

FACULTAD DE GEOGRAFÍA E HISTORIA

MÁSTER EN PLANIFICACIÓN TERRITORIAL Y GESTIÓN AMBIENTAL

TRABAJO DE FIN DE MÁSTER



UNIBA
Centro Universitario
Internacional
de Barcelona

Centro
adscrito



UNIVERSITAT DE
BARCELONA

ANÁLISIS DEL RIESGO POR HELADAS EN
ZONAS ALPAQUERAS AL SUR DEL PERÚ

Autora: Gabriela Corina Quiroz Mosquera

Tutor: Dr. Iván Portugués Mollá

2022

Índice

Dedicatoria.....	7
Agradecimientos.....	8
Resumen.....	9
Abstract.....	10
Planteamientos Teóricos de la Investigación.....	11
1.1. Justificación	12
1.2. Preguntas de Investigación	13
1.3. Estado de la Cuestión	13
1.4. Objetivos	18
1.4.1. Objetivo General	18
1.4.2. Objetivos Específicos	18
1.5. Hipótesis	18
Marco Teórico y Conceptual.....	20
2.1. Actividad Pecuaria: Crianza de Alpacas	20
2.2. Intervenciones del Plan Multisectorial ante Heladas y Friaje	24
2.3. Circulación atmosférica durante la temporada de bajas temperaturas	27
2.4. Peligro, Vulnerabilidad y Riesgos	31
2.5. Peligros según el Tipo de Elemento Vulnerable	33
2.6. Análisis de la Información Satelital	36
3.1. Ubicación	41
3.1. Características Demográficas y Socioeconómicas	42
3.2. Características Físicas y Biológicas	45
3.3. Condiciones Climáticas	50
3.3.1. Caracterización Climática	50
3.3.2. Origen de las Heladas a Nivel Local	54
Metodología y Fuentes de Información.....	57

4.1.	Metodología	57
4.1.1.	Métodos de Estimación de la Temperatura Mínima	58
4.1.2.	Análisis Correlacional de Información Satelital ...	60
4.1.3.	Generación del Mapa de Riesgos Frente a Heladas para la Ganadería Alpaquera	60
4.2.	Fuentes de Información	61
4.2.1.	Información Histórica de la Red Nacional de Monitoreo de Estaciones Meteorológicas	62
4.2.2.	Información Ráster Satelital	67
	Resultados y discusión.....	68
4.3.	Análisis Correlacional entre LST-MODIS y Temperatura Mínima Registrada en Estaciones Meteorológicas	68
4.4.	Análisis de la Susceptibilidad por Heladas	71
4.4.1.	Estimación de la Intensidad de las Heladas	72
4.4.2.	Estimación de la Frecuencia de las Heladas	74
4.4.3.	Estimación de la Susceptibilidad por Heladas	76
4.5.	Análisis de Vulnerabilidad frente a Heladas en la Zona Alpaquera	77
4.6.	Análisis del Riesgo en el Sector Alpaquero por Peligro de Heladas	79
	Conclusiones.....	85
	Discusiones y Recomendaciones.....	86
	Referencias Bibliográficas.....	91

Figuras

Figura 1. Número de personas afectadas por eventos de heladas en las regiones altoandinas del 2003 al 2020....	14
Figura 2. Departamentos con mayor número de afectados por eventos de heladas en el Perú.....	15
Figura 3. Serie temporal de personas afectadas por eventos de heladas en las regiones altoandinas del 2003 al 2020.	16
Figura 4. Distribución departamental de la población de camélidos en el Perú a nivel porcentual.....	22
Figura 5. Distribución departamental de la población de camélidos en el Perú a nivel espacial.....	22
Figura 6. Modelo conceptual en superficie de una onda de latitud media que se desplaza a través de Sudamérica que configura un evento de la helada.....	29
Figura 7. Temperatura del aire a 2m (°C) durante los meses de invierno en el Perú.....	31
Figura 8. Mapa de ubicación del ámbito de estudio.....	42
Figura 9. Cobertura vegetal del ámbito de estudio sobre los 4 000 m s. n. m.....	48
Figura 10. Fotografías del ámbito de estudio sobre los 4 000 m s. n. m.....	49
Figura 11. Clasificación Climática (Warren Thornthwaite) del ámbito de estudio sobre los 4 000 m s. n. m.....	51
Figura 12. Comportamiento mensual de las temperaturas mínimas promedio en las estaciones meteorológicas seleccionadas del ámbito de estudio.....	54
Figura 13. Esquema gráfico de los tipos de heladas según su origen.....	56
Figura 14. Resumen de la metodología a aplicar.....	58
Figura 15. Ubicación de estaciones meteorológicas en el ámbito de incidencia de heladas (por encima de los 3 200 m s. n. m.).....	63
Figura 16. Ubicación del ámbito de estudio.....	69

Figura 17. Mapa de intensidad de heladas (Percentil 10 de LST-MODIS)	73
Figura 18. Mapa comparativo de intensidad de heladas (percentil 10 de LST) y número de alpacas afectadas.....	74
Figura 19. Mapa comparativo de frecuencia de heladas por debajo de los -10°C	75
Figura 20. Mapa de susceptibilidad por heladas para el sector ganadero.....	77
Figura 21. Mapa de vulnerabilidad a nivel distrital basado en el número de alpacas por distrito.....	79
Figura 22. Mapa del riesgo a nivel distrital basado en el número de alpacas por distrito.....	81

Tablas

Tabla 1. Lista de intervenciones del PMHF 2019-2021.....	25
Tabla 2. Cuadro comparativo de los fenómenos meteorológicos de Helada y Friaaje.....	30
Tabla 3. Clasificación de parámetros de evaluación frente a heladas.....	35
Tabla 4. Bandas espectrales del sensor MODIS.....	38
Tabla 5. Población de los centros poblados ubicados en el ámbito de estudio sobre los 4 000 m s. n. m.....	43
Tabla 6. Distribución de la población por edades en el ámbito de estudio sobre los 4 000 m s. n. m.....	44
Tabla 7. Características de la población en los centros poblados ubicados en el ámbito de estudio sobre los 4 000 m s. n. m.....	45
Tabla 8. Superficie de las unidades de cobertura vegetal del ámbito de estudio sobre los 4 000 m s. n. m.....	48
Tabla 9. Atributos de la Clasificación Climática (Warren Thornthwaite) del ámbito de estudio sobre los 4 000 m s. n. m.....	52
Tabla 10. Temperaturas mínimas promedio a nivel mensual en estaciones seleccionadas del ámbito de estudio.....	53
Tabla 11. Lista de atributos de las estaciones meteorológicas sometidas al análisis de correlación.....	64
Tabla 12. Características de las bases de datos utilizadas para la representación espacial de la temperatura mínima	67
Tabla 13. Resumen de coeficientes de determinación (R ²) estimados en cada estación meteorológica en el área de estudio.....	70
Tabla 14. Clasificación de los niveles de susceptibilidad según la intensidad y frecuencia de heladas.....	76
Tabla 15. Clasificación de los niveles de vulnerabilidad según el número de alpacas afectadas.....	78
Tabla 16. Lista de distritos del ámbito de estudio expuestos a nivel de riesgo «Muy alto».....	82

Dedicatoria

A mi padre, que sacrificó sus sueños para cumplir el de sus hijos. A mi madre, que ha inspirado y apoyado los retos de mi vida. A mi esposo, que camina incondicionalmente conmigo entre sacrificios y pequeñas glorias. Y a mi hija, que me ha regalado con generosidad horas valiosas de su infancia para cumplir este objetivo. Los amo.

Agradecimientos

Al PhD. Iván Portugués Mollá, por su constante ánimo, orientación y acertados comentarios para la realización de este trabajo.

A mi estimado colega César Abad Pérez, que me ha brindado su apoyo técnico clave y motivación constante durante el proceso.

Y a mis amistades que, con la mejor predisposición, compartieron conmigo sus ideas, conocimiento y habilidades para complementar esta investigación.

Resumen

El presente trabajo de investigación evalúa el nivel de riesgo frente a los eventos meteorológicos de heladas en la zona alpaquera del Perú ubicada sobre los 4 000 m s. n. m. En gran parte del país, esta actividad económica es manejada por poblaciones comunales altamente vulnerables y de bajas condiciones socioeconómicas; por esta razón, se requiere una adecuada focalización de las intervenciones preventivas y reactivas por parte del Estado dirigidas hacia una población objetivo determinada a partir de información confiable a nivel local. En primer lugar, el análisis consistió en la evaluación de la representatividad del comportamiento espacial de la temperatura mínima mediante el uso del producto satelital LST Sensor MODIS (AQUA/TERRA), el cual posee una resolución espacial de 1 km. y los datos diarios de estaciones meteorológicas. La estimación del nivel de susceptibilidad frente a la recurrencia anual de las heladas en la zona altoandina fue basada en la frecuencia de la temperatura mínima por debajo de los -10°C y la estimación del percentil 10 de los datos grillados, así como la evaluación de los datos históricos asociados a las pérdidas de unidades de alpacas. Esto permitió determinar el nivel de riesgo asociado en la zona alpaquera del Perú, con lo cual se identificaron unos 123 distritos que alcanzaron la categoría de «Muy Alto Riesgo» y 174 distritos en riesgo «Alto».

Palabras clave: alpacas, heladas, riesgo y MODIS (AQUA/TERRA)

Abstract

This research evaluates the level of risk to meteorological frost events in the alpaca zone of Peru, located above 4 000 m m s. n. m. In a large part of the country, this economic activity is managed by highly vulnerable communal populations with minimal socioeconomic conditions. For this reason, it is necessary to adequately focus the State's preventive and reactive interventions directed towards a specific target population based on reliable information at the local level. First, the analysis consisted of evaluating the representativeness of the spatial behavior of minimum temperature using the LST Sensor MODIS (AQUA/TERRA) satellite product, which has a spatial resolution of 1 km, and daily data from meteorological stations. The estimation of the level of susceptibility to the annual recurrence of frost in the high Andean zone was based on the frequency of minimum temperature below -10°C and the estimation of the 10th percentile of the gridded data, as well as the evaluation of historical data associated with losses of alpaca units. This made it possible to determine the level of risk associated with the alpaca-producing zone of Peru, identifying some 123 districts that reached the «Very High Risk» category and 174 districts at «High» risk.

Keywords: alpaca, frost, risk & LST Sensor MODIS (AQUA/TERRA)

Planteamientos Teóricos de la Investigación

Durante la temporada de bajas temperaturas en el Perú, se aplican instrumentos claves de gestión y financiamiento público que se compilan en Planes Multisectoriales ante Heladas y Friaaje y las Declaratorias de Estado de Emergencia por Desastre. Estos instrumentos liderados por la Presidencia del Consejo de Ministros, incorporan acciones reactivas y de prevención por parte del Gobierno con el fin de resguardar a una población altamente vulnerable y sus medios de vida. Los Planes Multisectoriales ante Heladas y Friaaje son implementados desde el año 2012, y han logrado incorporar cada año una mayor cantidad de Ministerios que contribuyen desde su sector en la reducción de la vulnerabilidad ante estos fenómenos (Presidencia del Consejo de Ministros, 2019).

Debido a que la intervención involucra grandes extensiones territoriales a nivel nacional, una de las debilidades de estos planes es la información disponible para la focalización de las intervenciones. En el caso de las heladas, la estimación del peligro está basada en información meteorológica instrumental de temperatura mínima *in situ* de baja densidad y/o limitada resolución en términos de distribución espacial. Esta información estratégica para la toma de decisiones plantea un abordaje metodológico de criterios físicos estándar para la atención de diversas necesidades en los sectores que subestima o sobrestima a nivel espacial la susceptibilidad del fenómeno, la insuficiente información dificulta la determinación de la auténtica población objetivo y la implementación de medidas adecuadas para superar las condiciones de vulnerabilidad asociadas a los impactos a nivel local.

Por encima de los 4 000 m s. n. m. una de las actividades económicas más importante es la ganadería, donde predomina la crianza de alpacas (*Vicugna pacos*) la cual, en la mayoría de economías de subsistencia, consiste en la posesión de uno o más camélidos domesticados que se crían en grandes rebaños principalmente manejados por campesinos de origen indígena. Esto constituye uno de los principales medios de vida para las comunidades altoandinas debido a que se reconocen como una fuente importante de proteína para la alimentación de la población, así como de producción de fibra de alta calidad que es usada para la confección de textiles.

En este contexto, la investigación se centra en la zona sur altoandina del Perú que supera los 4 000 m s. n. m. y presenta una alta exposición a las bajas temperaturas, específicamente en los departamentos de Huancavelica, Ayacucho, Apurímac, Cusco, Arequipa, Tacna, Moquegua y Puno.

1.1. Justificación

Uno de los principales retos para la adecuada focalización de acciones públicas consiste en gestionar el riesgo frente a heladas superando la incertidumbre frente a la baja densidad de estaciones meteorológicas en el territorio. En la presente investigación se propone superar este reto a partir del uso de información climática satelital derivada de sensores ópticos, y validada con datos de estaciones meteorológicas. En base a esta información, se realiza la estimación de parámetros de evaluación asociados al comportamiento espacial y temporal de la temperatura mínima asociada a su frecuencia (días) e intensidad ($^{\circ}\text{C}$), la cual, más allá de su análisis como una helada meteorológica (por debajo de 0°C), será determinada a partir de su relación frente al impacto que produce al sector ganadero, específicamente la crianza de alpacas.

El Perú es el país que cuenta con la mayor población de alpacas a nivel global, que corresponde al 85% de la población mundial, concentrada en las zonas altoandinas del Perú, territorios que permitieron el desarrollo de la domesticación de esta especie (Murra, 1975) debido a las características físicas y biológicas propias de su clima extremo, el cual permite una producción de fina fibra demandada a nivel mundial, y sus pastos naturales que son el sustento alimenticio de estos camélidos andinos criados por productores agropecuarios, de los cuales al menos el 45% posee una condición socioeconómica entre pobre y muy pobre.

1.2. Preguntas de Investigación

En este contexto surgen las siguientes preguntas de orientación a la investigación:

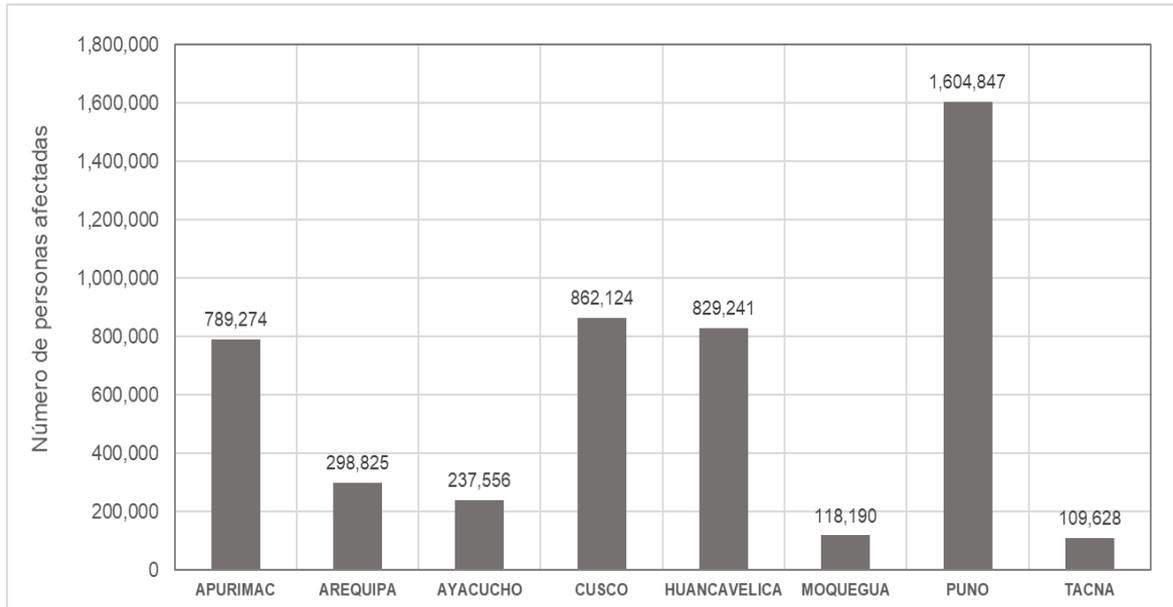
- ¿Existe información confiable para la focalización de intervención pública a través de instrumentos como el Plan Multisectorial Multianual 2019-2021 y su actualización?
- ¿Es posible identificar índices y/o parámetros de evaluación asociados al comportamiento de las heladas como eventos que evidencien una relación significativa con el impacto que producen en el territorio?
- ¿En qué medida puede ser de utilidad la generación de información para la toma de decisiones basada en parámetros de evaluación de este fenómeno físico?

1.3. Estado de la Cuestión

Según las emergencias registradas por el Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI, 2021) del Perú para el periodo 2003 al 2020 (Figura 1), las regiones altoandinas como Huancavelica, Ayacucho, Apurímac, Cusco, Tacna,

Moquegua, Arequipa y Puno (Figura 2) evidencian el mayor número de personas afectadas por eventos de heladas, los cuales han alcanzado un total de 4,849,685 que en su mayoría involucran enfermedades respiratorias agudas.

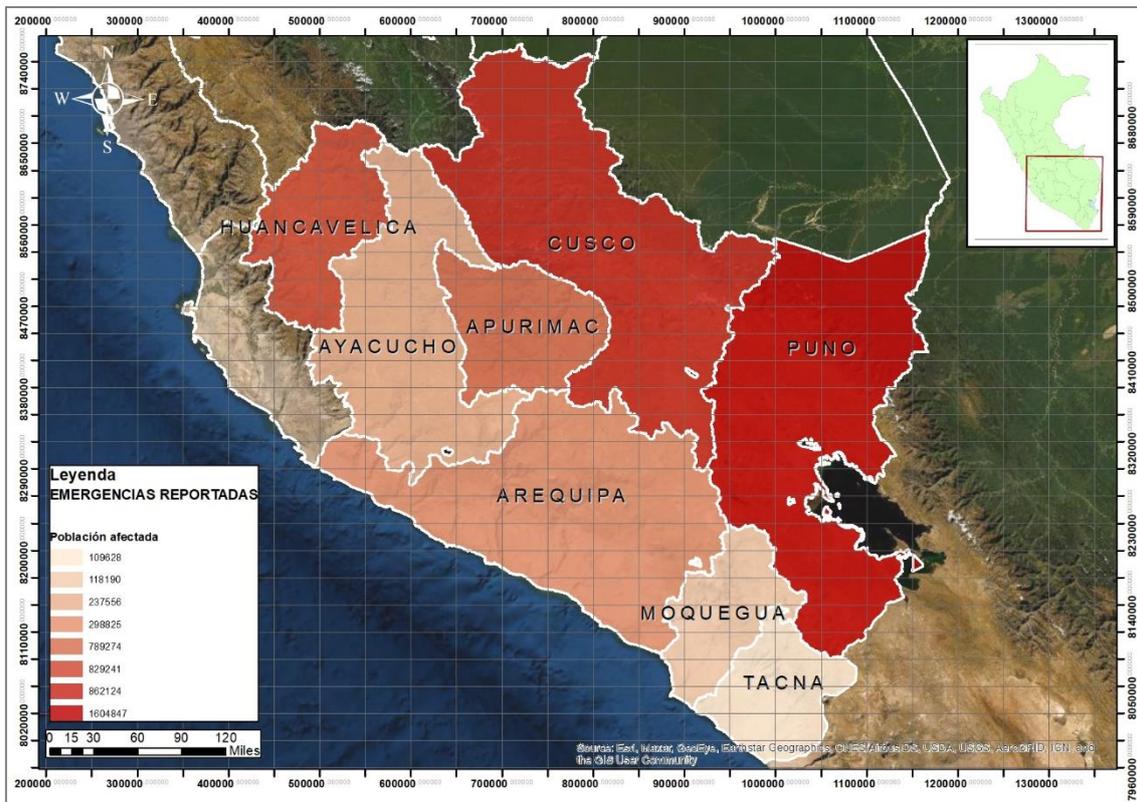
Figura 1. Número de personas afectadas por eventos de heladas en las regiones altoandinas del 2003 al 2020



Fuente: Instituto Nacional De Defensa Civil - INDECI

Elaboración propia

Figura 2. Departamentos con mayor número de afectados por eventos de heladas en el Perú



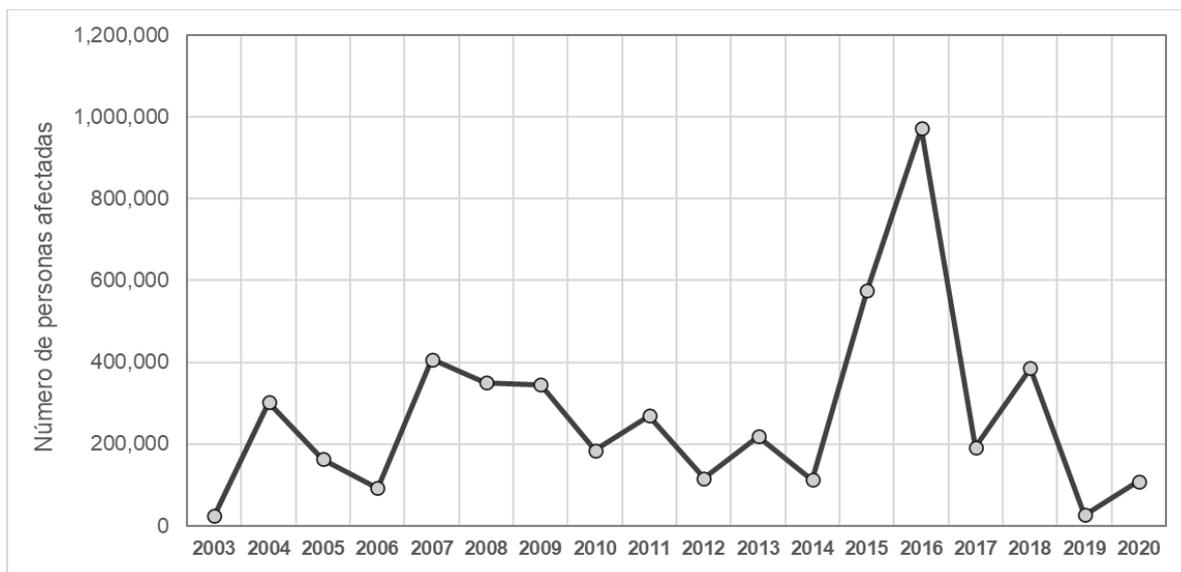
Fuente: Instituto Nacional de Estadística e Informática - INEI

Elaboración propia

Entre los eventos más críticos de bajas temperaturas reportados durante las últimas dos décadas (Figura 3), las estadísticas evidencian el número de personas afectadas¹ durante los años 2007, 2015, 2016 y 2018, estos valores corresponden a 406 657, 576 715, 972 640 y 385 945 individuos, respectivamente.

¹ Persona que sufre perturbación en su ambiente por efectos de un fenómeno. Puede requerir de apoyo inmediato para eliminar o reducir las causas de la perturbación para la continuación de la actividad normal (INDECI, 2006).

