se forman durante el invierno si la temperatura ambiente disminuye notablemente. Estas heladas afectan principalmente a los árboles perennes con frutos y especies forestales, especialmente cuando encuentran un periodo de reposo, lapso en el que las plantas disponen de mayores posibilidades de soportar bajas temperaturas.

### **2.3.3. Por su aspecto visual**

Atendiendo a la apariencia de los cultivos expuestos a las bajas temperaturas del aire se tienen dos tipos de heladas: la blanca y la negra. El contenido de humedad en las masas de aire determina estos tipos de heladas.

#### **a. Helada negra**

Ocurre cuando una atmosfera tiene baja concentración de vapor de agua y una pérdida radiativa intensa, causando un enfriamiento acentuado de la vegetación, llegando a la temperatura letal. La baja humedad del aire, no permite la condensación ni la formación de hielo en la superficie de la planta. Los cultivos son dañados y al día siguiente las plantas presentan una coloración negruzca, por la congelación de la savia o del agua de sus tejidos.

Este tipo de helada causa daños más severos, pues una baja humedad del aire permite la ocurrencia de temperaturas bastante menores.

#### **b. Helada blanca**

Ocurre cuando un intenso enfriamiento nocturno produce condensación de vapor de agua y su congelamiento sobre las plantas, con una cobertura blanca constituida por partículas de hielo de apariencia cristalina.

Una helada blanca es menos severa, debido a que la concentración de vapor de agua en la atmósfera, adyacente a la superficie, es mayor a la formación de una helada negra, ya que, cuando se tiene mayor humedad en el aire, primero ocurre una condensación con liberación de calor latente que ayuda a reducir la caída de la temperatura.



## 2.4. DAÑOS DE LAS HELADAS EN LAS PLANTAS

Inicialmente se pensó que el daño de las heladas a las plantas era producido por un aumento de la concentración de las sustancias al interior de las células debido a pérdidas de agua, posteriormente, se estableció que éste era producido por la formación de hielo en el interior de las células, que crece como agujas y perfora las membranas celulares. Cuando se produce una helada, el efecto en la planta es en el ámbito celular; se congela el agua intercelular provocando, entre otros daños su deshidratación (plasmólisis) o la ruptura de la célula. Con posterioridad, como consecuencia de ese daño, se produce una fuerte deshidratación que provoca la muerte de las células, y por lo tanto, de los órganos vegetativos o de reproducción que la componen. Los brotes jóvenes primaverales y las flores son los más sensibles por su alto contenido en agua.

El hielo puede ocasionar heridas en la planta por las cuáles suelen ingresar agentes patógenos. Se pueden también destruir las yemas y las flores, impidiendo que se transformen en frutos. En el caso de una helada tardía (primavera), se dañan los frutos en formación y los que sobreviven resultan con malformaciones. Martínez et al., (2007), refiere que “El daño por bajas temperaturas puede ocurrir en todas las plantas, pero los mecanismos y tipos de daños varían considerablemente. Algunas especies de origen tropical experimentan daño fisiológico cuando son sometidas a temperaturas inferiores a 12 °C en este caso, con temperaturas sobre 0 °C. el daño es conocido como “enfriamiento”. El daño por congelamiento se produce en las plantas debido a la formación de hielo. Las especies y variedades exhiben diferentes grados de daño para una misma temperatura y estado fenológico, y su adaptación a temperaturas frías se conoce como resistencia y/o tolerancia. Durante periodos de tiempo frío las plantas tienden a resistir el daño por congelamiento y ellas pierden la resistencia luego de un periodo de temperaturas cálidas. Lo más probable es que la resistencia esté relacionada con un incremento en el contenido de solutos en los tejidos de las plantas”.

“En periodos de clima cálido las plantas crecen activamente, lo cual reduce la concentración de solutos y como consecuencia las plantas son menos resistentes.

El daño por heladas ocurre cuando se forma hielo en el interior de los tejidos y destruye las células de las plantas. El daño directo es debido a los cristales de hielo que se forman en el protoplasma de las células (congelamiento extracelular), mientras que el daño indirecto ocurre cuando el hielo se forma en el espacio extracelular (congelamiento intracelular). En ambos casos el daño celular puede afectar a la planta completa o parte de ella, lo cual reduce el rendimiento y/o la calidad del producto”.

“La evidencia establece que las células son destruidas gradualmente como resultado del crecimiento de la masa de hielo extracelular. Considerando que la presión de saturación de vapor es más baja sobre el hielo que sobre el agua líquida, el agua en el interior de las células pasar-a, en forma de vapor, a través de las membranas celulares semipermeables y se depositará sobre los cristales de hielo presentes fuera de las células. En plantas dañadas los cristales de hielo extracelulares son mucho más grandes que las células muertas que los rodean, las cuales han colapsado debido a la deshidratación. Por lo tanto la principal causa del daño por heladas en las plantas es la formación de cristales de hielo extracelulares que provocan un estrés hídrico severo a las células que los rodean”.

(Snyder, Paulo de Melo, & Matulich, 2010) mencionan que los daños por bajas temperaturas (frío y congelación) pueden ocurrir en las plantas anuales (cultivos para ensilado o forrajes de gramíneas y leguminosas; cereales; cultivos para aceite o de raíces; hortícolas; y cultivos ornamentales) multi-anuales y perennes (árboles frutales caducifolios y de hoja perenne). Los daños por heladas tienen un efecto drástico para la planta entera o pueden afectar únicamente a una pequeña parte del tejido de la planta, lo cual reduce el rendimiento o deprecia la calidad del producto.

Lo que realmente daña las plantas no son las temperaturas frías sino la formación de hielo (Westwood, 1978). Se cree que la formación de

hielo intracelular causa una “ruptura mecánica de la estructura protoplásmica” (Levitt, 1980). La extensión del daño debido a la congelación intracelular depende principalmente de la rapidez del enfriamiento y la intensidad del enfriamiento antes de congelarse.

#### **2.4.1. Daños de las heladas en el cultivo de maíz**

Dentro de las 24 horas tras la helada, las plantas de maíz toman una coloración más oscura, especialmente las hojas, debido a la destrucción de las membranas celulares y a la liberación de su contenido. Las hojas dañadas se secan y toman una coloración marrón y un aspecto de hojas hervidas. Las plantas jóvenes son menos susceptibles a los daños por heladas porque el punto de crecimiento está debajo del suelo y protegido de las temperaturas bajo cero. Las plantas más desarrolladas tienen más hojas expuestas e incluso pueden tener el punto de crecimiento por encima de la superficie del suelo si sobrepasan el estado de 6 hojas totalmente desplegadas (plantas de unos 30 cm). Cuando las hojas que se hielan ya son de gran tamaño, se suele formar un “cogollo” muy apretado que dificulta la emergencia de nuevas hojas. Otro factor que determina el potencial de recuperación de la planta tras la helada es su estado sanitario justo antes de la misma. Si las plantas ya estaban bajo estrés por bajas temperaturas, por daños de herbicidas, por exceso de humedad en el suelo o por alguna enfermedad, las posibilidades de recuperación son claramente inferiores. De igual forma, si las condiciones tras la helada no son adecuadas, la recuperación puede ser muy lenta (Carter & Wiersma, 2000).

#### **2.4.2. Daños de las heladas en el cultivo de papa**

Los daños por congelación pueden que no sean evidentes externamente, pero se muestran manchas grisáceas o gris-azuláceas debajo de la piel. Los tubérculos descongelados se vuelven blandos (Snyder, Paulo de Melo, & Matulich, 2010).

#### **2.4.3. Daños de las heladas en los cultivos de trigo y cebada**

Los daños por heladas se producen antes que el grano se endure, durante la floración y el crecimiento inicial del grano de los cereales, el daño por helada reduce el número de granos por espiga. El resultado visual es la formación de unas bandas más delgadas y descoloridas en las espigas por cada evento de helada, las aristas se rizan, y cómo el peso del grano es menor, las espigas se mantienen verticales cerca de la madurez. El tercio superior de la espiga se adelgaza y las aristas están rizadas; y más tarde las espigas permanecen verticales ya que el peso del grano es pequeño (Snyder, Paulo de Melo, & Matulich, 2010).

#### **2.4.4. Daños de las heladas en el cultivo de frijol**

Las heladas producen daños en el frijol principalmente en las hojas, estos daños se manifiestan en forma de áreas acuosas oscuras, luego si las bajas temperaturas se prolongan producen plantas marchitas o plantas raquílicas (Schwartz & Gálvez, 1980).

Las heladas en el frijol pueden producir: muerte de plántulas recién germinadas, quemaduras de follaje, aborto floral cuando el cultivo está en floración, muerte total o parcial de la planta y de los frutos, además de retraso en el crecimiento (Martínez, Ibacache, & Rojas, 2007).

### **2.5. CARACTERÍSTICAS DE LA AGRICULTURA DE LA REGIÓN DE CAJAMARCA**

El departamento de Cajamarca, ubicada en la sierra norte del Perú, tiene un extensión de 33 317,54 Km<sup>2</sup>, de los cuales 14 092,9 Km<sup>2</sup>, o sea el 42,3%, están dedicados a la actividad agropecuaria, lo que representa el 3,6% de la superficie agropecuaria del país. De esta extensión, el 37,1% es la superficie agrícola que son 522 665,2 ha, la cual está constituido por el área con cultivos, tierras en barbecho, tierras en descanso

y tierras agrícolas no trabajadas; y el 69,2% es la superficie no agrícola que son 886 626,5 ha, la cual está formada por los pastos naturales, bosques y otros usos.

Considerando que cada unidad agropecuaria está a cargo de un productor agropecuario, en la región de Cajamarca existen 339 379 unidades agropecuarias, de las cuales el 99,8%, o sea 339 427 productores agropecuarios son personas naturales, que controlan el 70,5%, es decir 993 829,6 ha de la superficie agropecuaria. Asimismo, el 76,3% de los productores agropecuarios poseen unidades menores a 3 ha, y solamente el 82,3% (271 359 productores) son propietarios del íntegro de sus unidades agropecuarias, los demás son arrendatarios.

El área de cultivos bajo riego alcanza 79 381,7 ha, es decir el 15,2% de la superficie agrícola tota, de ellas 69426,3 ha son con riego por gravedad y 6 721,5 ha riegan por aspersión. La cuenca Crisnejas es la más representativa de las unidades agropecuarias bajo riego, con 30 984 productores y 6 692 unidades agropecuarias, le sigue la cuenca del Jequetepeque con 15 442 productores.

Los cultivos transitorios ocupan el 47,6% del área con cultivos, que representan 146 436,2 ha, y emplean directamente a 187 346 productores agropecuarios, de los cuales la papa ocupa a 89 250 productores con 37 685,2 ha (27,5% de la superficie con cultivos transitorios) y el maíz ocupa a 49 984 productores con 23 873,5 ha (16,3% de la superficie con cultivos transitorios). Por lo que la papa y el maíz amiláceo son los sembríos transitorios con mayor capacidad de ocupar superficie y generar empleo.

El 72% de la población departamental, es decir 1 090 276 personas, es la población vinculada al agro, es decir, es la población cuyo sustento principal está vinculada a la actividad agropecuaria (INEI, 2014)

### **III. MARCO METODOLOGICO**

#### **3.1. HIPÓTESIS**

Existe una relación negativa entre la ocurrencia de heladas y la disminución de la producción en el agro de la región de Cajamarca.

#### **3.2. VARIABLES**

##### **3.2.1. Variable independiente**

- Heladas

##### **3.2.2. Variable dependiente**

- Producción en el agro

#### **3.3. METODOLOGÍA**

##### **3.3.1. Tipo de estudio**

El estudio tiene un enfoque clásico cuantitativo, por el tiempo de ocurrencia de los hechos y registro de la información es retrospectivo, por el período y secuencia del estudio es transversal y de acuerdo al alcance de la investigación es correlacional.

##### **3.3.2. Área de estudio**

El área de estudio comprende el departamento de Cajamarca y sus trece provincias

El departamento de Cajamarca tiene una superficie de 33 317.54 km<sup>2</sup> y se localiza al norte del Perú, entre las latitudes 4° 30' y 7° 30' sur y las longitudes 77° 47' y 79° 20' oeste.

