

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA  
MOLINA**

**FACULTAD DE AGRONOMÍA**



**“CARACTERIZACIÓN DE LA HELADAS METEOROLÓGICAS Y  
AGRONÓMICAS E IMPACTO EN ALFALFA (*Medicago sativa* L.),  
AVENA (*Avena sativa* L.) Y CEBADA (*Hordeum vulgare* L.)  
FORRAJERAS DE LA REGIÓN PUNO”**

**Presentado por:**

**ROLANDO ANTONIO CARBONELL NAVARRETE**

**Tesis para optar por el título de Ingeniero Agrónomo**

**Lima – Perú**

**2016**

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA  
FACULTAD DE AGRONOMIA**

**“CARACTERIZACIÓN DE LAS HELADAS METEOROLÓGICAS Y AGRONÓMICAS  
E IMPACTO EN ALFALFA (*Medicago sativa* L), AVENA (*Avena sativa* L.) Y CEBADA  
(*Hordeunm vulgare* L.), FORRAJERAS DE LA REGIÓN PUNO”**

Presentado Por:

**ROLANDO ANTONIO CARBONELL NAVARRETE**

Tesis para optar el Título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO**

Sustentada y Aprobada ante el siguiente jurado:

.....  
Ing. Mg. Sc. Manuel Valencia Ramos  
**PRESIDENTE**

.....  
Ing. M. S. Javier Arias Carbajal  
**PATROCINADOR**

.....  
Dr. Percy Zorogastúa Cruz  
**MIEMBRO**

.....  
Ing. Fernando Passoni Telles  
**MIEMBRO**

Lima - Perú

2016

## ***DEDICATORIA***

A DIOS, por el éxito y la satisfacción de esta investigación, quien me regala los dones de la sabiduría para enfrentar los retos, las alegrías y los obstáculos que se me presentan constantemente.

A mis queridos padres Rolando y Alina, quienes ven realizado el sueño de padre; mi sincero agradecimiento por haberme depositado su confianza e impartido sus sabios consejos.

A mis queridos abuelos Victoria, Roberto, Elda y Olga, a mi tío Iván y a mi enamorada y compañera de la vida María Claudia por su gran calidad humana, apoyo incondicional, amor, alegría y ánimo contagioso, que no me dejaron desfallecer para así poder llevar a cabo la culminación de este proyecto.

## ***AGRADECIMIENTO***

A la Universidad Nacional Agraria La Molina y docentes de la Facultad de Agronomía, por la invaluable contribución cultural, social y científica.

Al Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) con sede en Lima, por el decidido apoyo financiero y profesional brindado a lo largo de la investigación.

A la Ing.Sc. Irene Trebejo Varillas, Directora de la Dirección de General Agrometeorología el SENAMHI, por sus sabias contribuciones y apoyo en la elaboración de la investigación.

De manera muy especial al Ing. Javier Arias Carbajal, Profesor Principal y asesor del presente trabajo de tesis, por sus sabias contribuciones, apoyo en la redacción de la investigación, gran calidad humana y por su confianza puesta en mí persona.

A los Ingenieros Luis Ángel Cruzado Cuzquen y Karim Quevedo Caiña, por su permanente respaldo profesional y colaboración en la ejecución de la tesis.

## RESUMEN

El presente trabajo comprende la caracterización de heladas meteorológicas y agronómicas y su impacto en los cultivos de Alfalfa (*Medicago Sativa L.*), Avena (*Avena Sativa L.*) y Cebada Forrajera (*Hordeum Vulgare L.*) para la región Puno, en el cual se ha realizado un análisis fisco-estadístico de la información obtenida a partir de observaciones diarias de las temperaturas mínimas, máximas y precipitación pluvial. Los datos provienen de la medición de variables tomadas mediante instrumentos de lectura directa ubicados dentro del abrigo meteorológico en una red de 18 estaciones durante un periodo de 17 años (1996/2013). Mediante la técnica de Análisis de Conglomerados o de Cluster se realizó un agrupamiento de estaciones meteorológicas según la similitud de las variables en estudio, se determinó la frecuencia anual y por periodo de heladas meteorológicas, la fecha promedio de ocurrencia de primera y última helada y la duración del periodo libre de heladas tanto para heladas meteorológicas como agronómicas y se analizó el impacto de las variables climáticas en los cultivos anotados. El análisis realizado puso en evidencia la existencia de tres grupos o clusters de estaciones meteorológicas para la región. Los resultados de la caracterización de heladas indican que los pastos cultivados puestos en estudio se encuentran expuestos durante gran parte del año a las heladas tanto meteorológicas como agronómicas, lo cual repercute sobre la producción de biomasa y materia seca, quedando demostrado la estrecha relación lineal significativa que existe entre la variable temperatura y el rendimiento.

**Palabras claves:** Primera helada, última helada, periodo libre de helada, frecuencia de heladas.

## ÍNDICE

	<b>Página</b>
DEDICATORIA.....	II
AGRADECIMIENTO.....	III
RESUMEN.....	IV
ÍNDICE.....	V
LISTA DE CUADROS.....	VII
LISTA DE MAPAS.....	VIII
LISTA DE GRÁFICAS.....	IX
LISTA DE FIGURAS.....	X
LISTA DE ANEXOS.....	XI
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	2
2.1 GENERALIDADES DE LA REGION.....	2
2.1.1 Ubicación Geográfica.....	2
2.2 ECOSISTEMAS DE LA REGIÓN.....	2
2.2.1 Condiciones climatología generales.....	2
2.2.2 Ecología.....	5
2.2.3 Suelos.....	7
2.3 CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA DE LA REGIÓN.....	12
2.3.1 Régimen de temperatura.....	12
2.3.2 Régimen de precipitación.....	13
2.4 HELADAS.....	14
2.4.1 Origen de las heladas.....	14
2.4.2 Factores meteorológicos y físico que favorecen la formación de las heladas.....	15
2.4.3 Clasificación de las heladas.....	20
2.4.4 Respuesta Fisiología al daño por helada.....	25
2.5 PRODUCCIÓN AGROPECUARIA.....	26
2.5.1 Superficie Agropecuaria.....	26
2.5.2 Rendimiento y producción de especies agropecuaria.....	29
2.6 CARACTERIZACIÓN AGRÍCOLA.....	30
2.6.1 Fenología de cultivos.....	30
2.6.2 Calendario agrícola.....	35
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	36

3.1 DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	36
3.2 MATERIALES.....	37
3.2.1 Información meteorológica.....	37
3.2.2 Información agrícola .....	38
3.2.3 Programas informáticos.....	41
3.3 METODOLOGÍA.....	41
3.3.1 Procesamiento de la información meteorológica.....	41
3.3.2 Procesamiento de la información de heladas.....	42
3.3.3 Procesamiento de la información agrícola.....	46
3.3.4 Procesamiento estadístico.....	46
4. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	48
4.1 ANALISIS DE INFORMACIÓN METEOROLÓGICA.....	48
4.1.1 Determinación del promedio de variables climáticas asociadas a la altura.....	48
4.1.2 Agrupamiento de estaciones meteorológicas.....	52
4.2 CARACTERIZACIÓN DE HELADAS.....	55
4.2.1 Comportamiento normal de las heladas para la Región Puno.....	56
4.2.2 Frecuencia de heladas para la Región Puno.....	58
4.2.3 Fecha promedio de Primera Helada, Ultima Helada y Periodo Libre de Heladas Meteorológica.....	63
4.2.4 Fecha promedio de Primera Helada, Ultima Helada y Periodo Libre de Heladas Agronómica para los cultivos de Avena y Cebada Forrajera.....	68
4.2.5 Fecha promedio de Primera Helada, Ultima Helada y Periodo Libre de Heladas Agronómica para el cultivo de Alfalfa.....	72
4.3 IMPACTO DE LAS VARIABLES CLIMATICAS EN LOS CULTIVOS.....	76
4.3.1 Relación entre rendimiento de Avena Forrajera (Avena sativa) y variables precipitación; temperatura; cluster asociado.....	76
4.3.2 Relación entre rendimiento de Alfalfa (Medicago sativa) y variables precipitación; temperatura; cluster asociado.....	78
4.3.3 Relación entre rendimiento de Cebada Forrajera ( <i>Hordeum vulgare</i> ) y variables precipitación; temperatura; cluster asociado.....	80
4.4 COMENTARIOS FINALES.....	82
5. CONCLUSIONES.....	84
6. RECOMENDACIONES.....	85
7. BIBLIOGRAFÍA.....	86
ANEXOS.....	91

## ***Lista de cuadros***

	<b><i>Página</i></b>
CUADRO 1. Clasificación de heladas según su severidad.....	25
CUADRO 2. Población ganadera de la Región Puno.....	28
CUADRO 3. Superficie agrícola y no agrícola de la región.....	28
CUADRO 4. Superficie agrícola de Puno según uso de tierras.....	29
CUADRO 5. Producción y rendimiento de especies forrajeras .....	30
CUADRO 6. Ubicación de la zona de estudio.....	37
CUADRO 7. Ubicación política y georreferenciada de estaciones meteorológicas.....	39
CUADRO 8. Promedio de variables en estudio.....	48
CUADRO 9. Resumen procesamiento de datos.....	52
CUADRO 10. Tabla de aglomeración.....	52
CUADRO 11. Cluster de estaciones meteorológicas.....	54
CUADRO 12. Fecha media de ocurrencia de primera, última y periodo libre de heladas...57	57
CUADRO 13. Rendimientos de avena forrajera según cluster asociado.....	77
CUADRO 14. Resultados del análisis de regresión lineal para el cultivo de avena.....	77
CUADRO 15. Ecuación de regresión lineal para el cultivo de avena forrajera.....	78
CUADRO 16. Rendimientos de alfalfa según cluster asociado.....	78
CUADRO 17. Resultados del análisis de regresión lineal para el cultivo de alfalfa.....	79
CUADRO 18. Ecuación de regresión lineal para el cultivo de alfalfa.....	79
CUADRO 19. Rendimientos de cebada forrajera según cluster asociado.....	80
CUADRO 20. Resultados del análisis de regresión lineal para el cultivo de cebada.....	81
CUADRO 21. Ecuación de regresión lineal para el cultivo de cebada forrajera.....	81



## *Lista de mapas*

	<i>Página</i>
MAPA 1. Ubicación de la Región Puno.....	10
MAPA 2. Modelo de elevación digital para la Región Puno.....	11
MAPA 3. Red de estaciones meteorológicas en estudio.....	40
MAPA 4. Frecuencia anual de heladas.....	60
MAPA 5. Frecuencia de heladas periodo setiembre-abril.....	61
MAPA 6. Frecuencia de helada periodo diciembre-abril.....	62
MAPA 7. Fecha media de ocurrencia de primera helada meteorológica.....	65
MAPA 8. Fecha media de ocurrencia de última helada meteorológica.....	66
MAPA 9. Periodo medio libre de helada meteorológica.....	67
MAPA 10. Fecha media de ocurrencia de primera helada agronómica para los cultivos de avena y cebada forrajera.....	69
MAPA 11. Fecha media de ocurrencia de primera helada agronómica para los cultivos de avena y cebada forrajera.....	70
MAPA 12. Periodo medio libre de helada agronómica para los cultivos de avena y cebada forrajera.....	71
MAPA 13. Fecha media de ocurrencia de primera helada agronómica para el cultivo de alfalfa.....	73
MAPA 14. Fecha media de ocurrencia de última helada agronómica para el cultivo de alfalfa.....	74
MAPA 15. Periodo medio libre de helada agronómica para el cultivo de alfalfa.....	75

## *Lista de graficas*

### *Pagina*

GRAFICA 1. Comportamiento de variables en estudio.....	49
GRAFICA 2. Carta de control promedio para la variable precipitación.....	50
GRAFICA 3. Carta de control promedio para la variable temperatura.....	50
GRAFICA 4. Carta de control promedio para la variable altitud.....	51

## *Lista de figuras*

## *Página*

FIGURA 1. Distribución temporal de la temperatura y la precipitación en la Región de Puno.....	13
FIGURA 2. Helada debido factores topo climáticos, Efecto del drenaje del aire y la influencia de la temperatura en la topografía.....	17
FIGURA 3. Efecto de la nubosidad sobre la pérdida de calor.....	18
FIGURA 4. Turbulencia causada por el viento que mezcla aire caliente con el aire frío que está a menor altura.....	18
FIGURA 5. Helada de Advección en donde se aprecia la transmisión de calor durante el día y la noche.....	20
FIGURA 6. Helada de Radiación en donde se aprecia el proceso de inversión térmica.....	21
FIGURA 7. Helada por evaporación esquema que muestra el intercambio de energía producto del cambio de estado del agua.....	22
FIGURA 8. Fases fenológicas para el cultivo de avena forrajera ( <i>Avena sativa</i> ).....	32
FIGURA 9. Fases fenológicas para el cultivo de alfalfa ( <i>Medicago sativa</i> ).....	33
FIGURA 10. Fases fenológicas para el cultivo de cebada forrajera ( <i>Hordeum vulgare</i> ).....	34
FIGURA 11. Calendario de siembras y cosechas para la Región Puno.....	35
FIGURA 12. Periodo promedio libre de heladas en la Región Puno.....	45
FIGURA 12. Dendograma del análisis clúster para las estaciones Meteorológicas de la Región Puno – Distancias Euclidianas.....	53

## ***Lista de anexos***

## ***Página***

Anexo 1: Análisis del comportamiento de las variables.....	91
Anexo 2: Distancia Euclidiana para agrupamiento de Estaciones Meteorológicas.....	92
Anexo 3: Análisis de correlación de Pearson entre las variables meteorológicas y el rendimiento de los cultivos de alfalfa, avena y cebada forrajera.....	93
Anexo 4: Verificación de supuestos para normalidad de errores, homocedastidad, linealidad e independencia de errores.....	94
Anexo 5: Análisis de regresión general para el cultivo de avena forrajera.....	96
Anexo 5A: Análisis de varianza.....	97
Anexo 6: Análisis de regresión general para el cultivo de alfalfa.....	98
Anexo 6A: Análisis de varianza.....	99
Anexo 7: Análisis de regresión general para el cultivo de cebada forrajera.....	100
Anexo 7A: Análisis de varianza.....	101

## I. INTRODUCCIÓN

Puno es el departamento político de mayor riesgo climático en el Perú y, probablemente, también lo sea en comparación con otros espacios habitados del mundo. Sufre intermitente e irregularmente por problemas de sequías e inundaciones aunque el riesgo mayor proviene de las heladas. En este fenómeno no solo se debe considerar las caídas dramáticas de temperatura hasta llegar a varios grados bajo cero, sino que tiende a una muy alta variabilidad en términos de estacionalidad, por lo que es realmente difícil insertar períodos de cultivos dentro de los cuales no ocurran las letales heladas.