Figura 3. Serie temporal de personas afectadas por eventos de heladas en las regiones altoandinas del 2003 al 2020



Fuente: Instituto Nacional De Defensa Civil - INDECI

Elaboración propia

No obstante, a pesar de que los eventos de heladas son recurrentes todos los años, especialmente durante la temporada de invierno en el hemisferio sur (junio, julio y agosto), los registros evidencian años recientes como 2020, 2019, 2014 y 2012 con un menor número de afectados. Al respecto, es importante mencionar que no necesariamente los eventos ocurridos en estos periodos son de carácter extremo; sin embargo, los reportes indican una recurrencia anual que genera una significativa afectación a la población. Esto implica que, a pesar de las estrategias adoptadas a nivel nacional, no se evidencia una tendencia clara hacia la reducción de afectaciones debido a que las estrategias de reducción de la vulnerabilidad benefician solo a una parte minoritaria de la población y no necesariamente se encuentran debidamente focalizadas para el beneficio de poblaciones ubicadas en las zonas de mayor riesgo que posiblemente presenten dificultades de accesibilidad para la atención ante una emergencia. Por esta razón, se requiere de una información precisa para la focalización de intervenciones.

A continuación, se describen los acontecimientos suscitados durante los años de menores afectaciones para el país que, aún bajo esta condición, requirieron una inmediata atención por parte del Estado y las organizaciones:

En el año 2014 se reportó una situación de emergencia nacional de bajas temperaturas críticas que se concentró en las zonas altoandinas, especialmente en aquellas áreas por encima de los 3 800 m s. n. m. Esta situación afectó de manera significativa la vida y salud de las poblaciones, así como sus medios de subsistencia. Al respecto, se registraron 505 personas fallecidas y 109 257 personas afectadas o que sufren una perturbación en su ambiente por efectos de un fenómeno, por tanto, es posible que requiera apoyo inmediato para eliminar o reducir las causas de la perturbación (INDECI, 2006). Entre los daños materiales, INDECI reportó 99 animales perdidos, 129 747 animales afectados, 97 áreas de cultivo afectadas y 48 áreas de cultivo perdidas. La ayuda humanitaria gestionada se basó en la entrega de 100 toneladas de abrigo y 1,26 toneladas de alimentos (INDECI, 2015).

En el 2012, los descensos de temperaturas tanto asociados a friajes (selva) como heladas (sierra) afectaron a un total de 196 497 personas, 136 quedaron damnificadas, 287 niños menores de 5 años fallecieron a causa de neumonías de un registro de 26 160 enfermos. En este año, el Gobierno Peruano promulgó un Decreto de urgencia N°015-2012 y realizó una transferencia de partidas para el «Plan Nacional de Intervención a fin de enfrentar los efectos de las heladas y friajes 2012», que permitió la distribución de 4 003 toneladas de alimentos. Asimismo, se realizaron campañas de vacunación y capacitación en el marco de las competencias del Ministerio de Salud y se facilitó ayuda humanitaria a través de frazadas de algodón y acrílico a diferentes departamentos (INDECI, 2015).

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Elaborar un mapa de riesgo por heladas para la zona altoandina del Perú basado en información satelital de alta resolución con énfasis en los impactos asociados a la crianza de alpacas.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Analizar comparativamente los datos de temperatura mínima provenientes de la fuente de información satelital y las estaciones meteorológicas para un mayor alcance espacial.
- Identificar parámetros de evaluación representativos frente al peligro de heladas en la zona altoandina.
- Determinar los niveles de susceptibilidad por peligro de heladas en la zona altoandina.
- Determinar los niveles de riesgo en base a información recopilada en el VI Censo Agrario a nivel distrital.

1.5. Hipótesis

Considerando que la crianza de alpacas se concentra en la zona altoandina del Perú y su rendimiento es anualmente afectado por los eventos meteorológico de heladas, lo cual incide sobre el principal medio de vida de una población altamente vulnerable frente a sus condiciones socioeconómicas, un insumo clave para la focalización de la intervención pública lo constituirá el mapa de susceptibilidad por heladas a través de la identificación de un umbral representativo de afección (no necesariamente asociado a los 0°C) con un mayor nivel de precisión que evidencie una relación directa con la información recopilada sobre las pérdidas de cabezas de alpacas reportadas. Esto

con la finalidad de construir herramientas de mitigación y/o prevención que puedan ser más eficaces.

En este sentido, se considera como hipótesis que las estimaciones existentes de peligro alto por heladas son sobreestimadas o subestimadas a nivel espacial en la zona del altoandina del Perú por encima de los 4 000 m s. n. m.).

Marco Teórico y Conceptual

2.1. Actividad Pecuaria: Crianza de Alpacas

La crianza de camélidos sudamericanos como la alpaca, es la principal actividad agropecuaria de la región altoandina reconocida como «Puna o Jalca», y convive con la actividad agrícola de gran altura, donde se cultivan principalmente tubérculos (papa, oca, mashua, maca, etc.) muy resistentes a las bajas temperaturas. Según John Murra (1975), uno de los grandes logros de las sociedades andinas fue lograr la domesticación de especies en condiciones extremas, y lograr también preservarlas a través del secado (la papa seca también llamada *chuño*, y la carne seca conocida como *charki*). Estas estrategias no solo se llevaron a cabo por un intenso proceso de mejoramiento genético de especies silvestres, sino también de un proceso muy intenso de transformación del paisaje, así como de estrategias de organización territorial y religiosa que permitieron intercambios socio-culturales para lograr el mayor control de diferentes pisos ecológicos.

Entre las estrategias de transformación del paisaje en zonas altoandinas tenemos por debajo de los 4000 ms. n. m. la construcción de terrazas en laderas abruptas (llamadas *andenes* en el Perú), que permitieron la ampliación de la frontera agrícola, la construcción de complejos sistemas hidráulicos para los cultivos de diversos productos en diferentes pisos altitudinales. El manejo de estos sistemas agrícolas ameritó un complejo sistema de organización social que garantizó la productividad de estos agroecosistemas.

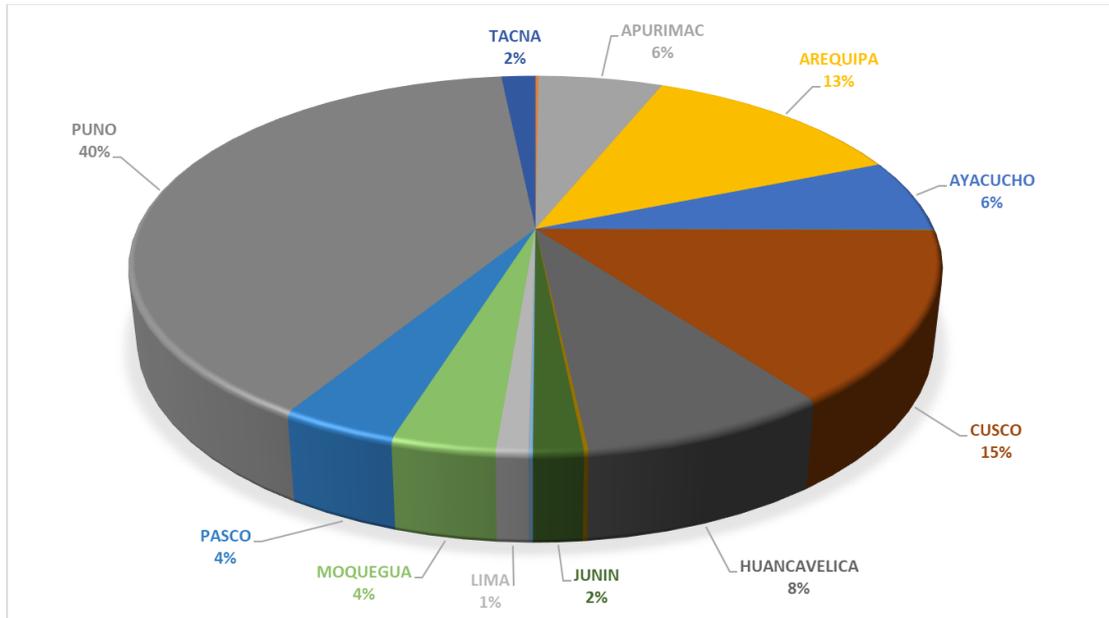
Por encima de los 4000 ms. n. m. la producción estuvo orientada principalmente a la producción de fibra animal y de carne. Para garantizar una mayor productividad se desarrollaron estrategias de transformación del paisaje a

través del manejo del agua para la ampliación de la vegetación hidromórfica (bofedales), que cuentan con la mayor cantidad de especies palatables para las alpacas, así como complejos sistemas de corrales.

Las alpacas son camélidos nativos de la Cordillera de los Andes cuyos organismos están adaptados a las condiciones críticas de frío, baja humedad y poca concentración de oxígeno debido a la altitud. En estos ecosistemas están presentes también pastos naturales en las praderas, aunque limitados y de baja calidad nutritiva, que son la base alimenticia que permite la producción de fibra de alpaca fina de exportación y carne de alto valor proteico con bajo colesterol (Mamani, 2018).

A continuación, se presentan estadísticas (Figura 4) basadas en el último Censo Nacional Agropecuario del 2012 desarrollado por el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) que muestran la distribución porcentual de las alpacas producto de la actividad pecuaria en las regiones de Puno, Cusco, Arequipa, Huancavelica, Ayacucho y Apurímac.

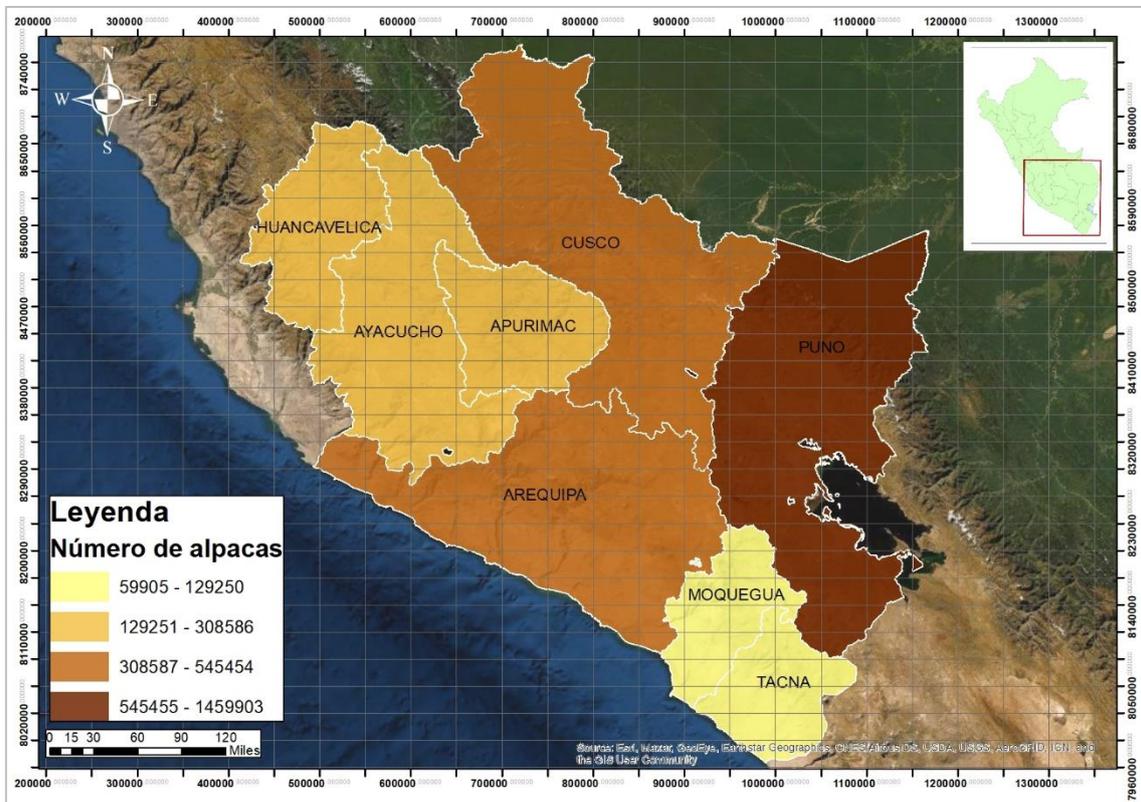
Figura 4. Distribución departamental de la población de camélidos en el Perú a nivel porcentual



Fuente: Censo Nacional Agropecuario del Perú, 2012

Elaboración propia

Figura 5. Distribución departamental de la población de camélidos en el Perú a nivel espacial



Fuente: Censo Nacional Agropecuario del Perú, 2012

Elaboración propia

Tal como se observa en las Figuras 4 y 5, el mayor porcentaje de alpacas se encuentra en el departamento de Puno, seguido de Cusco, Arequipa y Huancavelica. Esto se relaciona con la extensión terrenos que se encuentran por encima de los 4000 m s. n. m.

Los efectos de las heladas en la crianza de alpacas no se manifiestan de inmediato debido al nivel de adaptación que poseen frente a condiciones extremas. La afectación más severa incide en los animales débiles de avanzada edad, enfermos y/o hembras recién paridas y sus crías con respecto al impacto en su alimentación, ante la ocurrencia de heladas es posible evidenciar una menor resiliencia de los pastos naturales que aunada incluso a una temporada de sequía puede propiciar su agostamiento, lo cual reduce la disponibilidad del recurso forrajero exponiendo al ganado a errar en busca de alimento, debilitado y propenso a acentuar los problemas sanitarios de parasitosis, fotosensibilidad y bronquiales. La ausencia de alimento induce el aborto en las hembras preñadas como mecanismo de supervivencia. En relación a la afectación de la salud de las alpacas, los descensos críticos de temperatura mínima pueden propiciar fiebre y/o bronquitis verminosa en los animales, principalmente durante los meses más fríos del año que corresponden a junio, julio y agosto. Por último, la disminución de la capacidad productiva forrajera trae consigo el sobrepastoreo en ciertas unidades de cobertura vegetal altoandinas, que ante la disminución de pastizales gatillan procesos de degradación del suelo (Fernández de Larriona, 2008).

La crianza de alpacas constituye un medio de vida importante para el fortalecimiento de la economía de 150 000 familias de criadores o productores altoandinos concentrados sobre los 4 000 m s. n. m. y otras relacionadas con la comercialización y transformación dentro de la cadena

productiva de alpacas, siendo un millón y medio de personas en la sierra central y sur que viven casi exclusivamente de esta actividad (Fernández de Larriona, 2008 & Mamani, 2018). Al respecto, es importante destacar que la mayoría de los alpaqueros poseen economías de subsistencia.

A pesar de haber ocupado la zona altoandina durante siglos, la alta vulnerabilidad de la población altoandina es resultado de un proceso histórico de los cinco últimos siglos. Esto se debe principalmente a que desde la Colonia cambió considerablemente la distribución espacial de la población. Cambiaron los patrones de aprovechamiento de los recursos, asimismo los procesos migratorios en las zonas altoandinas. En la década de los años ochenta, tuvo un gran impacto el éxodo rural debido a la violencia sociopolítica, así como también un menor interés de la población joven por la actividad alpaquera.

La alpaca es una especie nativa que ha logrado adaptarse a condiciones climáticas extremas y alimentarse del recurso forrajero de la zona altoandina; por lo tanto, su adecuado manejo puede ser una oportunidad para hacer frente a los impactos del cambio climático en las alturas (Flores, 2013), debido a que los efectos tienden a extremar los eventos meteorológicos a corto plazo.

2.2. Intervenciones del Plan Multisectorial ante Heladas y Friaaje

Frente a la afectación a la salud humana, el Plan Multisectorial ante Heladas y Friaaje 2019-2021 (Presidencia del Consejo de Ministros, 2019), realiza diversas intervenciones en articulación con varios ministerios, las cuales son sintetizadas en el siguiente cuadro:

Tabla 1. Lista de intervenciones del PMHF 2019-2021

N°	Tipo de intervención	Intervención	Ministerio	Responsable	Meta física 2022	Unidad
1	Aceleradoras	Viviendas seguras acondicionadas térmicamente	MVCS	PNVR	9,913	Viviendas
2	Aceleradoras	Acondicionamiento térmico de locales escolares	MINEDU	PRONIED	-	Locales escolares
3	Aceleradoras	Implementación de módulos para el resguardo del ganado (Cobertizos)	MIDAGRI	AGRORURAL	2,561	Cobertizos
4	Aceleradoras	Kits de pastos cultivados	MIDAGRI	AGRORURAL	17,500	Kits
5	Aceleradoras	Módulos educativos prefabricados	MINEDU	PRONIED	49	Módulos educativos prefabricados
6	Sostenibilidad	Mantenimiento regular a IIEE con transferencia a directores	MINEDU	PRONIED	3,082	Locales escolares
7	Sostenibilidad	Acondicionamiento de locales CUNA MAS	MIDIS	CUNA MAS	57	Locales
8	Sostenibilidad	Cocinas Mejoradas	MIDIS	FONCODES	14,670	Hogares
9	Sostenibilidad	Neumococo Niñas y niños menores 5 años	MINSA	DGIESP / CENARES / GR	146,845	Población beneficiaria
10	Sostenibilidad	Neumococo Adultos mayores >= 60 años	MINSA	DGIESP / CENARES / GR	362,744	Población beneficiaria
11	Sostenibilidad	Influenza Niñas y niños menores 5 años	MINSA	DGIESP / CENARES / GR	464,113	Población beneficiaria
12	Sostenibilidad	Influenza Adultos mayores >= 60 años	MINSA	DGIESP / CENARES / GR	362,744	Población beneficiaria
13	Entrega directa	Kits para la respuesta educativa ante situaciones de emergencia	MINEDU	ODENAGED	630	Kits

N°	Tipo de intervención	Intervención	Ministerio	Responsable	Meta física 2022	Unidad
14	Entrega directa	Kits veterinarios	MIDAGRI	AGRORURAL	19,399	Kits
15	Entrega directa	Kits de abono foliar	MIDAGRI	AGRORURAL	3,300	Kits
16	Entrega directa	Kits de conservación de forraje	MIDAGRI	AGRORURAL	810	Kits
17	Entrega directa	Kits de protección de cultivos	MIDAGRI	AGRORURAL	2,560	Kits
18	Entrega directa	Kits de abrigo a niñas, niños, gestantes y actores comunales vinculados al Programa.	MIDIS	CUNA MAS	79,140	Kits
19	Entrega directa	Entrega de kits de Agua Segura	MIDIS	FONCODES	14,667	Hogares
20	Entrega directa	Tambos operativos	MIDIS	PN-PAIS	234	Tambos
21	Entrega directa	Entrega de kits de abrigo	MIMP/MINISTER	ODN / DGIN	70,097	Kits
22	Infraestructura	Proyectos de electrificación	MINEM	DGER	1,612	viviendas beneficiarias
23	Infraestructura	Instalación de sistemas fotovoltaicos	MINEM	DGER	-	Sistemas instalados
24	Infraestructura	Proyectos de mejoramiento y rehabilitación de vías	MTC	PROVÍAS DESCENTRALIZADO	193	Km
25	Infraestructura	Mantenimiento periódico de vías vecinales	MTC	PROVÍAS DESCENTRALIZADO	-	Km
26	Infraestructura	Instalación de banda ancha - Locales escolares beneficiados	MTC	PRONATEL	350	Locales escolares beneficiados
27	Infraestructura	Instalación de banda ancha - Establecimientos de salud beneficiados	MTC	PRONATEL	155	Establecimiento de salud beneficiados
28	Infraestructura	Instalación de banda ancha - Comisarías beneficiadas	MTC	PRONATEL	14	comisarías beneficiadas

N°	Tipo de intervención	Intervención	Ministerio	Responsable	Meta física 2022	Unidad
29	Fortalecimiento de capacidades	Talleres y distribución de material educativo	MINAM	SENAMHI	4	Talleres
30	Fortalecimiento de capacidades	Distribución de material educativo	MINAM	SENAMHI	2	Material distribuido
31	Fortalecimiento de capacidades	Difusión de avisos meteorológicos	MINAM	SENAMHI	425	Mensajes

Fuente: Presidencia del Consejo de Ministros, 2019

Como puede observarse, varias de estas intervenciones están relacionadas directamente con la salud humana, como la de «viviendas seguras acondicionadas térmicamente», que consisten en la construcción de viviendas rurales que permiten mantener una mayor temperatura en su interior. Otras de las intervenciones relacionadas con la salud son la entrega de kits de abrigo y la aplicación de vacunas contra el neumococo y la influenza a los grupos de población más vulnerables (mujeres, población infantil y personas adultas).

No obstante, las intervenciones relacionadas con la actividad ganadera vienen siendo implementadas por el Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (MIDAGRI), donde resaltan los módulos de resguardo de ganado (cobertizos), así como kits de pastos cultivados y kits veterinarios.

2.3. Circulación atmosférica durante la temporada de bajas temperaturas

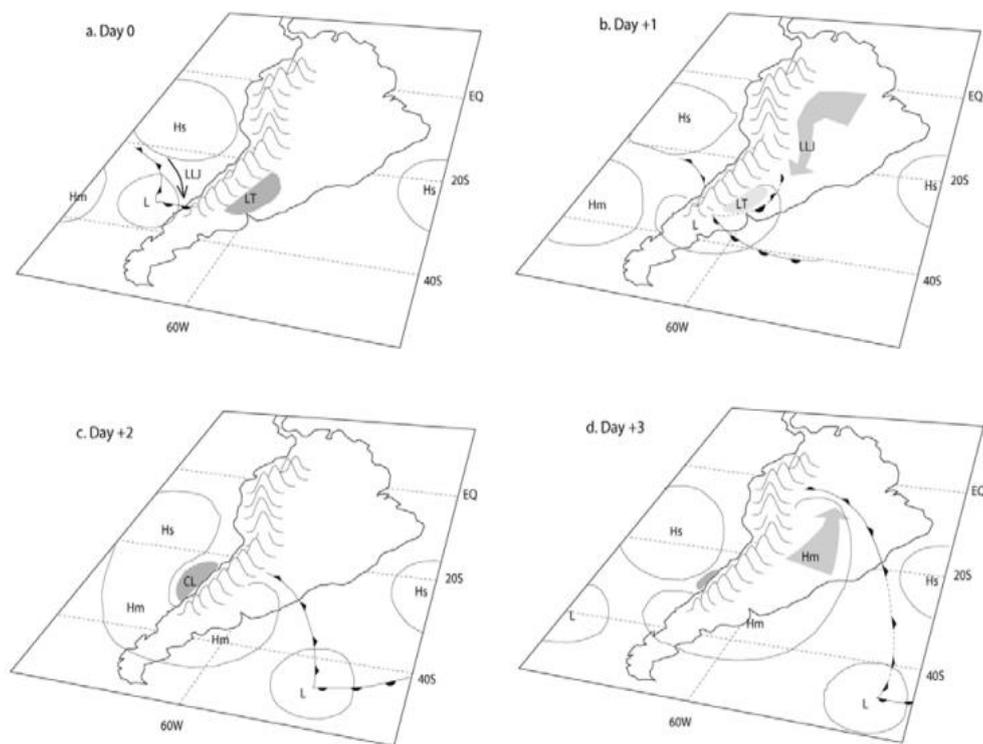
La circulación atmosférica durante la temporada de invierno, reúne los descensos de temperatura más significativos principalmente en los meses de junio, julio y agosto, y manifiesta una serie de patrones atmosféricos

sobre el territorio que dan lugar a eventos extremos meteorológicos como las heladas.