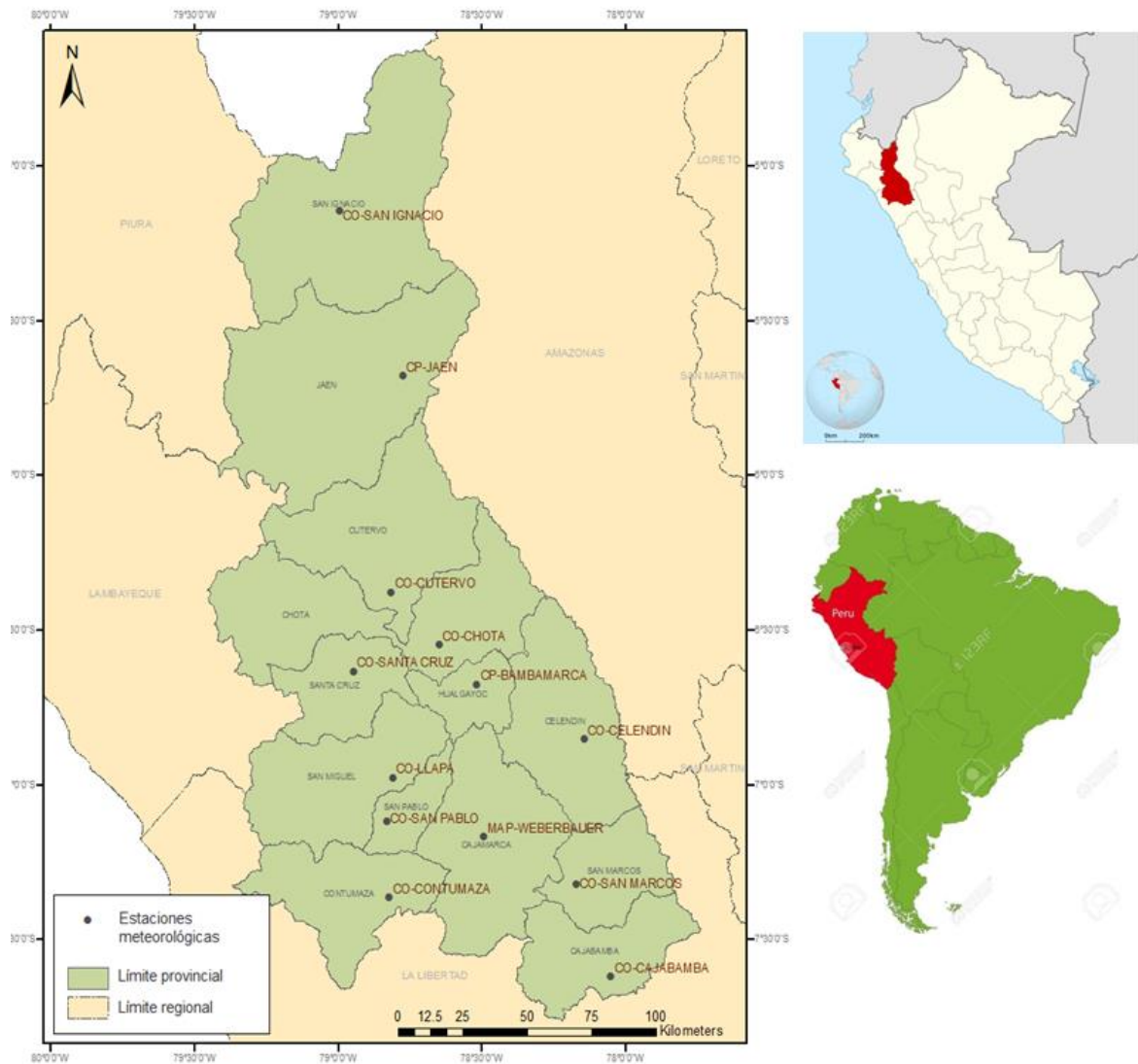


Figura N° 02 Área de estudio con la ubicación espacial de las estaciones meteorológicas representativas

La mayor parte de su territorio se encuentra en la región de la sierra y dentro de los Andes de Norte que tiene una altura promedio de 3800 metros.

Limita por el norte con la nación del Ecuador, por el este con los departamentos de Amazonas y La Libertad, por el sur otra vez con La Libertad y por el este con los departamentos de Lambayeque y Piura. Está dividido en 13 provincias: Cajamarca, Cajabamba, Celendín, Chota, Contumazá, Cutervo, Hualgayoc, Jaén, San Ignacio. San Marcos, San Miguel, San Pablo y Santa Cruz.

Sus valles interandinos se encuentran entre las cordilleras occidental y central. Están surcados por numerosos ríos, los que señalamos a continuación:

- Río Marañón, este río junto al Ucayali forma el río Amazonas, considerado el más caudaloso de la Tierra. Nace en la cordillera de Raura (Cardcch-Huánuco) se desplaza de sur a norte y sirve de límite de Ancash con Huánuco, cruza la Libertad y al llegar a Cajamarca limita naturalmente con Amazonas, con dirección noroeste y al recibir las aguas del río Chamaya, vira al noreste hacia el departamento de Amazonas.
- Río Chinchipe, afluente del río Marañón, su cuenca abarca el noreste de Cajamarca entre las provincias de San Ignacio y Jaén.
- Río Chamaya, afluente del río Marañón, su cuenca abarca casi toda la provincia de Jaén.
- Río Huancabamba, sirve como límite entre la provincia de Jaén y el departamento de Piura
- Río Llaucano, afluente del río Marañón, su cuenca abarca las provincias de Cajamarca, Hualgayoc, Chota y Cutervo.
- Río La Leche, las nacientes de este río se ubican en la cordillera occidental, al oeste de la provincia de Chota.
- Río Zaña, las nacientes de este río se ubican en las partes altas de las provincias de Santa Cruz y San Miguel.
- Río Jequetepeque, nace con el nombre de Magdalena en la provincia de Cajamarca, luego toma el nombre de Chilete en la provincia de Contumazá y posteriormente recibe el nombre de Jequetepeque.
- Río Crisnejas, afluente del río Marañón, su cuenca abarca las provincias de Cajamarca, San Marcos y Cajabamba.
- Río Chicama, las nacientes de este río se ubican en las alturas de la provincia de Contumazá.



### 3.4. INFORMACIÓN UTILIZADA

#### 3.4.1. Información Meteorológica

Para determinar las zonas con ocurrencia de heladas meteorológica, se utilizaron las normales de la temperatura mínima y los datos de temperatura mínima absoluta de las estaciones climatológicas de la región Cajamarca, información obtenida de las normales decadales de temperatura elaboradas por el SENAMHI y el MINAGRI durante el año 2013, la cual se basa en un análisis de datos meteorológicos del periodo histórico: 1981 – 2010.

Para determinar las intensidades y las frecuencias de las heladas meteorológicas, se utilizaron las temperaturas mínimas diarias y las temperaturas absolutas registradas en 15 estaciones meteorológicas, donde se presentan heladas agronómicas y meteorológicas, todas ubicadas sobre los 2 200 m.s.n.m. y con un periodo de observación mayor a 30 años (tabla 1)

Los datos de temperatura mínima de la estación CP-San Pablo no han sido considerados en este estudio, debido a que en esta estación ubicada a 2190 m. de altitud, no se registran heladas meteorológicas, porque la estación se ubica en la ladera media, donde el aire frío no se detiene, por este motivo la temperatura mínima absoluta desde 1996 hasta el 2017 fue de 8,4 °C el 17 de octubre del 2011.

Es necesario indicar que todas las temperaturas utilizadas en este análisis se han registrado en caseta meteorológica a 1.50 metros del nivel del suelo.

Tabla N° 01 Estaciones meteorológicas utilizadas

ESTACIÓN	PROVINCIA	DSITRITO	SISTEMA HIDROLOGICO	CUENCA	LONGITU D OESTE	LATITUD SUR	ALTITUD (msnm)
AUGUSTO WEBERBAUER	CAJAMARCA	CAJAMARCA	ATLANTICO	CRISNEJAS	78° 29' 35"	7° 10' 03"	2536
LA ENCAÑADA	CAJAMARCA	LA ENCAÑADA	ATLANTICO	CRISNEJAS	78° 19' 58"	7° 07' 23"	2862
GRANJA PORCÓN	CAJAMARCA	CAJAMARCA	PACIFICO	JEQUETEPE QUE	78° 38' 00"	7° 02' 15"	2980
JESUS	CAJAMARCA	JESUS	ATLANTICO	CRISNEJAS	78° 23' 18"	7° 14' 44"	2495
NAMORA	CAJAMARCA	NAMORA	ATLANTICO	CRISNEJAS	78° 19' 40"	7° 12' 02"	2670
CAJABAMBA	CAJABAMBA	CAJAMBABA	ATLANTICO	CRISNEJAS	78° 03' 04"	7° 37' 18"	2480
LLAPA	SAN MIGUEL	LLAPA	PACIFICO	JEQUETEPE QUE	78° 48' 40"	6° 58' 42"	2770
QUILCATE	SAN MIGUEL	CATILLUC	PACIFICO	CHANÇAY	78° 44' 38"	6° 49' 22"	2930
CELENDIN	CELENDIN	CELENDIN	ATLANTICO	MARAÑON	78° 08' 42"	6° 51' 11"	2470
SAN MARCOS	SAN MARCOS	PEDRO GALVEZ	ATLANTICO	CRISNEJAS	78° 10' 21"	7° 19' 21"	2190

CONTUMAZA	CANTUMAZA	CONTUMAZA	PACIFICO	JEQUETEPE QUE	78° 49' 22"	7° 21' 55"	2440
BAMBAMARCA	HUALGAYOC	BAMBAMARCA	ATLANTICO	LLAUCANO	78° 31' 06"	6° 40' 35"	2536
CUTERVO	CUTERVO	CUTERVO	ATLANTICO	LLAUCANO	78° 48' 56"	6° 22' 42"	2653
CHOTA	CHOTA	CHOTA	ATLANTICO	CHAMAYA	78° 38' 55"	6° 32' 50"	2486
SANTA CRUZ	SANTA CRUZ	SANTA CRUZ	PACIFICO	LA LECHE	78° 56' 51"	6° 37' 59"	2026

### 3.4.2. Información Estadística Agraria

Para determinar los daños en el agro, se recolectaron de la Dirección Agraria, dependiente del Gobierno Regional de Cajamarca, datos estadísticos de producción anual en toneladas métricas, de los cultivos de papa, maíz, choclo, maíz amiláceo, cebada, frijol y trigo, desde el año 2000 al 2016.

### 3.5. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Los datos de temperatura mínima se han obtenido del Banco de Datos del SENAMHI. Estos datos son recolectados de una red de estaciones distribuidas en la región.

Los datos de temperatura mínima se observan todos los días desde los termómetros de mínima, que tiene un elemento sensible de alcohol, instalados a una altura de 1.50 metros, al interior de una caseta meteorológica.

Los datos agronómicos se recolectaron de la Dirección Agraria, dependiente del Gobierno Regional de Cajamarca.

Posteriormente se establecieron los mecanismos de control de calidad y confiabilidad de la información.

### 3.6. ANÁLISIS DE DATOS

Se procesaron y analizaron los datos, de acuerdo a las variables de estudio y según los objetivos.

#### 3.6.1. Análisis de las heladas en Cajamarca.

Para terminar las heladas meteorológicas se consideraron las temperaturas mínimas menores o iguales a 0°C, sin embargo para decidir la ocurrencia de las heladas agronómicas se tuvo que establecer la diferencia entre la temperatura mínima, medida al interior de caseta meteorológica a 1.50 del suelo y la temperatura mínima medida a 10 cm. del suelo, resultando un valor promedio anual de 4°C, con extremos de 3°C en marzo y de 5.2 °C en julio y agosto (estación

Augusto Weberbauer, serie 1981-2010). Igualmente, para establecer el periodo de ocurrencia de las heladas meteorológicas y agronómicas se han utilizado las temperaturas mínimas normales.

La frecuencia de las heladas meteorológicas se obtuvo totalizando el número anual de días con heladas durante la serie considerada de 1981-2010 y luego se procedió a obtener su promedio.

### **3.6.2. Evaluación de los efectos de las heladas en la producción del agro de la región de Cajamarca : cultivos de maíz, papa, trigo y frijol.**

Para determinar los daños en el agro, se consideró la producción anual de los años con anomalías de temperaturas mínimas promedios mensuales iguales o inferiores a  $-3.0\text{ }^{\circ}\text{C}$  durante los meses correspondientes a la campaña agrícola, es decir de noviembre hasta abril, desde el año 2000 hasta el año 2017. Tomando en cuenta que la Dirección de Agrometeorología de SENAMHI, utiliza la siguiente clasificación de las condiciones térmicas mensuales en función de sus anomalías.