Debido a las condiciones geográficas de la región, persiste todo el año el peligro de heladas, imprimiéndole a la actividad agrícola, característica de elevado riesgo. Al inicio del ciclo vegetativo “en primavera” los cultivos acusan una sensibilidad a las bajas temperaturas, que va en aumento conforme va avanzando la estación. A fines del mismo “en otoño” la presencia de temperaturas bajas prematuras, pueden afectar total o parcialmente a las estructuras responsables de las cosechas.

El presente trabajo tuvo como objetivo caracterizar las heladas meteorológicas y agronómicas en la región de Puno, determinando la frecuencia de heladas meteorológicas, las fechas promedio de la primera y última helada y el periodo promedio libre de heladas meteorológicas y agronómicas, así como también el impacto de las mismas en los rendimientos de los cultivos de alfalfa (*Medicago Sativa L.*), avena (*Avena Sativa L.*) y cebada forrajera (*Hordeum Vulgare L.*).

## **II. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **2.1 GENERALIDADES DE LA REGIÓN**

#### **2.1.1 Ubicación**

La Región Puno geográficamente está ubicada en el extremo Sur-Este del territorio peruano, en la Meseta del Collao y a orillas del Lago Titicaca. Políticamente está conformada por 13 provincias y 109 distritos, con una extensión superficial de 66988,2 km<sup>2</sup>. Cuenta con una densidad poblacional de 18.6 habitantes/km<sup>2</sup>. La capital de la región es la ciudad de Puno con una Altitud de 3,827 m.s.n.m. (INEI, 2007).

La región de Puno limita por el Norte con los departamentos de Madre de Dios y Cusco, por el Sur con el departamento de Tacna, por el Este con la República de Bolivia y por el Oeste con los departamentos de Moquegua y Arequipa.

### **2.2 ECOSISTEMAS DE LA REGIÓN**

#### **2.2.1 Condiciones climáticas generales**

El clima general que presenta la Región de Puno es semi-seco y frío, cuyas estaciones de otoño e invierno son carentes de lluvias, no existiendo cambio térmico invernal bien definido. En la Región de Puno se puede apreciar algunas variaciones en la vegetación natural y cultivada relacionadas estrechamente con la temperatura lo que ha llevado a establecer que el patrón climático que se acaba de describir está integrado por cuatro variantes o subtipos térmicos, los mismos que han sido denominados con las letras **A**, **B**, **C** y **D** (ONERN, 1965).

- a. Sub-tipo climático "A"** corresponde al área que bordea prácticamente el Lago Titicaca y la Laguna Arapa, motivo por el cual se le puede denominar "clima de la ribera del Lago Titicaca". Abarca una extensión aproximada de 107,200 Ha. El origen de esta variante climática se encuentra en la acción termo-reguladora del Lago Titicaca, la cual consiste en la absorción de calor durante las horas de sol y su pérdida lenta en las noches, permitiendo que los vientos del SE, que soplan sobre el Lago, se calientan y humedezcan, elevando y manteniendo constante las temperaturas, cuyo promedio oscila entre 11.5°C y 5.5°C. Este sub-tipo climático es el más favorable de todos para las actividades agrícolas, debido a que el fenómeno descrito evita las caídas extremas de las temperaturas mínimas.
- b. Sub-tipo climático "B"** o clima de Oruriyo, Asillo y Azángaro, corresponde a una extensión de aproximadamente 137,132 Has o 10% del área total. En esta sub-zona, el medio ambiente tiene temperaturas máximas y mínimas promedios de 13°C y 6°C, respectivamente, con un rango de oscilación de 7°C que indica que las temperaturas sufren fuertes descensos ocasionando la presencia de heladas más o menos intensas, aunque de menor frecuencia y con un periodo de ocurrencias más corto que las que se producen en el sub-tipo climático "C". Las características principales de esta variante climática indican la existencia, durante todo el año, de condiciones ambientales bastante favorables para el desarrollo de las explotaciones.

**c. Sub-tipo climático "C"** o Clima del Altiplano corresponde a una extensión de aproximadamente 488,608 Has., equivalente al 35.7% del área total. Este sub-tipo climático las temperaturas promedio máxima y mínima está alrededor de los 13°C y 3°C, respectivamente, comprendiendo un amplio rango de oscilación de 10 ° C. En consideración a estas características, se puede afirmar que en este sub-tipo climático las heladas son de fuerte intensidad y que abarcan un amplio período de ocurrencias, por lo que la agricultura debe estar supeditada exclusivamente a plantas resistentes a temperaturas bajas. No obstante, la topografía los suelos y las buenas especies de pastos naturales constituyen muy buenas condiciones para su desarrollo de la ganadería de tipo lanar.

**d. Sub-tipo climático "D"** o Clima de las Alturas abarca un área aproximada de 637,784 Has o 46.5% del área total, marginando las áreas agrícolamente aprovechables del Sector en estudio. Esta variante climática corresponde a todas las zonas de altura, de topografía sumamente accidentada, con suelos erosionados V con vegetación natural muy pobre. Se estima que la temperatura promedio es sumamente baja, oscilando entre 6°C y 0°C, clara indicación de que las heladas son intensas y muy frecuentes durante todo el año. Debido a estas condiciones, el área es agrícolamente casi improductiva, prosperando sólo la ganadería de tipo autóctono.



### 2.2.2 Ecología

En la Región Puno pueden distinguirse 4 formaciones ecológicas las cuales son detalladas a continuación (ONERN, 1965):

**a. Pradera o Bosque Húmedo Montano:** Esta formación ecológica se extiende desde las orillas del Lago Titicaca hasta la cota 4,100 m.s.n.m., aproximadamente, comprendiendo íntegramente los sub-tipos climáticos "A", "B" y "C", los que le confieren un clima benigno y la hacen apropiada para el desarrollo de las actividades agropecuarias. Topográficamente, la casi totalidad del área ocupada por esta formación vegetal está constituida por planicies extensas de pendiente suave o nula y en muy pequeña proporción, existen terrenos de topografía más inclinada y quebrada que conforman los promontorios y cerros que contrastan con la topografía general de las pampas altiplánicas. En el aspecto relativo a los suelos, la formación Bosque Húmedo Montano, presenta un conjunto de cuerpos edafogénicos de caracteres zonales, intra-zonales y azonales. Los suelos zonales o climatogénicos de la zona, desarrollados por acción directa del clima, muestran perfiles perfectamente diferenciados, de morfología y evolución maduras, siendo los de mayor productividad y valor para fines agronómicos, dentro.

**b. Monte o Páramo muy Húmedo Sub-Alpino y Monte o Páramo Húmedo Sub-Alpino,** La primera formación ocupa el sector Noroeste del Lago, a una altitud de 4,100 a 4,600 m.s.n.m., aproximadamente. El clima dominante corresponde al sub-tipo climático "D", caracterizado por ser extremadamente frío y no permitir el

desarrollo de la agricultura ni el crecimiento de las diversas variedades de pastos naturales nutritivos que se desarrollan en la formación anterior. La precipitación pluvial promedio anual es de alrededor de los 800mm. La segunda formación. Monte Húmedo Sub-Alpino, ocupa el sector Oeste y Noroeste del Lago y se encuentra a la misma altitud que la formación anterior, pero su precipitación pluvial promedio anual es de sólo alrededor de 500mm. Ambas formaciones ecológicas se desarrollan en un relieve topográfico fuertemente quebrado y complejo, en términos generales, el potencial agronómico de estos suelos está estrechamente relacionado con el factor topográfico. Son tierras que ofrecen condiciones sólo para el desarrollo restringido de la actividad pecuaria.

- c. Tundra Pluvial Alpino y Tundra muy Húmeda Alpino,** La formación Tundra Pluvial Alpino ocupa la parte más alta de la zona Noroeste del Lago, a alturas comprendidas entre los 4,600 y 4,800 m.s.n.m. El clima imperante corresponde al sub-tipo "D", caracterizado por ser extremadamente frío y con abundante precipitación pluvial. Estas características térmicas hacen a esta formación inapta para la agricultura y ganadería no autóctona. La formación vegetal Tundra muy Húmeda Alpino ocupa el sector Oeste del Lago, a una altura similar a la de la formación anterior. El clima dominante se diferencia únicamente en que la precipitación pluvial promedio anual es menor, por lo que la vegetación natural existente no ha proliferado bien, presentando poca vigorosidad, a diferencia de lo que sucede en la formación anterior. En general el relieve topográfico es fuertemente quebrado y abrupto lo cual dificulta el crecimiento de plantas.

- d. Nival,** Este piso altitudinal corresponde a alturas superiores a los 4,800 m.s.n.m. Su clima es perennemente gélido y prácticamente no presenta vegetación. La precipitación pluvial promedio anual es de alrededor de los 900mm., lo cual le confiere el carácter de zona gélida muy húmeda. Los rasgos topográficos de esta área son las laderas peñascosas y pedregosas y los picos afilados y escarpados, como producto de la erosión glaciaria de las montañas. Los suelos prácticamente no existen. El material regolítico se encuentra minimizado a unos cuantos centímetros de espesor y gradando hacia las formaciones líticas puras. La superficie que abarca la formación ecológica Nival se halla desprovista de vegetación, ya que las temperaturas bajas impiden la vida de las plantas.

### **2.2.3 Suelos**

De acuerdo al origen, posición topográfica y cubierta vegetal, las formaciones predominantes de suelos del Altiplano son (CONAM, 2007):

- a. Suelos Lacustres o Aluvio Locales de Áreas Depresionadas:** Los suelos de este grupo se han formado a partir de materiales acarreados de lugares cercanos dentro del lago que antiguamente ocupaba la zona. Se caracterizan por estar constituidos por sedimentos finos, permanentemente con exceso de humedad o con alto acumulamiento de sales solubles y clasificados como Endoaquents dentro de la Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 2014).

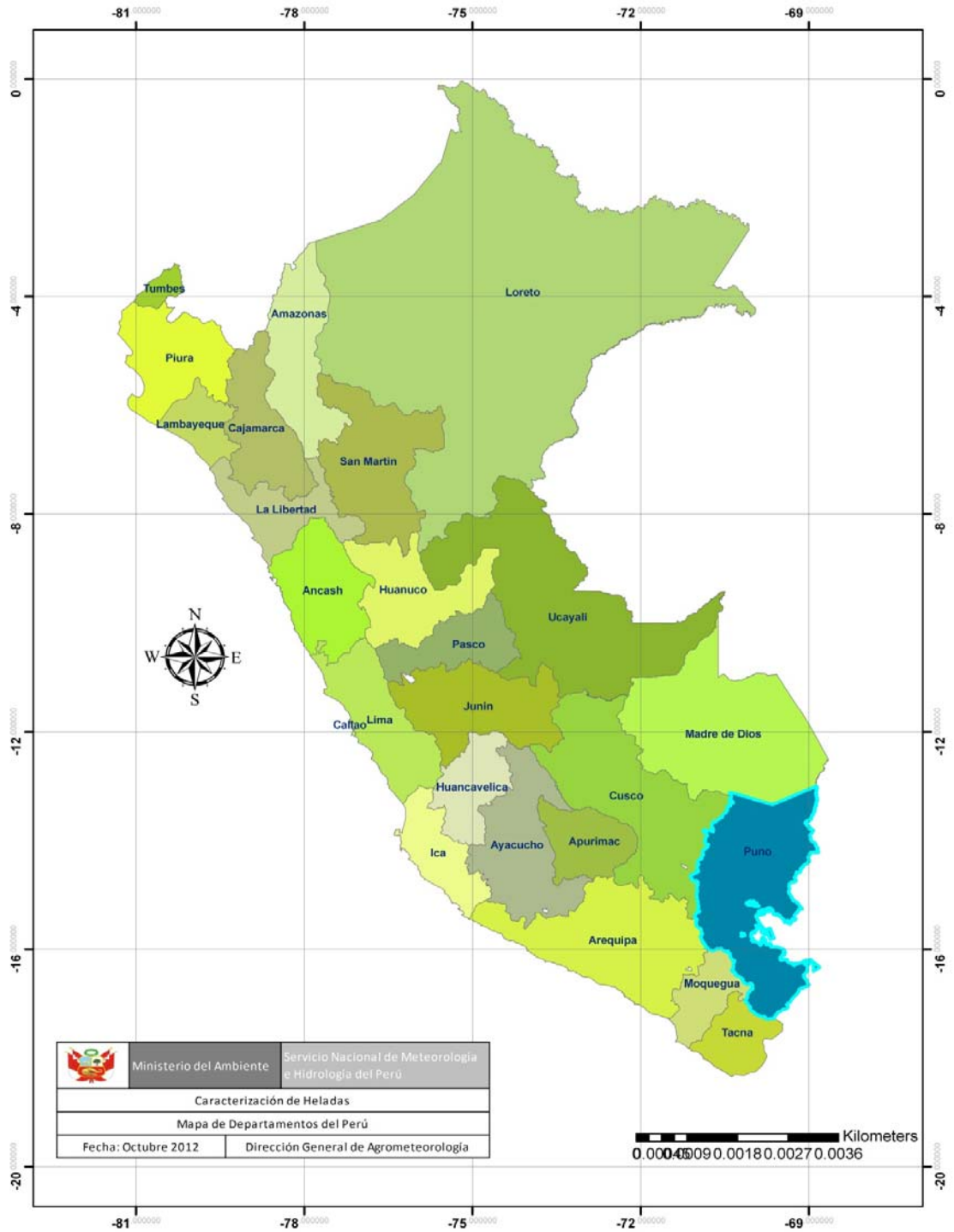
- b. Suelos Lacustres y Aluvio Locales de la Altiplanicie:** Estos suelos se han formado a partir de sedimentos relativamente finos y profundos de origen lacustre y aluvio locales. Ocupan la mayor parte del Altiplano central y abarcan una superficie aproximada de 270,923 ha. De acuerdo a sus condiciones de drenaje, estos suelos se sub-dividen en: tierras de drenaje normal, los Haplustolls y tierras con características de drenaje imperfecto los Epiaquents. Generalmente, ambos sub-grupos se encuentran cubiertos por pastos naturales y cuando son cultivados, se conducen ciertos cultivos de altura como la papa amarga, papa dulce, cebada, quinua, avena forrajera, etc.
- c. Suelos Aluviales y Aluvio Locales propios de la Altiplanicie y Quebradas:** Los suelos de este grupo se han originado a partir de sedimentos aluviónicos de textura y espesores variados, depositados por la acción de las aguas de los ríos Ayaviri, Azángaro y Ramis, así como por los numerosos afluentes de éstos. Ocupan un total de 90,347 ha, en angostas fajas irregulares y discontinuas sobre las márgenes de los ríos señalados. Generalmente estas tierras se encuentran cubiertas también por pastos naturales permanentes, pudiendo conducirse los mismos cultivos que en el grupo anterior, en la taxonomía de suelos se les agrupa dentro de los Ustifluvents .
- d. Suelos Aluvio Locales y Glacio-Fluviales:** Estos suelos se han derivado de materiales marcadamente gruesos, acarreados por la acción de los ríos Corahuina y Nuñoa. Son suelos delgados, bastante planos, con alto acumulamiento de grava y