A nivel sinóptico, los efectos más sensibles del comportamiento atmosférico expresado a través de las incursiones de aire frío y denso se evidencian a través de las caídas de temperatura y la predominancia de vientos meridionales (Garreaud & Wallace, 1998). Uno de los sistemas sinópticos más importantes en el sur del país es el Alta de Bolivia centrada a $17^{\circ}\text{S}/70^{\circ}\text{W}$, cuya presencia durante la temporada estival induce a una convección profunda sobre la cuenca amazónica (Lenters y Cook, 1997), puesto que la Cordillera de los Andes posee un rol fundamental en la intercepción del cinturón ecuatorial de bajas presiones, la zona subtropical de altas presiones y los vientos occidentales extratropicales. Esto propicia una configuración sinóptica particular que, durante el invierno austral, restringe los vientos del este a solo la zona al norte cercana a los 10°S y el chorro del oeste subtropical se fortalece más fuerte con su núcleo a 30°S (Garreaud, 2009).

Las heladas en Sudamérica están vinculadas a incursiones de intensos frentes fríos (Figura 5) que dan lugar a la entrada de anticiclones migratorios de gran intensidad provenientes del sur de Argentina. Estos sistemas tienen un rápido desenvolvimiento que sigue una trayectoria meridional, intensificándose debido a factores como la presencia de la Cordillera de los Andes. La escasa nubosidad a causa de la subsidencia del alta migratoria aunada a la disminución de la velocidad del viento, generan condiciones propicias para la ocurrencia de heladas (Seluchi, 1992).

Figura 6. Modelo conceptual en superficie de una onda de latitud media que se desplaza a través de Sudamérica que configura un evento de la helada



Líneas continuas = isóbaras. Los símbolos: Hs=anticiclón subtropical; Hm=anticiclón migratorio (frío); L=célula de baja presión migratoria de baja presión; LT=vaguada; CL=baja costera. También se muestran los frentes fríos en superficie (líneas sólidas con triángulos rellenos), los frentes cálidos (líneas sólidas con semicírculos rellenos).

Fuente: Garreaud, R. D. (2009)

Las incursiones de aire frío en la zona sur del Perú son caracterizadas por dos tipológicas de fenómenos meteorológicos que dependiendo de la región de ocurrencia se denominan de manera distinta: helada o friaje.

A continuación, en la Tabla 2, se muestra un cuadro comparativo respecto a las características que diferencian ambos fenómenos, los cuales tienen incidencia en la región sierra y selva amazónica del país.

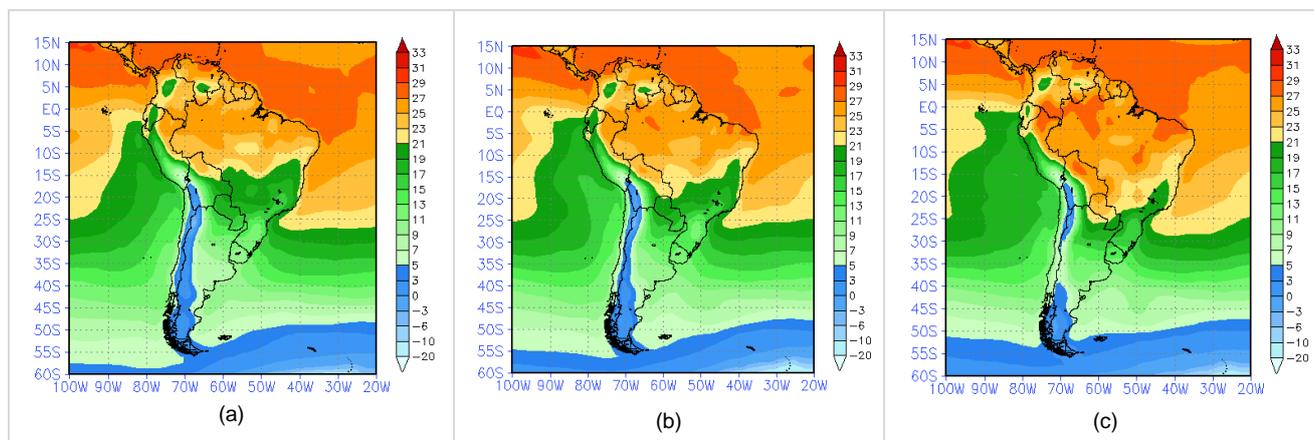
Tabla 2. Cuadro comparativo de los fenómenos meteorológicos de Helada y Friaaje

	Helada	Friaaje
Concepto	Evento meteorológico que involucra la disminución abrupta de la temperatura del aire bajo condiciones de cielo despejado y ambiente seco.	Evento meteorológico que involucra el encuentro de una masa de aire local cálida y húmeda con la masa de aire invasora fría y seca proveniente del sur.
Origen	Ingreso de masas de aire frío y seco a gran altitud que puede involucrar un proceso asociado a enfriamiento radiativo o advección (transporte de masa de aire seca).	Incurción de masas de aire frío de origen antártico, cuyo ingreso en el Perú, se produce mayormente por la selva sur oriental (Madre de Dios).
Otros eventos meteorológicos	Presencia de nevada y granizada. Escasa nubosidad y baja concentración de calor.	Vientos fuertes, descargas eléctricas y lluvias intensas
Región de ocurrencia	Sierra (por encima de los 3 200 m s. n. m.)	Selva amazónica
Duración	Prolongada (entre abril y agosto)	Breve (un promedio de 6 a 7 días)
Frecuencia promedio	Relativa a su impacto	6 a 10 veces al año entre los meses de mayo a septiembre
Récord histórico reportado	-20.7°C en Chuapalca en Tacna (2016)	4.5°C en Puerto Maldonado en Madre de Dios (1975)

Fuente: Instituto Nacional de Defensa Civil (2020), Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (2018)

Elaboración propia

Figura 7. Temperatura del aire a 2m ($^{\circ}\text{C}$) durante los meses de invierno en el Perú



Fuente: Datos Reanálisis NCAR/NCEP v.2 (temperatura); (a) junio (b) julio (c) agosto

Para el caso de estudio que abarcará la zona altoandina del país donde se concentra la actividad alpaquera se tratará específicamente del fenómeno asociado a heladas puesto que estas presentan impactos significativos, especialmente cuando vienen acompañadas de fenómenos complementarios como las nevadas.

2.4. Peligro, Vulnerabilidad y Riesgos

Los primeros estudios sobre análisis de riesgos se enfocaron en el conocimiento de las amenazas con un sesgo de concentración hacia la información técnica científica (Cutter, 1994). Autores más recientes señalan que el análisis de riesgos contempla una visión sintética, integral y multidisciplinaria, cuyos resultados proveerán contenido técnico y métodos de estimación a la Gestión de Riesgos con enfoque prospectivo y reactivo (Ayala-Carcedo, 2002). En este proceso, sin duda alguna, la evaluación del peligro como agente detonante es de gran importancia; sin embargo, el estudio de la vulnerabilidad también demanda una especial atención debido a que está relacionada con el grado de

exposición y fragilidad o capacidad de resiliencia de los elementos expuestos para soportar la acción de los fenómenos.

Con el tiempo, reflexiones multidisciplinarias han dado lugar a definiciones sobre factores de riesgo como el peligro y la vulnerabilidad. El análisis de riesgo implica una evaluación espacial, temporal y tipológica de los factores implicados en su estimación. La peligrosidad es un factor que considera un conjunto de aspectos naturales que inciden sobre el daño esperado. Su caracterización comprende dos componentes inversamente proporcionales: la severidad relacionada a la intensidad del fenómeno representada a través de algún parámetro o índice, y la probabilidad asociada al valor inverso del número de años transcurridos para la ocurrencia de un evento, como mínimo, a una determinada intensidad. El factor de exposición comprende el conjunto de personas, bienes, procesos y servicios expuestos al impacto de un peligro. Y, por último, la Vulnerabilidad es el tanto por uno de la exposición, es decir, implica todo aquello que puede ser afectado frente a un peligro concreto (Ayala-Carcedo, 2002).

El (IPCC, 2014) define a la amenaza como «la potencial ocurrencia de un evento físico o tendencias con orígenes naturales o humanos, el cual puede causar pérdidas de vidas o impactos en la salud, así como daños y pérdidas en las propiedades, provisiones de servicios, ecosistemas y recursos ambientales».

Por otro lado, la (EIRD, 2009) define a la vulnerabilidad como a las características y circunstancias de una comunidad, sistema o bien que los hace susceptibles a los efectos dañinos de una amenaza. Según (CENEPRED, 2015), la vulnerabilidad comprende factores como la exposición, fragilidad y la resiliencia.

El grado de exposición se genera por una relación inapropiada con el ambiente, que puede ser debido a procesos no planificados de crecimiento demográfico, proceso migratorio desordenado, políticas de desarrollo económico no sostenibles, entre otros. En cuanto a la fragilidad, está referida a las condiciones de desventaja del ser humano y sus medios de vida frente a un peligro, se centra en las condiciones físicas de una sociedad o comunidad. Por otro lado, la resiliencia se entiende como la asimilación o capacidad de recuperación del ser humano y medios de vida, asociada a la población y sus condiciones sociales.

2.5. Peligros según el Tipo de Elemento Vulnerable

Existen esfuerzos asociados a los eventos de heladas realizados por diversos autores con el fin de identificar umbrales, indicadores (Straschnoy, *et al* 2006) o parámetros a nivel de Sudamérica que puedan caracterizar con mayor representatividad el peligro asociado a heladas, involucrando en cierta medida el impacto que se desea analizar. Sin embargo, la definición de umbrales presenta un sesgo dentro de la evaluación del territorio de estudio que implica su determinación a través del análisis de sus características propias.

Año tras año el Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI) del Perú registra una serie de emergencias asociadas a la afectación que tiene la población de las regiones altoandinas como Huancavelica, Ayacucho, Apurímac, Cusco, Moquegua, Tacna, Arequipa y Puno, por la ocurrencia de heladas durante la noche y madrugada de procesos de enfriamiento radiativo y advección sobre los 3 200 m s. n. m. (SENAMHI, 2010). Según los datos históricos del SENAMHI, todas las temporadas de invierno reportan afectaciones a la salud de la población y pérdidas económicas en relación a

sus medios de vida como la producción agrícola y ganadera. Según el Índice de Vulnerabilidad Poblacional - VIP (2016), la categoría «Muy alta» de vulnerabilidad frente a peligro por bajas temperaturas alcanza a 15 008 531 personas que equivale a un 54.9% del total de la población a nivel nacional, la cual se encuentra concentrada en la zona altoandina.

El Gobierno Central ha desarrollado una estrategia de gestión pública que permite vincular la asignación de recursos presupuestales a bienes, servicios (productos) y resultados, en beneficio de la población para la prevención y mitigación de fenómenos de alta recurrencia. La Presidencia de Consejo de Ministros, ente rector de la Gestión del Riesgo de Desastres, a través de su Viceministerio de Gobernanza Territorial, tiene a su cargo la elaboración del «Plan Multisectorial Multianual ante Heladas y Friaaje 2019-2021», instrumento de gestión que tiene como objetivo reducir la vulnerabilidad de la población en zonas de muy alto riesgo a heladas (sierra) y friaajes (selva), a través de la ejecución de acciones articuladas del Estado (CENEPRED, 2018). En este contexto, el Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED), en cumplimiento de las competencias otorgadas a través de la Ley N° 29664, elaboró los escenarios de riesgos por heladas y friaaje en el ámbito nacional. Su metodología considera como unidad mínima de análisis a los centros poblados con la finalidad de focalizar la intervención sectorial. En los escenarios de riesgo por heladas en el marco del Plan Multisectorial Multianual 2019-2021 (CENEPRED, 2018), el análisis de susceptibilidad por heladas contempla parámetros de evaluación genéricos técnicamente (Tabla 1) como la frecuencia e intensidad basadas en el número de días del mes con temperatura mínima debajo de los 0°C y el percentil 10

del histórico de información de 1981-2010, con rangos asignados en relación a la magnitud (3 - 5 días y 5°C).

Tabla 3. Clasificación de parámetros de evaluación frente a heladas

Rangos	Parámetros de evaluación	
	Frecuencia de heladas por debajo de los 0°C (días en el mes)	Temperatura mínima asociada al percentil 10 (°C)
5	25 a 31 días	Mayor a -10
4	15 a 25 días	-10°C a -5°C
3	5 a 15 días	-5 a 0°C
2	2 a 5 días	0°C a 5°C
1	0 a 2 días	Mayor a 5°C

Fuente: CENEPRED, 2018

Considerando que las "heladas" son eventos meteorológicos cuya severidad e impacto se asocian a parámetros de evaluación como la duración e intensidad del evento como tal, y no necesariamente requieren alcanzar en estricto los 0°C (umbral exclusivo de heladas meteorológicas) para causar una afectación a la población altoandina, se propone la formulación de parámetros climáticos que guarden una relación directa respecto a la actividad pecuaria, específicamente a la crianza de alpacas.

Según el CENEPRED (2008), debido a que la zona altoandina de Perú se caracteriza por su limitada densidad de información respecto a las condiciones sociales y un patrón de altos niveles de vulnerabilidad, cuya ponderación se concentra en características de la vivienda (tipo, conexión, agua, combustible), la persona (discapacidad, edad, afiliación médica, lengua y grado de instrucción) y los medios de vida (sectores económicos y ocupación laboral),

son las condiciones climáticas extremas en el territorio reflejadas a través de un mapa de susceptibilidad en este caso frente a heladas las que se constituirán como un insumo técnico clave para la caracterización del fenómeno.

Una de las principales limitaciones de la información climática oficial es la baja densidad de puntos de monitoreo, tal como se muestra en el Figura 12. Esto desencadena incertidumbre en la información generada para la planificación territorial de intervenciones que tiene alcance local como en el Plan Multisectorial ante Heladas y friaje. La información oficial para obtener el mapa de susceptibilidad ante heladas y friaje que sirve de base para la estimación de riesgos se basa en interpolaciones básicas realizadas por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (Alarcón & Trebejo, 2010).

Esta información oficial, tal como es trabajada en la actualidad, es insuficiente para realizar intervenciones a nivel local, lo cual ha generado una gran cantidad de demandas por parte de las autoridades locales, para su incorporación del Plan Multisectorial ante Heladas y Friaaje (Presidencia del Consejo de Ministros, 2021). Esta situación justifica la búsqueda de información complementaria que, correctamente validada, puede ser utilizada para mejorar el detalle de la información y justificar mejor la focalización de políticas públicas; es por ello que se decidió utilizar productos de temperatura superficial obtenidos a partir de sensores ópticos.

2.6. Análisis de la Información Satelital

Respecto a lo mencionado en el ítem anterior, se ha identificado como una fuente de información climática los productos obtenidos a partir de satélites ópticos.

La teledetección es la técnica de adquisición de datos de la superficie terrestre desde sensores instalados en plataformas espaciales. La interacción electromagnética entre el terreno y el sensor, genera una serie de datos que son procesados posteriormente para obtener información interpretable de la Tierra (Instituto Geográfico del Perú, 2020).

A nivel general, los tipos de sensores que se utilizan son los sensores activos y pasivos. Los sensores activos son aquellos que emiten su propia radiación electromagnética que posteriormente es captada por el sensor para luego ser interpretado. Los sensores pasivos son los que captan la energía electromagnética de una fuente natural, como la del sol, captando información de acuerdo a un rango del espectro electromagnético según el sensor (USGS, 2016).

Una de los primeros sensores de teledetección usados fueron las fotografías aéreas, que tuvieron un gran desarrollo principalmente desde la I Guerra Mundial; posteriormente, ha habido un amplio uso civil, que constituyó una fuente fundamental para la generación de cartografía base a nivel mundial, así como el estudio de los recursos naturales, entre otras aplicaciones.

Uno de los grandes hitos de la teledetección satelital fue el lanzamiento del satélite Landsat 1 en el año 1972, que dio inicio a un proceso intensivo de observación de la Tierra, y que a su vez incentivó adelantos significativos en los estudios de recursos naturales, desastres, análisis de patrones en la organización territorial, etc.

Las bandas espectrales térmicas permiten la estimación de temperaturas. En el caso del presente estudio, se utilizaron

productos generados a partir del sensor MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer).

MODIS es un instrumento a bordo de los satélites Terra y Aqua. Las imágenes del satélite Terra están disponibles desde el año 1999, mientras que de Aqua desde el 2002. MODIS tiene el potencial para la medición de temperatura de superficie, detección de incendios, detección de vegetación y sus cambios, entre otros (NASA, 2022). Cuenta también con 36 bandas espectrales, tal como se puede observar en el cuadro siguiente:

Tabla 4. Bandas espectrales del sensor MODIS

Banda	Longitud de onda (nm)	Resolución (m)	Uso primario
1	620–670	250	Tierra/Nubes/Límites de aerosoles
2	841–876	250	
3	459–479	500	Tierra/Nubes/Aerosoles Propiedades
4	545–565	500	
5	1230–1250	500	
6	1628–1652	500	
7	2105–2155	500	
8	405–420	1000	Color del océano/ Fitoplancton/ Biogeoquímica
9	438–448	1000	
10	483–493	1000	
11	526–536	1000	
12	546–556	1000	
13	662–672	1000	
14	673–683	1000	
15	743–753	1000	
16	862–877	1000	Atmosférico Vapor de agua
17	890–920	1000	
18	931–941	1000	
19	915–965	1000	
Banda	Longitud de onda (μm)	Resolución (m)	Uso primario
20	3.660–3.840	1000	Superficie/Nubes T _e
21	3.929–3.989	1000	
22	3.929–3.989	1000	
23	4.020–4.080	1000	Atmosférico T _e
24	4.433–4.498	1000	
25	4.482–4.549	1000	Nubes cirrus Vapor de agua
26	1.360–1.390	1000	
27	6.535–6.895	1000	

Banda	Longitud de onda (nm)	Resolución (m)	Uso primario
28	7.175–7.475	1000	
29	8.400–8.700	1000	Propiedades de nubes
30	9.580–9.880	1000	Ozono
31	10.780–11.280	1000	Superficie/Nubes T _e
32	11.770–12.270	1000	
33	13.185–13.485	1000	Tope de nubes Altitud
34	13.485–13.785	1000	
35	13.785–14.085	1000	
36	14.085–14.385	1000	

Fuente: NASA, 2022

La estimación de temperatura en superficie es calculada a partir de las bandas del infrarrojo termal, que son las bandas 29, 30 y 31, las mismas que cuentan con 1 km de resolución espacial. Esta resolución espacial es la que permite la mejora de los datos tomados en estaciones climáticas, una vez evaluada su correlación.

MODIS cuenta con el producto *Land Surface Temperature* (LST), cuya información es diaria, o compuesta a partir de 8 días.

Desde los inicios de la teledetección satelital se cuenta con gran cantidad de información disponible de gran utilidad que permite visualizar cambios históricos de diferentes variables territoriales y sus posibles tendencias. La teledetección tradicional requiere la descarga de información en la computadora para su posterior procesamiento, aspectos que vienen siendo superados en la era del Big Data, que ha proporcionado diferentes herramientas que permiten el procesamiento rápido de grandes volúmenes de información.

Una de ellas es *Google Earth Engine*, que constituye una herramienta para el procesamiento masivo de datos satelitales, incluyendo información de las diferentes

misiones Landsat, así como MODIS. En el caso de MODIS, cuenta con el producto LST a nivel diario, que es el que se utilizó para la presente investigación. *Google Earth Engine* cuenta con un API (*Application Programming Interface*) propia basada en *Java Script*, así como también una API basada en *Python* que permite realizar aplicaciones científicas más avanzadas.

Descripción del Área de Estudio

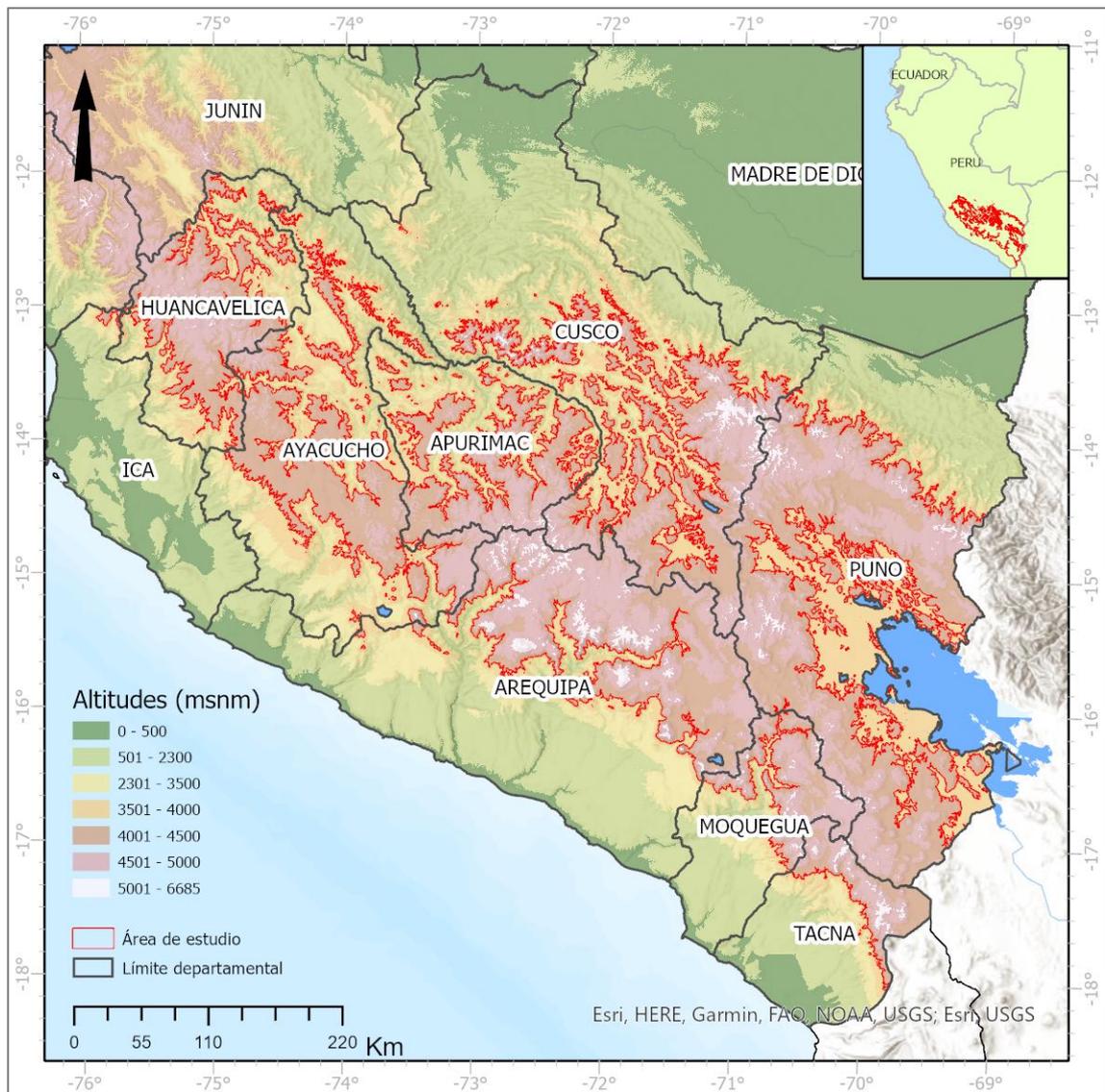
En Perú, las características climáticas son de carácter diverso debido a los factores que influyen sobre la incidencia de los fenómenos meteorológicos a pesar de la cercanía del país a la zona ecuatorial, lo cual limita la presencia de cambios extremos interestacionales.