Tabla N° 02 Clasificación de las condiciones térmicas de acuerdo a sus anomalías

<b>CLASIFICACION</b>	<b>RANGO DE ANOMALÍAS (<math>^{\circ}\text{C}</math>)</b>
Cálido	$>+3,0$
Ligeramente cálido	$+1,0$ a $+3,0$
Normal o habitual	$-1,0$ a $+1,0$
Ligeramente frío	$-3,0$ a $-1,0$
Frío	$<-3,0$

### **3.6.3. Correlación de la temperatura mínima con la producción de los cultivos de maíz, papa, trigo y frijol**

Uno de los principales fines de la ciencia es apreciar los valores de un factor, en función de los valores de otro factor asociado. Cuando la relación es de naturaleza cuantitativa, el medio estadístico adecuado para descubrir, medir la relación y expresarla en una fórmula breve que se conoce como correlación.

En este caso se correlacionó la producción del maíz, papa, trigo y frijol con las anomalías de la temperatura mínima, a fin de determinar el grado de asociación o afinidad entre estas variables.

## IV. RESULTADOS

### 4.1. ANALISIS DE LAS HELADAS EN LA REGION DE CAJAMARCA

#### 4.1.1. Provincia de Cajamarca

##### Estación MAP. Augusto Weberbauer.

En la figura N°03, se observa que en la estación MAP. Augusto Weberbauer, ubicada en el valle de Cajamarca, a 2 536 m.s.n.m., la ocurrencia de heladas agronómicas normalmente se produce desde junio hasta agosto. Asimismo, el registro histórico indica que han ocurrido heladas meteorológicas desde mayo hasta diciembre.

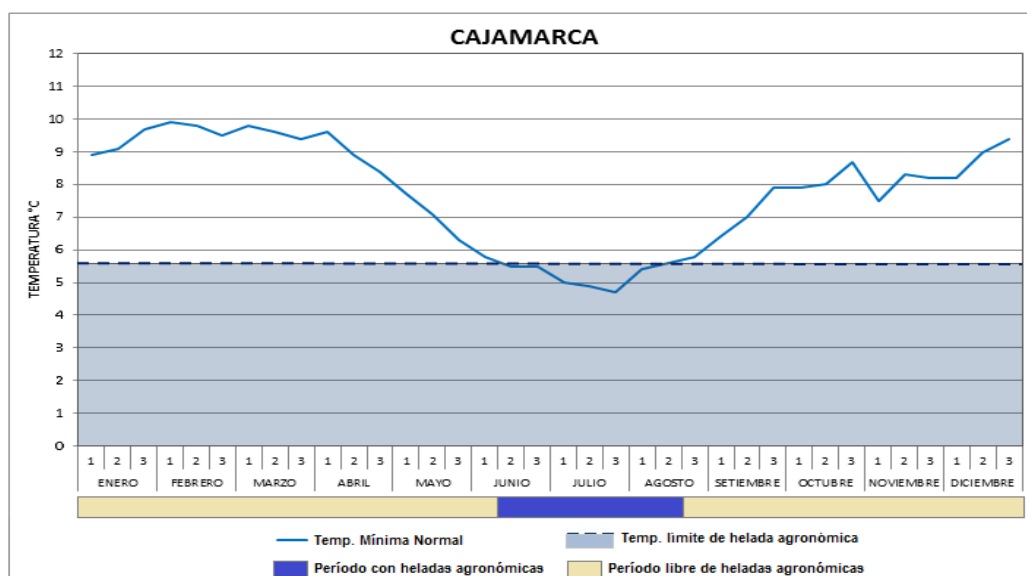


Figura N° 03 Marcha anual decadal de las temperaturas mínimas normales en Cajamarca (1981-2010)

En la tabla N° 03 se muestran los resultados del análisis de las temperaturas mínimas registradas desde enero de 1973 hasta diciembre del 2017, donde se determinó que durante el año, en promedio se registran 5 días con heladas meteorológicas y 108 días con heladas agronómicas, las cuales mayormente ocurren desde junio hasta agosto.

Tabla N° 03 Comportamiento de las heladas en el valle de Cajamarca Período enero 1973 – diciembre 2017

Frecuencia promedio anual de heladas meteorológicas (días/año)	Frecuencia promedio anual de heladas agronómicas (días/año)	Temperatura mínima absoluta histórica (°C)	Período promedio de ocurrencia de heladas agronómicas	
			Inicio	Fin
5	108	-4,3	Junio	Agosto

## Estación CO. La Encañada.

En el figura°04 se observa que en la estación CO. La Encañada, ubicada a 2 862 m.s.n.m., la ocurrencia de heladas agronómicas normalmente se produce desde mayo hasta agosto. Además, el registro histórico indica que han ocurrido heladas meteorológicas desde enero hasta febrero y desde abril hasta diciembre.

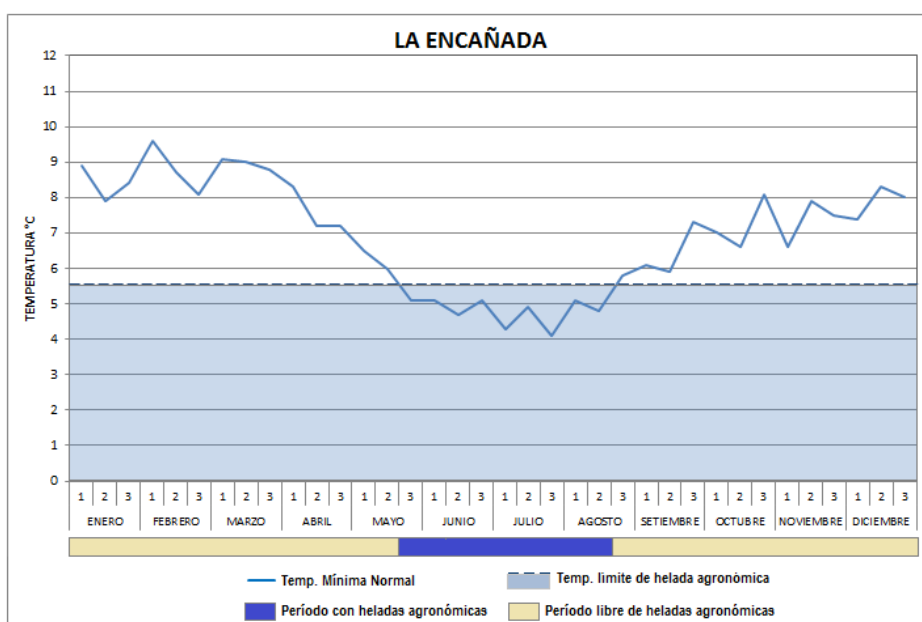


Figura N° 04 Marcha anual decadal de las temperaturas mínimas normales en La Encañada (2003-2010)

En la tabla N° 04, se muestran los resultados del análisis de las temperaturas mínimas registradas desde enero del 2003 hasta diciembre del 2017 en La Encañada, en el cual se determinó que en promedio se registran 10 días con heladas meteorológicas y 124 días con heladas agronómicas, las cuales mayormente ocurren desde mayo hasta agosto.

Tabla N° 04: Comportamiento de las heladas en La Encañada Período enero 2003 – diciembre 2017

Frecuencia promedio anual de heladas meteorológicas (días/año)	Frecuencia promedio anual de heladas agronómicas (días /año)	Temperatura mínima absoluta histórica (°C)	Período promedio de ocurrencia de heladas agronómicas	
			Inicio	Fin
10	124	-4.9	Mayo	Agosto

## Estación CO. Granja Porcón

En el figura N° 05 se observa que en la estación CO. Granja Porcón, ubicada a 2 980 m.s.n.m., normalmente pueden ocurrir heladas agronómicas en cualquier mes del año, debido a que las temperaturas mínimas normales son menores a 5,5 °C durante todos los meses. Asimismo, los registros históricos muestran que se han producido heladas meteorológicas en enero y desde junio hasta diciembre.

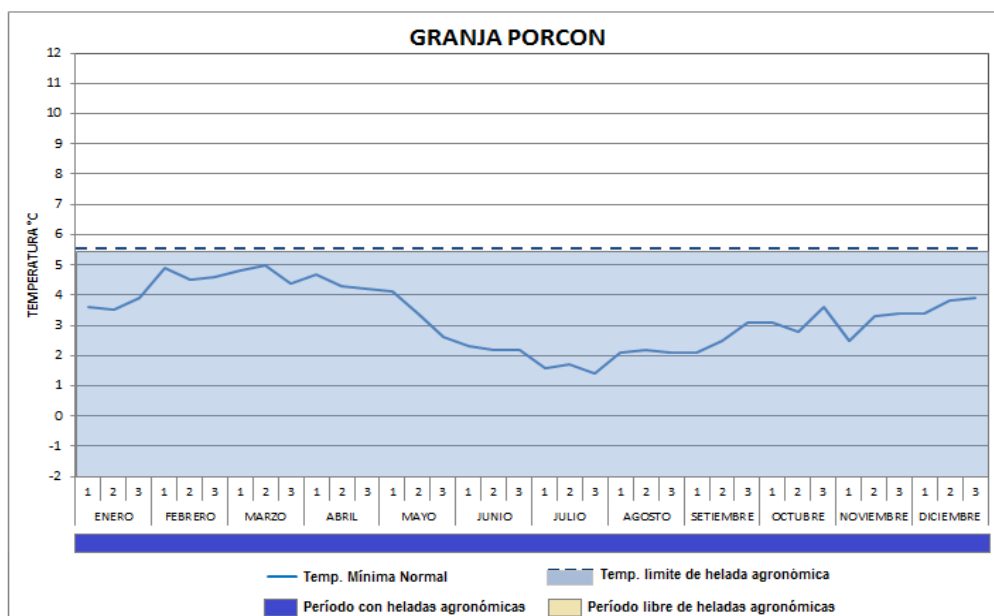


Figura N° 05 Marcha anual decadal de las temperaturas mínimas normales en Granja Porcón (1981-2010)

En la tabla N° 05 se muestran los resultados del análisis de las temperaturas mínimas registradas desde junio de 1966 hasta diciembre del 2017, donde se determinó que durante el año, en promedio se registran 36 días con heladas meteorológicas y 266 días con heladas agronómicas, las cuales pueden presentarse en cualquier mes del año.

Tabla N° 05 Comportamiento de las heladas en Granja Porcón Período junio 1966 – diciembre 2017

Frecuencia promedio anual de heladas meteorológicas (días/año)	Frecuencia promedio anual de heladas agronómicas (días /año)	Temperatura mínima absoluta histórica (°C)	Período promedio de ocurrencia de heladas agronómicas	
			Inicio	Fin
36	266	-10,2	Cualquier mes del año	

## Estación CO. Namora.

En el figura N° 06, se aprecia que en la estación CO. Namora, ubicada a 2 670 m.s.n.m., la ocurrencia de heladas agronómicas normalmente se produce desde junio hasta agosto. Además, el registro histórico indica que han ocurrido algunas heladas meteorológicas desde mayo hasta diciembre.

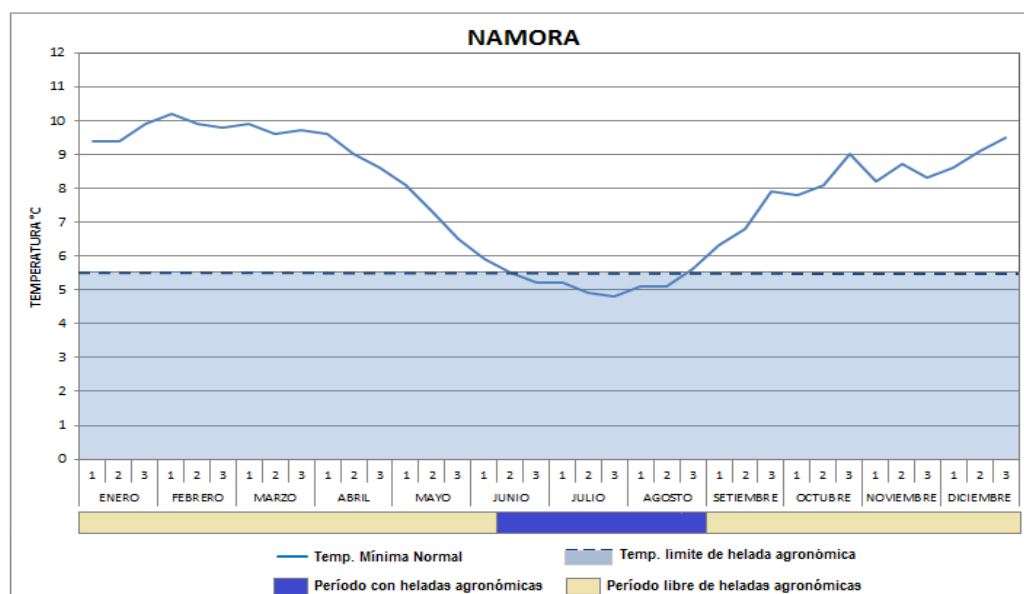


Figura N° 06 Marcha anual decadal de las temperaturas mínimas normales en Namora (1987-2010)

En la tabla N° 06 se muestran los resultados del análisis de las temperaturas mínimas registradas desde diciembre de 1987 hasta diciembre del 2017, donde se determinó que durante el año, en promedio se registran 5 días con heladas meteorológicas y 96 días con heladas agronómicas, las cuales mayormente ocurren desde junio hasta agosto.