piedras, los Cryorthents dentro de la Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 2014). Casi en su mayor parte, estos suelos se encuentran bajo una vegetación permanente de pastos nativos.

- e. **Suelos Residuales o In-Situ en Ladera y Cima de Cerros:** Este grupo de suelos primarios o de formación in-situ (originados en el lugar) se han originado a partir de materiales sedimentarios (calizas, lutitas y areniscas, principalmente) y de origen volcánico. Son suelos muy superficiales, de fuertes pendientes, de alta susceptibilidad a la erosión pluvial y de baja capacidad productiva. Su aptitud agropecuaria es muy limitada. En la Soil Taxonomy (2014) son considerados como Ustorthents.
  
- f. **Grupo de Áreas Misceláneas:** A este grupo, pertenecen todas aquellas tierras de morfología pedológica no definida. Se incluyen las formaciones Nivales, escarpados, pantanos y áreas aluviales no diferenciadas, comprendiendo una superficie aproximada de 60,067 ha.

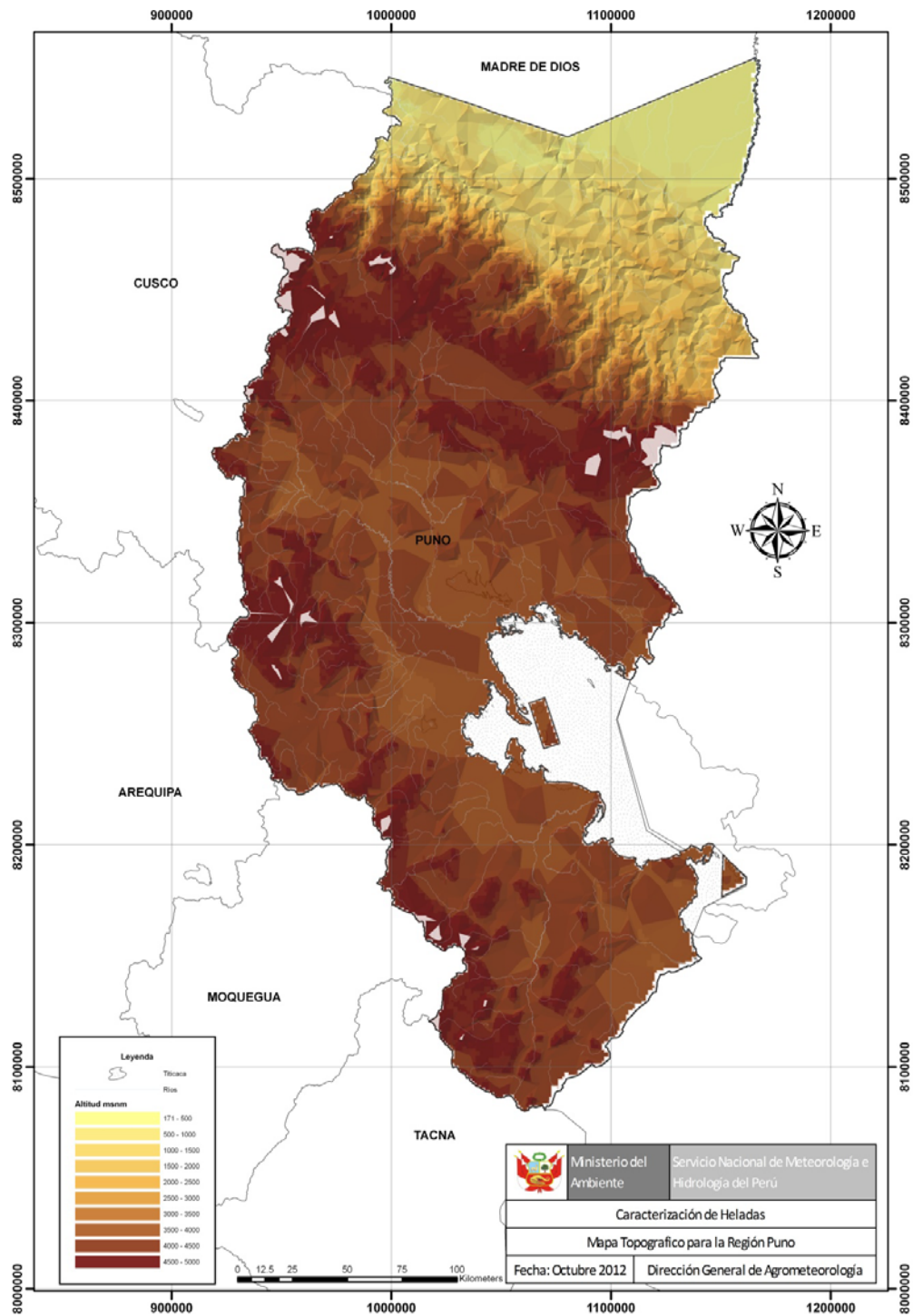
Los suelos en el Altiplano de Puno son relativamente superficiales, además estos se ven amenazados por problemas de erosión hídrica y eólica de diferentes intensidades, donde aproximadamente el 10% sufren de erosiones severas. Degradándose la fertilidad natural física, química y biológica de los suelos, lo cual está asociado al uso inadecuado

**Mapa 1: Mapa de ubicación para la Región Puno**



Fuente: SENAMHI (2012)

**Mapa 2: Mapa topográfico para la Región Puno**



Fuente: SENAMHI (2012)

## 2.3 CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA DE LA REGIÓN PUNO



### 2.3.1 Régimen de la temperatura

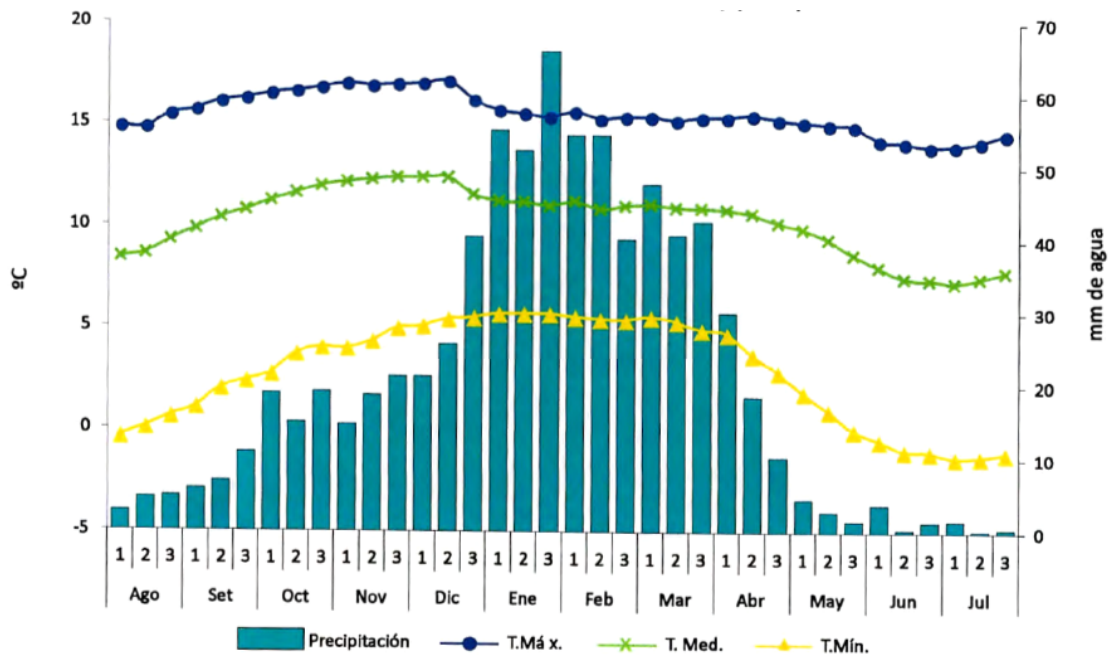
La distribución temporal de la temperatura del aire se muestra en la **Figura 1**, en ella se aprecia la variación anual de las temperaturas máxima, mínima y media decadal del promedio de las estaciones meteorológicas ubicadas en la región. En la región Puno debido a las diferencias de latitud y altitud, existen grandes variaciones en la distribución de la temperatura del aire durante el año. En las estaciones ubicadas en el norte, noreste y este de la región se puede notar que la distribución de la temperatura muestra mayor regularidad durante todo el año. Mientras que en las estaciones ubicadas al sur y sureste, la distribución de la temperatura es más variada, haciéndose más acentuada las diferencias entre las estaciones fría y cálida. Así mismo estas estaciones muestran una disminución de las temperaturas durante los meses de invierno, lo que indica que las estaciones están más expuestas a la ocurrencia de heladas.

A nivel de estaciones la temperatura promedio anual fluctúa entre 9,1 °C (Cojata) y 23,3 °C (San Gaban). Los valores más altos de la temperatura media generalmente se manifiestan entre la primera década de diciembre y la primera década de febrero. Las temperaturas medias más bajas son registradas entre la tercera década de junio y la tercera década de julio, oscilando entre 0,9 °C (Puno) y -15°C (Mazocruz). Los promedios más altos de las temperaturas mínimas ocurren entre la tercera década de noviembre y segunda década de marzo. Los valores más bajos ocurren en los lugares ubicados a mayor altitud y se presentan durante los meses de invierno (segunda década de junio a la primera década de agosto).

### 2.3.2 Régimen de la precipitación:

La distribución temporal de la precipitación en la región Puno es típica de las regiones subtropicales (tipo monomodal), con precipitaciones máximas entre los meses de noviembre y marzo y precipitaciones mínimas entre mayo y setiembre; es decir, destacan dos períodos: uno lluvioso estival y otro invernal con precipitaciones escasas, siendo los meses de enero y febrero más lluviosos. A nivel anual la precipitación de la región varía entre 300 mm en Taraco hasta 900 mm en Juli. En la **Figura 1** se muestran la distribución temporal y la variación decadal de la precipitación en la región.

#### DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DE LAS TEMPERATURAS Y PRECIPITACIÓN



**Figura N°1:** Distribución temporal de las temperaturas y precipitación en la Región Puno.  
**Fuente:** Normales decadales de temperaturas y precipitación y calendario de siembras y cosechas-MINAGRI (2013).

## **2.4 HELADAS**

### **2.4.1 Origen de las heladas**

Desde el punto de vista meteorológico, se produce una helada cuando la temperatura ambiente desciende a 0°C o menos, observación que usualmente se hace con el termómetro de mínima instalado en la caseta meteorológica. En cambio, un enfoque agro meteorológico define helada como un descenso de la temperatura ambiente a niveles críticos de los cultivos vegetales y que mata los tejidos vegetales. Esta definición implica dos condiciones, las meteorológicas y las biológicas, como: tolerancia propia del cultivo o variedad, etapa de desarrollo, condiciones fisiológicas y sanitarias, condiciones de suelo, duración de la helada (Lasso, 1997).