3.1. Ubicación

Perú está ubicado en el sector centro oriental de Sudamérica, limita por el oeste con el océano Pacífico, al norte con los países de Ecuador y Colombia, al este con Brasil y Bolivia, y al sur con Chile. A nivel de coordenadas, se encuentra entre los $68^{\circ}39'W$ y $81^{\circ}19'W$ de longitud y los $00^{\circ}01'S$ y $18^{\circ}20'S$ de latitud.

El ámbito de estudio se encuentra en las zonas altoandinas del Perú, en las regiones de Huancavelica, Ayacucho, Apurímac, Arequipa, Cusco, Moquegua, Tacna y Puno, y están comprendidas entre los 4 000 m s. n. m. a los 5 200 m s. n. m. aproximadamente, para los fines del estudio (Figura 8). Esta zona se encuentra sobre la Cordillera de los Andes, la cual constituye una meseta de frontera climática que se interpone entre la humedad de la cuenca amazónica (este) y la sequedad de la zona costera cercana al Pacífico (oeste). Sus características geográficas inciden sobre la configuración y manifestación de los eventos climáticos sobre el territorio, alcanzando una superficie de 121 481.76 km².

Figura 8. Mapa de ubicación del ámbito de estudio



Fuente: Instituto Nacional de Estadística e Informática (2017)

Modelo de elevación digital - ALOSPALSAR (2011)

Elaboración propia

3.1. Características Demográficas y Socioeconómicas

Los recursos genéticos de la zona altoandina están vinculados intrínsecamente a las prácticas ancestrales tradicionales y su conservación, lo cual se entrelaza con su afirmación cultural. Sin embargo, la mayoría de estas comunidades vive en situación de pobreza y, en algunos departamentos, representa los segmentos más pobres de la

población peruana. Dedicadas a la pequeña agricultura de subsistencia, las familias de las zonas altoandinas se enfrentan a problemas complementarios como la degradación del suelo, que socavan su productividad y medios de subsistencia.

Según los datos más recientes recopilados durante el año 2017, el ámbito de estudio sobre los 4 000 m s. n. m. alberga una población de 273 987 habitantes, que corresponde a los 15 056 centros poblados, ubicados en los ocho departamentos de Apurímac, Arequipa, Ayacucho, Cusco, Huancavelica, Moquegua, Tacna y Puno, tal y como lo resume la Tabla 5. La mayor población se concentra en el departamento de Puno con 138 579 habitantes, que equivale a un 50,57% de la población objetivo. Seguido por el departamento de Cusco, que acoge a una población de 65 017 habitantes y equivale al 23.73%. En tercer lugar, se encuentra la densidad poblacional del departamento de Huancavelica que alcanza los 30 459 habitantes, la cual equivale al 11,12% de la población involucrada en el ámbito de estudio. Al respecto, es posible señalar que la distribución de las edades evidencia una población en su mayoría que supera los 14 años de edad, especialmente en Tacna y Moquegua que superan el 80% de la población involucrada en el ámbito de estudio.

Tabla 5. Población de los centros poblados ubicados en el ámbito de estudio sobre los 4 000 m s. n. m.

Departamento	N° de centros poblados	Población involucrada	% de la Población total del ámbito
Apurímac	765	10,769	3.93
Arequipa	2,571	14,067	5.13
Ayacucho	1,744	8,939	3.26
Cusco	2,918	65,017	23.73
Huancavelica	2,128	30,459	11.12

Departamento	N° de centros poblados	Población involucrada	% de la Población total del ámbito
Moquegua	599	3,814	1.39
Puno	3,948	138,579	50.58
Tacna	383	2,343	0.86
Población involucrada	15,056	273,987	100.00

Fuente: Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2017

Elaboración propia

Tabla 6. Distribución de la población por edades en el ámbito de estudio sobre los 4 000 m s. n. m.

Departamento	0 a 14 años	15 a 29 años	30 a 44 años	45 a 64 años	65 años a más	Población involucrada	Menores de 14 años	Menores de 14 años %	Mayores de 14 años	Mayores de 14 años %
Apurímac	3,187	2,334	2,147	1,738	1,363	10,769	3,187	30	7,582	70
Arequipa	3,396	2,824	3,559	2,483	1,805	14,067	3,396	24	10,671	76
Ayacucho	2,194	1,802	2,148	1,518	1,277	8,939	2,194	25	6,745	75
Cusco	19,555	13,667	11,957	10,752	9,086	65,017	19,555	30	45,462	70
Huancavelica	10,362	6,663	5,042	4,266	4,126	30,459	10,362	34	20,097	66
Moquegua	451	892	1,323	746	402	3,814	451	12	3,363	88
Puno	35,625	34,626	29,146	21,532	17,650	138,579	35,625	26	102,954	74
Tacna	323	556	779	428	257	2,343	323	14	2,020	86
Población involucrada	75,093	63,364	56,101	43,463	35,966	273,987	75,093	27	198,894	73

Fuente: Plataforma Nacional de Datos Georeferenciados Geo-Perú.

Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2017

Elaboración propia

Tabla 7. Características de la población en los centros poblados ubicados en el ámbito de estudio sobre los 4 000 m s. n. m.

Departamento	N° de centros poblados	% viviendas sin agua de red	% viviendas sin desagüe	N° de hogares
Apurímac	765	64.48	70.84	3,633
Arequipa	2,571	58.94	61.02	4,408
Ayacucho	1,744	43.18	45.54	2,868
Cusco	2,918	64.36	76.31	21,067
Huancavelica	2,128	58.73	67.17	9,475
Moquegua	599	59.93	59.59	1,031
Puno	3,948	72.56	78.87	53,034
Tacna	383	63.67	63.58	675
Total	15,056	62.15	68.25	96,191

Fuente: Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2017
Elaboración propia

3.2. Características Físicas y Biológicas

El ámbito comprende, en gran parte, la altiplanicie o superficie de Puna, que constituye la evidencia de una antigua superficie de erosión que ha ido elevándose con la evolución de la Cordillera de los Andes. El rango altitudinal está comprendido entre los 4 500 y más de 6 600 m s. n. m., lo cual ha dado lugar a una distribución climática marcada por el gradiente altitudinal de temperatura. El relieve es bastante heterogéneo, predominando formas de origen glaciario, periglaciario, denudacional y volcánico.

Las condiciones biofísicas en la Cordillera de los Andes se ven representadas por una amplia variabilidad climática que ha dado lugar a diferentes paisajes y ecosistemas de

alta biodiversidad y endemismo. En particular, la vegetación en la zona altoandina del Perú se caracteriza por evidenciar una gran superficie de pajonal andino, un tipo de asociación vegetal no boscosa conformada en gran parte por herbazales que se desarrollan en terrenos sobre los 3 800 y 4 800 m s. n. m. tanto en planos como altiplanicies escarpadas (MINAM, 2015). Este es el tipo de cobertura que destaca en el ámbito de estudio alcanzando el 79,30% del área sobre los 4 000 m s. n. m., lo que equivale a 105 149 km² (Figura 9 y Tabla 8).

En base a la identificación de unidades de cobertura vegetal a escala de 1: 250 000 realizada por el Ministerio del Ambiente del Perú, se han clasificado las grandes unidades en tres tipos fisonómicamente y florísticamente (Figura 9): pajonal (hierbas en forma de manojos de hasta 80 cm de alto), césped de puna (hierbas de porte bajo hasta de 15 cm de alto) y tolar (arbustos de hasta 1,20 m de alto).

Entre las asociaciones identificadas como subtipo pajonal andino destacan: Asociación Calamagrostis-Stipa (predominan las especies *Calamagrostis rigida*, *Stipa hans-meyeri*, seguido de *Pycnophyllum molle*, *Parastrephia phyllicaeformis*, *Loricaria graveolens*, entre otras; en la Asociación Festuca - Stipa, predominan las especies *Festuca weberbaueri*, *Stipa inconspicua*, *Calamagrostis amoena*, entre otras; y en la Asociación Stipa-Margiricarpus, predominan las especies *Stipa ichu*, *Margyricarpus strictus* seguidas de *Aciachne pulvinata* (MINAM, 2015).

Flores et al. (2005) identifica también el subtipo "césped" que corresponde a una vegetación con alturas de hasta 15 cm concentradas dominada por especies como gramíneas y gramíoides, con inclusiones de especies tales como: *Aciachne pulvinata*, *Aciachne acicularis* "paco-champa",

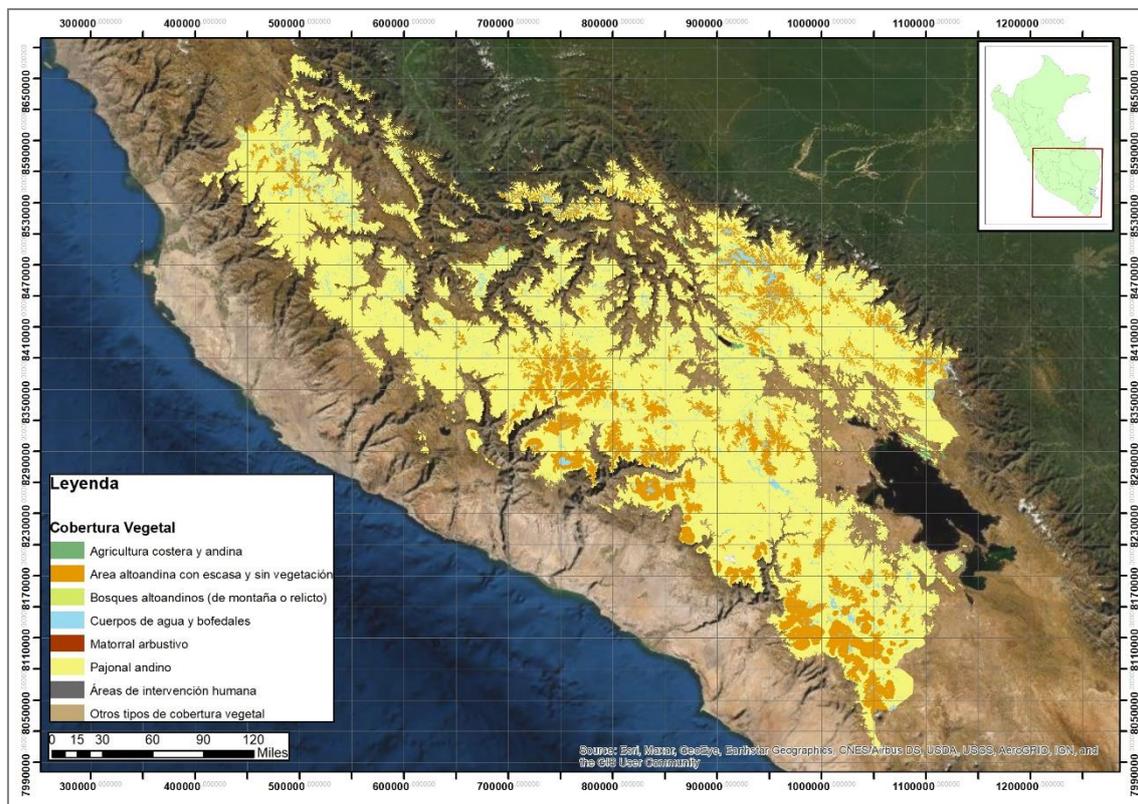
Calamagrostis vicunarum "crespillo", *Agrostis breviculmis*, *Calamagrostis minima*, *Dissanthelium calycinum*, *Dissanthelium macusaniense*, *Festuca peruviana* (MINAM, 2015).

El subtipo "tolar" se caracteriza por el predominio de comunidades arbustivas sobre las herbáceas concentradas en la puna del sur. Las especies resinosas son también abundantes como *Parastrephia lepidophylla* ("tola"), *Parastrephia phyllicaeformis*, *Bacharis tricuneata* ("tayanco"), *Diplostephyum sp.*; se incluyen otras arbustivas como, *Fabiana densa*, *Lupinus microphyllus*, *Chuquiraga espinosa*, *Senecio spinosus*, *Ephedra americana*; herbáceas como *Stipa inconspicua*, *Pycnophyllum molle*, *Festuca rigescens*, *Aciachne pulvinata*, *Calamagrostis vicunarum*, *Stipa ichu*, *Aciachne pulvinata*, *Werneria sp.*, *Senecio spinosus* y *Calamagrostis vicunarum*, entre otras (MINAM, 2015).

Las condiciones extremas, específicamente sobre los 4 500 m s. n. m., hacen disminuir el crecimiento de herbáceas propiciando suelos desnudos o afloramientos rocosos, esta situación incide en el 15,44% del territorio que se caracteriza por una escasa vegetación que también puede estar asociada a la presencia de glaciares contiguos y/o a áreas naturales erosionadas o degradadas.

La diferencia de superficie menor al 5% se encuentra constituida de coberturas como glaciares, cuerpos de agua, bofedales, actividad agrícola altoandina, zonas urbanas, minería, entre otros.

Figura 9. Cobertura vegetal del ámbito de estudio sobre los 4 000 m s. n. m.



Fuente: Ministerio del Ambiente del Perú (2015)

Elaboración propia

Tabla 8. Superficie de las unidades de cobertura vegetal del ámbito de estudio sobre los 4 000 m s. n. m.

N°	Unidades de cobertura vegetal	Área en Km ²	Porcentaje de la superficie (%)
1	Pajonal andino	105 149.00	79.30
2	Área altoandina con escasa y sin vegetación	20 468.40	15.44
3	Cuerpos de agua y bofedales	5 398.51	4.07
4	Agricultura andina	601.14	0.45
5	Matorral arbustivo	508.38	0.38
6	Bosques altoandinos (de montaña o relicto)	434.66	0.33
7	Áreas de intervención humana (minería, plantaciones, urbano)	37.65	0.03
		132 597.75	100.00

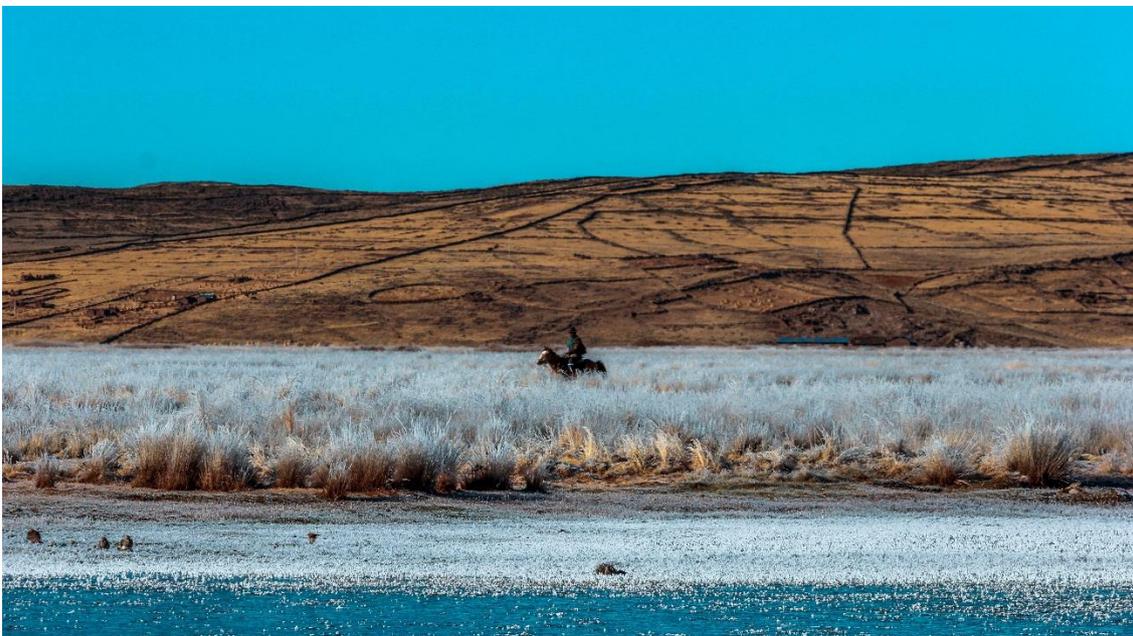
Fuente: Ministerio del Ambiente del Perú (2015)

Elaboración propia

Figura 10. Fotografías del ámbito de estudio sobre los 4000 m s. n. m.



Nota. Inmediaciones del Glaciar Quelccaya en Cusco I [Fotografía], © Renny Díaz, 2018.



Nota. Helada Laraqueri en Puno [Fotografía], © Renny Díaz, 2018.



Nota. Phinaya, Santa Lucía en Puno [Fotografía], © Renny Díaz, 2018.

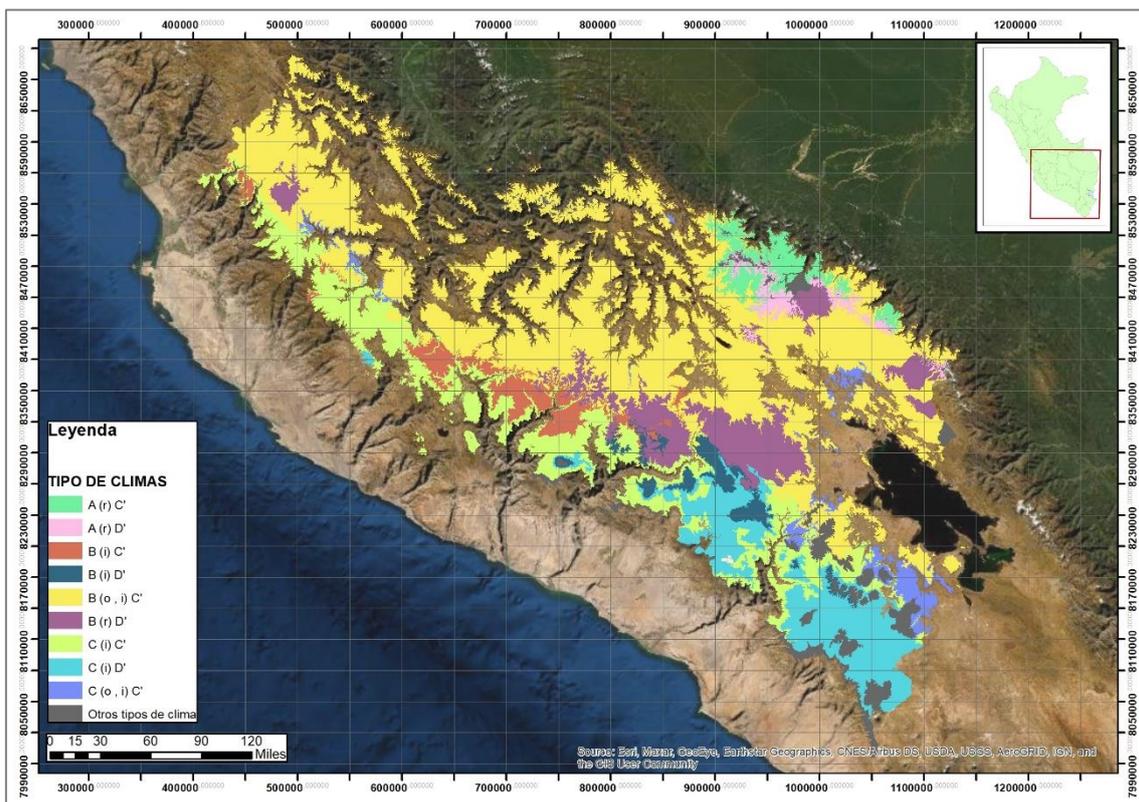
3.3. Condiciones Climáticas

3.3.1. Caracterización Climática

Las condiciones sinópticas y geográficas del territorio permiten atribuir características particulares a la zona altoandina sobre los 4 000 m s. n. m. Existen diversas metodologías de clasificación climática (Köppen, 1936; Miller, 1951; Thornthwaite, 1931 & Strahler, 1969) que resumen el comportamiento promedio de las variables meteorológicas a fin de lograr la determinación de unidades espaciales con condiciones climáticas similares. Recientemente, el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (Senamhi) ha elaborado el estudio "Climas del Perú: Mapa de Clasificación Climática" como un servicio de información climática a nivel nacional.

La clasificación climática desarrollada por el Senamhi a través del método propuesto por Warren Thornthwaite considera principalmente los valores de precipitación y temperatura del aire para el cálculo de los índices de Precipitación Efectiva (IPE) Concentración Estacional de Humedad (ICEH) y Eficiencia Térmica (IET) (Thornthwaite, 1948; Senamhi, 1988; Senamhi, 2020). El Mapa de Clasificación Climática del Perú (Senamhi, 2020) se encuentra disponible a través de la plataforma de infraestructura de datos espaciales institucional y posee carácter oficial.

Figura 11. Clasificación Climática (Warren Thornthwaite) del ámbito de estudio sobre los 4 000 m s. n. m.



Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú
Elaboración propia

Tabla 9. Atributos de la Clasificación Climática (Warren Thornthwaite) del ámbito de estudio sobre los 4 000 m s. n. m.

N°	Código	Precipitación efectiva	Distribución de la precipitación	Eficiencia de temperatura	Área en Km ²	Porcentaje de la superficie (%)
1	B (o, i) C'	Lluvioso	Con invierno y otoño seco	Frío	61 710.10	46.54
2	C (i) C'	Semiseco	Con invierno seco	Frío	20 340.80	15.34
3	C (i) D'	Semiseco	Con invierno seco	Semifrío	13 563.20	10.23
4	B (r) D'	Lluvioso	Humedad abundante en todas las estaciones del año	Semifrío	12 026.20	9.07
5	B (i) C'	Lluvioso	Con invierno seco	Frío	5 499.34	4.15
6	A (r) C'	Muy lluvioso	Humedad abundante en todas las estaciones del año	Frío	4 132.89	3.12
7	C (o, i) C'	Semiseco	Con invierno y otoño seco	Frío	3 768.88	2.84
8	B (i) D'	Lluvioso	Con invierno seco	Semifrío	3 140.14	2.37
9	A (r) D'	Muy lluvioso	Humedad abundante en todas las estaciones del año	Semifrío	2 174.08	1.64
10	Otros				6 244.93	4.71
					132 600.56	100.00

Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú, 2020

Elaboración propia

La Figura 11 y la Tabla 9 señalan entre los principales tipos de clima, que la sección central de la Cordillera de los Andes que equivale al 46,54% del territorio posee un clima frío y lluvioso con temporadas de invierno y otoño secas. La sección más occidental que corresponde al 15,34% del ámbito de estudio se caracteriza por las mismas condiciones térmicas pero menor humedad (semiseco), la cual disminuye durante el invierno. Una superficie más dispersa de 9.07% posee un clima lluvioso, aunque semifrío al igual que otro 6.67% del ámbito que posee un invierno seco y clima lluvioso. Tal como muestra la Figura 12, el comportamiento

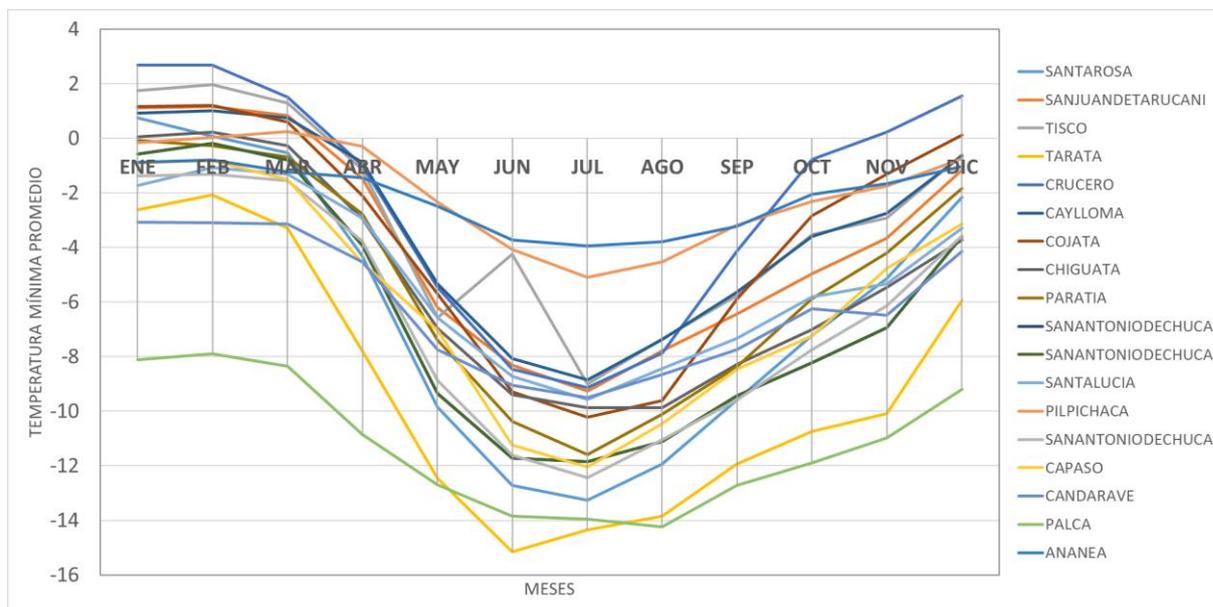
interanual de las temperaturas mínimas en el ámbito de estudio evidencia una oscilación térmica entre 0-2°C en el verano austral y -12°C a -10°C en el invierno austral durante el año.