Tabla N°06. Comportamiento de las heladas en Namora Período diciembre 1987 – diciembre 2017

Frecuencia promedio anual de heladas meteorológicas (días/año)	Frecuencia promedio anual de heladas agronómicas (días/año)	Temperatura mínima absoluta histórica (°C)	Período promedio de ocurrencia de heladas agronómicas	
			Inicio	Fin
5	96	-3,0	Junio	Agosto

#### 4.1.2. Provincia de Celendín

##### Estación CO. Celendín.

En el figura N° 05 se nota que en la estación CO. Celendín, ubicada a 2 470 m.s.n.m., las temperaturas mínimas normales superan los 5,5 °C durante todos los meses del año; sin embargo, los registros históricos indican que desde el mes de mayo hasta el mes de setiembre se han producido algunas heladas meteorológicas.

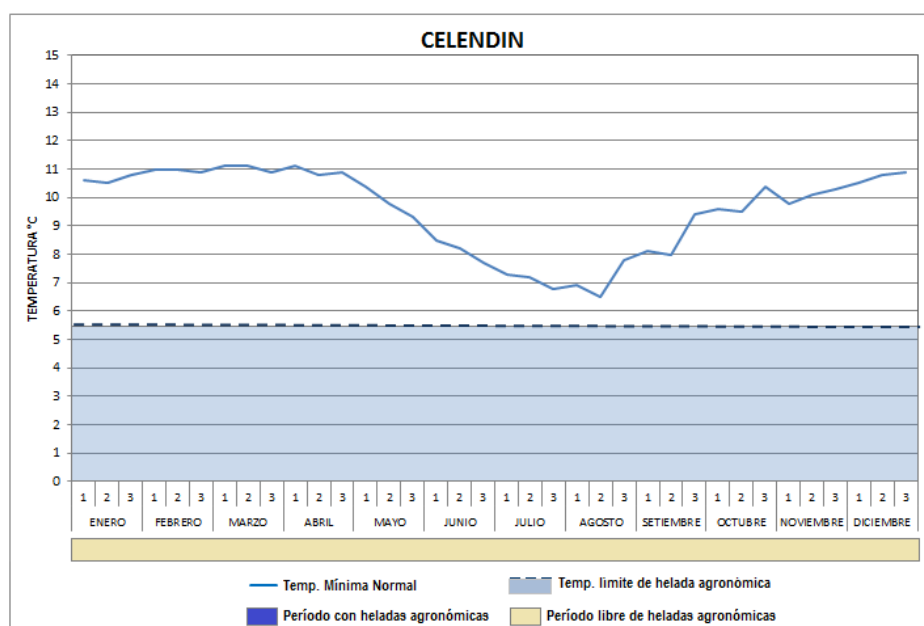


Figura N° 07 Marcha anual decadal de las temperaturas mínimas normales en Celendín (1981-2010)

En la tabla N° 07 se muestran los resultados del análisis de las temperaturas mínimas registradas desde enero de 1964 hasta diciembre del 2017, donde se determinó que durante el año, en promedio se registra 1 día con helada meteorológica y 52 días con heladas agronómicas, las cuales mayormente ocurrieron desde junio hasta setiembre.

Tabla N° 7. Comportamiento de las heladas en Celendín Período enero 1964 – diciembre 2017

Frecuencia promedio anual de heladas meteorológicas (días/año)	Frecuencia promedio anual de heladas agronómicas (días /año)	Temperatura mínima absoluta histórica (°C)	Período promedio de ocurrencia de heladas agronómicas	
			Inicio	Fin
1	52	-4,2	Junio	Setiembre



### 4.1.3. Provincia de Contumazá

#### Estación CO. Contumazá

En el figura N° 08 se observa que en la estación CO. Contumazá, ubicada a 2 440 m.s.n.m., las temperaturas mínimas normales superan los 5,5 °C todo el año; sin embargo, los registros históricos indican que han ocurrido algunas heladas agronómicas durante el mes de julio.

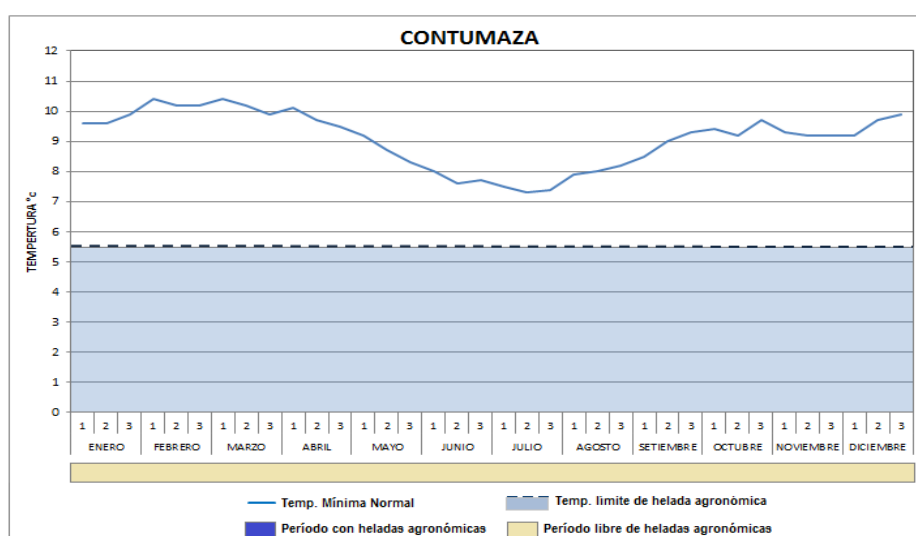


Figura N° 08 Marcha anual decadal de las temperaturas mínimas normales en Contumazá (1981-2010)

En la tabla N° 08, se muestran los resultados del análisis de las temperaturas mínimas registradas desde enero de 1965 hasta diciembre del 2017, donde se determinó que no se producen heladas meteorológicas; sin embargo, en promedio durante el año se registran 9 días con heladas agronómicas, las cuales mayormente ocurren en julio.

Tabla N° 8. Comportamiento de las heladas en Contumazá Período enero 1965 – diciembre 2017

Frecuencia promedio anual de heladas meteorológicas (días/año)	Frecuencia promedio anual de heladas agronómicas (días /año)	Temperatura mínima absoluta histórica (°C)	Período promedio de ocurrencia de heladas agronómicas	
			Inicio	Fin
0	9	1,4	Julio	Julio

#### 4.1.4. Provincia de Cajabamba

##### Estación CO. Cajabamba

En el figura N° 09, apreciamos que en la estación CO. Cajabamba, ubicada a 2 480 m.s.n.m., no se registran heladas meteorológicas debido a que las temperaturas mínimas normales superan los 5,5 °C todo el año; sin embargo, los registros históricos muestran que ocurren algunas heladas agronómicas durante el mes de julio.

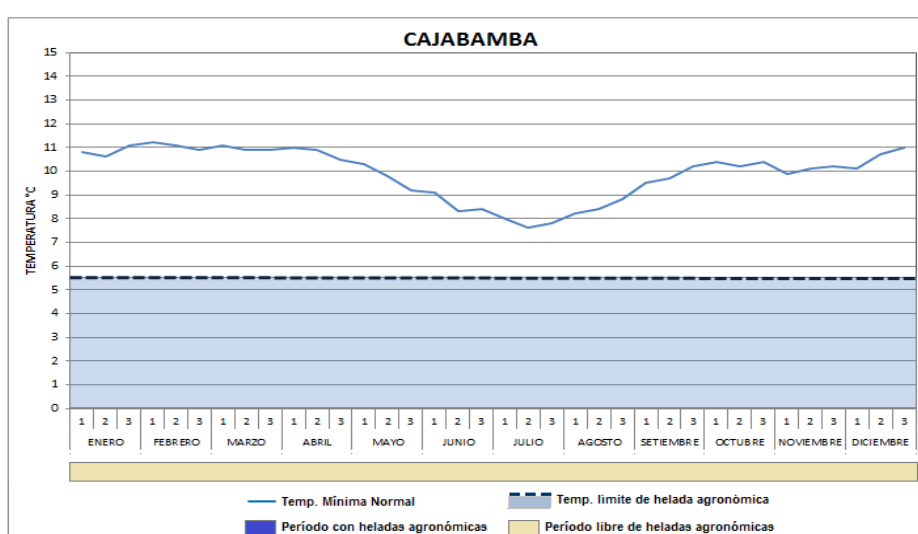


Figura N° 09 Marcha anual decadal de las temperaturas mínimas normales en Cajabamba (1981-2010)

En la tabla N° 08, se muestran los resultados del análisis de las temperaturas mínimas registradas desde enero de 1964 hasta diciembre del 2017, donde se determinó que durante el año, no se producen heladas meteorológicas; sin embargo, los registros históricos indican que en promedio ocurren 33 días con heladas agronómicas, las cuales mayormente se presentan entre julio y agosto.

Tabla N° 9. Comportamiento de las heladas en Cajabamba Período enero 1964 – diciembre 2017

Frecuencia promedio anual de heladas meteorológicas (días/año)	Frecuencia promedio anual de heladas agronómicas (días/año)	Temperatura mínima absoluta histórica (°C)	Período promedio de ocurrencia de heladas agronómicas	
			Inicio	Fin
0	33	0,5	Julio	Agosto

#### 4.1.5. Provincia de San Marcos

##### Estación CO. San Marcos

En la estación CO. San Marcos, ubicada a 2 190 m.s.n.m., los registros históricos determinaron la ocurrencia de algunas heladas meteorológicas y agronómicas desde junio hasta agosto, lo cual está asociado a una disminución de las temperaturas mínimas desde mayo hasta setiembre. En el figura N° 10 se nota que las temperaturas mínimas normales son mayores a 5,5 °C durante todo el año; sin embargo, se han registrado temperaturas mínimas absolutas por debajo de este valor desde junio hasta agosto.

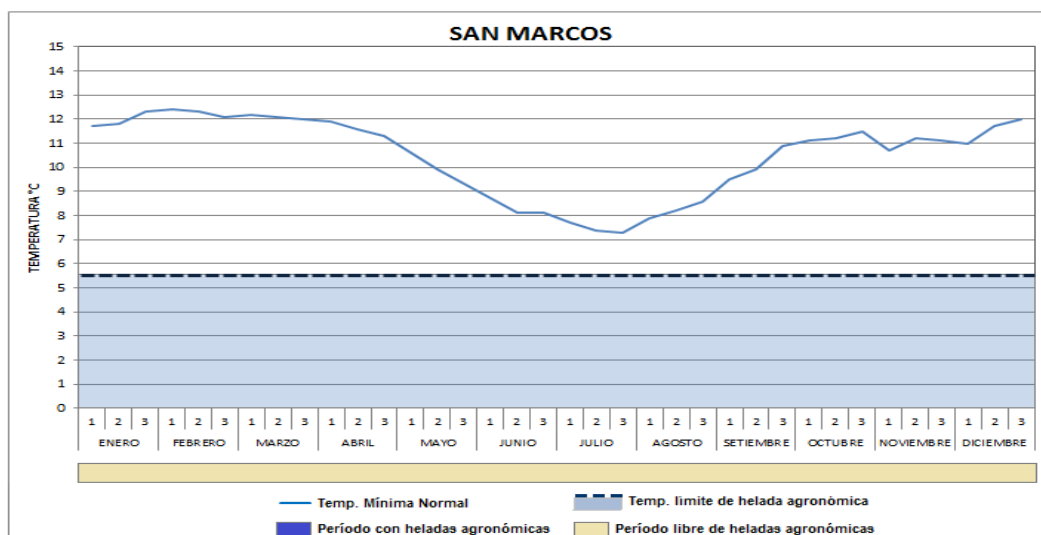


Figura N° 10 Marcha anual decadal de las temperaturas mínimas normales en San Marcos (1981-2010)

En la tabla N° 10, se muestran los resultados del análisis de las temperaturas mínimas registradas desde enero de 1966 hasta diciembre del 2017, donde se determinó que durante el año, normalmente no se producen heladas meteorológicas, porque las temperaturas mínimas normales superan los 5,5 °C durante todos los meses. Sin embargo, los registros históricos indican que han ocurrido algunas heladas meteorológicas y en promedio se registran 26 días con heladas agronómicas, las cuales mayormente se presentan entre junio y agosto.