El valor práctico de esta última definición se reduce a la zona de observación y no permite generalizaciones, por ello se recurre a la definición meteorológica con el fin de identificar la helada a nivel regional, no sin antes aclarar que las temperaturas mínimas de caseta resultan eficientes para asociar el fenómeno de helada en frutales y en cultivos como maíz y girasol, entre otros, pero que en cultivos de menor porte, como trigo, cebada, frijol, pastos por ejemplo, se requieren lecturas a unos 10 o 15 cm y a la interperie.

Al respecto, Villegas y Rosas (1989), indica que se encuentra una diferencia de 1,63°C y 2°C entre la temperatura medida en una caseta meteorológica y la temperatura medida a la altura de los cultivos a 50 cm en el valle del Mantaro (Junín).

## **2.4.2 Factores meteorológicos y físicos que favorecen la formación de heladas**

Lasso (1987) y Pereyra et al. (2002). Un resumen de las condiciones macro climáticas, atmosféricas, topo climáticas, micro climático propicias para la concurrencia de heladas son dados por:

### **a. Factores macro climáticos**

Factores relacionados a la escala regional o geográfica del clima:

- Latitud y Altitud: A mayor latitud y altitud mayor ocurrencia de heladas.
- Continentalidad y oceanidad: El océano por ser una enorme masa de agua, con alto poder calorífico, tiene efecto moderador en las variaciones de temperatura. En el interior del continente, la variación de la temperatura es mayor y por lo tanto mayor es el enfriamiento nocturno.
- Masa de aire polar: Por la configuración del continente sudamericano, invasiones de masa de aire frío procedentes del polo sur alcanzan la región sudeste, empujados por los vientos del oeste a sudoeste traspasan la cordillera, el paso por los andes genera una masa fría y seca que favorece la pérdida de energía por radiación durante la noche. En cambio, la masa polar penetra vía el océano atlántico, esta gana humedad en su trayectoria, con vientos en dirección sur y sudeste, esta humedad provoca cierta tropicalización de la masa polar que ocasiona la condensación de vapor de agua, liberando su calor latente y calentándola.

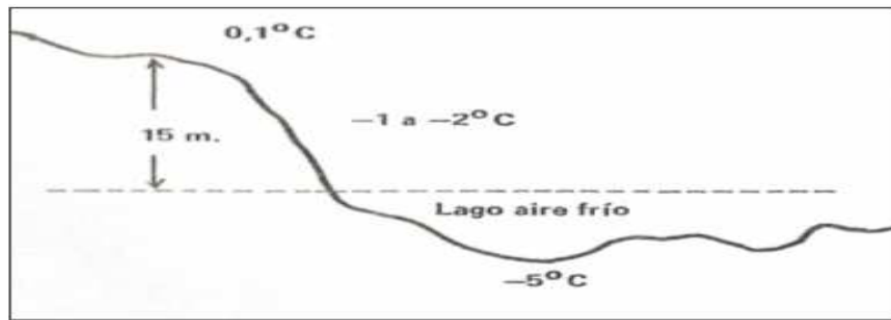
### **b. Factores topo climáticos**

En países montañosos como el Perú, el relieve juega un papel importante, por el efecto que tiene el drenaje de aire frío y por la exposición.

Un terreno plano está sujeto a estancamiento de aire frío, favoreciendo la helada, por lo que estas aéreas deben ser reservadas para cultivos anuales durante el verano, cultivos resistentes al frío, o especies forestales. Si el terreno plano estuviera en una posición más elevada que su entorno este debe mantener vegetación arbórea para reducir el enfriamiento nocturno de las partes más bajas.

En caso del que el terreno sea cóncavo, su configuración en forma de cuenca facilita la acumulación de aire frío, donde la temperatura puede ser 4 y 8 grados más bajas que las temperaturas en las pendientes y partes altas de la montaña durante las noches de helada. Esta configuración debe ser reservada para cultivos anuales o de reforestación.

En el caso de ser el terreno convexo, presenta menor frecuencias de heladas por facilitar el desplazamiento de aire frío, desde que no esté circundando por terrenos más elevados. Los terrenos con exposición hacia el sur reciben menos energía solar durante el invierno, siendo naturalmente más fríos y también más sujetos a los efectos de los vientos predominantes del SE (fríos), en cambio los terrenos expuestos hacia el norte son más calientes.

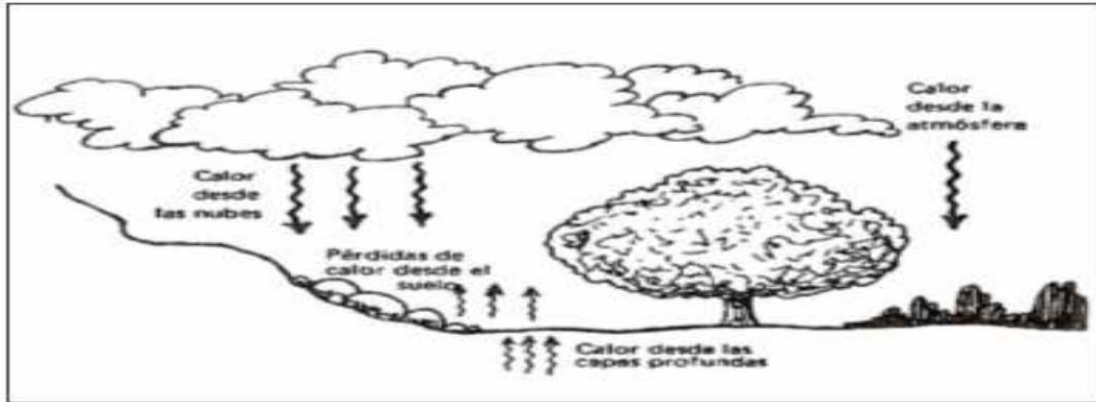


*Figura 2: Helada debido factores topo climáticos, Efecto del drenaje del aire y la influencia de la temperatura en la topografía. Fuente: Villaseca (1992).*

### c. Factores meteorológicos

A manera de resumen se indican:

- Cielo despejado (sin nubes) e intenso brillo solar durante el día.
- Cielo despejado durante la noche. En ausencia de nubes, toda la radiación terrestre se pierde libremente hacia el espacio y el suelo se enfría rápidamente por la falta de vapor de agua que absorba esta radiación y la irradia nuevamente a la superficie terrestre.
- Viento en calma durante la noche o con una velocidad no mayor a 1.5 m/s. si el viento permanece en calma, se reduce la transferencia de calor por convección (movimientos verticales de masa aire ascendente y descendentes) o advección (movimientos de masa de aire horizontales), que de presentarse podrían evitar los descensos bruscos de temperatura.
- Bajo contenido de vapor en la atmosfera (aire seco)
- Baja temperatura vespertina



*Figura 3: Efecto de la nubosidad sobre la pérdida de calor. Fuente: Villaseca (1992).*



*Figura 4: Turbulencia causada por el viento que mezcla aire caliente con el aire frío que está a menor altura. Fuente: Villaseca (1992).*

#### **d. Factores micro climáticos, edáficos y técnicas de cultivo**

Son aquellos relacionados a la cobertura del terreno, por ejemplo, la cobertura con mucha mala hierba funciona como aislante térmico impidiendo la entrada de la energía de la radiación solar. El suelo desnudo funciona como un sumidero de calor durante el día, siendo fuente de calor durante la noche.

Por otro lado, el calor que fluye a través del suelo se hace exclusivamente por conducción molecular y está fuertemente determinada por las condiciones físicas del suelo. Aunque la conductividad térmica de todas las partículas sólidas del suelo, es prácticamente la misma,

la de las masas de suelo, varían con la porosidad, mientras más poroso sea el suelo, menor conductividad térmica y menor conducción por el aire dentro de los poros, pero si los espacios estuvieran cubiertos de agua sea de lluvia o de riego se incrementa la conductividad térmica.

Cuando el suelo está seco la onda de calor no penetra durante el día mayor profundidad y queda retenido en las partes superficiales. En suelo húmedo es mayor la conductividad térmica, la onda alcanza mayores profundidades y durante la noche el calor se pierde más lentamente.

Los suelos compactos conducen mayor calor que los suelos más sueltos y arenosos.

El color también es una característica importante, por general los suelos claros mantienen un mejor equilibrio de la temperatura y están sujetos a menos daños por helada, en cambio los suelos de color oscuros, tienen una fluctuación mayor de temperatura, aunque estas condiciones pueden variar el contenido de humedad.

Asimismo, la resistencia al frío de la planta puede aumentarse procurando que la planta crezca en las mejores condiciones posibles de alimentación y sanidad. Por ejemplo, en peral para paliar los daños producidos por el hielo se utiliza el ácido giberélico, el cual estimula el crecimiento celular, haciendo a los órganos tratados más resistentes y asegurando un crecimiento más rápido. (Felipe, 1968 y Queraltó, 1983; citado por Elías y Castellvi, 2001).



### 2.4.3 Clasificación de las heladas

#### a. Según el origen:

- **Helada de advección:** Se denomina helada de advección al transporte de las propiedades de una masa de aire producido por el campo de las velocidades de la atmosfera (OMM, 1992). Las heladas de advección son originadas por la presencia de grandes masas de aire frio procedentes de regiones polares. Su desplazamiento va creando distintas formas de tiempo atmosférico, dependiente del relieve terrestre. Las heladas de este tipo se producen en las partes bajas de las montañas, tales como encañadas, valles y son las muy dañinas. (Pereyra, 1990). La helada de advección se puede presentar en cualquier hora del día, con independencia del estado del cielo. Suelen afectar amplias zonas y por sus características los métodos de lucha contra este tipo de heladas acostumbran a ser ineficaces debido a la gran intensidad de los vientos y a la naturaleza masiva del enfriamiento. Este tipo de helada se presenta en regiones tropicales y es característico de latitudes medias (Lasso, 1987).



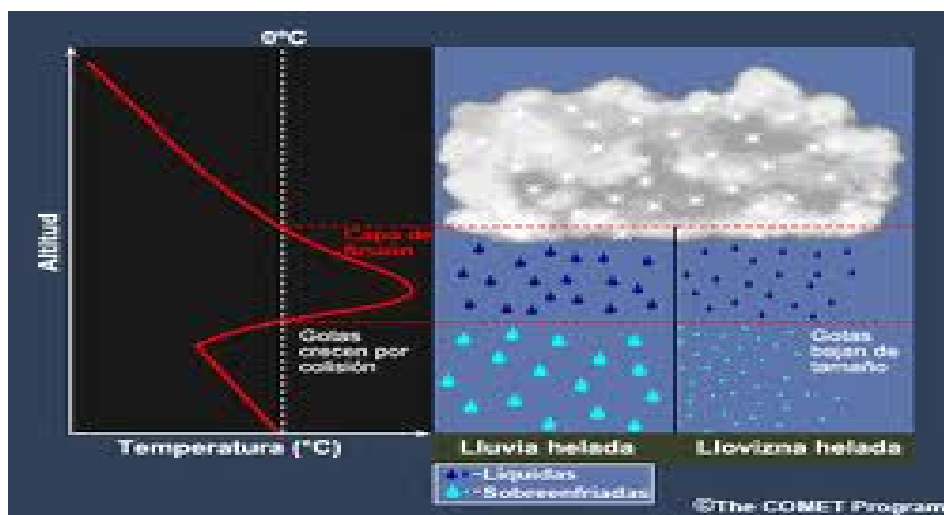
*Figura 5: Helada de Advección en donde se aprecia la transmisión de calor durante el día y la noche. Fuente: Villaseca (1992).*

- **Helada de radiación:** Se presentan en noches claras y despejadas, cuando la radiación terrestre es emitida a la atmosfera por la ausencia de nubes y por la baja concentración de vapor de agua. Se produce también en las noches de calma, en ausencia de viento. (Elías y Castellvi, 2001). La severidad de estas heladas varía considerablemente con las condiciones generales de la atmosfera y depende de las condiciones locales, tales como topografía, vegetación, entre otros. Este tipo de heladas suelen predominar en latitudes medias, a finales de primavera y a principios de otoño y son las que producen mayores pérdidas en los cultivos, si bien pueden producirse en el verano, en zonas tropicales y subtropicales de mayor latitud. (Elías y Castellvi). En esta situación, durante el día, la temperatura en la superficie se mantiene encima del punto de congelamiento. Por eso, durante la noche, la pérdida de energía de la superficie por emisión de la radiación de onda larga (ley de Stefan-Boltzmann) se acentúan, provocando una caída rápida de la temperatura del aire próximo a la superficie, resultando en lo que se denomina inversión térmica, es decir, la temperatura aumenta con la altura, en los primeros metros, en lugar de disminuir.



**Figura 6:** Helada de Radiación en donde se aprecia el proceso de inversión térmica.  
**Fuente:** Villaseca (1992).

- **Helada por evaporación:** Se produce al evaporarse el agua depositada sobre las plantas, con el consiguiente enfriamiento al ser absorbido del aire el calor latente necesario para la evaporación. Si después de una precipitación desciende la humedad relativa del aire, lo que es frecuente después del paso de un frío, el agua que recubre los vegetales se evapora rápidamente. La intensidad de estas heladas depende de la cantidad de agua que se evapora, de la temperatura del aire y de la humedad relativa (Elías y Catellvi, 1991). Este tipo de helada son poco frecuentes y los mayores daños los realiza en cultivos con flores y hortalizas (Pereyra, 1999). Es decir, un gramo de hielo debe absorber 335 Joules (80 cal) para transformarse en agua líquida y ésta, a su vez, 2510 Joules (600 cal) para formar vapor de agua. A la inversa, al condensarse un gramo de vapor de agua se liberan 2510 Joules, y al congelarse un gramo de agua líquida se liberan 335 Joules. Este fenómeno es de gran importancia, pues constituye la base del uso de algunos sistemas de protección contra heladas (Villaseca *et al.*, 1992).