Tabla 10. Temperaturas mínimas promedio a nivel mensual en estaciones seleccionadas del ámbito de estudio

Departamento	Distrito	Altitud	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
PUNO	SANTAROSA	4 003	0.7	0.1	-0.5	-4.3	-9.8	-12.7	-13.3	-11.9	-9.6	-7.2	-5.1	-2.2
AREQUIPA	SAN JUAN DE TARUCANI	4 121	1.1	1.2	0.8	-1.5	-6.2	-8.3	-9.3	-7.8	-6.5	-5.0	-3.7	-1.2
AREQUIPA	TISCO	4 175	1.8	2.0	1.3	-1.2	-6.6	-4.3	-9.0	-7.4	-5.8	-3.5	-2.9	-0.6
TACNA	TARATA	4 177	-2.6	-2.1	-3.3	-7.8	-12.5	-15.2	-14.4	-13.8	-11.9	-10.8	-10.1	-5.9
PUNO	CRUCERO	4 183	2.7	2.7	1.5	-1.0	-5.5	-8.5	-9.1	-7.9	-4.1	-0.8	0.2	1.6
AREQUIPA	TISCO	4 195	-0.4	-0.2	-0.4	-1.3	-4.8	-7.7	-8.5	-7.6	-5.4	-4.0	-3.3	-1.9
AREQUIPA	CAYLLOMA	4 265	0.9	1.0	0.7	-0.9	-5.3	-8.1	-8.8	-7.4	-5.6	-3.6	-2.8	-0.6
PUNO	COJATA	4 344	1.2	1.2	0.6	-2.1	-5.7	-9.3	-10.2	-9.6	-5.9	-2.8	-1.3	0.1
AREQUIPA	CHIGUATA	4 378	0.1	0.2	-0.3	-3.0	-7.0	-9.4	-9.9	-9.9	-8.3	-7.0	-5.5	-3.7
PUNO	PARATIA	4 400	-0.1	-0.3	-0.7	-2.8	-7.4	-10.4	-11.6	-10.1	-8.4	-5.9	-4.2	-1.8
AREQUIPA	SAN ANTONIO DE CHUCA	4 455	-0.6	-0.2	-0.8	-3.9	-9.3	-11.7	-11.9	-11.1	-9.4	-8.2	-6.9	-3.6
PUNO	SANTA LUCIA	4 508	-1.7	-1.1	-1.3	-2.9	-6.6	-8.7	-9.6	-8.4	-7.3	-5.8	-5.3	-3.3
HUANCAVELICA	PILPICHACA	4 512	-0.2	0.0	0.3	-0.3	-2.3	-4.1	-5.1	-4.5	-3.2	-2.3	-1.8	-0.8
AREQUIPA	SAN ANTONIO DE CHUCA	4 519	-1.4	-1.3	-1.6	-3.8	-8.9	-11.6	-12.4	-11.1	-9.6	-7.8	-6.1	-3.6
PUNO	CAPASO	4 530	-0.9	-0.8	-1.5	-4.5	-7.0	-11.2	-12.0	-10.5	-8.5	-7.2	-4.8	-3.1
TACNA	CANDARAVE	4 609	-3.1	-3.1	-3.1	-4.5	-7.8	-9.0	-9.5	-8.7	-7.8	-6.3	-6.5	-4.1
TACNA	PALCA	4 609	-8.1	-7.9	-8.4	-10.8	-12.7	-13.8	-14.0	-14.2	-12.7	-11.9	-11.0	-9.2
PUNO	ANANEA	4 660	-0.9	-0.8	-1.2	-1.5	-2.5	-3.7	-4.0	-3.8	-3.2	-2.1	-1.7	-1.0

Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú.

Figura 12. Comportamiento mensual de las temperaturas mínimas promedio en las estaciones meteorológicas seleccionadas del ámbito de estudio



Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú.

3.3.2. Origen de las Heladas a Nivel Local

En el Perú, el fenómeno de heladas a nivel local depende de la interacción de un conjunto de variables tales como la dirección e intensidad del viento, humedad, el aire, propiedades físicas del suelo, nubosidad, intercambio de calor entre la superficie y el aire; además la intensidad de las heladas depende de la altitud donde ocurre el evento.

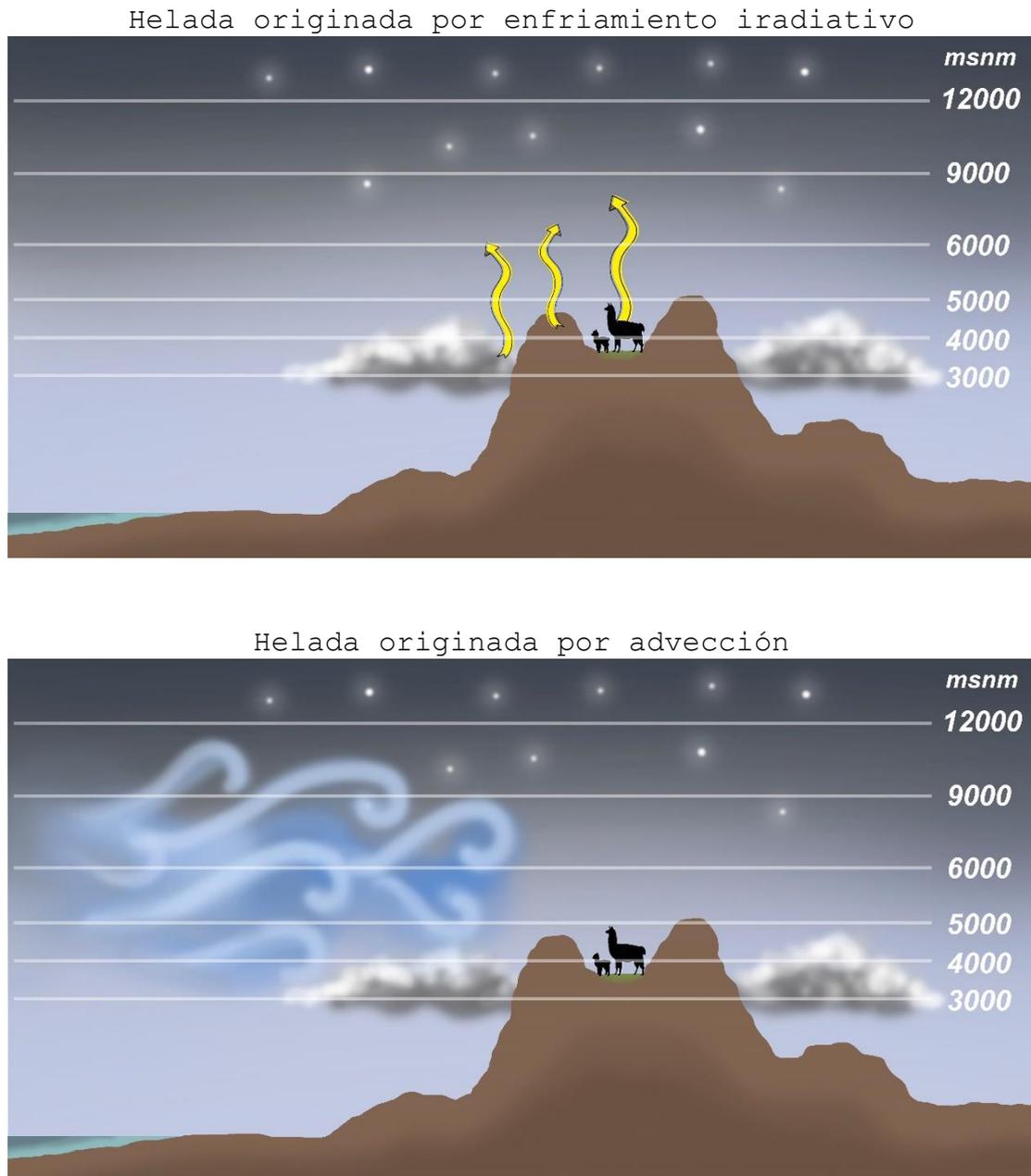
Las heladas también pueden ser propiciadas por la incursión de masas de aire con temperaturas muy bajas proceso conocido como advección a causa de la circulación atmosférica a nivel de meso escala. Por lo general, en la zona altoandina del Perú las heladas son irradiativas sobre los 3 200 m s. n. m., es decir, se presentan condiciones de noches despejadas, cuando la radiación terrestre concentrada durante el día es emitida a la atmósfera por ausencia de nubes y por la baja concentración de humedad atmosférica (Dávila, 2016). Se produce también en noches en calma, en

ausencia de vientos (Elías y Castellvi, 2001). Con la puesta del Sol la superficie terrestre empieza a liberar el calor acumulado durante el día hacia la atmósfera en forma de ondas calóricas. Si estas ondas encuentran nubes en su camino, son reflejadas al suelo, pero si la noche está despejada, el viento en calma y la humedad es baja, el calor irradiado no regresa y la temperatura disminuye paulatinamente por debajo de los 0°C, al amanecer (Figura 13).

Cabe resaltar que, la severidad de las heladas está sujeta a las condiciones sinópticas y locales que caracterizan la atmósfera en un determinado instante, además de otros factores geográficos como la orografía, vegetación, humedad del suelo, entre otros.

A continuación, se presenta un gráfico comparativo del patrón de origen de las heladas en la zona altoandina:

Figura 13. Esquema gráfico de los tipos de heladas según su origen



Fuente: Adaptado del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (2017)

Metodología y Fuentes de Información

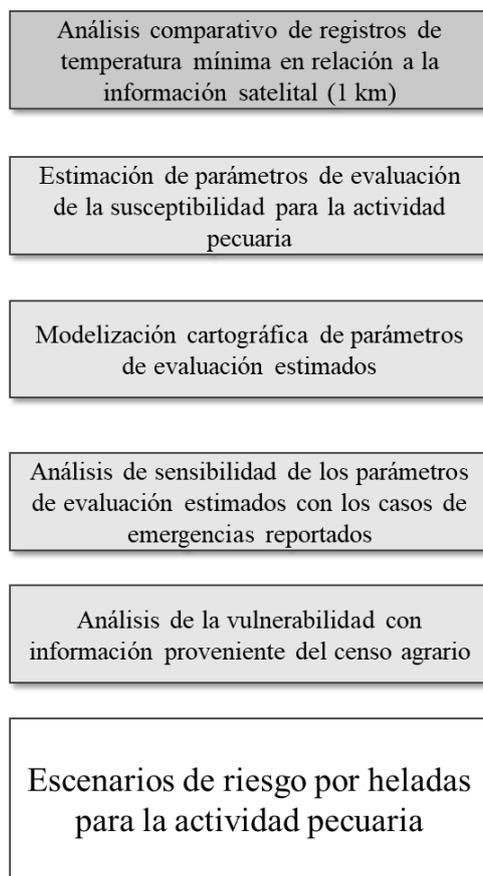
La investigación empleará una metodología aplicada, la cual se basa en el conocimiento estadístico y tecnológico para la generación de un producto que represente una oportunidad de progreso en la sociedad (Lozada, 2014). Este tipo de investigación posee una orientación de tipo evaluativa que busca aplicar el conocimiento científico bajo el uso de información objetiva a fin de recopilar evidencia confiable para la toma de decisiones que impacten en el bien social (Cordero, 2009).

El procedimiento metodológico para la generación del mapa de riesgo frente a bajas temperaturas para el sector pecuario contempla el análisis correlacional entre la información satelital y los reportes de temperatura mínima provenientes de las estaciones meteorológicas, la estimación de parámetros de evaluación de la susceptibilidad del fenómeno, la determinación de niveles basados en el histórico de emergencias reportadas y la integración del mapa de vulnerabilidad de la actividad ganadera considerando el grado de exposición.

4.1. Metodología

El procedimiento metodológico para la elaboración de los mapas de riesgos por bajas temperaturas se encuentra descrito en la Figura 14, la cual señala los pasos que serán contemplados para la generación de la información estratégica orientada a la focalización de la intervención pública sobre gestión del riesgo en la actividad ganadera.

Figura 14. Resumen de la metodología a aplicar



Elaboración propia

4.1.1. Métodos de Estimación de la Temperatura Mínima

Existen experiencias en la generación de mapas de riesgo de heladas en países de Sudamérica (Straschnoy et al., 2006) que contemplan la utilización de temperaturas mínimas en estaciones meteorológicas y temperaturas de superficie obtenidas mediante satélites, las cuales son una alternativa válida, en tanto sea posible identificar cierto nivel de certidumbre en la representación del comportamiento del fenómeno en evaluación.

El uso de los productos satelitales para la estimación de la incidencia de los procesos físicos es una alternativa viable en tanto se reduzca al mínimo la incertidumbre en su

representatividad. Por esta razón, se recomienda recurrir a mediciones *in situ* que permitan reconocer a través de instrumental meteorológico la relación en términos de valores o comportamiento de la información comparable. Este es un procedimiento válido y sugerido debido a que existen una serie de factores que limitan una adecuada representatividad del comportamiento del fenómeno a nivel espacial como:

- i. Limitada densidad de estaciones meteorológicas convencionales y/o automáticas a nivel nacional.
- ii. Métodos de interpolación sofisticados pero incapaces de representar con fiabilidad el comportamiento de la variable a nivel nacional a partir de estaciones dispersas.
- iii. Los datos a nivel de estaciones meteorológicas no garantizan precisión a nivel local.
- iv. Zonas de difícil accesibilidad y condiciones extremas pueden presentar limitaciones logísticas para la recopilación de información *in situ*.

Entre las imágenes utilizadas para determinar los indicadores de riesgo de helada se identifican algunos estudios con la información proveniente del satélite NOAA-AVHRR (*Advanced Very High Resolution Radiometer*) (François et al., 1999; Straschnoy et al., 2006; De Ruyver et al., 2012) y mediante imágenes MODIS/Terra durante el periodo 2000-2012 (Aguilar, 2015). Sin embargo, la evolución tecnológica y los productos satelitales nos permiten realizar una exploración estadística sobre estimaciones que podrían proveer datos diarios de alta representatividad.

4.1.2. Análisis Correlacional de Información Satelital

El análisis a nivel ráster se realizó con una resolución espacial correspondiente a píxeles de 1 km x 1 km. En primer lugar, se analizaron las temperaturas mínimas de las estaciones meteorológicas en zona altoandina administradas por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú y la información proveniente de las imágenes *MODIS Terra Remote Sensing*. Para la aplicación del método de correlación Pearson, se consideraron datos que contemplaron una serie de temporal desde el 2000 al 2021. Los resultados permitieron evidenciar la distribución espacial de la correlación entre las temperaturas mínimas de los meses de invierno (junio, julio y agosto) y los valores de Temperatura Superficial de Tierra (LST) equivalente al producto LST Sensor MODIS (AQUA/TERRA). La fórmula implicada en el método es la siguiente:

$$R_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n [(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})]}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

Donde R_{xy} representa el coeficiente de correlación de dos variables x e y ; x_i e y_i representan los valores de i años de dos variables x e y , respectivamente; n representa el número de años de evaluación. Finalmente, \bar{x} e \bar{y} representa el promedio de las dos variables en los n años.

4.1.3. Generación del Mapa de Riesgos Frente a Heladas para la Ganadería Alpaquera

Posterior a este análisis, el estudio comprendió la estimación del peligro asociado al comportamiento espacial de las heladas a través de la estimación LST, el cual

permitirá caracterizar el fenómeno bajo sus parámetros de frecuencia e intensidad. Esta caracterización estará relacionada a la representación de los valores del percentil 10 asociado a las noches "muy frías" (Senamhi, 2020) de LST durante la temporada de invierno debido a su estrecha correlación con los valores de temperatura mínima. Los rangos para la categorización del peligro serán definidos en base a criterios técnicos de teledetección visual y procesamiento SIG que otorgarán una mayor representatividad al resultado. Este procesamiento dará lugar a la generación del mapa de susceptibilidad por bajas temperaturas.

En tercer lugar, se realizará la generación de un mapa de vulnerabilidad basado en el procesamiento de información a nivel distrito proveniente del IV Censo Nacional Agropecuario 2012. Con esta información, se determinará los niveles de exposición basado en el número de cabezas de alpaca por distrito.

La integración de estos componentes permitirá determinar el mapa de riesgos frente a heladas para la ganadería alpaquera.

4.2. Fuentes de Información

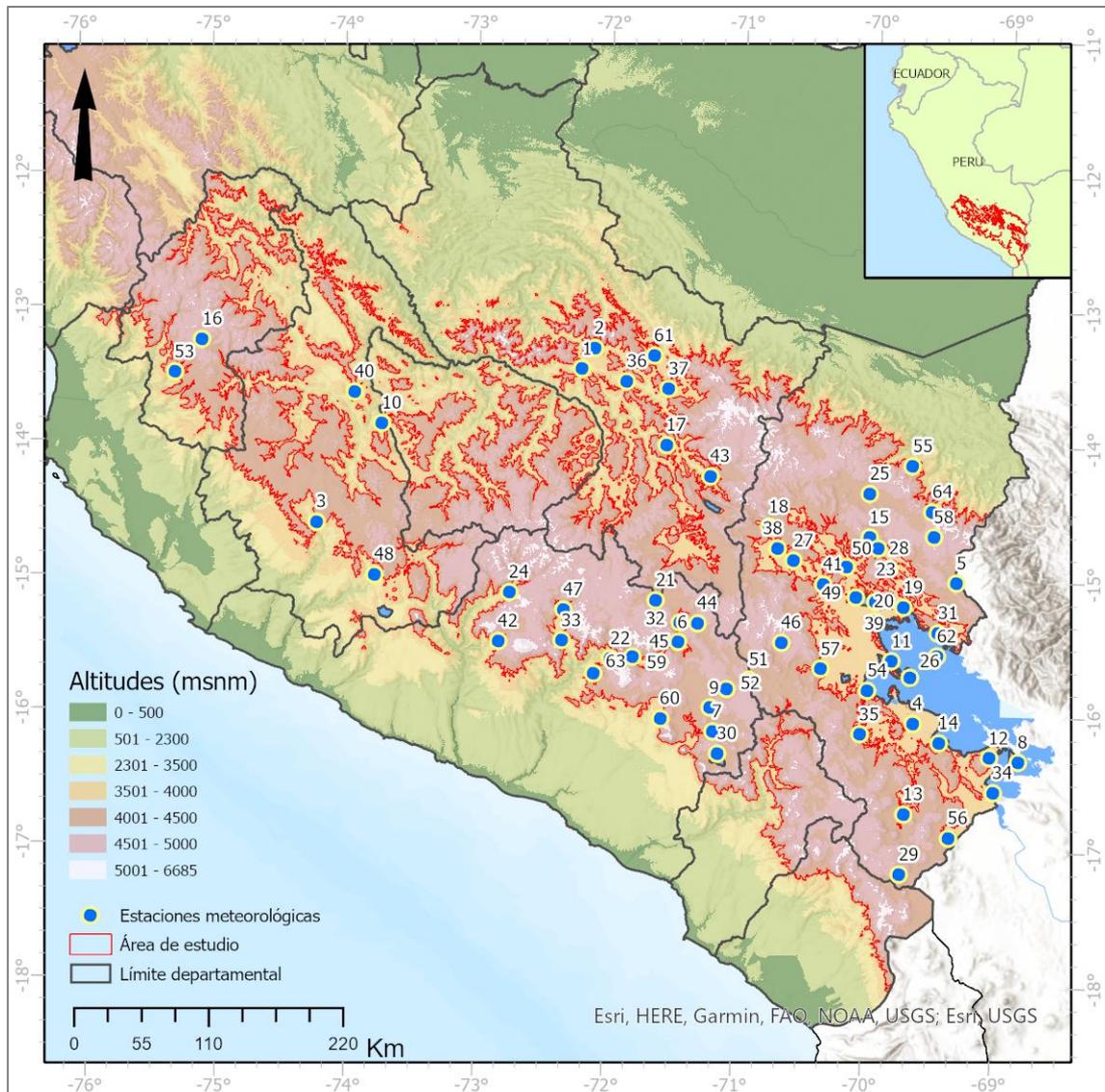
El estudio requirió recursos de información satelital e in situ a fin de garantizar la representatividad a nivel espacial del fenómeno en el territorio altoandino. Estas fuentes corresponden a una selección de datos provenientes de estaciones meteorológicas instaladas en superficie e información grillada generada a través de percepción remota, la cual fue utilizada como insumo base para la representación espacial de los parámetros de evaluación del fenómeno de heladas.

4.2.1. Información Histórica de la Red Nacional de Monitoreo de Estaciones Meteorológicas

Se consideraron los datos observados a nivel diario de temperatura mínima provenientes de 61 estaciones meteorológicas de la red nacional de monitoreo administrada por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (Senamhi) para un período entre los años 2000 - 2021 concentradas en la zona altoandina caracterizada por la incidencia del fenómeno de heladas que, según las referencias mencionadas, se encuentra ubicada sobre los 3 200 m s. n. m., para este caso de estudio acotada a los departamentos de Huancavelica, Ayacucho, Apurímac, Cusco, Arequipa, Tacna, Moquegua y Puno.

A continuación, la Figura 15 muestra la ubicación y distribución de las estaciones meteorológicas consideradas en el análisis correlacional. En tanto, la Tabla 11 presenta las características asociadas a cada una de las estaciones sometidas al análisis de correlación de la temperatura mínima registrada *in situ* respecto al producto LST del Sensor MODIS (AQUA/TERRA):

Figura 15. Ubicación de estaciones meteorológicas en el ámbito de incidencia de heladas (por encima de los 3 200 m s. n. m.)



Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (Senamhi)

Elaboración propia

Tabla 11. Lista de atributos de las estaciones meteorológicas sometidas al análisis de correlación

No	Nombre de estación	Departamento	Provincia	Distrito	Longitud	Latitud	Altitud
1	GRANJA KCAYRA	CUSCO	CUSCO	SAN JERONIMO	-71.8753	-13.5569	3 219
2	TUNEL CERO	HUANCAVELICA	HUAYTARA	PILPICHACA	-75.0860	-13.2593	4 512
3	URUBAMBA	CUSCO	URUBAMBA	MARAS	-72.1239	-13.3106	3 863
4	ANTA ANCACHURO	CUSCO	ANTA	ZURITE	-72.2158	-13.4683	3 340
5	CCATCCA	CUSCO	QUISPICANCHI	CCATCA	-71.5603	-13.6100	3 729
6	PUNO	PUNO	PUNO	PUNO	-70.0121	-15.8263	3 812
7	CORACORA	AYACUCHO	PARINACOCHAS	CORACORA	-73.7792	-15.0114	3 200
8	LA ANGOSTURA	AREQUIPA	CAYLLOMA	CAYLLOMA	-71.6346	-15.1826	4 265
9	SIBAYO	AREQUIPA	CAYLLOMA	SIBAYO	-71.4638	-15.4943	3 806
10	CHIVAY	AREQUIPA	CAYLLOMA	CHIVAY	-71.6017	-15.6416	3 644
11	SICUANI	CUSCO	CANCHIS	SICUANI	-71.2372	-14.2536	3 574
12	PAMPAHUTA	PUNO	LAMPA	PARATIA	-70.6758	-15.4835	4 400
13	CHUQUIBAMBILLA	PUNO	MELGAR	UMACHIRI	-70.7157	-14.7848	3 971
14	IMATA	AREQUIPA	CAYLLOMA	SAN ANTONIO DE CHUCA	-71.0875	-15.8364	4 519
15	AYAVIRI	PUNO	MELGAR	AYAVIRI	-70.5929	-14.8727	3 928
16	PROGRESO	PUNO	AZANGARO	ASILLO	-70.0235	-14.6901	3 980
17	LAMPA	PUNO	LAMPA	LAMPA	-70.3721	-15.6734	3 892
18	CABANILLAS	PUNO	SAN ROMAN	CABANILLAS	-69.9699	-15.1696	3 920
19	AZANGARO	PUNO	AZANGARO	AZANGARO	-70.1908	-14.9144	3 863
20	ARAPA	PUNO	AZANGARO	ARAPA	-70.1182	-15.1363	3 830
21	MUÑANI	PUNO	AZANGARO	MUÑANI	-69.9518	-14.7669	3 948
22	HUANCANE	PUNO	HUANCANE	HUANCANE	-69.7536	-15.2015	3 890
23	HUARAYA MOHO	PUNO	MOHO	MOHO	-69.4843	-15.3883	3 890

No	Nombre de estación	Departamento	Provincia	Distrito	Longitud	Latitud	Altitud
24	CAPACHICA	PUNO	PUNO	CAPACHICA	-69.8321	-15.6064	3 828
25	CABANACONDE	AREQUIPA	CAYLLOMA	CABANACONDE	-71.9741	-15.6226	3 331
26	SALAMANCA	AREQUIPA	CONDESUYOS	SALAMANCA	-72.8333	-15.5000	3 203
27	CRUCERO ALTO	PUNO	LAMPA	SANTA LUCIA	-70.9162	-15.7642	4 508
28	POMACANCHI	CUSCO	ACOMAYO	POMACANCHI	-71.5728	-14.0281	3 200
29	PUCARA	PUNO	LAMPA	PUCARA	-70.3666	-15.0456	3 900
30	TARACO	PUNO	HUANCANE	TARACO	-69.9725	-15.3117	3 849
31	ISLA SOTO	PUNO	PUNO	AMANTANI	-69.4888	-15.5623	3 815
32	ISLA TAQUILE	PUNO	PUNO	AMANTANI	-69.6910	-15.7205	3 850
33	ISLA SUANA	PUNO	YUNGUYO	ANAPIA	-68.8509	-16.3302	3 830
34	SANTA ROSA	PUNO	MELGAR	SANTA ROSA	-70.7865	-14.6238	3 986
35	ANANEA	PUNO	SAN ANTONIO DE PUTINA	ANANEA	-69.5345	-14.6787	4 660
36	COJATA	PUNO	HUANCANE	COJATA	-69.3556	-15.0167	4 344
37	EL FRAYLE	AREQUIPA	AREQUIPA	SAN JUAN DE TARUCANI	-71.1891	-16.1548	4 121
38	MAZO CRUZ	PUNO	EL COLLAO	SANTA ROSA	-69.7155	-16.7390	4 003
39	ILAVE	PUNO	EL COLLAO	ILAVE	-69.6619	-16.0675	3 871
40	JULI	PUNO	CHUCUITO	JULI	-69.4599	-16.2038	3 812
41	PIZACOMA	PUNO	CHUCUITO	PISACOMA	-69.3686	-16.9070	3 930
42	TAHUACO YUNGUYO	PUNO	YUNGUYO	YUNGUYO	-69.0747	-16.3078	3 891
43	DESAGUADERO	PUNO	CHUCUITO	DESAGUADERO	-69.0388	-16.5634	3 808
44	LARAQUERI	PUNO	PUNO	PICHACANI	-70.0666	-16.1547	3 900
45	CRUCERO	PUNO	CARABAYA	CRUCERO	-70.0259	-14.3642	4 183
46	CUSICANCHA	HUANCAVELICA	HUAYTARA	SAN ANTONIO DE CUSICANCHA	-75.2963	-13.5040	3 272
47	VILCASHUAMAN	AYACUCHO	VILCAS HUAMAN	VILCAS HUAMAN	-73.9344	-13.6483	3 522
48	CHILCAYOC	AYACUCHO	SUCRE	CHALCOS	-73.7264	-13.8825	3 410

No	Nombre de estación	Departamento	Provincia	Distrito	Longitud	Latitud	Altitud
49	COLQUEPATA	CUSCO	PAUCARTAMBO	COLQUEPATA	-71.6731	-13.3631	3 729
50	PULLHUAY(AYAHUASI)	AREQUIPA	LA UNION	ALCA	-72.7528	-15.1358	3 455
51	ANDAHUA	AREQUIPA	CASTILLA	ANDAGUA	-72.3489	-15.4933	3 587
52	ORCOPAMPA	AREQUIPA	CASTILLA	ORCOPAMPA	-72.3386	-15.2606	3 779
53	HUAMBO	AREQUIPA	CAYLLOMA	HUAMBO	-72.1069	-15.7320	3 319
54	MADRIGAL	AREQUIPA	CAYLLOMA	MADRIGAL	-71.8065	-15.6100	3 276
55	TISCO	AREQUIPA	CAYLLOMA	TISCO	-71.4500	-15.3500	4 175
56	PORPERA	AREQUIPA	CAYLLOMA	TISCO	-71.3167	-15.3500	4 195
57	CUYO CUYO	PUNO	SANDIA	CUYOCUYO	-69.5490	-14.4889	3 414
58	PAMPA DE ARRIEROS	AREQUIPA	AREQUIPA	YURA	-71.5889	-16.0631	3 715
59	PILLONES	AREQUIPA	CAYLLOMA	SAN ANTONIO DE CHUCA	-71.2133	-15.9786	4 455
60	LAS SALINAS	AREQUIPA	AREQUIPA	CHIGUATA	-71.1481	-16.3178	4 378
61	CAPAZO	PUNO	EL COLLAO	CAPASO	-69.7355	-17.1877	4 530

Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú

Elaboración propia

4.2.2. Información Ráster Satelital

El modelo de elevación digital ALOS PALSAR es uno de los productos disponibles dentro de los productos del satélite ALOS de Agencia Japonesa de Exploración Aeroespacial (JAXA), que adquirió imágenes radar entre 2006 y 2011. ALOS (Advanced Land Observation Satellite) también conocido como DAICHI, lleva a bordo tres sensores: el PRISM para imágenes pancromáticas, el radar de apertura sintética PALSAR y el radiómetro AVNIR. Los instrumentos a bordo han suministrado los DEM multitemporales.

MODIS Land Surface Temperature and Emissivity (LST & E) (MOD21) disponible en la Colección 6 utiliza un algoritmo basado en la física para recuperar dinámicamente tanto el LST como la Emisividad simultáneamente para las tres bandas de infrarrojos térmicos MODIS (29, 31 y 32) en una resolución espacial de 1 km en el nadir. El producto MOD21 aborda el sesgo frío documentado de 3-5 K en los productos de ventana dividida heredados MOD11 sobre regiones áridas y semiáridas

Tabla 12. Características de las bases de datos utilizadas para la representación espacial de la temperatura mínima

Fuente	Descripción	Organización	Resolución espacial	Temporalidad	Variables requeridas
ALOS PALSAR	Modelo de elevación digital	Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA)	12.5 m	2006 a 2011	Altura sobre el nivel del mar
MODIS Terra Remote Sensing	Datos de reflectancia en 36 bandas de frecuencia: visible a térmica	NASA	1000 m. o 1-km	1999 al presente	LST: Daytime Land Surface Temperature

Fuente: NASA, 2022

Elaboración propia

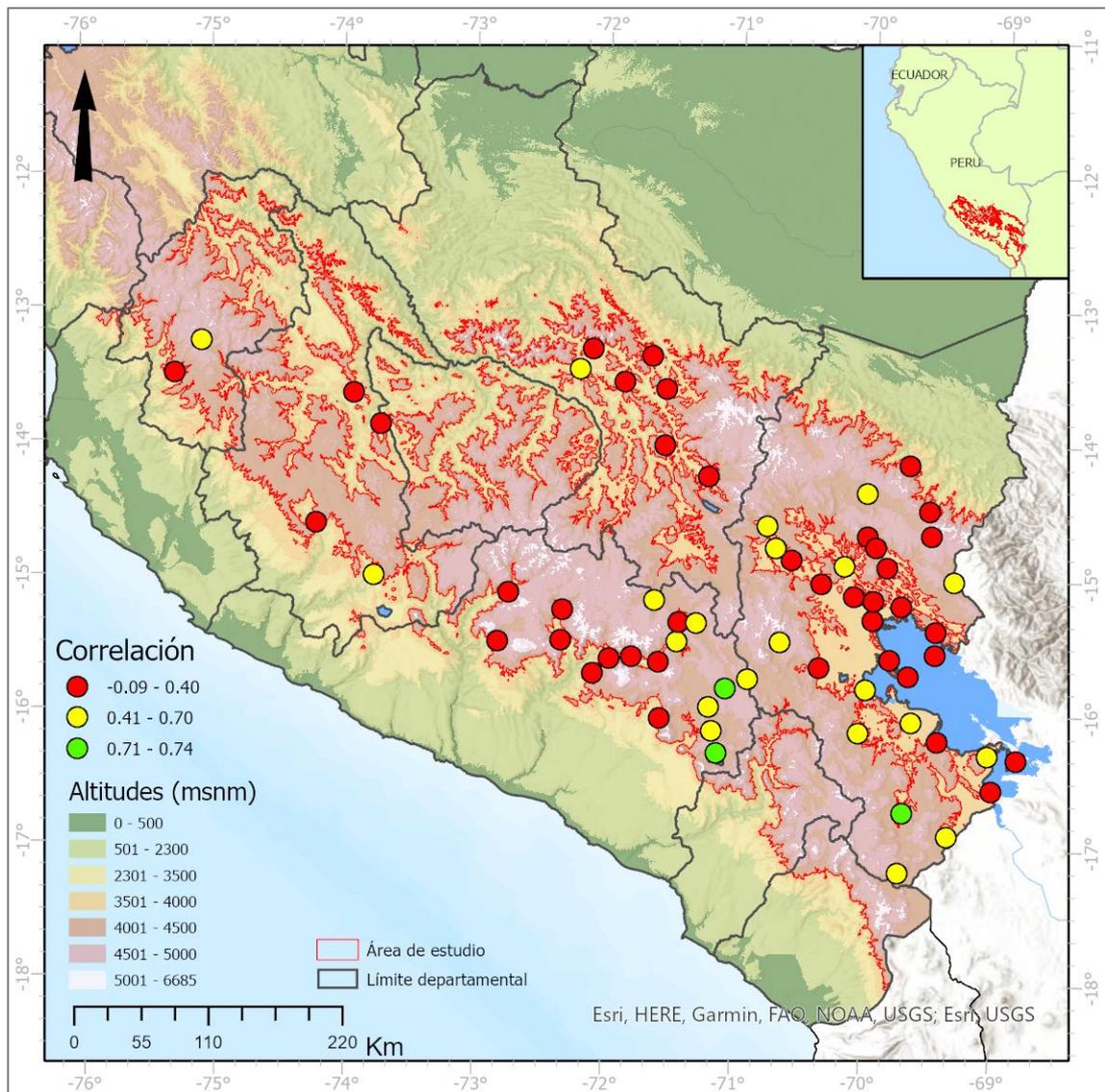
Resultados y discusión

4.3. Análisis Correlacional entre LST-MODIS y Temperatura Mínima Registrada en Estaciones Meteorológicas

El análisis de correlación temporal y espacial entre los datos históricos de las estaciones meteorológicas de la red nacional del SENAMHI y el producto LST-MODIS, permitió corroborar el nivel de representatividad de la información grillada en la zona alpaquera del país ubicada sobre los 4 000 m s. n. m. Esto debido a la concentración de valores estimados que superaron el 0.4 como coeficiente de correlación (r^2) que alcanzaron valores de hasta de 0.74 en la estación meteorológica Mazo Cruz (círculos amarillos y verdes), los cuales se consideran estadísticamente significativos.

Las condiciones secas en altura permiten la presencia de cielos despejados, lo que incide sobre el proceso de teledetección que realiza el satélite y da lugar a la captura de valores confiables respecto a lo que sucede en superficie. Este sector de la Cordillera de los Andes identificado a través del análisis estadístico coincide con la zona alpaquera del país, la cual también se encuentra ubicada sobre los 4 000 m s. n. m. Por lo tanto, este será el emplazamiento en cual se focalizará el desarrollo del análisis de la susceptibilidad por heladas. En contraste, es necesario precisar que, dadas las condiciones de nubosidad por debajo de esta altitud, se estimaron también valores inferiores a 0.4 (círculos rojos), tal y como se muestra en la Figura 16 y Tabla 13.

Figura 16. Ubicación del ámbito de estudio



Elaboración propia

Tabla 13. Resumen de coeficientes de determinación (R²) estimados en cada estación meteorológica en el área de estudio

N°	Nombre de la estación	Altitud	R ²	N°	Nombre de la estación	Altitud	R ²
1	GRANJA_KCAYRA	3219	0.0239	33	ISLA_SUANA	3830	0.1118
2	TUNEL_CERO	4512	0.62	34	SANTA_ROSA	3986	0.4273
3	URUBAMBA	3863	-0.0471	35	LIMBANI	3320	0.057
4	ANTA_ANCACHURO	3340	0.4248	36	ANANEA	4660	0.228
5	CCATCCA	3729	0.0683	37	COJATA	4344	0.6613
6	PUNO	3812	0.5426	38	EL_FRAYLE	4121	0.6844
7	CORACORA	3200	0.4539	39	MAZO_CRUZ	4003	0.7403
8	LA_ANGOSTURA	4265	0.5206	40	ILAVE	3871	0.5898
9	SIBAYO	3806	0.5175	41	JULI	3812	0.1041
10	CHIVAY	3644	0.3217	42	PIZACOMA	3930	0.5136
11	SICUANI	3574	-0.0645	43	TAHUACO_YUNGUYO	3891	0.4846
12	PAMPAHUTA	4400	0.6023	44	DESAGUADERO	3808	0.3472
13	CHUQUIBAMBILLA	3971	0.4484	45	LARAQUERI	3900	0.4572
14	IMATA	4519	0.7364	46	CRUCERO	4183	0.6239
15	AYAVIRI	3928	0.3381	47	CUSICANCHA	3272	-0.0244
16	PROGRESO	3980	0.1966	48	VILCASHUAMAN	3522	-0.0866
17	LAMPA	3892	0.2205	49	CHILCAYOC	3410	-0.041
18	CABANILLAS	3920	0.2589	50	COLQUEPATA	3729	0.0078
19	AZANGARO	3863	0.4384	51	LUCANAS	3200	
20	ARAPA	3830	0.1817	52	PULLHUAY(AYAHUASI)	3455	0.0384
21	MUÑANI	3948	0.3549	53	ANDAHUA	3587	0.3654
22	HUANCANE	3890	0.2347	54	ORCOPAMPA	3779	0.3387
23	HUARAYA_MOHO	3890	0.2092	55	HUAMBO	3319	0.1823
24	CAPACHICA	3828	0.1147	56	MADRIGAL	3276	0.1758
25	CABANACONDE	3331	0.2773	57	TISCO	4175	0.2011
26	SALAMANCA	3203	0.0827	58	PORPERA	4195	0.5718
27	CRUCERO_ALTO	4508	0.6637	59	PUTINA	3878	0.3305
28	POMACANCHI	3200	-0.0654	60	CUYO_CUYO	3414	0.0126
29	PUCARA	3900	0.3751	61	PAMPA_DE_ARRIEROS	3715	0.2331
30	TARACO	3849	0.3556	62	PILLONES	4455	0.628
31	ISLA_SOTO	3815	-0.0367	63	LAS_SALINAS	4378	0.6986
32	ISLA_TAQUILE	3850	-0.0372	64	CAPAZO	4530	0.6107

Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (Senamhi)

Elaboración propia

La zona alpaquera identificada a través del análisis requiere concentrar esfuerzos de diagnóstico debido a la alta vulnerabilidad, poca densidad de información y limitado presupuesto para la intervención pública. Por este motivo, es necesaria una focalización adecuada de los distritos a priorizar frente a la ocurrencia de fenómenos meteorológicos como las heladas. Para esta finalidad, es importante recurrir a bases de datos grilladas que permitan un mayor alcance espacial para la determinación confiable del nivel de riesgo.

4.4. Análisis de la Susceptibilidad por Heladas

En el Perú, la temperatura mínima del aire es una variable meteorológica que se registra, por lo general, durante las horas de la madrugada, horario en el que ocurre un mayor descenso térmico producto de la ocurrencia de heladas. Sin embargo, los impactos en la crianza de alpacas no ocurren de manera inmediata, puesto que las manifestaciones asociadas a las heladas se expresan en la deficiencia de alimento, problemas de salud en la especie, inducción a los abortos, entre otras consecuencias que se presentan días posteriores a la caída de la temperatura. Por este motivo, se considera importante la evaluación de los dos parámetros asociados a la ocurrencia de heladas para identificar el nivel de susceptibilidad que poseen estos camélidos andinos frente al fenómeno. Uno de ellos es la intensidad de la temperatura mínima la cual estará expresada en el «valor corte» que divide el 10% de los datos más bajos de esta variable. En segundo lugar, se evaluará la frecuencia de heladas asociada a un valor que implique impactos en la ganadería debido al nivel de resiliencia que esta especie posee en altura. En este sentido, se realizará una evaluación con el fin de lograr identificar una relación entre la pérdida del número de cabezas y la frecuencia del valor de temperatura mínima que produce una afectación.

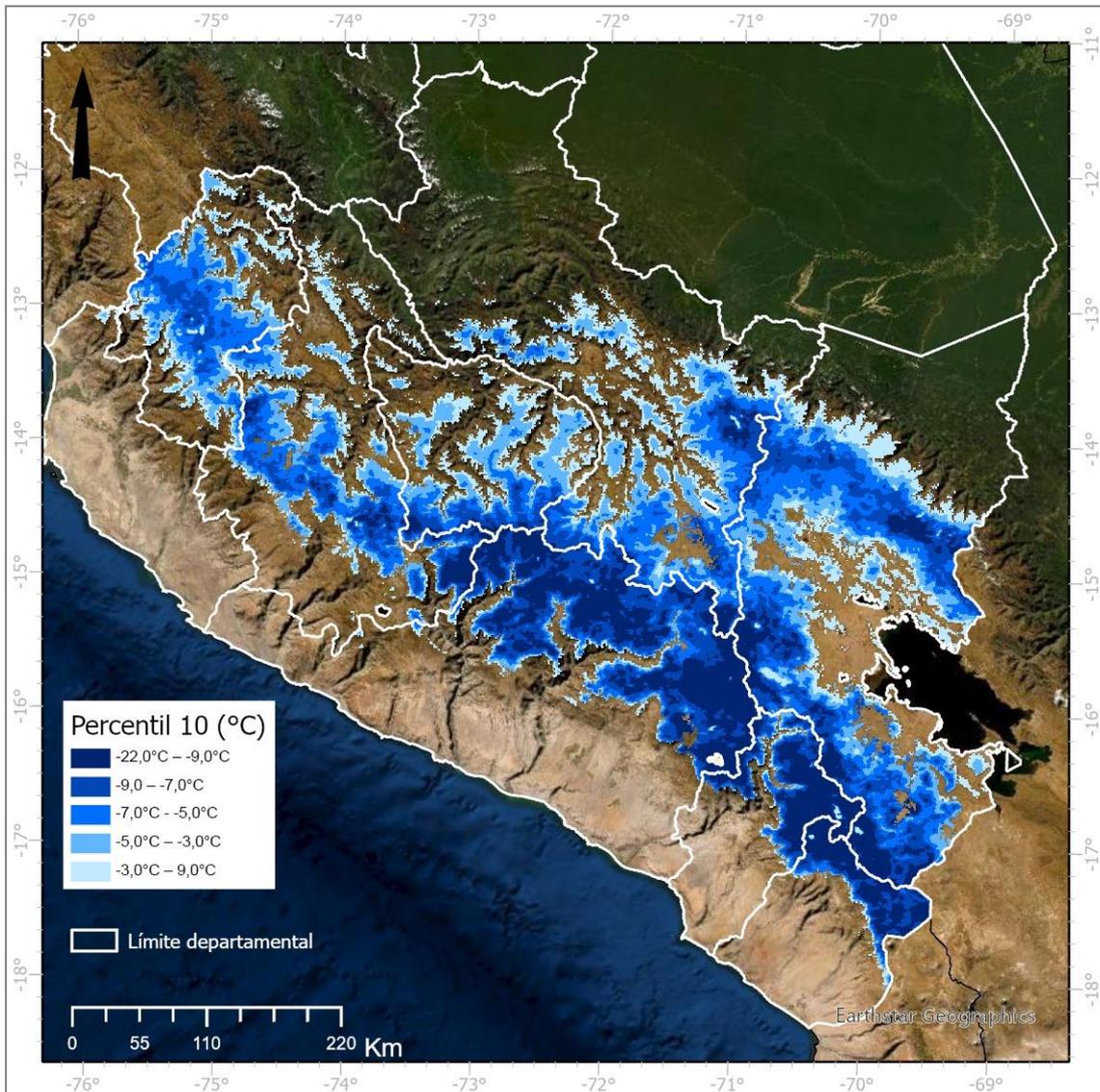
4.4.1. Estimación de la Intensidad de las Heladas

A continuación, se presenta en la Figura 17 la distribución espacial del percentil 10 en la zona alpaquera que representa una medida de posición como indicador, el cual permite resumir una serie de datos en uno solo, dividiendo su distribución en cien partes de intervalos del mismo tamaño. Esto permite evidenciar los valores críticos de la temperatura mínima estimados por el LST-MODIS a nivel diario de todo el año desde el año 2000 al 2021. La distribución del percentil 10 asociado a la variable de temperatura mínima del LST-MODIS en la zona alpaquera se muestra representativa en términos espaciales; sin embargo, es importante considerar que a nivel de valores numéricos la estimación satelital puede tender a la sobrestimación o subestimación de la temperatura mínima ocurrida en superficie, por lo tanto, debe existir, en complemento, un análisis sobre la incidencia de las emergencias registradas en relación al número de alpacas afectadas por distrito respecto a las temperaturas mínimas críticas identificadas en el periodo 2000-2021 (Figura 18).