Tabla N° 10. Comportamiento de las heladas en San Marcos Período enero 1966 – diciembre 2017

Frecuencia promedio anual de heladas meteorológicas (días/año)	Frecuencia promedio anual de heladas agronómicas (días/año)	Temperatura mínima absoluta histórica (°C)	Período promedio de ocurrencia de heladas agronómicas	
			Inicio	Fin
0	26	-1,6	Junio	Agosto

#### 4.1.6. Provincia de San Miguel

##### Estación CO. Llapa

El figura N° 11 muestra que en la estación CO. LLapa, ubicada a 2 770 m.s.n.m., la ocurrencia de heladas agronómicas normalmente se produce desde junio hasta agosto. Además, el registro histórico indica que mayormente han ocurrido heladas meteorológicas en enero y desde mayo hasta diciembre.

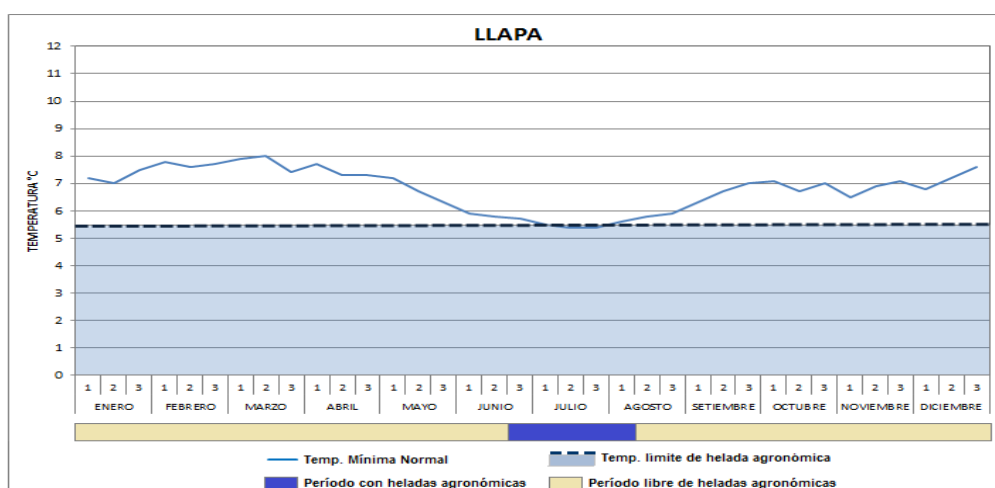


Figura N° 11 Marcha anual decadal de las temperaturas mínimas normales en Llapa (1987-2016).

La tabla N° 11 muestra los resultados del análisis de las temperaturas mínimas registradas desde febrero de 1987 hasta diciembre del 2017, donde se determinó que durante el año, normalmente se registra 1 día con helada meteorológica y 67 días con heladas agronómicas, las cuales mayormente se presentan entre junio y agosto.

Tabla N° 11. Comportamiento de las heladas en Llapa. Período enero 1987 – diciembre 2017

Frecuencia promedio anual de heladas meteorológicas (días/año)	Frecuencia promedio anual de heladas agronómicas (días/año)	Temperatura mínima absoluta histórica (°C)	Período promedio de ocurrencia de heladas agronómicas	
			Inicio	Fin
1	67	-1,8	Junio	Agosto

## Estación CO. Quilcate

En el figura N° 12 observamos que en la estación CO. Quilcate, ubicada a 2 930 m.s.n.m., la ocurrencia de heladas agronómicas normalmente se produce desde mayo hasta setiembre. Además el registro histórico indica que han ocurrido heladas meteorológicas desde mayo hasta enero.

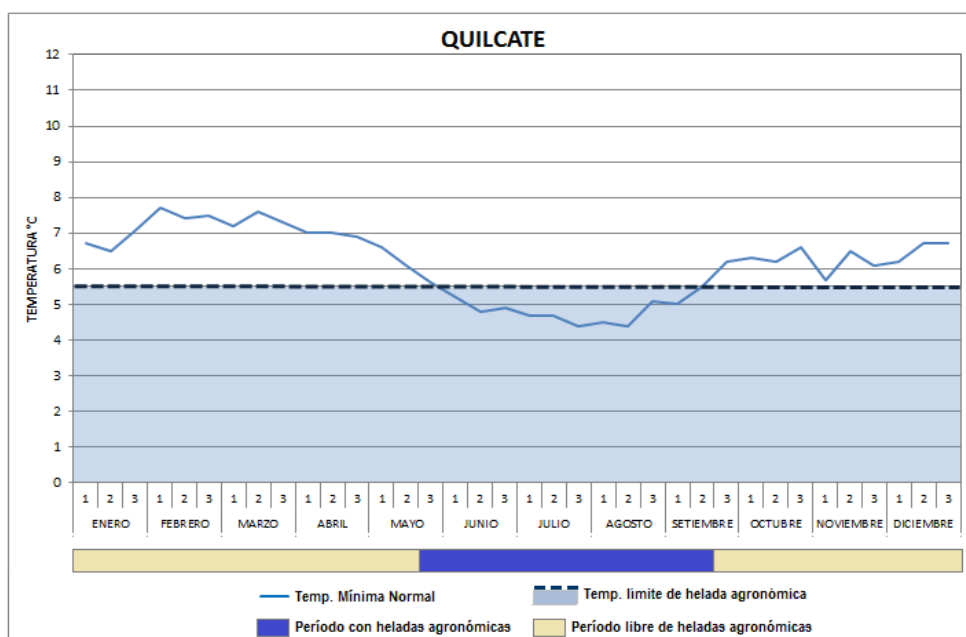


Figura N° 12 Marcha anual decadal de las temperaturas mínimas normales en Quilcate (1981-2010).

La tabla N° 12 muestra los resultados del análisis de las temperaturas mínimas registradas desde enero de 1997 hasta diciembre del 2017, donde se determinó que durante el año, normalmente se registran 2 días con heladas meteorológicas y 135 días con heladas agronómicas, las cuales mayormente se presentan entre mayo hasta setiembre.

Tabla N° 12. Comportamiento de las heladas en Quilcate. Período enero 1997 – diciembre 2017

Frecuencia promedio anual de heladas meteorológicas (días/año)	Frecuencia promedio anual de heladas agronómicas (días/año)	Temperatura mínima absoluta histórica (°C)	Período promedio de ocurrencia de heladas agronómicas	
			Inicio	Fin
2	135	-3,4	Mayo	Setiembre

#### 4.1.7. Provincia de Bambamarca

##### Estación CO. Bambamarca

En el figura N° 13 se nota que en la estación CO. Bambamarca, ubicada a 2 536 m.s.n.m., las temperaturas mínimas normales durante todo el año superan los 5,5 °C; sin embargo, los registros históricos determinaron que han ocurrido algunas heladas meteorológicas y agronómicas desde mayo hasta noviembre.

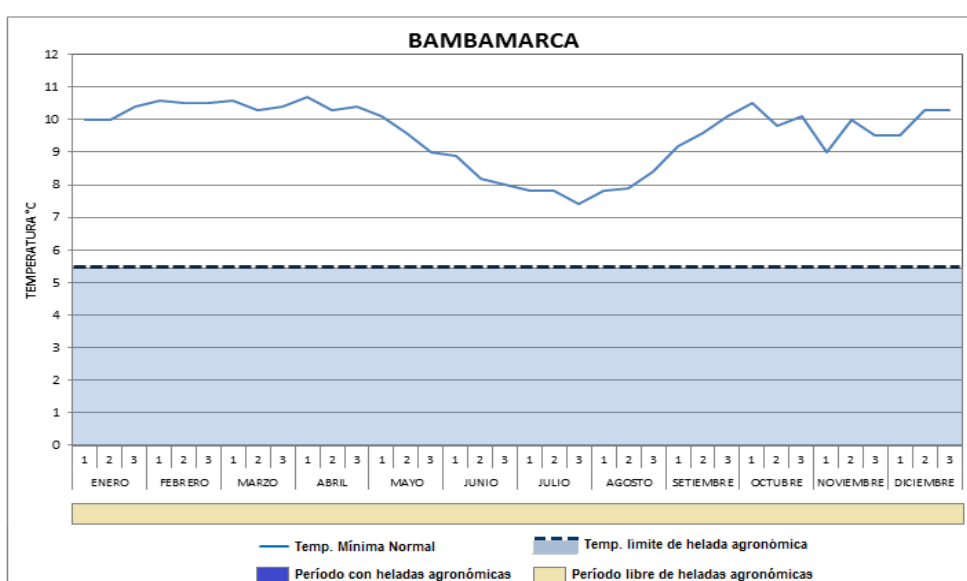


Figura N° 13 Marcha anual decadal de las temperaturas mínimas normales en Bambamarca (1981-2010)

En la tabla N° 13 se muestra los resultados del análisis de las temperaturas mínimas registradas desde enero de 1964 hasta diciembre del 2017, donde se determinó que en promedio, durante el año se registra 1 día con helada meteorológica y 15 días con heladas agronómicas, las cuales mayormente ocurren entre mayo hasta noviembre.

Tabla N° 13. Comportamiento de las heladas en Bambamarca. Período enero 1964 – diciembre 2017

Frecuencia promedio anual de heladas meteorológicas (días/año)	Frecuencia promedio anual de heladas agronómicas (días/año)	Temperatura mínima absoluta (°C)	Período promedio de ocurrencia de heladas agronómicas	
			Inicio	Fin
1	16	-5,8	Mayo	Noviembre

#### 4.1.8. Provincia de Cutervo

##### Estación CO. Cutervo

En el figura N° 14 se observa que en la estación CO. Cutervo, ubicada a 2 653 m.s.n.m., las temperaturas mínimas normales superan los 5,5 °C durante todo el año; sin embargo, los registros históricos determinaron que han ocurrido algunas heladas meteorológicas y agronómicas desde julio hasta diciembre.

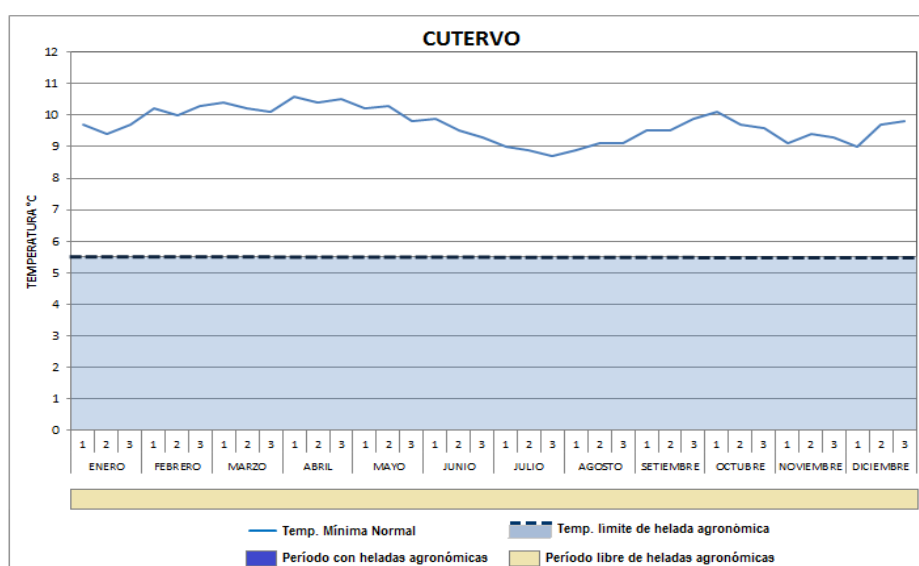


Figura N° 14 Marcha anual decadal de las temperaturas mínimas normales en Cutervo (1981-2010).