**Figura 7:** Helada por evaporación esquema que muestra el intercambio de energía producto del cambio de estado del agua. Fuente: Pereyra (1999).

## **b. Según la época en ocurren**

De acuerdo con la estación del año en que se presentan, se tienen tres clases de heladas: primaverales, otoñales y de invierno (Pereyra, 1990, Campos, 2005 y Matías, 2007).

- **Heladas primaverales:** Llamadas también heladas tardías. Este tipo de helada son las más dañinas y afectan a las plantas durante su periodo más activos (Pereyra, 1999). Pueden afectar a plántulas o cultivos en sus brotes iniciales, así como también a los cultivos de ciclo anual cuando se encuentran en la etapa de brotación de ramas o con pocos días de crecimiento. Se presentan cuando en el ambiente se genera un descenso de la temperatura.
- **Heladas otoñales:** También llamadas heladas tempranas, son perjudiciales para los cultivos porque pueden interrumpir el proceso de formación de botones de flores y la maduración de frutos (Pereyra, 1990, Campos, 2005 y Matías, 2007). A estas heladas se les atribuye la reducción de la producción agrícola de una región. Se forman por las primeras masas de aire frío de origen polar sobre el continente sudamericano durante los meses de marzo y abril. Para cultivos perennes o arbustos, las heladas de primavera u otoño son muy peligrosas porque sus efectos pueden dañar varias cosechas. (Pereyra, 1999).
- **Heladas invernales:** Se forman durante el invierno si las temperaturas ambiente disminuyen notablemente. Estas heladas afectan principalmente a los árboles perennes con frutos y especies forestales, especialmente cuando se hace más intenso el frío. Ellas cuando las plantas se encuentran en periodo de reposo, lapso en que las plantas disponen mayores posibilidades de soportar temperaturas frías. (Matías, 2007).

### c. Según el aspecto visual

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

- **Helada negra:** Ocurre en condiciones de baja concentración de vapor de agua atmosférica (baja humedad) y una pérdida radiativa intensa, que genera el enfriamiento acentuado de la vegetación hasta alcanzar la temperatura letal. La baja humedad en el aire no permite la condensación ni la formación de hielo en la superficie de la planta. Los cultivos son dañados y al día siguiente las plantas presentan una coloración negruzca, por la congelación de la savia de las plantas o del agua de sus tejidos. Estas heladas causan daños más severos que la blancas. (Pereyra, 2002; Matías, 2007, Pereyra, 1999).
- **Heladas blanca:** Después de ciertas noches calmas y despejadas, el césped y las plantas bajas presentan una cubierta blanca, constituidas por partículas de hielo de apariencia cristalina se le conoce como helada blanca (De Fina, 1945). Se produce cuando un intenso enfriamiento nocturno produce condensación de vapor de agua y su congelamiento sobre las plantas. En ese caso, una concentración de vapor de agua en la atmósfera adyacente a la superficie es más elevada que una helada negra. Cuando se tiene más humedad, primero ocurre una condensación con liberación de calor latente, hecho que ayuda a reducir la caída de la temperatura. Por lo tanto, una helada blanca es menos severa que una helada negra. (Pereyra, 2002).

#### d. Según su severidad

Severidad de las heladas por la temperatura mínima alcanzada:

**Cuadro 1: Clasificación de heladas según severidad**

<b>HELADAS</b>	<b>INTERVALO DE TEMPERATURAS</b>
<b>Muy Severas</b>	> -10°C
<b>Severas</b>	-8°C a -9.9°C
<b>Muy Fuertes</b>	-6°C a -7.9°C
<b>Fuertes</b>	-4°C a -5.9°C
<b>Moderadas</b>	-1.9°C a -3.9°C
<b>Suaves</b>	0°C a -1.9°C

*Fuente: Atlas de las Heladas del Perú, 2010.*

#### 2.4.4 Respuesta fisiológica al daño por helada

La estimación de los daños que puede provocar una helada sobre un cultivo implica evaluar la especie y variedad de cultivo considerada, tipo de órgano expuesto, etapa fenológica, contenido de agua de la planta, intensidad de la helada, duración de la helada y temperatura de la planta y del órgano afectado. Norero (1991) establece que las causas fisiológicas más frecuentes de perjuicio en las plantas se deben a daños por desecación, por enfriamiento y por congelamiento.

- **Daños por enfriamiento:** Martínez *et al.* (2007) señalan que el daño por enfriamiento se produce con temperaturas sobre 0°C, especialmente en plantas tropicales y subtropicales, por perturbaciones provocadas en las actividades metabólicas y fisiológicas de las células.

- **Daños por desecación:** El daño por desecación se debe a la disminución de la permeabilidad de las raíces al agua, debido a las bajas temperaturas del suelo. Esto ocasiona a la planta una marchitez temporal al no contar oportunamente desde las raíces con el agua que debe reponer la pérdida por transpiración que ocurre en las hojas (Norero, 1991).
- **Daños por congelamiento:** El daño por congelamiento se produce en las plantas debido a la formación de hielo en el interior de los tejidos que destruye las células de las plantas. Martínez *et al.* (2007) establecen dos tipos de daños, unos directo y el otro indirecto; el primero se debe a los cristales de hielo que se forman en el protoplasma de las células (congelamiento intracelular), produciéndose la desorganización de la estructura protoplasmática, sobreviniendo la muerte. El segundo ocurre cuando el hielo se forma en el espacio extracelular (congelamiento extracelular), ocasionando la muerte por deformaciones mecánicas del protoplasma, debido a tanta presión directa o bien, principalmente, por la salida del agua de las células (plasmólisis). En este caso se produce la deshidratación celular, lo que conduce al colapso de las membranas y organelos del protoplasma. Después de este colapso, las células no pueden rehidratarse ni reconstituir sus sistema vital, provocando una necrosis irreversible de los tejidos (Norero, 1991).

## **2.5 PRODUCCIÓN AGROPECUARIA**

### **2.5.1 Superficie agropecuaria**

Según el cuarto Censo Nacional Agropecuario, de las trece provincias con las que cuenta el departamento de Puno, son cinco las que concentran el mayor número de unidades agropecuarias. Estas son: la provincia de Puno con el 15,3% de las unidades agropecuarias del departamento, Azangaro con el 15,1%, Huancané con el 11,2%, Chucuito con el 10,4% y el Collao con el 9,5%. Entre las cinco concentran el 61,5% del total de unidades agropecuarias que existen en el departamento.

Del total de la superficie agropecuaria, el 8,87 % son tierras agrícolas (389053,67 ha) de las cuales 3,68% de estas se manejan bajo riego y 96,32% bajo seco, y el 91,13 % son tierras no agrícolas, de las cuales 87,23 % comprenden tierras que tienen pastos naturales, 2,23% tierras con montes y bosques y 10,54 % con toda otra clase de tierras.

La superficie agrícola de Puno está distribuida en tierras de labranza (93.9%), cultivos permanentes (3.2%) y cultivos asociados (2.9%). Dentro de los cultivos permanentes se encuentran los propiamente dichos (53.20%), pastos cultivados (38.44%) y cultivos forestales (8.36%).



**Cuadro N°2: Población ganadera de la región Puno**

	<b>Puno</b>	<b>Perú</b>	<b>% del Perú</b>
<b>TOTAL</b>	8184366	121380966	6,74
<b>Vacunos</b>	582540	4926769	11,82
<b>Ovinos</b>	3850340	14686310	26,22
<b>Caprinos</b>	469	2022756	0,02
<b>Llamas</b>	397700	1154848	34,44
<b>Alpacas</b>	1712110	3036181	56,39
<b>Vicuñas</b>	18107	123449	14,67

*Fuente: Ministerio de Agricultura (2012)*

**Cuadro 3: Superficie agrícola y no agrícola de Puno**

<b>Uso</b>	<b>Puno (ha)</b>	<b>%</b>
<b>Total General</b>	<b>4384905,2</b>	<b>100</b>
<b>1. Total de superficie agrícola</b>	389053,7	8,87
Bajo riego	14313	3,68
Secano	374740,7	96,32
<b>2. Total de superficie no agrícola</b>	3995851,5	91,13
Pastos naturales	3485810,7	87,23
Montes/bosques	89008,7	2,23
Otras tierras	421032,1	10,54

*Fuente: IV Censo Nacional Agropecuario- INEI 2012*

**Cuadro 4: Superficie agrícola de Puno y sus componentes de uso de tierra**

<b>Uso</b>	<b>Puno Total (ha)</b>	<b>%</b>
<b>Total (superficie agrícola)</b>	<b>389053,67</b>	<b>100</b>
<b>Tierras en labranza</b>	<b>365469,92</b>	<b>93,9</b>
Con cultivos transitorios	188983,01	51,71
En barbecho	39722,63	10,87
Tierras agrícolas no trabajadas	25787,79	7,06
En descanso	110976,49	30,36
<b>Tierras con cultivos permanentes</b>	<b>12132,9</b>	<b>3,2</b>
Propiamente dichos	6454,87	53,20
Pastos cultivados	4664,17	38,44
Cultivos forestales	1013,86	8,36
<b>Cultivos asociados</b>	<b>11450,85</b>	<b>2,9</b>

*Fuente: IV Censo Nacional Agropecuario- INEI 2012*

### **2.5.2 Rendimiento y producción de especies**

La actividad agrícola se desarrolla sobre una superficie cultivable de 389053,67 ha. Puno destina 147840,1 ha a los pastos cultivados que se siembran en la región los cuales ocupan el 38,44% del total de la superficie agrícola. Dentro los pastos más sembrados están la alfalfa, la avena forrajera y la cebada forrajera los cuales son destinados mayormente para alimento del ganado (MINAG, 2002).

La producción agrícola en abril 2013 fue de 1628 818 TM, correspondiendo el 45,4% al cultivo de avena forrajera, el 14% a cebada forrajera, el 14% a alfalfa y el 26,5% restante a diecinueve cultivos en menores proporciones (BCRP, 2013).

**Cuadro 05: Producción y rendimiento de especies forrajeras**

<b>CULTIVOS</b>	<b>PROMEDIO DE SUPERFICIE COSECHADA (ha)</b>	<b>PROMEDIO DE PRODUCCIÓN (t)</b>	<b>PROMEDIO DE RENDIMIENTO (kg/ha)</b>
<b>Alfalfa</b>	3832	18440.55	19073.94
<b>Avena forrajera</b>	57912	600439.44	19265.46
<b>Cebada forrajera</b>	18379	260057.49	17608.67

*Fuente: Banco Central de Reserva (2013).*

Para la presente investigación se priorizaron los cultivos de alfalfa, avena y cebada forrajera los cuales fueron seleccionados en función a la superficie agrícola cosechada, la producción, el rendimiento, importancia socioeconómica en la zona y por ser cultivos que mediante un manejo adecuado post cosecha pueden ser convertidos en forrajes, el cual sirve como alimento del ganado en la época de estiaje.

## **2.6 CARACTERIZACIÓN AGRÍCOLA**

### **2.6.1 Fenología de cultivos**

La fenología es el estudio de las fases de la vida de las plantas en relación con el tiempo y clima; es el estudio de la influencia del medio ambiente físico sobre los seres vivos (SENAMHI, 2009). Los factores del ambiente físico están constituidos por: la temperatura, precipitación, fotoperiodo, ubicación geográfica y la altitud que tienen una influencia

directa en la aparición de las diferentes fases o estados vegetativos y los procesos fisiológicos en las plantas (Estrada y Bravo, 2010).

Las fases fenológicas se definen como el periodo durante el cual aparecen, se transforman o desaparecen los órganos de las plantas. También se define como el tiempo de una manifestación biológica. Mientras que una etapa fenológica está delimitada por dos fases fenológicas sucesivas. El estudio de las etapas fenológicas nos permite evaluar la velocidad de crecimiento y desarrollo de las plantas a través de sus diferentes fases (SENAMHI, 2009).

#### **a. Etapas y fases fenológicas para los cultivos priorizados**

Tomando en consideración las fases fenológicas establecidas por los diferentes autores, para cada uno de los cultivos priorizados, se establecieron las etapas y fases fenológicas siguientes: vegetativa, reproductiva y maduración.

La etapa vegetativa abarca las sub-etapas: siembra-emergencia y emergencia-botón floral (en caso de la alfalfa), para los cereales se considera panoja o espiga. La etapa reproductiva abarca desde botón floral hasta la floración, panoja o inicio de crecimiento de vainas (en caso de alfalfa). La etapa de maduración abarca desde la floración o inicio de crecimiento de vainas hasta la madurez final (Manual de Observaciones Meteorológicas – SENAMHI, 2011).

Para la definición de las fases fenológicas de los cultivos se realizaron búsquedas y consultas bibliográficas diversas, las mismas que fueron evaluadas por parte de especialistas del SENAMHI y en campo con especialistas de la Agencia Agraria Apurímac

del Ministerio de Agricultura, el Instituto Superior Tecnológico Público de Andahuaylas y entrevistas a técnicos y líderes agricultores de la Región Puno.