En este sentido, se evidencia un mayor impacto histórico (círculos concéntricos y de gran amplitud) sobre zonas que se caracterizan por una temperatura mínima crítica por debajo de los -9°C , superando las 10 000 unidades de alpaca que, ante los niveles de pobreza existentes en las zonas alpaqueras, pueden representar una severa y directa afectación a su único medio de vida. Esta situación se identifica en la vertiente occidental de la Cordillera de los Andes, especialmente en los departamentos de Arequipa, Moquegua y Tacna. En base a este análisis comparativo, se determina un valor a modo discrecional el umbral para la fuente satelital utilizada de -10°C , el cual puede

caracterizar el requerimiento térmico en términos de intensidad del valor crítico de la temperatura mínima para evidenciar pérdidas de cabezas de alpacas en la zona altoandina.

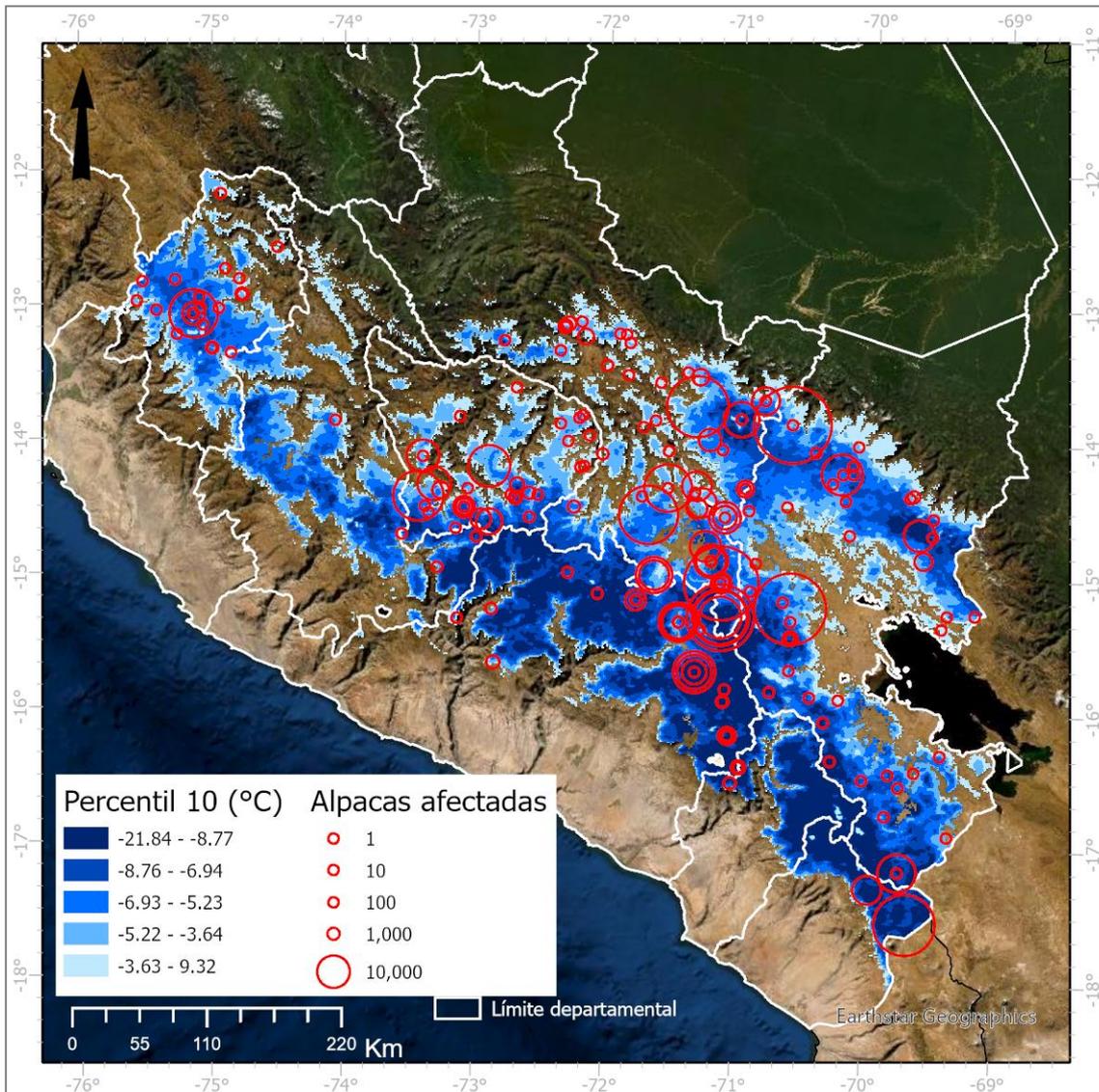
Figura 17. Mapa de intensidad de heladas (Percentil 10 de LST-MODIS)



Fuente: Sensor MODIS (AQUA/TERRA)

Elaboración propia

Figura 18. Mapa comparativo de intensidad de heladas (percentil 10 de LST) y número de alpacas afectadas



Fuente: Sensor MODIS (AQUA/TERRA); CENAGRO-Perú (2012)

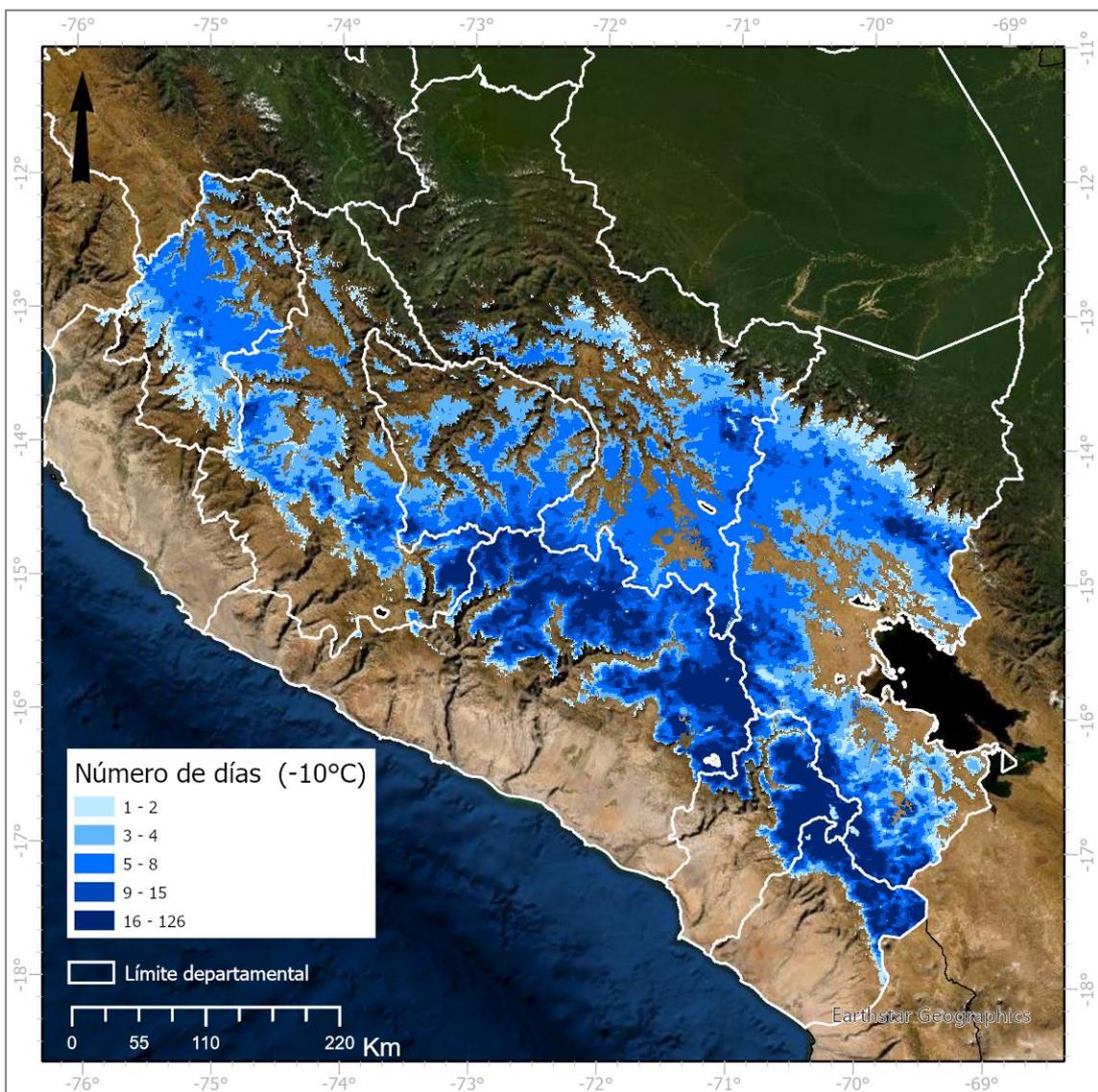
Elaboración propia

4.4.2. Estimación de la Frecuencia de las Heladas

La estimación de frecuencia de heladas está basada en la determinación del umbral identificado previamente, para este caso de estudio será considerado el valor de -10°C . En este sentido, se elaboró un mapa de distribución de la frecuencia de valores de temperatura mínima que alcanzan los -10°C , y se ha determinado que podría implicar un impacto

significativo en la actividad alpaquera, lo cual permitirá diferenciar ámbitos territoriales de posible mayor afección. Al respecto, se presenta el mapa de frecuencia de heladas promedio representado a través del número de días de registro por debajo de los -10°C a nivel anual. La Figura 19 evidencia la definición de zonas más acotadas respecto a la intensidad, en la zona occidental de la Cordillera de los Andes y, particularmente, la zona oriental en el sector central del departamento de Puno y sur del departamento de Cusco.

Figura 19. Mapa comparativo de frecuencia de heladas por debajo de los -10°C



Fuente: Sensor MODIS (AQUA/TERRA)

Elaboración propia

4.4.3. Estimación de la Susceptibilidad por Heladas

Acorde a la evaluación realizada los parámetros de evaluación determinados se detallan en la Tabla 14 a través de la cual se identifican los niveles de susceptibilidad representados en la Figura 20.

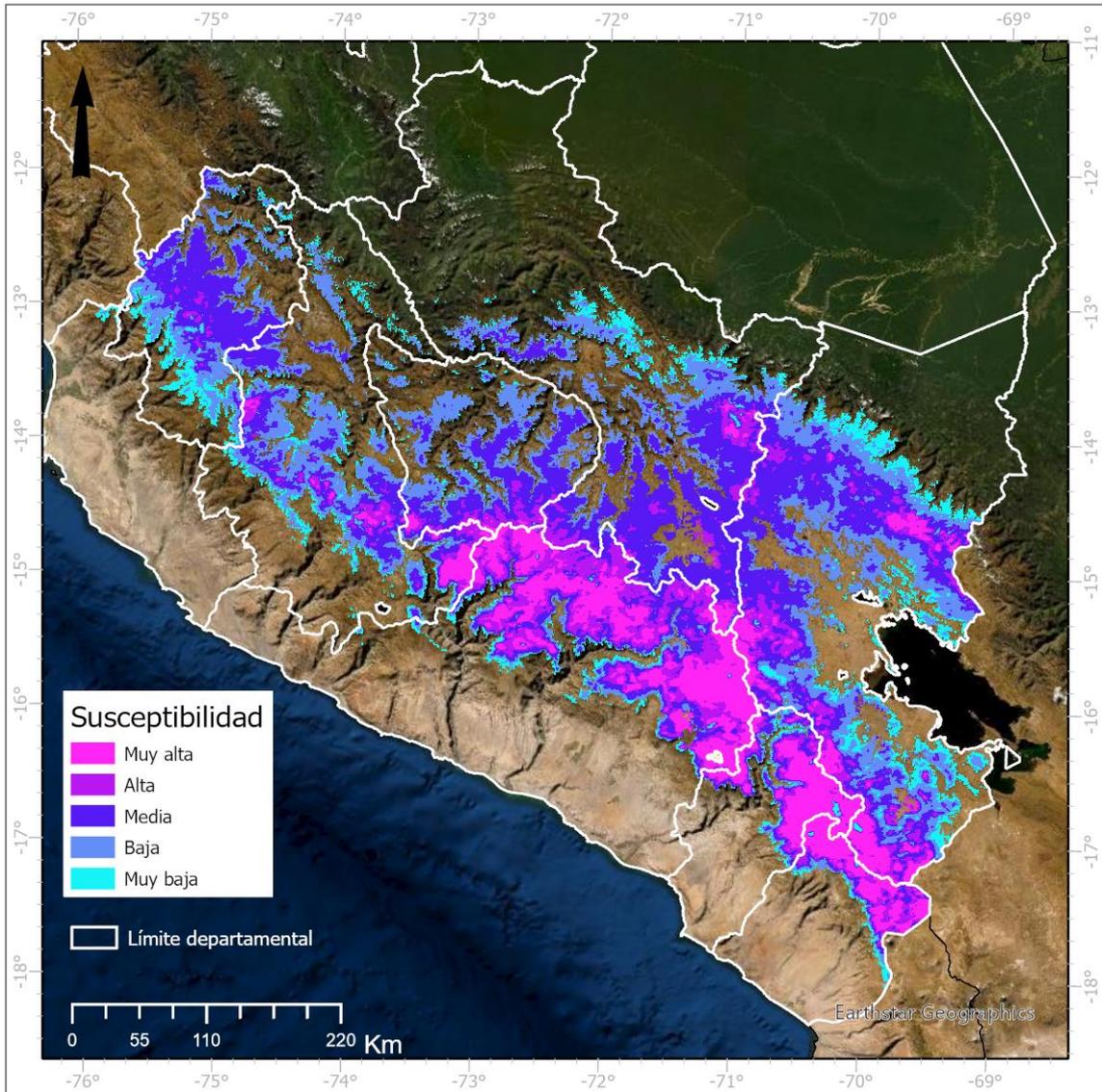
La representación espacial del nivel de susceptibilidad frente a heladas caracterizadas por debajo de los -10°C , evidencia condiciones de nivel «Muy alto» concentradas en la vertiente occidental de la Cordillera de los Andes, con una mayor cobertura sobre los departamentos de Arequipa, Moquegua y Tacna. Zonas aisladas y dispersas muestran las mismas condiciones en las altitudes más significativas de la vertiente oriental de la Cordillera de los Andes, específicamente en el departamento de Puno, y en Ayacucho. Niveles de susceptibilidad asociados a condiciones «Media» o «Baja» se visualizan en los departamentos de Huancavelica, Apurímac y Cusco.

Tabla 14. Clasificación de los niveles de susceptibilidad según la intensidad y frecuencia de heladas

Rango	Nivel de susceptibilidad	Número de días al año de temperaturas por debajo de los -10°C
1	Muy alta	$-22,0^{\circ}\text{C} - -9,0^{\circ}\text{C}$
2	Alta	$-9,0 - -7,0^{\circ}\text{C}$
3	Media	$-7,0^{\circ}\text{C} - -5,0^{\circ}\text{C}$
4	Baja	$-5,0^{\circ}\text{C} - -3,0^{\circ}\text{C}$
5	Muy baja	$-3,0^{\circ}\text{C} - 9,0^{\circ}\text{C}$

Elaboración propia

Figura 20. Mapa de susceptibilidad por heladas para el sector ganadero



Fuente: Sensor MODIS (AQUA/TERRA); INDECI-Perú (2003-2020)

Elaboración propia

4.5. Análisis de Vulnerabilidad frente a Heladas en la Zona Alpaquera

En la Figura 21, se representó el mapa de vulnerabilidad para el sector alpaquero basado en los registros asociados al número de alpacas afectadas a nivel distrital provenientes del IV Censo Nacional Agropecuario 2012. Al respecto, se presenta la Tabla 15 que categoriza los niveles de

vulnerabilidad en base a la afectación de alpacas en los territorios, esto expresado en rangos de unidades de alpacas permite diferenciar las posibles áreas de mayor incidencia por el fenómeno meteorológico. La distribución espacial de los niveles de vulnerabilidad por distrito (Figura 21) corresponde a registros continuos de impacto durante el histórico de información, lo cual evidencia condiciones de vulnerabilidad «Muy alta» concentradas en sectores localizados en los departamentos de Huancavelica (distrito de Pilpichaca), Apurímac distrito de Cotaruse), Arequipa (distritos de Caylloma, Tisco y Callalli), Puno (distritos de Macusani, Cojata, Paratia, Sana Lucía, Santa Rosa, Nuñoa y Pisacoma) y Cusco (distritos de Ocongate y Pitumarca).

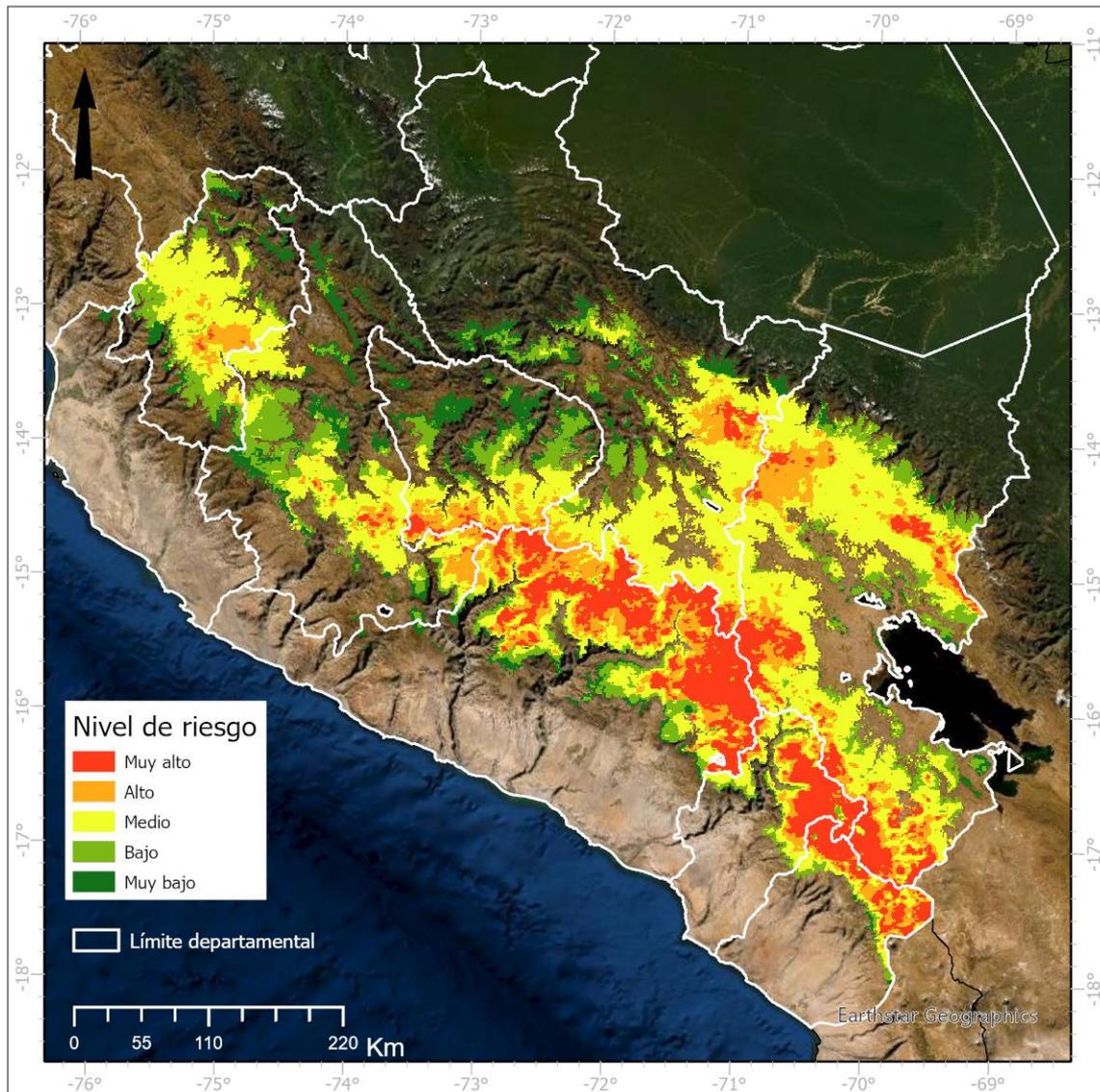
Tabla 15. Clasificación de los niveles de vulnerabilidad según el número de alpacas afectadas

Rango	Nivel de vulnerabilidad	Número de alpacas afectadas
1	Muy alta	1 000 – 10 000
2	Alta	100 – 1 000
3	Media	10 – 100
4	Baja	1 – 10
5	Muy baja	0 - 1

Elaboración propia

escenario de riesgos. La estimación de niveles de riesgos por bajas temperaturas a una escala espacial de 1 km muestra cinco niveles de riesgo: Muy alto, Alto, Medio, Bajo y Muy bajo. El resultado es representado a manera de categorías en un mapa, lo cual permite determinar la distribución del nivel de riesgo sobre el territorio nacional (Figura 22). En el área de estudio, se observa que los mayores niveles de riesgo («Muy alto» y «Alto») se concentran en los departamentos Arequipa, Moquegua y Tacna, siendo de manera dispersa en Puno. En términos de intervención, es importante rescatar que existen zonas mínimas aisladas de en los departamentos de Huancavelica y Ayacucho, que a nivel distrital involucra a 123 distritos en riesgo «Muy alto» y 174 distritos en riesgo «Alto», los cuales implicarían una focalización de medidas de prevención y mitigación.

Figura 22. Mapa del riesgo a nivel distrital basado en el número de alpacas por distrito



Elaboración propia

Al respecto, en la Tabla 16 se detalla una lista de los 123 distritos ubicados en el ámbito de estudio que se encuentran expuestos a un nivel de riesgo «Muy alto».