En la tabla N° 14 se muestran los resultados del análisis de las temperaturas mínimas registradas en la estación CO. Cutervo desde febrero de 1964 hasta diciembre del 2017, donde se determinó que en promedio, durante el año se puede registrar 1 día con helada meteorológica y 12 días con heladas agronómicas, las cuales mayormente ocurren entre julio hasta diciembre.

Tabla N° 14. Comportamiento de las heladas en Cutervo Período febrero 1964 – diciembre 2017

Frecuencia promedio anual de heladas meteorológicas (días/año)	Frecuencia promedio anual de heladas agronómicas (días /año)	Temperatura mínima absoluta (°C)	Período promedio de ocurrencia de heladas agronómicas	
			Inicio	Fin
1	12	-1.2	Julio	Diciembre

#### 4.1.9. Provincia de Chota

##### Estación CO. Chota

En el figura N° 15, se aprecia que en la estación CO. Chota, ubicada a 2 486 m.s.n.m., las temperaturas mínimas normales superan los 5,5 °C durante todo el año; sin embargo, los registros históricos determinaron que han ocurrido algunas heladas meteorológicas y agronómicas desde junio hasta noviembre.

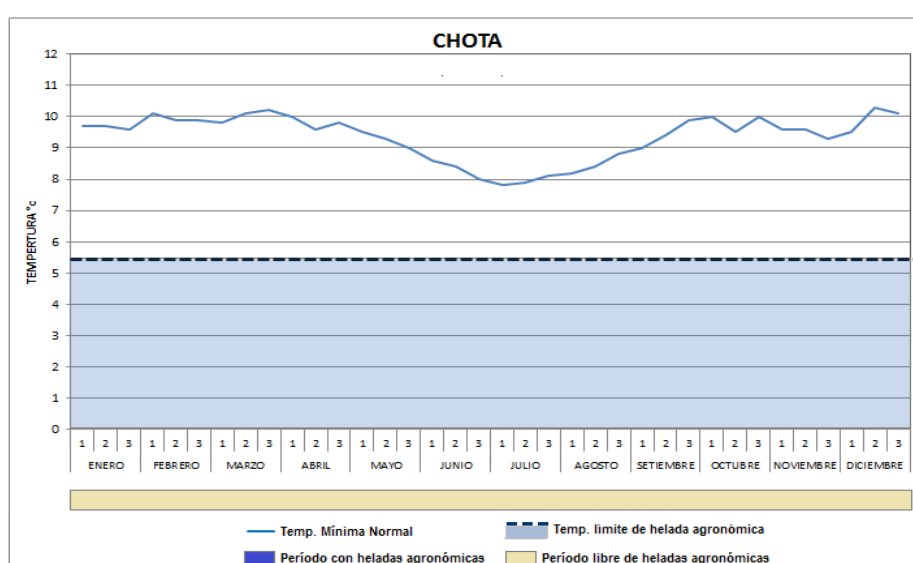


Figura N° 15 Marcha anual decadal de las temperaturas mínimas normales en Chota (1981-2010).

En la tabla N° 15 se muestran los resultados del análisis de las temperaturas mínimas registradas en la estación CO. Chota desde abril de 1968 hasta diciembre del 2017, donde se determinó que en promedio, durante el año se puede registrar 1 día con helada meteorológica y 4 días con heladas agronómicas, las cuales mayormente ocurren entre junio hasta noviembre.

Tabla N° 15. Comportamiento de las heladas meteorológicas en Chota Período abril 1968 – diciembre 2017

Frecuencia promedio anual de heladas meteorológicas (días/año)	Frecuencia promedio anual de heladas agronómicas (días/año)	Temperatura mínima absoluta (°C)	Período promedio de ocurrencia de heladas agronómicas	
			Inicio	Fin
1	4	-1,0	Junio	Noviembre



#### 4.1.10. Provincia de Santa Cruz

##### Estación CO. Santa Cruz

El figura N° 16 muestra que en la estación CO. Santa Cruz, ubicada a 2 026 m.s.n.m., las temperaturas mínimas normales superan los 5,5 °C durante todo el año; sin embargo, los registros históricos determinaron que han ocurrido algunas heladas meteorológicas y agronómicas desde julio hasta diciembre.

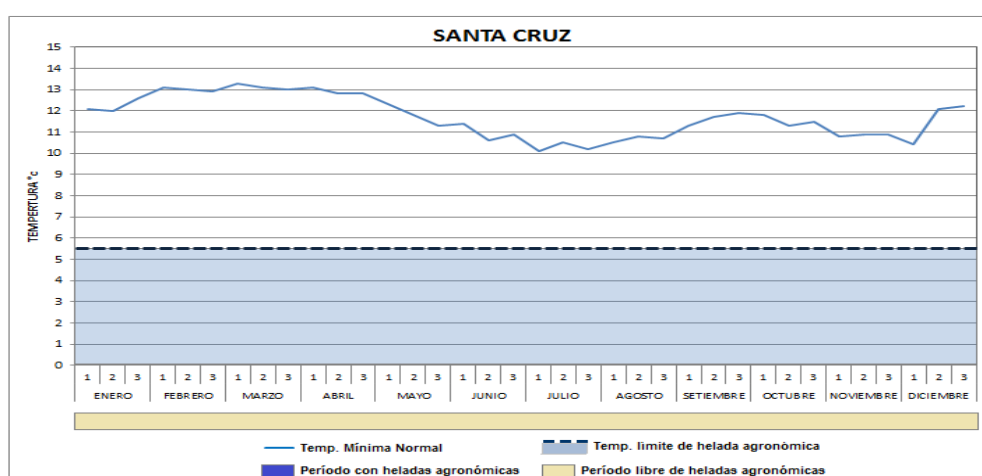


Figura N° 16 Marcha anual decadal de las temperaturas mínimas normales en Santa Cruz (1981-2010)

En la tabla N° 16 se muestran los resultados del análisis de las temperaturas mínimas registradas en la estación CO. Santa Cruz desde enero de 1964 hasta diciembre del 2017, donde se determinó que normalmente no se registran heladas meteorológicas; sin embargo, se puede registrar 6 días con heladas agronómicas, las cuales mayormente ocurren entre julio hasta diciembre.

Tabla N° 16. Comportamiento de las heladas meteorológicas en Santa Cruz. Per. abril 1964 – diciembre 2017

Frecuencia promedio anual de heladas meteorológicas (días/año)	Frecuencia promedio anual de heladas agronómicas (días /año)	Temperatura mínima absoluta histórica(°C)	Período promedio de ocurrencia de heladas agronómicas	
			Inicio	Fin
0	6	-2,0	Julio	Diciembre

#### 4.2. EVALUACIÓN DE LOS EFECTOS DE LAS HELADAS EN LA PRODUCCIÓN DEL AGRO DE LA REGIÓN DE CAJAMARCA: CULTIVOS DE MAÍZ, PAPA, TRIGO Y FRIJOL.

Tabla N° 17. Anomalías promedio de temperatura mínima mensual en la región Cajamarca

AÑO	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL
2000-2001	0.3	0.7	-1.0	-2.3	0.3	0.6	0.2	0.7	-0.2	0.6	-0.1	1.0
2001-2002	-0.1	0.4	1.0	1.3	0.7	-0.1	0.7	0.8	0.2	0.4	0.0	1.1
2002-2003	0.4	0.3	0.9	1.3	1.5	0.9	0.4	0.1	0.6	0.8	0.6	0.0
2003-2004	0.3	0.0	0.3	0.4	0.4	-1.4	0.1	0.3	-0.3	0.2	-0.4	1.1
2004-2005	-0.1	0.0	0.8	1.0	0.8	-0.4	1.2	0.8	0.5	-1.3	0.3	-0.7
2005-2006	-0.2	0.2	0.6	-1.3	-0.5	0.0	1.1	0.6	-0.4	-1.1	0.4	-0.2
2006-2007	0.8	0.4	0.0	0.7	1.3	1.7	-0.7	0.8	0.4	0.6	-0.2	0.8
2007-2008	0.3	-0.8	-0.3	1.2	-0.8	0.6	-0.1	-0.3	0.0	0.2	0.0	0.4
2008-2009	0.9	0.5	0.6	0.6	-1.0	0.6	0.2	0.6	0.4	0.6	0.6	1.2
2009-2010	1.1	0.1	0.8	0.6	1.1	0.9	1.2	1.5	1.0	1.1	0.9	0.8
2010-2011	0.0	0.1	-0.8	-0.9	-0.1	-0.3	-1.1	-0.9	0.2	-0.4	0.5	0.6
2011-2012	0.4	0.0	-0.8	0.7	0.7	0.9	-0.5	0.0	-0.2	0.1	-0.4	-0.5
2012-2013	-0.9	-1.4	0.7	1.6	0.0	0.9	-0.1	1.1	0.2	1.1	0.8	0.1
2013-2014	0.5	-0.6	1.2	-0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.2	1.4	0.6	0.7
2014-2015	0.0	0.2	0.2	0.6	1.0	0.9	0.0	1.2	0.7	1.6	0.8	1.0
2015-2016	0.4	0.7	1.2	1.2	1.6	1.3	1.7	1.1	0.8	0.6	0.1	-0.1
2016-2017	0.4	0.2	-0.3	-1.3	0.3	0.8	-0.1	0.8	0.7	0.6	0.6	-0.5

**Leyenda:**




- Meses de campaña agrícola al seco.
- Meses de descanso.
- Meses con anomalías de temperatura mínima ligeramente frías.
- Años con meses con anomalías de temperatura mínima ligeramente fría.

En la tabla N° 17 se muestran las anomalías promedio de las temperaturas mínimas en la región de Cajamarca. En esta tabla se observa que durante los meses correspondientes a la campaña agrícola al seco, se presentaron anomalías térmicas ligeramente frías, es decir menores a -1.0 °C, como consecuencia de la ocurrencia de heladas meteorológicas durante seis campañas agrícolas que corresponden a los años 2000-2001, 2003-2004, 2004-2005, 2005-2006, 2010-2011 y 2016-2017. Esto explica la ocurrencia de heladas meteorológicas durante los meses de noviembre de los períodos 2000-2001, 2005-2006 y 2016-2017; también durante los meses de enero y febrero, de los períodos 2003-2004 y 2010-2011; y durante el mes de mayo de los años 2004-2005 y 2005-2006.

Tabla N° 18. Producción en toneladas de los principales cultivos conducidos al secano.

<b>AÑOS</b>	<b>PAPA</b>	<b>FRIJOL GRANO SECO</b>	<b>MAÍZ CHOCLO</b>	<b>MAÍZ AMILÁCEO</b>	<b>TRIGO</b>
2000-2001	229694	9745	44815	38120	29870
2001-2002	305883	11179	41979	43384	30064
2002-2003	309321	12116	44966	39425	33784
2003-2004	272050	9483	27173	30937	24686
2004-2005	300939	12152	29215	34642	29347
2005-2006	288752	13135	31335	33903	29677
2006-2007	293218	14395	36510	34161	31853
2007-2008	296143	15080	38972	34179	32278
2008-2009	305382	16841	41288	35054	33516
2009-2010	294594	16210	39473	33787	33068
2010-2011	298773	14586	33451	29564	31409
2011-2012	309724	14683	28406	30626	33534
2012-2013	341739	15070	34160	34895	33279
2013-2014	332136	13839	30280	32906	35061
2014-2015	335665	15155	28169	31442	30065
2015-2016	310251	15651	23162	28384	27697
2016-2017	289142	11076	17023	19117	28791
<b>PROMEDIO</b>	<b>298556,7</b>	<b>13524,3</b>	<b>34327,1</b>	<b>34321,7</b>	<b>31166,1</b>

**Leyenda:**

-  Meses con producción menor al promedio en algún cultivo
-  Años con producción menor al promedio en algún cultivo
-  Años con producción menor al promedio y meses con temperatura mínima ligeramente fría.

En la tabla N° 18, se observa la producción en toneladas, de los principales cultivos conducidos al secano en la región de Cajamarca, notándose una disminución, con respecto al promedio, en 12 campañas agrícolas correspondientes a los años 2000-2001, 2003-2004, 2004-2005, 2005-2006, 2006-2007, 2009-2010, 2010-2011, 2011-2012, 2013-2014, 2014-2015, 2015-2016 y 2016-2017.