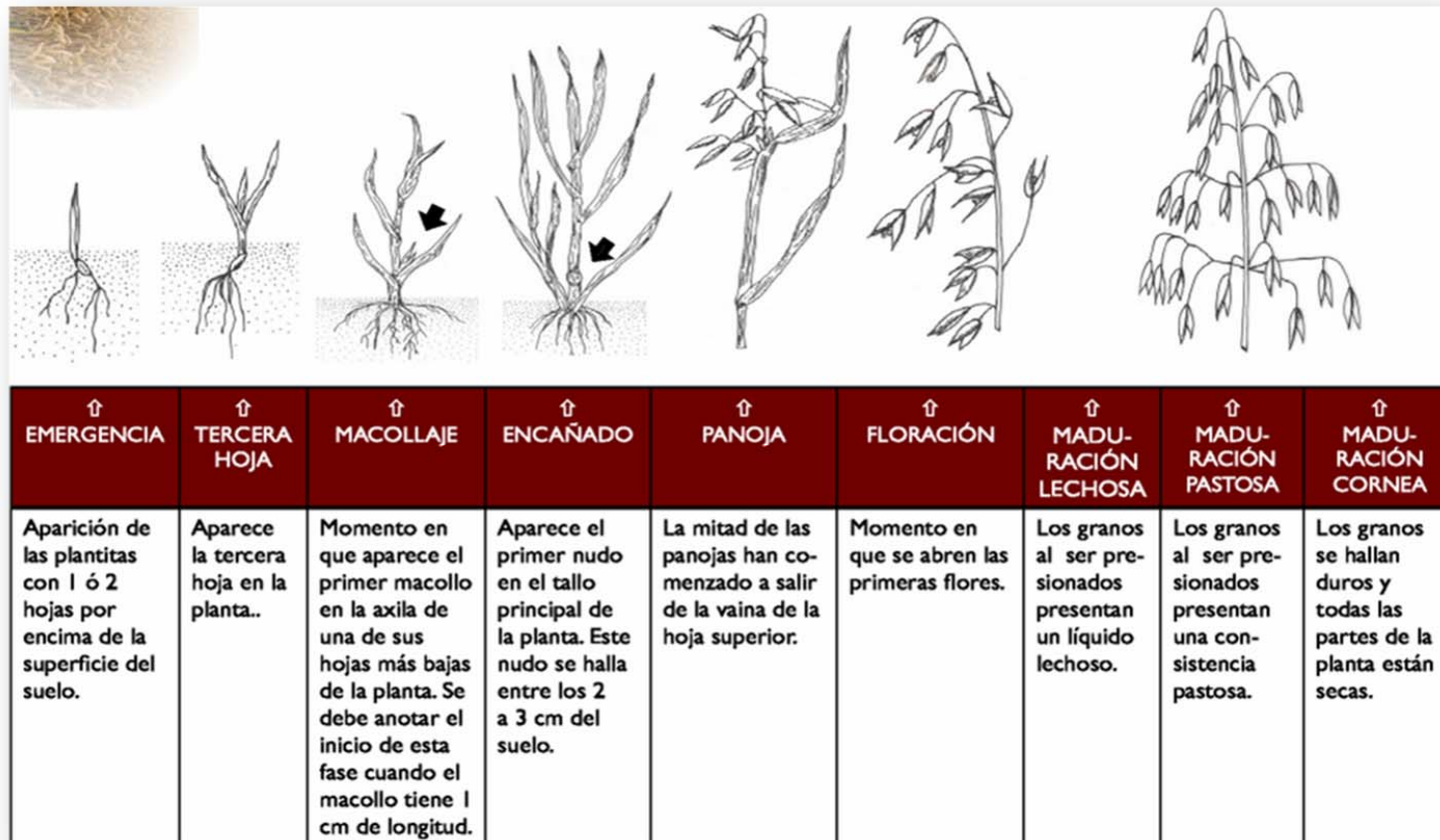
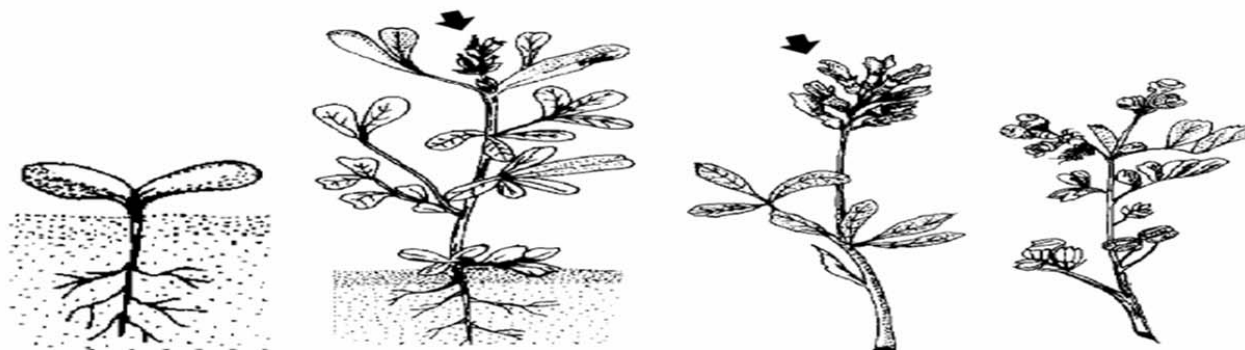


Figura 8: Fases fenológicas para el cultivo de Avena Forrajera (*Avena sativa* L.). Fuente: Manual de Observaciones Meteorológicas – SENAMHI (2011).



↑ EMERGENCIA	↑ BOTÓN FLORAL	↑ FLORACIÓN	↑ MADURACIÓN
<p>Fecha en que aparecen los cotiledones por encima de la superficie del suelo. Esta fase se observa sólo durante el primer año de la plantación, posteriormente debe suplantarse por la observación de la fase de botón floral.</p>	<p>Aparecen los primeros botones florales.</p>	<p>Aparece la primera flor.</p>	<p>En alfalfa para uso forrajero se registra la fecha de corte; si el propósito es la producción de semilla, la madurez fisiológica se manifiesta por el oscurecimiento de las vainas.</p>

Figura 9: Fases fenológicas para el cultivo de Alfalfa (*Medicago sativa* L.). Fuente: Manual de Observaciones Meteorológicas – SENAMHI (2011).

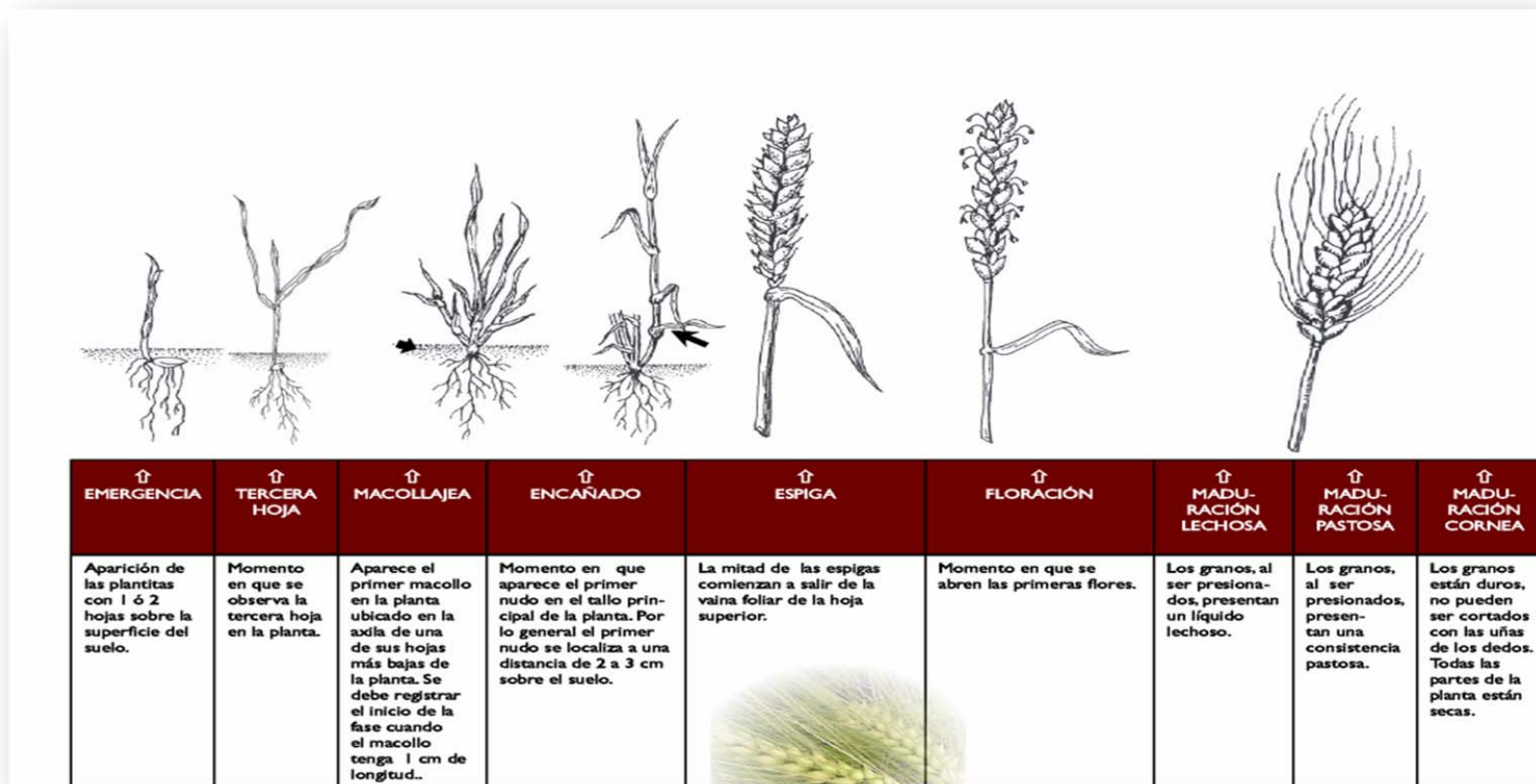


Figura 10: Fases fenológicas para el cultivo de Cebada Forrajera (*Hordeum vulgare L.*). Fuente: Manual de Observaciones Meteorológicas – SENAMHI (2011).



### 2.6.2 Calendario agrícola

El calendario agrícola, también llamado periodo agrícola, es una herramienta de investigación, monitoreo y planificación de las actividades agrícolas. El calendario agrícola, generalmente se inicia con las actividades de siembra y finaliza con las cosechas, lapso en que se ejecutan las diversas labores agrícolas y que están relacionadas a las condiciones meteorológicas de la zona.

Para evaluar el comportamiento histórico de las épocas de siembra y cosecha de los cultivos anotados de las zonas de estudio, se recopiló la información estadística sobre el calendario agrícola a través de la Dirección Regional Agraria (DRA) de Puno del Ministerio de Agricultura.

En el Perú debido a sus particularidades climáticas y topográficas, el calendario agrícola se inicia en el mes de setiembre de cada año y culmina en junio del siguiente año (MINAG, 2010).

S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	S	O	N	D
SIEMBRA						COSECHA				SIEMBRA			

**Figura 11: Calendario Agrícola en zonas altoandinas del Perú. Fuente: Gobierno Regional de Puno (2011).**

En el presente análisis se estableció los periodos de siembra y cosecha de los cultivos priorizados en función a la información obtenida en la zona de estudio. Para la región de Puno el periodo de inicio de siembras va desde el mes de setiembre pudiendo extenderse esta fecha hasta el mes de diciembre, esto es debido a que en durante este intervalo la región presenta las condiciones climáticas menos adversas para el establecimiento de los cultivos. Para los cultivos de forrajes tanto la avena como la cebada forrajera los meses en los que se siembran son los meses de octubre y noviembre, cosechándose en los meses de marzo y abril (Normales decales de temperaturas y precipitación y calendarios de siembras y cosechas - SENAMHI, 2013).

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1 DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO**

El departamento de Puno está constituido por un área occidental, caracterizada por un relieve abrupto, con fuertes pendientes y una cadena de montañas que sobrepasan los 5000 metros de altura. Hacia el Este, existe una cadena de cerros, alguno de los cuales tiene nieve perpetua, con elevaciones que alcanzan los 6000 metros de altura. Entre estas dos áreas, hay una amplia zona cuya altitud varía entre los 3800 y 4000 metros de altura denominada “altiplano” y en ella se encuentran algunos valles que presentan condiciones climáticas muy distintas a las áreas descritas (Mayta, 2002). Sub-tipo climático "A" corresponde al área que bordea prácticamente el Lago Titicaca. Abarca una extensión aproximada de 107,200 Ha. Sub-tipo climático "B", corresponde a una extensión de aproximadamente 137,132 Has o 10% del área total. Sub-tipo climático "C" o Clima del Altiplano corresponde a una extensión de aproximadamente 488,608 Has.

**Cuadro N°6: Ubicación de la zona de estudio**

<b>ZONA</b>	<b>ESTACIÓN</b>
<b>ZONA SUNI</b>	Santa Rosa
<b>ZONA CIRCUNLASTRE AL LAGO</b>	Huancané Huraya Moho Taraco Capachica Juli Desaguadero Puno Yunguyo
<b>ZONA ALTIPLANO</b>	Ayaviri Azángaro Arapa Ilave Lampa Pucara
<b>PUNA</b>	Cojata

*Fuente: Elaboración propia*

## **3.2 MATERIALES**

### **3.2.1 Información Meteorológica**

La caracterización climática se ha realizado utilizando la serie histórica (periodo 1996/2013) de datos diarios de temperaturas mínimas, temperaturas máximas y precipitación de la Red de Estaciones Meteorológicas (18 estaciones) convencionales del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología - SENAMHI, obtenidos de la lectura directa de los termómetros de mínima, termómetro de máxima y pluviómetro instalados dentro del abrigo Meteorológico, según las normas de la Organización Meteorológica Mundial (OMM, 1996).

La relación y distribución espacial de la Estaciones Meteorológicas se presentan en el **Cuadro N° 7** y el **Mapa N° 3** respectivamente. La selección de Estaciones Meteorológicas fue realizada tomando en cuenta la zona donde se concentra la actividad agrícola de los cultivos seleccionados.