Tabla 16. Lista de distritos del ámbito de estudio
expuestos a nivel de riesgo «Muy alto»

N°	Departamento	Provincia	Distrito	N°	Departamento	Provincia	Distrito
1	TACNA	TACNA	PACHIA	63	AREQUIPA	CAYLLOMA	TAPAY
2	TACNA	TARATA	ESTIQUE	64	AREQUIPA	CASTILLA	ORCOPAMPA
3	TACNA	TARATA	TARUCACHI	65	CUSCO	ESPINAR	SUYCKUTAMB O
4	TACNA	TACNA	PALCA	66	AREQUIPA	CASTILLA	CHACHAS
5	TACNA	TARATA	TARATA	67	AREQUIPA	CAYLLOMA	CAYLLOMA
6	TACNA	TARATA	TICACO	68	PUNO	HUANCANE	COJATA
7	TACNA	CANDARAVE	CAIRANI	69	AREQUIPA	LA UNION	PAMPAMARC A
8	TACNA	TARATA	SUSAPAYA	70	HUANCAVELICA	HUANCAVELI CA	HUACHOCOL PA
9	TACNA	CANDARAVE	CAMILACA	71	HUANCAVELICA	CASTROVIRRE YNA	SANTA ANA
10	PUNO	EL COLLAO	CAPAZO	72	CUSCO	ESPINAR	OCORURO
11	TACNA	CANDARAVE	CANDARAVE	73	PUNO	MELGAR	NUÑO A
12	MOQUEGUA	MARISCAL NIETO	TORATA	74	PUNO	CARABAYA	AJOYANI
13	MOQUEGUA	MARISCAL NIETO	CUCHUMBAY A	75	CUSCO	CANCHIS	SAN PABLO
14	PUNO	CHUCUITO	PISACOMA	76	APURIMAC	ANDAHUAYLA S	PAMPACHIRI
15	MOQUEGUA	MARISCAL NIETO	SAN CRISTOBAL	77	PUNO	LAMPA	PARATIA
16	PUNO	EL COLLAO	SANTA ROSA	78	CUSCO	QUISPICANCH I	OCONGATE
17	MOQUEGUA	MARISCAL NIETO	CARUMAS	79	AREQUIPA	LA UNION	TORO
18	MOQUEGUA	GENERAL SANCHEZ CERRO	PUQUINA	80	AREQUIPA	CONDESUYOS	SALAMANCA
19	MOQUEGUA	GENERAL SANCHEZ CERRO	COALAUQUE	81	PUNO	LAMPA	PALCA
20	PUNO	CHUCUITO	HUACULLANI	82	AREQUIPA	LA UNION	COTAHUASI
21	PUNO	EL COLLAO	CONDURIRI	83	AREQUIPA	CAYLLOMA	SIBAYO
22	MOQUEGUA	GENERAL SANCHEZ CERRO	MATALAUQUE	84	PUNO	LAMPA	LAMPA
23	MOQUEGUA	GENERAL SANCHEZ CERRO	CHOJATA	85	PUNO	MOHO	HUAYRAPATA
24	AREQUIPA	AREQUIPA	CHIGUATA	86	AREQUIPA	CASTILLA	CHOCO
25	MOQUEGUA	GENERAL SANCHEZ CERRO	LLOQUE	87	CUSCO	ESPINAR	CONDOROMA
26	AREQUIPA	AREQUIPA	CAYMA	88	AREQUIPA	LA UNION	ALCA

N°	Departamento	Provincia	Distrito
27	MOQUEGUA	GENERAL SANCHEZ CERRO	YUNGA
28	MOQUEGUA	GENERAL SANCHEZ CERRO	ICHUÑA
29	PUNO	PUNO	SAN ANTONIO
30	MOQUEGUA	GENERAL SANCHEZ CERRO	UBINAS
31	PUNO	PUNO	PICHACANI
32	AREQUIPA	AREQUIPA	YURA
33	AREQUIPA	AREQUIPA	SAN JUAN DE TARUCANI
34	PUNO	PUNO	TIQUILLACA
35	AREQUIPA	CAYLLOMA	ACHOMA
36	PUNO	SAN ROMAN	CABANILLAS
37	AREQUIPA	CAYLLOMA	YANQUE
38	AREQUIPA	CAYLLOMA	SAN ANTONIO DE CHUCA
39	AREQUIPA	CASTILLA	PAMPACOLCA
40	AREQUIPA	CASTILLA	VIRACO
41	AREQUIPA	CONDESUYOS	ANDARAY
42	AREQUIPA	CAYLLOMA	CHIVAY
43	AREQUIPA	CAYLLOMA	COPORAQUE
44	AREQUIPA	CAYLLOMA	ICHUPAMPA
45	AREQUIPA	CASTILLA	MACHAGUAY
46	PUNO	LAMPA	CABANILLA
47	AREQUIPA	CAYLLOMA	MADRIGAL
48	AREQUIPA	CONDESUYOS	CHICHAS
49	AREQUIPA	CAYLLOMA	TUTI
50	AREQUIPA	CASTILLA	ANDAGUA
51	AREQUIPA	CAYLLOMA	LARI
52	PUNO	LAMPA	SANTA LUCIA

N°	Departamento	Provincia	Distrito
89	PUNO	LAMPA	OCUVIRI
90	AREQUIPA	CAYLLOMA	TISCO
91	PUNO	SAN ANTONIO DE PUTINA	ANANEA
92	PUNO	AZANGARO	MUÑANI
93	PUNO	SAN ANTONIO DE PUTINA	PUTINA
94	CUSCO	CANCHIS	MARANGANI
95	PUNO	AZANGARO	POTONI
96	PUNO	MELGAR	SANTA ROSA
97	PUNO	SANDIA	CUYOCUYO
98	APURIMAC	ANTABAMBA	JUAN ESPINOZA MEDRANO
99	CUSCO	CHUMBIVILCAS	SANTO TOMAS
100	APURIMAC	AYMARAES	COTARUSE
101	APURIMAC	ANTABAMBA	ANTABAMBA
102	APURIMAC	AYMARAES	CARAYBAMBA
103	CUSCO	ESPINAR	COPORAQUE
104	APURIMAC	ANTABAMBA	OROPESA
105	PUNO	CARABAYA	CRUCERO
106	CUSCO	CANCHIS	SICUANI
107	HUANCAVELICA	HUAYTARA	QUERCO
108	PUNO	CARABAYA	CORANI
109	CUSCO	CANCHIS	PITUMARCA
110	PUNO	CARABAYA	MACUSANI
111	CUSCO	CANCHIS	CHECACUPE
112	CUSCO	QUISPICANCHI	MARCAPATA
113	AYACUCHO	HUANCA SANCOS	SANTIAGO DE LUCANAMARCA
114	AYACUCHO	HUANCA SANCOS	SANCOS

N°	Departamento	Provincia	Distrito
53	CUSCO	ESPINAR	PALLPATA
54	CUSCO	ESPINAR	ESPINAR
55	PUNO	SAN ANTONIO DE PUTINA	QUILCAPUNCU
56	AREQUIPA	LA UNION	PUYCA
57	AREQUIPA	LA UNION	HUAYNACOTAS
58	AREQUIPA	CONDESUYOS	CAYARANI
59	PUNO	CARABAYA	OLLACHEA
60	PUNO	PUNO	ACORA
61	PUNO	PUNO	MAÑAZO
62	AREQUIPA	CAYLLOMA	CALLALLI

N°	Departamento	Provincia	Distrito
115	HUANCAVELICA	HUAYTARA	PILPICHACA
116	AYACUCHO	PARINACOCCHAS	CORONEL CASTAÑEDA
117	AYACUCHO	VICTOR FAJARDO	VILCANCHOS
118	AYACUCHO	PAUCAR DEL SARA SARA	OYOLO
119	AYACUCHO	PARINACOCCHAS	CORACORA
120	AYACUCHO	LUCANAS	CHIPAO
121	AYACUCHO	LUCANAS	LUCANAS
122	AYACUCHO	LUCANAS	CABANA
123	AYACUCHO	LUCANAS	CARMEN SALCEDO

Elaboración propia

Los resultados han evidenciado un comportamiento de las heladas diferenciado en zonas de planicies y pequeñas cuencas de ríos con condiciones aún más frías. Se ha identificado también la presencia de conjunto de píxeles aislados que podrían acogerse bajo una generalización del ámbito; sin embargo, el análisis de teledetección visual sobre estos ámbitos permite discriminar configuraciones fisiográficas particulares.

Conclusiones

- El factor de la altitud es determinante sobre los medios de vida la población, por esta razón, el estudio se ha enfocado en la actividad alpaquera que es desarrollada, en su mayoría, por una población altamente vulnerable a nivel nacional.
- En base a la información meteorológica estimada correspondiente a los meses de invierno (junio, julio y agosto) se identificó que las zonas de muy alta susceptibilidad a bajas temperaturas se concentran en los siguientes departamentos: Arequipa, Moquegua, Tacna, y de manera focalizada en Puno y Ayacucho.
- La determinación de los escenarios de riesgo para la zona alpaquera del Perú sobre los 4 000 m s. n. m. ante heladas, a nivel distrital, muestra que un total de 123 distritos se encuentran expuestos a nivel de riesgo «Muy alto» y un total de 174 distritos están localizados en zonas de nivel de «Alto» riesgo para el sector alpaquero.
- El uso de herramientas de información satelital alternativa a la información proveniente de los registros de estaciones meteorológicas permite lograr un mayor alcance en la comprensión de las bajas temperaturas a nivel espacial al identificar el impacto en zonas claves que no necesariamente reciben atención por parte del sector público.
- Para el ámbito de estudio y el sector económico de interés se identificó un umbral de temperatura mínima anual de -10°C ; sin embargo, dependiendo del territorio y el objetivo este umbral puede variar. Lo elemental es resumir los parámetros de evaluación y elevar la representatividad sobre la información espacial requerida acorde al impacto analizado.

Discusiones y Recomendaciones

- Para la toma de decisiones en la gestión de riesgos, es necesario mejorar los métodos existentes, considerando el posible impacto en los elementos vulnerables; para ello, es necesario ensayar métodos alternativos y datos de estimación diversos dada la heterogeneidad del país que orienten el proceso de sectorización de un territorio complejo, en áreas relativamente homogéneas caracterizadas ya sea por sus factores físicos, biológicos y/o socioeconómicos.
- La configuración local del fenómeno de heladas incide sobre la presencia de cielos despejados y escasa nubosidad, lo cual permite la teledetección de temperaturas mínimas a través del satélite con un grado significativo de confiabilidad, especialmente sobre la zona alpaquera por encima de los 4 000 m s. n. m.
- Existe una estrecha vinculación entre la actividad ganadera y agrícola que, por lo general, en el ámbito de estudio suele ser mixta. En este sentido, la evaluación de riesgos asociada a estos sectores puede complementarse también con otros parámetros socioeconómicos asociados al sector agrícola.
- En relación a las bajas temperaturas, es importante identificar también la presencia de veranillos o heladas atípicas durante los meses de otoño (marzo, abril, mayo) pues son los sucesos atípicos los que restan confort a la población y generan un desequilibrio en las actividades que forman parte de sus medios de vida.
- Un análisis complementario puede ser abordado a partir del estudio exclusivo de las heladas tardías o tempranas que, basadas en parámetros asociados a la intensidad y frecuencia de ocurrencia, podrían permitir identificar

otro tipo de riesgo asociado a la atemporalidad de los eventos meteorológicos de heladas.

- Si bien no todas las herramientas satelitales logran representar con precisión los fenómenos físicos de la atmósfera, el manejo de la estacionalidad (ej. presencia de alta nubosidad durante el verano y datos ausentes de MODIS) y un análisis comparativo de datos (ej. análisis correlacional) abren la posibilidad al uso de información grillada de alta resolución para un mayor alcance temporal (robustez) y/o espacial (delimitación). Por esta razón, se recomienda una validación o calibración de la información satelital para su incorporación en los procesos de evaluación del riesgo, dado que el Perú carece de información representativa instrumental, en términos de alcance espacial.
- Se ha evidenciado que el producto satelital LST *Sensor MODIS* (AQUA/TERRA) contribuye a una mayor precisión espacial del comportamiento de las variables meteorológicas; por este motivo, a través de una evaluación complementaria, es posible manejar su uso para la implementación de sistemas de monitoreo debido a la disponibilidad de información diaria. Este producto puede ser aplicado también para otro tipo de peligros, tal como se viene utilizando, en incendios forestales, sequías, etc.
- En un contexto de COVID-19 se requiere la actualización de los indicadores sociales reportados en el Censo de Población y Vivienda, los cuales posiblemente se hayan agravado en las zonas vulnerables identificadas en este estudio.
- Se recomienda optimizar la focalización de las intervenciones de reducción de la vulnerabilidad de los medios de vida de los ganaderos alpaqueros a través de

la actualización del mapa de susceptibilidad ante heladas con información de mayor resolución que complemente los datos instrumentales del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú.

- Es importante contar con información actualizada sobre la actividad ganadera. Lamentablemente, la más reciente información oficial proviene del Censo Nacional Agropecuario del año 2012, la cual es considerada en el análisis de la toma de decisiones del Estado. Por este motivo, es necesaria su actualización a fin de contribuir asertivamente a la planificación de acciones públicas.
- Entre las intervenciones implementadas en el marco de las acciones del Estado, se han construido cobertizos para el resguardo de ganado. Sin embargo, es posible lograr idoneidad de la focalización a través del uso de información de alcance local asociada a la susceptibilidad y vulnerabilidad. Al respecto, se recomienda complementar resultados con el análisis de los sistemas de organización territorial tradicionales que son diversos. En términos de gestión territorial, esta complementariedad puede contribuir a garantizar intervenciones sostenibles. Información y asistencia técnica oportuna permitiría orientar el resguardo adecuado del ganado, si es que se cuenta con los módulos correspondientes, o también el desplazamiento temporal del ganado hacia zonas de menor altitud, con la finalidad de evitar pérdidas. Adicionalmente, se recomienda también complementar los sistemas de alerta basados en información instrumental y satelital, con el conocimiento ancestral y la predicción del tiempo local, lo cual ha dado buenos resultados en algunos contextos culturales.

- Gran parte de las pérdidas de ganado se deben principalmente al estado de salud de los animales; para ello, es importante un manejo que garantice su buen estado y que sea económicamente viable. Al respecto, se propone el mejoramiento de los sistemas de producción a través de diferentes estrategias basadas en el manejo de los recursos naturales, como también en un adecuado manejo genético y sanitario, de acuerdo al calendario de manejo alpaquero. Uno de los aspectos claves es la adecuada gestión de los ecosistemas, puesto que estos son los que proveen el sustento forrajero al ganado. Por lo tanto, es necesario implementar prácticas de rotación de praderas que consisten en el manejo temporal de pastizales que permitan su recuperación, así como la clausura temporal de los mismos. Adicionalmente, es importante recuperar prácticas ancestrales como la ampliación de bofedales, que consiste en el humedecimiento permanente de laderas, el cual garantiza la aparición de especies propias de humedales altoandinos: los más nutritivos para las alpacas. Esta práctica de manejo de agua está estrechamente relacionada con la protección de sus fuentes, que generalmente son manantiales altoandinos, los mismos que pueden ser cercados para evitar su afectación por el ganado, además de la construcción de diques artesanales en las lagunas altoandinas, para garantizar el incremento del volumen de agua en las lagunas, y que esta agua pueda ser usada en estas prácticas en la época de estiaje, lo cual garantizará que el ganado se alimente de manera más adecuada y fortalecerá su salud.
- Las prácticas mencionadas anteriormente requieren de recursos; para ello es importante una visión empresarial en la práctica alpaquera, el objetivo debe estar centrado en el incremento de los ingresos de los

productores a través de la venta de la fibra y de la carne. La demanda de la fibra de la alpaca ha ido creciendo en los últimos años, sin embargo, ha mermado la diversidad de alpacas. El mercado principal son las grandes empresas textiles del sur del Perú que demandan fibra de color blanco para su teñido, la misma que luego es exportada principalmente a Europa; esto ha dado como resultado la pérdida gradual de la fibra de color, y a su vez, hatos de ganado más vulnerables por su menor resiliencia frente a las bajas temperaturas. Por ello, es necesario que se recupere la fibra de color y se promocióne sus ventajas en el mercado al evitar utilizar químicos sintéticos.

- Se propone un reforzamiento de la asistencia técnica dirigida a las prácticas de manejo comunales que incluyan habilidades para el mejoramiento genético, prácticas sanitarias y facilidades de créditos. Debido a que existe la parcelación de territorios comunales entre las pequeñas familias, se evidencia que ya no se cuenta con pastizales comunales para la implementación de propuestas de manejo óptimo y eficiente de manera extensiva. Por este motivo, es importante incentivar la asociatividad en las comunidades para la adecuada gestión de riesgos sobre los recursos que impactan sobre sus medios de vida.
- Como estrategia de gestión se recomienda la implementación de sistemas de certificación y signos distintivos en el mercado de carne y fibra de alpaca, que permitan asegurar la producción nativa ampliando su alcance local a través de la asociatividad y la participación activa de las partes interesadas, incluyendo instituciones clave y espacios de articulación territorial que acompañan este proceso de desarrollo.

Referencias Bibliográficas

- Aguilar J. (2015). *Variabilidad espacio-temporal de la temperatura de la superficie del suelo en el Perú y su relación con los eventos extremos mediante imágenes MODIS/Terra durante el periodo 2000-2012*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Aguilar J. & Rojas J. (2018). Identificación de regiones expuestas a bajas temperaturas en el Perú usando imágenes de la temperatura de la superficie del suelo procedente de sensor MODIS/Aqua. *Revista ECIPeru* 44-49.
- Alarcón C. & Trebejo I. (2010). *Atlas de Heladas en el Perú*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- Alvarado R. & Vallejo C. (2015). *El eterno retorno del fenómeno de las heladas en el Perú: ¿Existen adecuadas políticas para combatir dicho fenómeno en el Perú?* Instituto de Investigación de la Facultad de Derecho de la Universidad de San Martín de Porres.
- Banco Interamericano de Desarrollo, Comisión Económica para América Latina y el Caribe. (2014). *La economía del cambio climático en el Perú*. 1-152. Lima, Perú
- Barrantes Campos, C. A. (2013). *Vulnerabilidad de pastores alpaqueros al cambio climático*. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (2018). *Escenarios de riesgo por heladas y friajes en el marco del plan multisectorial-multianual 2019-2021*.
- Cutter S. (1996). Vulnerability to hazards. *Progress in Human Geography* 20(4) 529-539.

- Dávila C. (2016). *Influencia de El Niño-oscilación del sur (ENOS) en la ocurrencia de heladas en el altiplano peruano*. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- De Ruyver R., Denegri M. & Oricchio P. (2012). *Mapa de riesgo de temperaturas extremas frías para el sur de la provincia de Buenos Aires usando datos satelitales y de superficie*. *Meteorológica* 37(1) 37-46.
- Elías, F., Castellvi, F. (2001). *Agrometeorología*. Ediciones Mundi- Prensa, Madrid, segunda edición. 517 pp.
- FAO. (2008). *Análisis del impacto de los eventos fríos del 2008 en la agricultura y ganadería alto andina en el Perú*.
- Fernández de Larriona Y., (2008). *Análisis del impacto de los eventos fríos (friaaje) del 2008 en la agricultura y ganadería altoandina del Perú*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. p.xi. Lima, Perú. Disponible en: http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/emergencias/docs/1_Peru_ESTUDIO_FINAL_FRIAJE_OCT_13_2008.pdf (Visitado 01.02.2022)
- François C., Bosseno R., Vacher J. & Seguin B. (1999). *Frost risk mapping derived from satellite and surface data over the Bolivian Altiplano*. *Agricultural and Forest Meteorology* 95(2) 113-137.
- Garreaud R. (2009). *The Andes climate and weather*. *Advances in Geosciences*, 22, 3-11.
- Galán de Mera, A., González, A., & Cáceres, C. (2003). *La vegetación de la alta montaña andina del sur del Perú*.
- Garreaud R. & Wallace J. (1998). *Summertime incursions of midlatitude air into subtropical and tropical South America*. *Monthly Weather Review* 126(10) 2713-2733.

- Gómez C. (2010). *Las heladas en el Perú y el mundo*. En *Universidad Continental* (p. 42).
- Hallegatte S., Fay M. & Barbier E. B. (2018). *Poverty and climate change: Introduction*. *Environment and Development Economics*, 23(3), 217-233.
- Instituto Geográfico Nacional de España. (2018). 3D Analyst y ArcGlobe. Teledetección. In *Instituto Geográfico Nacional*. <https://www.ign.es/web/resources/docs/IGNCnig/OBS-Teledeteccion.pdf>
- Instituto Nacional de Defensa Civil. (2006). *Compendio estadístico de prevención y atención de desastres*.
- Instituto Nacional De Defensa Civil (2015) *Cronología de fenómenos destructivos ocurridos en el Perú, Periodo 1970-2014*, CD interactivo estadístico del INDECI.
- Lhomme, J.-P., & Vacher, J.-J. (2003). *La mitigación de heladas en los camellones del altiplano andino*. *Bulletin de l'Institut Français d'études Andines*, 32(32 (2)), 377-399. <https://doi.org/10.4000/bifea.6556>
- Lozada J. (2014). *Investigación aplicada: Definición propiedad intelectual e industria*. *CienciAmérica: Revista de divulgación científica de la Universidad Tecnológica Indoamérica* 3(1).
- Mamani J. (2018). *Caracterización de temperaturas mínimas asociadas a heladas extremos usando WRF en la parte sur del Perú*.
- Ministerio de Agricultura y Riego del Perú. (2020). *Sistematización de la experiencia de los subproyectos de camélidos sudamericanos financiados por el Programa Nacional de Innovación Agraria*. Biblioteca Nacional Del Perú, 2021-01846.
- Ministerio de Agricultura y Riego del Perú. (2017). *Diagnóstico de crianzas priorizadas para el Plan Ganadero 2017-2021*.

- Ministerio del Ambiente del Perú. (2015). *Mapa Nacional de Cobertura Vegetal*. En Memoria descriptiva (p. 105). <https://www.gob.pe/minam>
- Morrison J. (2006). Grasslands: Developments Opportunities Perspectives. Edited by S. G. Reynolds and J. Frame. Rome and Plymouth UK: Food and Agricultural Organization and Science Publishers (2005) pp. 539. ISBN 92-5-105042-2 & 1-57808-359-1. *Experimental Agriculture* 42(3) 367-367.
- Murra, J. V. (1975). *Formaciones económicas y políticas del mundo andino*. Instituto de Estudios Peruanos (IEP).
- National Aeronautics and Space Administration (01 de febrero de 2022). MODIS Specifications. <https://modis.gsfc.nasa.gov/about/specifications.php>
- Paredes M. (2009). *Causas de mortalidad de alpacas en tres principales centros de producción ubicados en puna seca y húmeda del departamento de Puno*. *Redvet* 9, 467-481.
- Presidencia del Consejo de Ministros. (2021). *Plan Multisectorial de Heladas y Friajes 2019-2021*. Informe de Ejecución 2021 (Primer semestre).
- Presidencia del Consejo de Ministros. (2019). Plan multisectorial ante heladas y friaje 2019-2021. In Despacho Viceministerial de Gobernanza Territorial.
- Rosadio A., Maturrano H., Pérez J. D. & Luna E. L. (2012). *Neonatal enteric complex in andean alpacas*. *Revista de Investigaciones Veterinarias Del Perú* 23(3) 261-271.
- Rosales Alvarado, S., & Caminada Vallejo, R. *El eterno retorno del fenómeno de las heladas en el Perú: ¿Existen adecuadas políticas para combatir dicho fenómeno en el Perú?*

- Seluchi M. & Nery J. (1992). *Condiciones meteorológicas asociadas a la ocurrencia de heladas en la región de Maringa*. Rev. Brasileira Meteorologia 7, 523-534.
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (2020). *Informe Técnico: Análisis de las heladas meteorológicas a nivel nacional durante el periodo de bajas temperaturas 2020*.
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (14 de marzo de 2018). *Prepárate para la llegada de los friajes*. https://issuu.com/senamhi_peru/docs/heladas
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (14 de marzo de 2018). *Cuídate de las helas*. https://issuu.com/senamhi_peru/docs/friaje
- Stella De Feferbaum (1983). *Centro de información: alpacas, llamas, vicuñas y guanacos*. CIID Informa, v. 11, no. 4.
- Straschnoy J. & Di Bella C. (2006). *Caracterización espacial del estrés hídrico y de las heladas en la región pampeana a partir de información satelital y complementaria*. RIA. Revista de Investigaciones Agropecuarias 35(2) 117-141.
- Tomlinson, C.J., Chapman, L., Thornes, J.E. and Baker, C. (2011), *Remote sensing land surface temperature for meteorology and climatology: a review*. Met. Apps, 18: 296-306.
- Vargas Z. (2009). *La investigación aplicada: una forma de conocer las realidades con evidencia científica*. Revista educación 33(1) 155-165. (163)