**Tabla N° 19. Variación de la producción en toneladas con respecto al promedio.**

AÑOS	PAPA	FRIJOL GRANO SECO	MAÍZ CHOCLO	MAÍZ AMILÁCEO	TRIGO
<b>2000-2001</b>	-68862.7	-3779.3	10487.9	3798.3	-1296.1
<b>2001-2002</b>	7326.3	-2345.3	7651.9	9062.3	-1102.1
<b>2002-2003</b>	10764.3	-1408.3	10638.9	5103.3	2617.9
<b>2003-2004</b>	-26506.7	-4041.3	-7154.1	-3384.7	-6480.1
<b>2004-2005</b>	2382.3	-1372.3	-5112.1	320.3	-1819.1
<b>2005-2006</b>	-9804.7	-389.3	-2992.1	-418.7	-1489.1
<b>2006-2007</b>	-5338.7	870.7	2182.9	-160.7	686.9
<b>2007-2008</b>	-2413.7	1555.7	4644.9	-142.7	1111.9
<b>2008-2009</b>	6825.3	3316.7	6960.9	732.3	2349.9
<b>2009-2010</b>	-3962.7	2685.7	5145.9	-534.7	1901.9
<b>2010-2011</b>	216.3	1061.7	-876.1	-4757.7	242.9
<b>2011-2012</b>	11167.3	1158.7	-5921.1	-3695.7	2367.9
<b>2012-2013</b>	43182.3	1545.7	-167.1	573.3	2112.9
<b>2013-2014</b>	33579.3	314.7	-4047.1	-1415.7	3894.9
<b>2014-2015</b>	37108.3	1630.7	-6158.1	-2879.7	-1101.1
<b>2015-2016</b>	11694.3	2126.7	-11165.1	-5937.7	-3469.1
<b>2016-2017</b>	-9414.7	-2448.3	-17304.1	-15204.7	-2375.1

En la tabla N° 19 se compila la variación de la producción de la papa, del frijol del maíz choclo, del maíz amiláceo y del trigo. En el caso del cultivo de papa, la menor producción, con respecto al promedio, se obtiene durante la campaña 2000-2001 con 68 862,7 toneladas menos, seguida de la campaña 2003-2004, donde se alcanzó 26 506,7 toneladas menos. En el frijol grano seco se muestra que la menor producción, con respecto al promedio, se aprecia en la campaña 2003-2004, donde se obtiene 4 041,3 toneladas menos, seguida de la campaña 2000-2001, donde se obtiene 3 779,3 toneladas menos. En el maíz choclo se analiza que la menor producción, con respecto al promedio, se advierte en la campaña 2016-2017, con 17 304,1 toneladas menos, seguida de la campaña 2015-2016,

donde se obtiene 11 165,1 toneladas menos. En el cultivo de maíz amiláceo se indica que la menor producción, con respecto al promedio, se registró en la campaña 2016-2017, con 15 204,7 toneladas menos, seguida de la campaña 2015-2016, donde se consiguió 5 937,7 toneladas menos. Finalmente en el cultivo de trigo se observa que la menor producción, con respecto al promedio, se alcanzó en la campaña 2003-2004, con 6 480,1 toneladas menos, seguida de la campaña 2015-2016, donde se logró 3469,1 toneladas menos.

Al relacionar los resultados de las tablas N° 18 y 17, podemos visualizar que seis años con baja producción de los principales cultivos conducidos al secano, corresponden a los años con anomalías térmicas ligeramente frías durante los meses de la campaña agrícola, de los años 2000-2001, 2003-2004, 2004-2005, 2005-2006, 2010-2011 y 2016-2017, esto se puede explicar por la ocurrencia de heladas meteorológicas durante la campaña agrícola, principalmente durante el mes de noviembre cuando los cultivos están en emergencia o iniciando su estado vegetativo, tal y como ocurrió en las campañas agrícolas 2000-2001, 2005-2006 y 2016-2017. También durante el mes de enero y febrero cuando los cultivos están iniciando las fases reproductivas, tal y como ocurrió durante las campañas 2003-2004 y 2010-2011 y durante el mes de mayo cuando los cultivos están en maduración, tal y como ocurrió durante las campañas del 2004-2005 y 2005-2006.

#### **4.3. CORRELACIÓN DE LA TEMPERATURA MÍNIMA CON LA PRODUCCIÓN DE LOS CULTIVOS DE MAÍZ, PAPA, TRIGO Y FRIJOL**

En la tabla N° 20 se observa la variación porcentual de la producción del maíz choclo y las anomalías de las temperaturas mínimas en el período 2000-2017. Al correlacionar ambas variables se ha obtenido un valor de 0,07.

Tabla N° 20. Correlación entre la variación porcentual de la producción del maíz choclo y las anomalías de las temperaturas mínimas.

AÑOS	MAÍZ CHOCLO	ANOMALÍA DE TEMPERATURA MÍNIMA	r
2000-2001	30,6	-2,3	<b>0,07</b>
2001-2002	22,3	-0,1	
2002-2003	31,0	0,0	
2003-2004	-20,8	-1,4	
2004-2005	-14,9	-1,3	
2005-2006	-8,7	-1,3	
2006-2007	6,4	-0,7	
2007-2008	13,5	-0,8	
2008-2009	20,3	-1,0	
2009-2010	15,0	0,1	
2010-2011	-2,6	-1,1	
2011-2012	-17,2	-0,8	
2012-2013	-0,5	-1,4	
2013-2014	-11,8	-0,6	
2014-2015	-17,9	0,0	
2015-2016	-32,5	-0,1	
2016-2017	-50,4	-1,3	

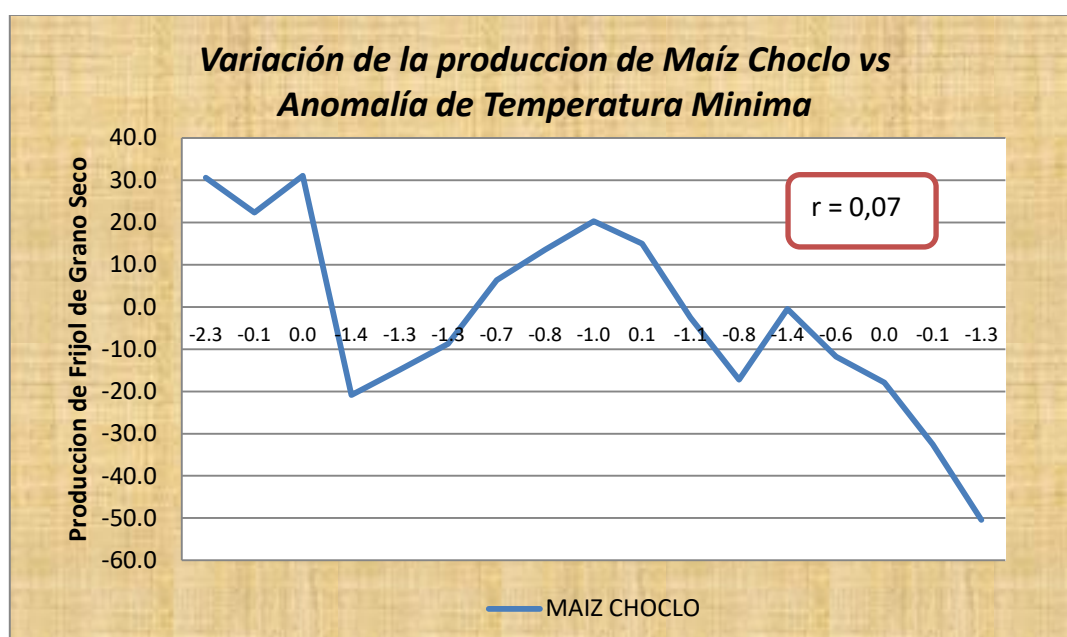


Figura N° 17 Variación de la producción de Maíz Choclo vs Anomalía de Temperatura Mínima

En la tabla N° 21 se registra la variación porcentual de la producción del maíz amiláceo y las anomalías de las temperaturas mínimas. Al correlacionar ambas variables se ha observado un valor de 0,15.

Tabla N° 21. **Correlación entre la variación porcentual de la producción del maíz amiláceo y las anomalías de las temperaturas mínimas.**

AÑOS	MAÍZ AMILACEO	ANOMALÍA DE TEMPERATURA MÍNIMA	r
2000-2001	11,1	-2,3	<b>0,15</b>
2001-2002	26,4	-0,1	
2002-2003	14,9	0,0	
2003-2004	-9,9	-1,4	
2004-2005	0,9	-1,3	
2005-2006	-1,2	-1,3	
2006-2007	-0,5	-0,7	
2007-2008	-0,4	-0,8	
2008-2009	2,1	-1,0	
2009-2010	-1,6	0,1	
2010-2011	-13,9	-1,1	
2011-2012	-10,8	-0,8	
2012-2013	1,7	-1,4	
2013-2014	-4,1	-0,6	
2014-2015	-8,4	0,0	
2015-2016	-17,3	-0,1	
2016-2017	-44,3	-1,3	

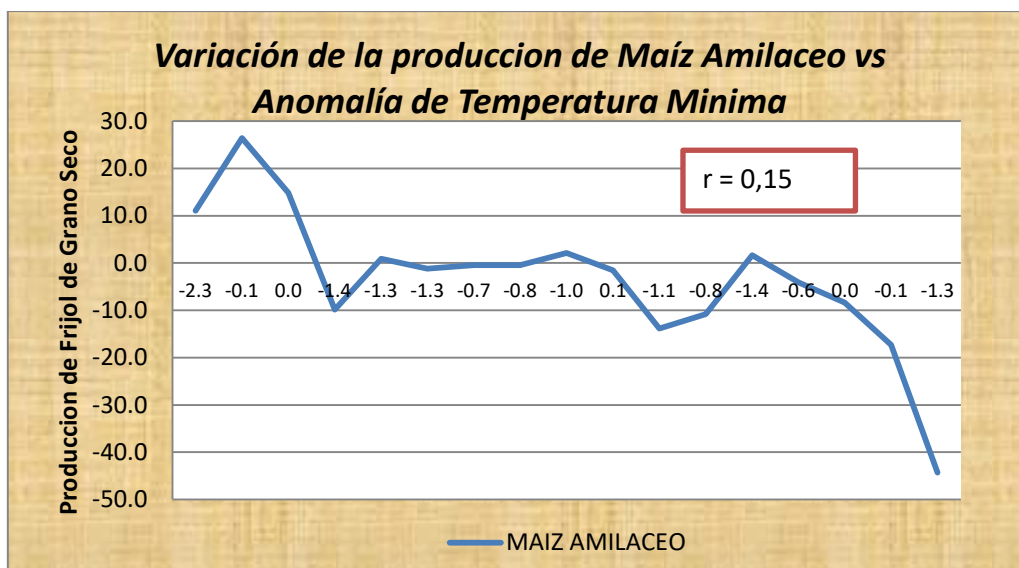


Figura N° 18 Variación de la producción de Maíz Amiláceo vs Anomalía de Temperatura Mínima

En la tabla N° 22 muestra la variación porcentual de la producción de la papa y las anomalías de las temperaturas mínimas, a través del período 2000-2017. Al correlacionar ambas variables se ha obtenido un valor de 0,58.

Tabla N° 22. Correlación entre la variación porcentual de la producción de la papa y las anomalías de las temperaturas mínimas.

AÑOS	PAPA	ANOMALIA DE TEMPERATURA MINIMA	r
2000-2001	-23,1	-2,3	<b>0,58</b>
2001-2002	2,5	-0,1	
2002-2003	3,6	0,0	
2003-2004	-8,9	-1,4	
2004-2005	0,8	-1,3	
2005-2006	-3,3	-1,3	
2006-2007	-1,8	-0,7	
2007-2008	-0,8	-0,8	
2008-2009	2,3	-1,0	
2009-2010	-1,3	0,1	
2010-2011	0,1	-1,1	
2011-2012	3,7	-0,8	
2012-2013	14,5	-1,4	
2013-2014	11,2	-0,6	
2014-2015	12,4	0,0	
2015-2016	3,9	-0,1	
2016-2017	-3,2	-1,3	

En la tabla N° 23 se señala la variación porcentual de la producción del trigo y las anomalías de las temperaturas mínimas. Al correlacionar ambas variables se ha obtenido un valor de 0,28.

Tabla N° 23. Correlación entre la variación porcentual de la producción del trigo y las anomalías de las temperaturas mínimas.