### **3.2.2 Información Agrícola**

Para el desarrollo del documento se ha utilizado información estadística de los cultivos de alfalfa (*Medicago sativa* L.), avena forrajera (*Avena sativa* L.) y cebada forrajera (*Hordeum vulgare* L.) en lo que respecta a las variables de superficie cosechada, producción y rendimiento provenientes de la Dirección Regional Agraria (DRA) de Puno, correspondiente a las campañas agrícolas 1996/1997 – 2012/2013. El nivel de detalle de las variables utilizadas en esta investigación fue de índole distrital y anual.

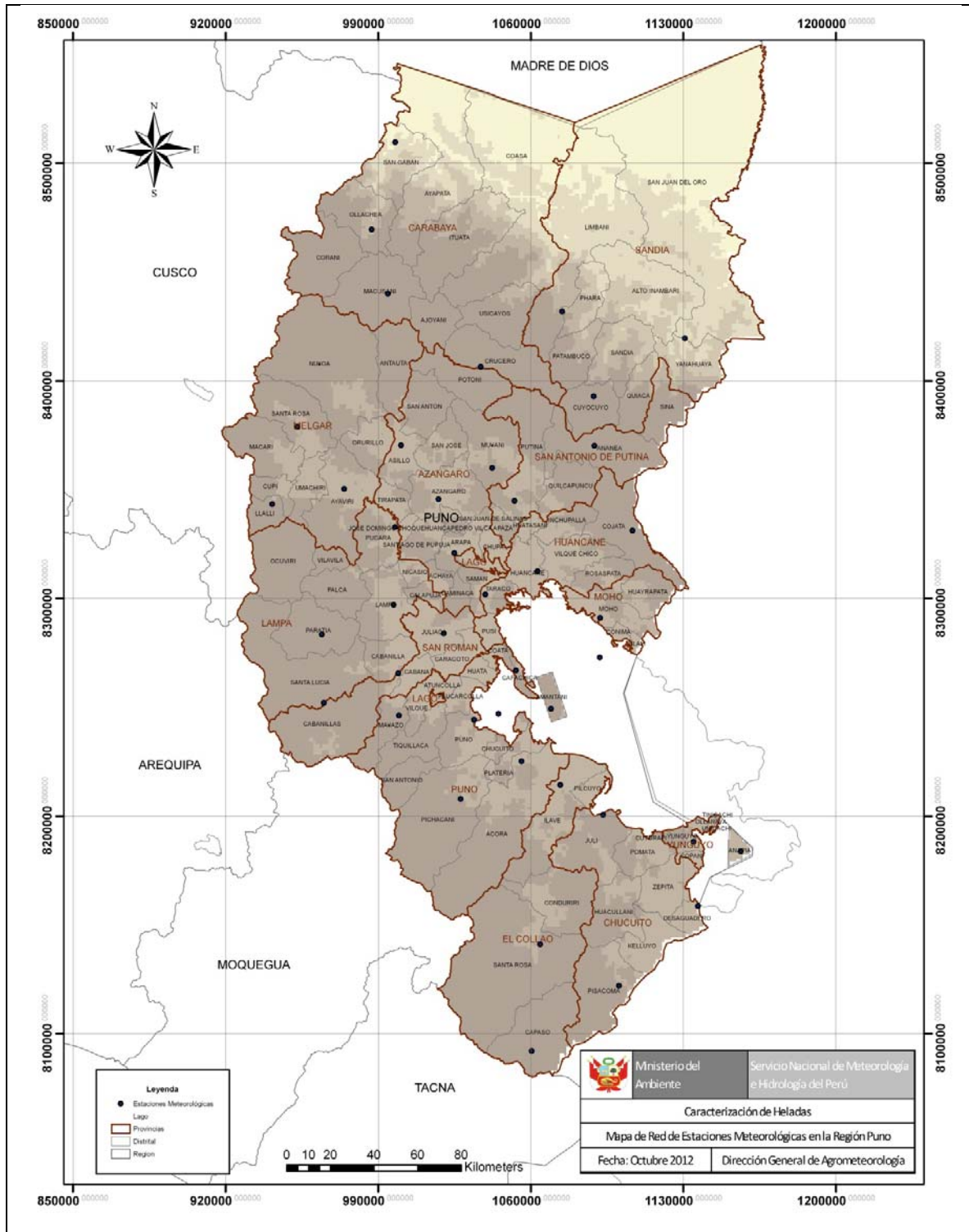
**Cuadro 7: Ubicación política y referenciada de las Estaciones meteorológicas a partir de la cual fueron tomados los datos climáticos.**

<i>Estación</i>	<i>Provincia</i>	<i>Distrito</i>	<i>X18</i>	<i>Y18</i>	<i>Altitud (msnm)</i>	<i>Zona de vida</i>
ARAPA	AZANGARO	ARAPA	1,025,006,213	8,320,830,695	3970	bh - MS
AYAVIRI	MELGAR	AYAVIRI	974,478,877	8,350,130,471	3938	bh - MS
AZANGARO	AZANGARO	AZANGARO	1,017,739,122	8,345,517,772	3953	bh - MS
CABANILLAS	LAMPA	CABANILLAS	999,251,811	8,265,488,183	3993	bh - MS
CAPACHICA	PUNO	CAPACHICA	1,053,301,185	8,266,847,674	4002	bh - MS
COJATA	HUANCANE	COJATA	1,106,692,630	8,331,077,400	4380	Pmh - Sas
DESAGUADERO	CHUCUITO	DESAGUADERO	1,136,760,187	8,158,677,248	3860	bh - MS
HUANCANE	HUANCANE	HUANCANE	1,063,216,081	8,312,420,137	3986	bh - MS
HUARAYA MOHO	MOHO	MOHO	1,091,919,550	8,291,000,220	3961	bh - MS
ILAVE	EL COLLAO	ILAVE	1,073,558,702	8,214,249,725	3986	bh - MS
JULI	CHUCUITO	JULI	1,093,214,038	8,200,548,227	4393	bp - S
JULIACA	SAN ROMAN	JULIACA	1,020,153,499	8,283,933,594	4000	bh - MS
LAMPA	LAMPA	LAMPA	9,970,963,779	8,296,993,077	3949	bh - MS
PUCARA	LAMPA	PUCARA	9,978,545,886	8,332,733,791	3980	bh - MS
PUNO	PUNO	PUNO	1,034,074,652	8,244,256,069	3999	ph-SAT
SANTA ROSA	EL COLLAO	SANTA ROSA	9,530,505,376	8,378,733,119	3999	ph - SaS
TARACO	HUANCANE	TARACO	1,039,243,920	8,301,695,239	3999	Bhm
YUNGUYO	YUNGUYO	YUNGUYO	1,134,717,871	8,188,077,480	3965	Bhm

*Fuente: Elaboración propia.*

\* **bh-MS** = Bosque Húmedo Montano Subtropical; **tp-AT** = Tundra pluvial Alpina Tropical; **pmh-Sas** = Paramo muy húmedo Subalpino Subtropical; **ph-SaS** = paramo húmedo Subalpino Subtropical.

Mapa 3: Red de Estaciones Meteorológicas en estudio



Fuente: SENAMHI (2012)

### 3.2.3 Programas Informáticos

- ARC GIS 9.3 (Environmental Systems Research Institute, Inc.)
- Instat Universidad de Reading
- Consulta Gráfica Estadística
- Minitab versión 16 (libre disponibilidad temporal)

## 3.3 METODOLOGÍA

### 3.3.1 Procesamiento de Información Meteorológica

- a. **Recopilación y procesamiento de la información meteorológica:** Los datos de las diferentes variables utilizadas en el presente trabajo proceden de la lectura directa de los instrumentos meteorológicos de la red de estaciones meteorológicas convencionales a nivel de la región Puno del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología-SENAMHI, instalados de conformidad a las normas técnicas de la OMM. La información generada en la red de estaciones constituye la base de datos, que forman parte del Banco Nacional de Datos del SENAMHI, la misma que se encuentra debidamente sistematizada y automatizada. En la elaboración de los mapas de caracterización de heladas agronómica y meteorológica para la región Puno, se utilizó el software ArcGIS 9.3, que es una herramienta del SIG (Sistema de Información Geográfica) de uso bastante extendido por sus avanzadas capacidades de visualización, consulta y análisis de información geográfica, además de las numerosas herramientas de integración de datos desde diversos tipos de fuentes y herramientas de edición. Para obtener los mapas de frecuencia anual de helada meteorológica, fecha promedio de ocurrencia primera y última helada y el periodo medio libre de helada de formato vector a raster, se usó el método de

interpolación de la distancia inversa (IDW) entre puntos, incluido en el programa ArcGIS 9.3 porque es el método de interpolación que mejor refleja la relación que hay entre la altura y la temperatura ya que presupone que la variable que se representa cartográficamente disminuye su influencia a mayor distancia desde su ubicación de muestra.. El resultado fue la creación de los archivos raster (grid).

b. **Control de calidad de la información meteorológica:** El control de la calidad de la información de las variables temperatura mínima, temperatura máxima y precipitación se ha efectuado mediante el software Consulta Grafica Estadística, elaborado por la Oficina General de Estadística e Informática del SENAMHI, siendo algunas fuentes de error observadas durante el uso del software:

- Datos duplicados
- Cambios de instrumental
- Reubicación de estaciones

Para disminuir los errores de la fuente original de datos se aplicó el criterio de rangos, en la cual la variable en estudio no ha de ser mayor ni menor entre ciertos límites razonables.

De esta manera se eliminaron los errores encontrados en la data.

### **3.3.2 Procesamiento de Información de Heladas**

Para el procesamiento de las fechas de primera, última y periodo libre de heladas fue utilizado el software INSTAT de la Universidad de Reading, Inglaterra, versión 3.36 (2005), el cual dio las fechas de primera, última y periodo libre de heladas en días julianos.



**a. Determinación de la frecuencia de heladas:** La frecuencia de heladas corresponde al número de veces que ha ocurrido la helada, en un periodo determinado (anual y mensual). La frecuencia de heladas anual y por periodo fue calculado para el umbral térmico de 0°C. Para cada estación, la base de datos de temperatura mínima se agrupó a nivel decadal con la finalidad de determinar la frecuencia relativa tomando en cuenta las heladas meteorológicas (0°C). La frecuencia de heladas se obtuvo del promedio del número de heladas producidas en cada mes para toda la serie histórica. La frecuencia de heladas fue calculada para todo el año en la Región, así como también para el periodo agrícola en el que se desarrollaron los cultivos tomados en cuenta en el desarrollo del trabajo y las etapas más críticas del cultivo (Atlas de Heladas del Perú - SENAMHI, 2010).

**b. Determinación de las fechas de primera helada y última helada**

La fecha promedio de ocurrencia de la primera y última helada es la distribución de las fechas promedios a lo largo del periodo en estudio considerado. Para esto se numeran los días del año de 1 a 365, y si son bisiestos del 1 al 366 y se calcula el promedio de la primera y última helada, solamente con los años que registren heladas (Atlas de Heladas del Perú - SENAMHI, 2010). Las fechas promedio de ocurrencia de la primera y última helada fueron calculadas para las temperaturas críticas 0, 4 y 5°C, como umbrales térmicos para las heladas agronómicas relacionados a los cultivos. Toda la información se procesó con ayuda del programa estadístico Instat+ V3.36, tomando en cuenta tanto las heladas meteorológicas (0°C) y agronómicas (4 y 5°C) produciendo las fechas de ocurrencia. Respecto a estos dos últimos valores se consideró como temperatura base 4°C para los cultivos de avena forrajera y cebada forrajera y 5°C para el cultivo de

alfalfa. La ocurrencia de la primera o última helada no coincide año a año y tampoco sucede en la fecha calculada, por eso se calcula la desviación estándar, teniendo como resultado un rango estimado en el cual puede producirse la helada (Atlas de Heladas del Perú - SENAMHI, 2010).

### **c. Determinación del periodo medio libre de helada**

El periodo promedio libre de heladas se considera como tal a aquel que comienza el día posterior a la última helada del año pasado y finaliza con el día anterior a la primera helada del año siguiente (Atlas de Heladas del Perú - SENAMHI, 2010). Esto es:

$$PLH = (365 - UH_t) + PH_{t+1} - 1$$

Dónde:

PHL = Periodo libre de heladas

UH<sub>t</sub> = Fecha de ocurrencia (en día juliano) de la última helada ocurrida en el año t

PH<sub>t+1</sub> = Fecha de ocurrencia de la primera helada en el año t+1

Es necesario mencionar que en la zonas de la selva de la región Puno no se registran heladas meteorológicas ni agronómicas, es decir que el año completo se encuentra libre de heladas, significando que el periodo libre de heladas para este caso es de 365 días. Contrariamente, en las partes más altas de la región donde la temperatura del aire desciende a 0°C o a una temperatura aún más crítica, las heladas se presentan todos los días del año, significando que el periodo libre de heladas es de 0 días.

Sin embargo entre ambos casos extremos existen valores intermedios y habrá lugares que en un lapso de un periodo de tiempo registren o no heladas determinando diferentes periodos libres de heladas.