AÑOS	TRIGO	ANOMALIA DE TEMPERATURA MINIMA	r
2000-2001	-4,2	-2,3	<b>0,28</b>
2001-2002	-3,5	-0,1	
2002-2003	8,4	0,0	
2003-2004	-20,8	-1,4	
2004-2005	-5,8	-1,3	
2005-2006	-4,8	-1,3	
2006-2007	2,2	-0,7	
2007-2008	3,6	-0,8	
2008-2009	7,5	-1,0	
2009-2010	6,1	0,1	
2010-2011	0,8	-1,1	
2011-2012	7,6	-0,8	
2012-2013	6,8	-1,4	
2013-2014	12,5	-0,6	
2014-2015	-3,5	0,0	
2015-2016	-11,1	-0,1	
2016-2017	-7,6	-1,3	



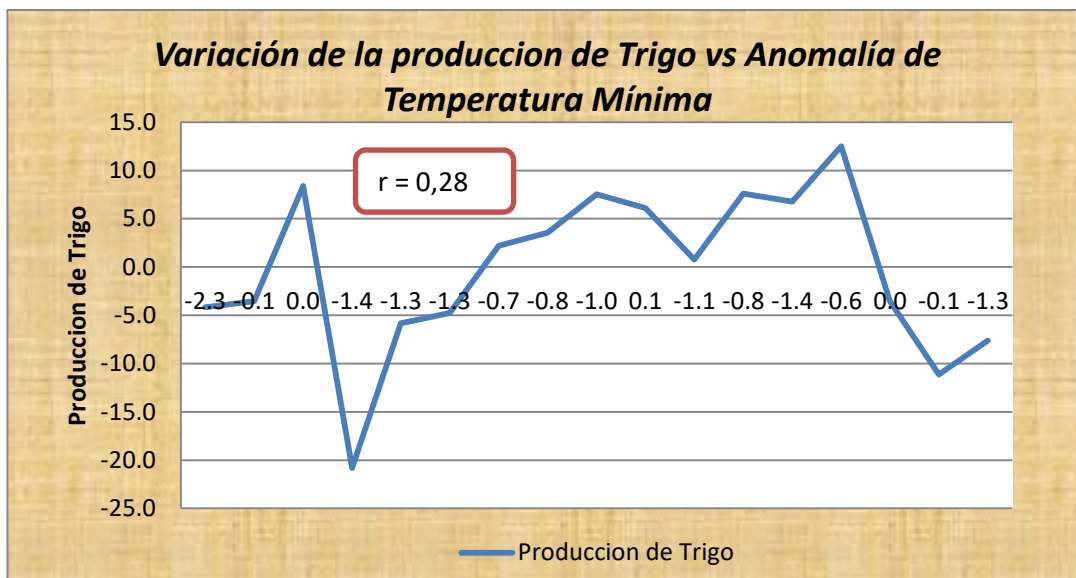


Figura N° 19 Variación de la producción de Trigo vs Anomalía de Temperatura Mínima

En la tabla 24, se ordena en columnas la variación porcentual de la producción del frijol grano seco y las anomalías de las temperaturas mínimas en el período 2000-2017. Al correlacionar ambas variables se obtuvo un resultado de 0,47.

Tabla N° 24. Correlación entre la variación porcentual de la producción del frijol y las anomalías de las temperaturas mínimas.

AÑOS	FRIJOL GRANO SECO	ANOMALIA DE TEMPERATURA MINIMA	r
2000-2001	-27,9	-2,3	<b>0,47</b>
2001-2002	-17,3	-0,1	
2002-2003	-10,4	0,0	
2003-2004	-29,9	-1,4	
2004-2005	-10,1	-1,3	
2005-2006	-2,9	-1,3	
2006-2007	6,4	-0,7	
2007-2008	11,5	-0,8	
2008-2009	24,5	-1,0	
2009-2010	19,9	0,1	
2010-2011	7,9	-1,1	
2011-2012	8,6	-0,8	
2012-2013	11,4	-1,4	
2013-2014	2,3	-0,6	
2014-2015	12,1	0,0	
2015-2016	15,7	-0,1	
2016-2017	-18,1	-1,3	

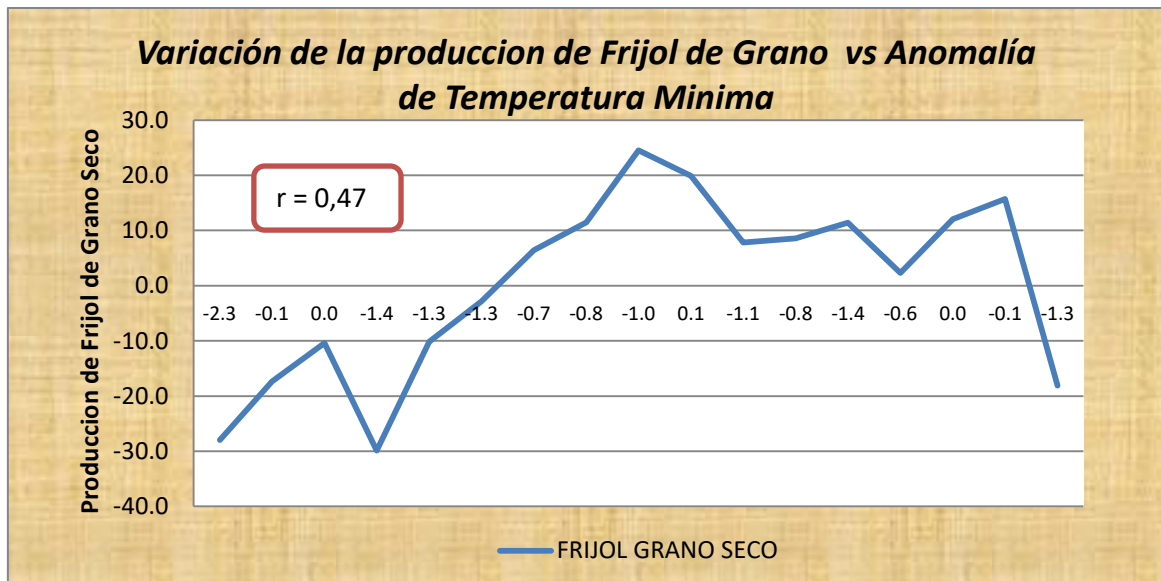


Figura N° 20 Variación de la producción de Frijol de Grano vs Anomalía de Temperatura Mínima

## 5. CONCLUSIONES

- En la estación meteorológica de Granja Porcón, ubicada alrededor de los 3 000 metros de altitud, se ha verificado heladas agronómicas en cualquier época del año, con una frecuencia promedio de doscientos sesenta y siete (267) días, lo que representa el 73% del año: mientras tanto, se han observado heladas meteorológicas durante treinta y seis (36) días, lo que equivale al 10% del año.
- En los observatorios meteorológicos de Quicate y La Encañada, ubicadas alrededor de los 2 900 metros de altitud, se han registrado heladas meteorológicas, entre los meses de mayo a setiembre, con una frecuencia promedio de 130 días, lo que significa el 36% de los días del año; por otro lado, en las estaciones de Quicate y La Encañada se han medido, en promedio 2 y 10 heladas meteorológicas, respectivamente.
- En las estaciones Weberbauer, Namora, Llapa, Celendín, Cajabamba y San Marcos, ubicadas entre los 2 536 y 2 910 metros de altitud, las heladas se han observado de junio a agosto, con una frecuencia de ciento nueve (109) a veinte seis (26) días, oscilando entre 29% y 7% de los días del año, simultáneamente en las estaciones de Weberbauer y Namora, se han evaluado, en promedio cinco (5) heladas meteorológicas por año y en Llapa y Celendín una (1) helada meteorológica, en cambio en Cajabamba no se ha observado este fenómeno meteorológico extremo.
- En las campañas agrícolas de los años 2000-2001, 2003-2004, 2004-2005, 2005-2006, 2010-2011 y 2016-2017, los principales cultivos conducidos al seco como la papa, el frijol grano seco, el maíz choclo, el maíz amiláceo y el trigo, registraron una producción baja, asociada a la presencia de heladas meteorológicas, en diferentes meses.
- En las próximas campañas agrícolas del 2000-2001-2005-2006 y 2016-2017, las heladas se observaron en el mes de noviembre, cuando los cultivos estuvieron en emergencia o iniciando su estado vegetativo. En las campañas agrícolas del 2003-2004 y 2010-2011, las heladas se

presentaron en enero y febrero, cuando los cultivos estaban iniciando sus fases reproductivas y en las campañas agrícolas del 2004-2005 y 2005-2006 las heladas se observan en el mes de mayo, cuando los cultivos estaban en maduración.

- Existen correlaciones no significativas entre las variaciones porcentuales de las producciones del maíz choclo y amiláceo con las anomalías de la temperatura mínima.
- Existen correlación baja entre la variación porcentual de la producción del trigo con las anomalías de la temperatura mínima
- Existen correlaciones significativas entre las variaciones porcentuales de las producciones de la papa y el frijol con las anomalías de las temperaturas mínimas.
- El coeficiente de correlación es positivo entre la producción de los cultivos y las anomalías de la temperatura mínima, ya que tienden a variar en el mismo sentido, sobre todo en el caso de los cultivos de la papa y el frijol, que tienen una correlación significativa.

## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahrens, C. (2005). *Essentials of Meteorology: An Invitation to the Atmosphere*. Brooks-Cole.
- Alarcón, C., & Trebejo, I. (2010). *Atlas de Heladas*. Lima, Perú: Senamhi - FAO.
- Bagdonas, A. &. (1978). *Techniques of frost prediction and methods of frost and cold protection*. Suiza: World Meteorological Organization.
- Caminada Vallejo, R. R. (2015). El eterno retorno del fenómeno de las heladas en el Perú: ¿Existen adecuadas políticas para combatir dicho fenómeno en el Perú? Lima: Centro de Estudios de Responsabilidad Social y Desarrollo Sostenible. *Repositorio Universidad San Martin de Porres*, Lima.
- Carbonell, R. (2016). "Caracterización de heladas meteorológicas y agrícolas e impacto en alfalfa (*Medicago sativa* L.), avena (*Avena sativa* L.) y cebada (*Hordeum vulgare* L.) forrajeras de la región Puno". Lima.
- Carter, P., & Wiersma, D. (2000). Daños por Heladas tardías en Maíz. *Conocimientos Agrícolas*, 4.
- CENEPRED. (2014). *Escenarios de Riesgos por Bajas Temperaturas*. Lima.
- Fernández-Long, M. E., & Barnatán, I. (2015). INFORMACIÓN AGROCLIMÁTICA DE LAS HELADAS EN LA ARGENTINA: GENERACIÓN Y USO. *Meteorologica*, 25.
- IGP, I. G. (2005). "Diagnóstico de la cuenca del Mantaro bajo la visión de cambio climático". Lima.
- IGP, I. G. (2012). "Eventos meteorológicos extremos (sequías, heladas y lluvias intensas) en el valle del Mantaro". Lima: IGP.
- INEI. (2014). *Perú: Anuario de Estadísticas Ambientales*. Lima: INEI.
- Léoni, A. (2016). State-of-the-art review of frost deposition on flat superfaces. *Internation Journal of Refrigeration*, 21.
- Levitt, J. (1980). Responses of Plant to Environmental Stress: Water, Radiation, Salt and Other Stresses. *American Journal of Plant Sciences*, 7, 13.
- Martínez, L., Ibacache, A., & Rojas, L. (2007). Efectos de las Heladas en la agricultura. *Boletín del Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA)*, 68.
- Matías, L., Fuentes, O., & García, F. (2001). *Heladas*. Mexico D. F.: CENAPRED.
- Sanabria, J. (2012). Calibración y validación de modelos de pronóstico de heladas en el valle del Mantaro. En *ECI PERU* (pág. 9). Lima.
- Schwartz, H., & Gálvez, G. (1980). *Problemas de producción de frijol*. Colombia: CIAT (Centro internacional de Agroicultura Tropical).
- Snyder, R., Paulo de Melo, J., & Matulich, S. (2010). *Protección contra las heladas: fundamentos, práctica y economía*. Roma, Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

Transmonte, G. (2009). Cambio Climatico y el Riesgo de de Heladas en la agrciultura del valle del Mantaro. *CC y Riesgo/Gestion de Riesgo de Desastres* (pág. 29). Huancayo: IGP.



## 7. ANEXOS: PANEL FOTOGRAFICO



Cultivo de maíz afectado por heladas en el valle de Cajamarca



Cultivo de frejol afectado por heladas en el valle de Cajamarca