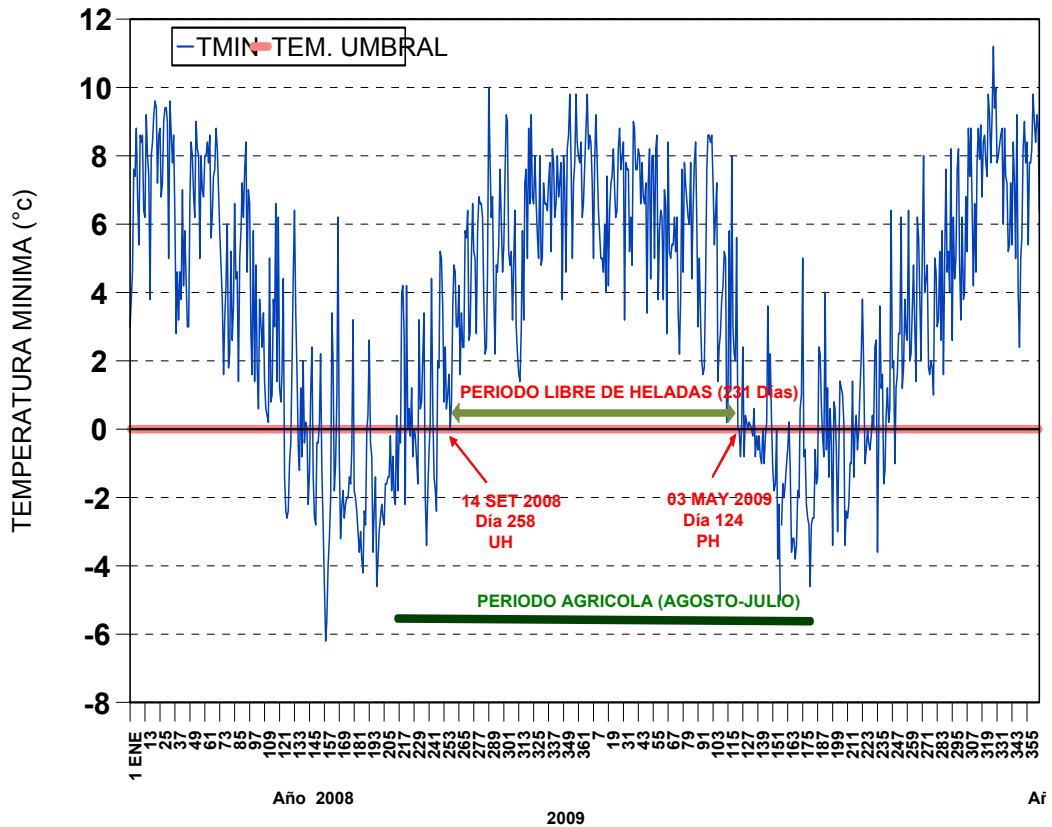


Figura 12: Periodo promedio libre de heladas en la Región Puno. Fuente: Atlas de Heladas del Perú-SENAMHI (2010).

Para evaluar la relación entre el periodo medio libre de heladas con altitud se propone la siguiente relación:

$$Y = \frac{k}{1 + \exp[b*(x-h)]}$$

Donde, el límite superior de  $y$  es  $k=365$ , y el límite inferior de  $y$  es cero:  $0 \leq y \leq 365$ . Esto coincide con el acotamiento que tiene el periodo libre para una temperatura umbral determinada (Atlas de Heladas del Perú - SENAMHI, 2010).

### **3.3.3 Procesamiento de Información Agrícola**

- a. **Fuente de información:** La información estadística sobre la producción, rendimiento y superficie cosechada de los cultivos priorizados para la presente investigación provienen de la Dirección Regional Agraria (DRA) de Puno, y corresponde a las campañas agrícolas de los periodos 1996/1997 a 2012/2013 para los cultivos de la región Puno. El nivel de detalle fue distrital y anual para la variable de producción, rendimiento y superficie cosechada.
- b. **Recopilación y procesamiento de la información agrícola:** La data fue procesada utilizando la estadística descriptiva con la cual se pudo organizar e interpretar la información procedente de las tres variables y mediante el uso de percentiles se pudo dar niveles de clasificación.

### **3.3.4 Procesamiento Estadístico**

- a. **Análisis de Conglomerados (Cluster):** Según Hair (2001), el Análisis de Conglomerados (Cluster) es una técnica de clasificación jerárquica ascendente en la cual se establecen las distancias entre los puntos (observaciones en una nube  $n$ -dimensional, donde se procede a la unión de un mismo conglomerado, de los puntos más cercanos entre sí, es clasificar una muestra de datos en grupos excluyentes basados en la similitudes de cada conjunto de datos (SAS Institute 1999). Esta técnica se utilizó con el fin de realizar un agrupamiento de estaciones meteorológicas según la similitud de las

variables en estudio para caracterizar similitudes tanto en precipitación, altitud y rango de temperatura. De este modo se tendrá grupos homogéneos dentro de cada grupo y heterogéneos entre ellos. Para esta técnica de agrupamiento se utilizará la distancia euclidiana que es la disimilaridad más conocida y más sencilla de comprender, además de ser la más recomendable cuando las variables sean homogéneas y estén medidas en unidades similares o iguales.

La expresión es la siguiente:

$$D(i,j) = (W_i - W_j)' (W_i - W_j)$$

**b. Análisis de Regresión Lineal:** El análisis de regresión consiste en emplear métodos que permitan determinar la mejor relación funcional entre dos o más variables relacionadas. Para determinar qué variable o variables meteorológica explican parte de la varianza del rendimiento agrícola de los cultivos, se han estimado modelos de regresión lineal. Todos los modelos se han estimado comprobando normalidad del error, los valores de los parámetros y su significatividad. Para todas las regresiones se ha calculado sobre los residuos estandarizados al cuadrado, rechazando en todos los casos la hipótesis nula de autocorrelación. La ausencia de homocedasticidad se ha comprobado mediante el test de White, que también se comporta satisfactoriamente en todos los casos.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 ANÁLISIS DE INFORMACIÓN METEOROLÓGICA

#### 4.1.1 Determinación del promedio de las variables climáticas asociadas con la altura

De 18 estaciones meteorológicas del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) pertenecientes a la región de Puno puestas en estudio, se obtuvo información meteorológica de las variables precipitación, rango de temperatura y altitud para el periodo 1997/2013, a partir de ellas se obtuvieron los resultados promedio de dichas variables los cuales se muestran en el Cuadro N°8:

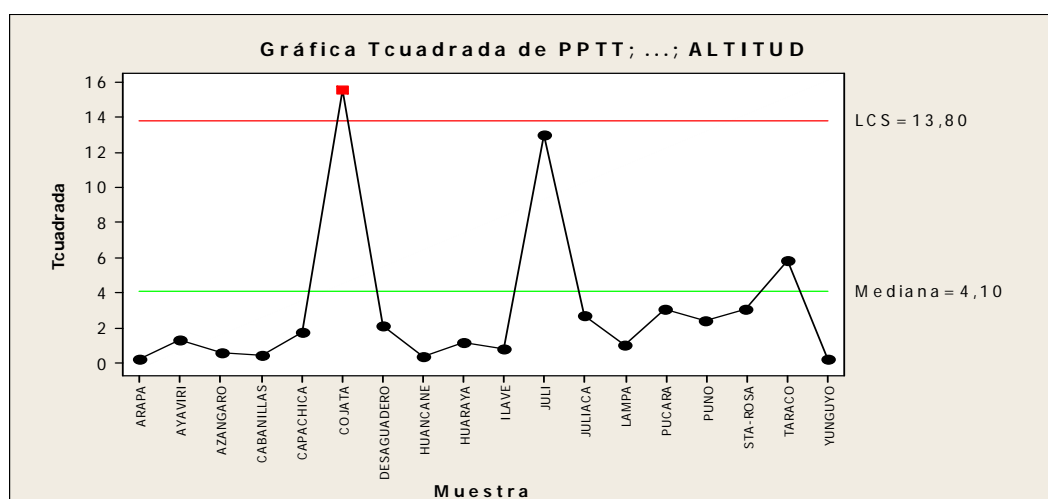
**Cuadro N°8. Promedio para las variables: precipitación, rango de temperatura y altitud**

Estaciones	Precipitación (mm)	Temperatura (°C)	Altitud (msnm)
Arapa	282	12,65	3920
Ayaviri	357	13,09	3920
Azangaro	302	11,82	3863
Cabanillas	375	11,14	3890
Capachica	371	10,73	3820
Cojata	277	9,18	4344
Desaguadero	276	11,33	3860
Huancane	307	11,95	3860
Huraya Moho	401	10,49	3890
Ilave	300	11,76	3850
Juli	747	9,48	3825
Juliaca	302	14,48	3820
Lampa	348	13,26	3825
Pucara	280	14,65	3885
Puno	297	11,09	3840
Santa Rosa	216	14,79	3940
Taraco	155	13,27	3820
Yunguyo	362	11,60	3860

*Fuente: SENAMHI 1997-2013  
Elaboración propia*

A partir de estos resultados se realizó un análisis multivariado usando cartas de control las cuales se muestran en el **Anexo 1** para las variables altitud, precipitación y temperatura, con ello se pudo analizar el comportamiento de las diferentes variables en estudio y poder observar que las estaciones meteorológicas presentan información que se encuentran por debajo o por encima del promedio general.

### Resultados de la prueba de la gráfica $T^2$ de Hotelling:



**Grafica N°1: Resultado de la prueba  $T^2$  de Hotelling para variables precipitación, temperatura y altitud. Fuente: SENAMHI 1997-2013. Elaboración propia.**

A un nivel de significación del 5%, se puede afirmar que por lo menos una de las estaciones meteorológicas es diferente en alguna de las variables en estudio. Del análisis se desprende que las estaciones meteorológicas de Cojata y Juli son distintos del resto de estaciones, pero para poder determinar en qué variable o variables difieren se utilizó las cartas de control individuales las cuales se muestran en **los gráficos 2, 3 y 4**.

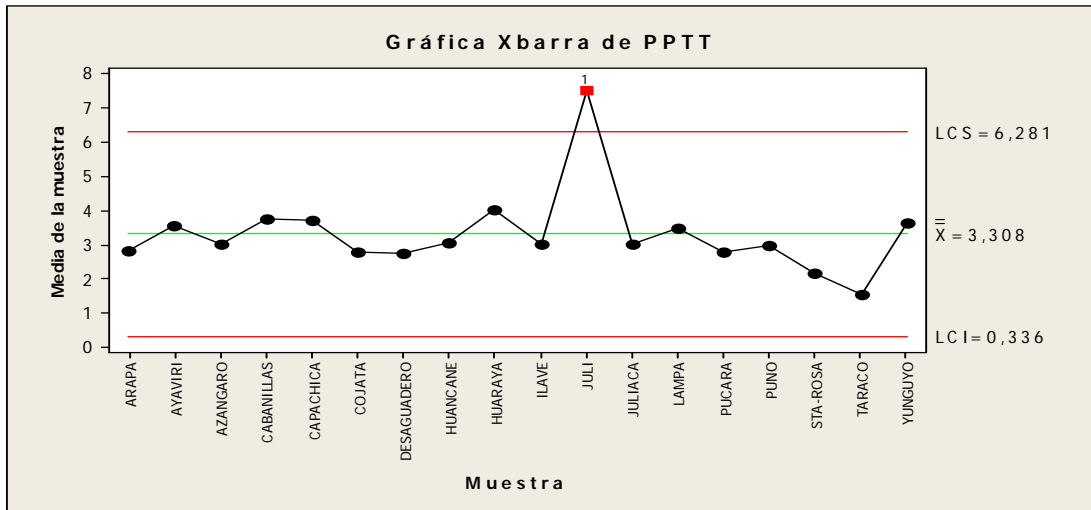


Gráfico 2: Carta de control promedio para la precipitación (mm). Fuente: SENAMHI 1997-2013. Elaboración propia

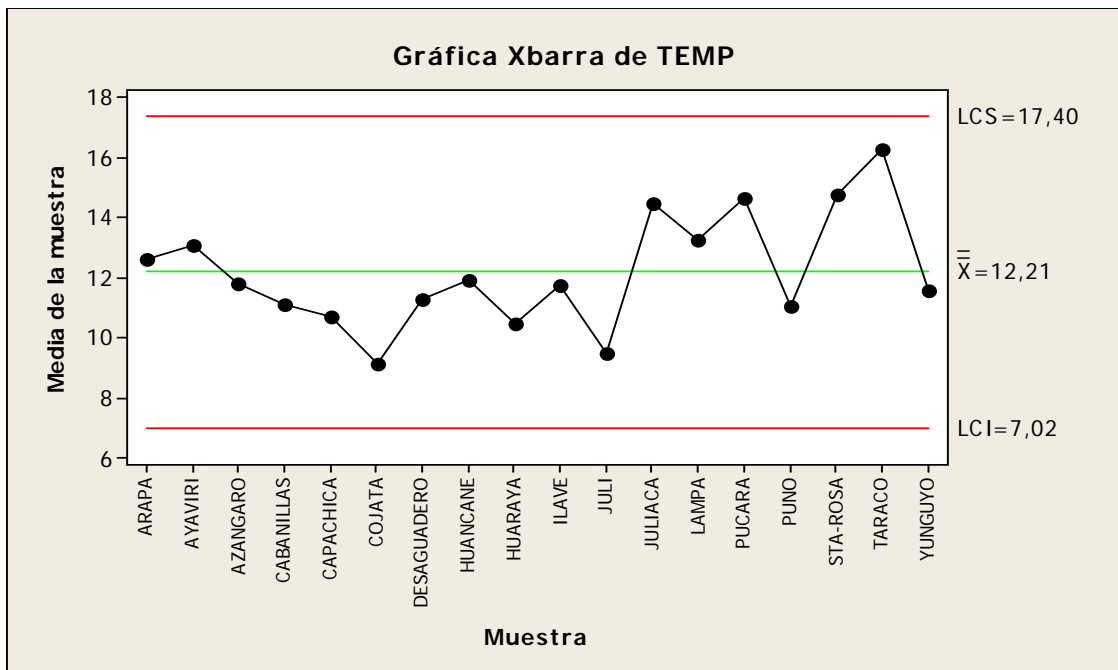
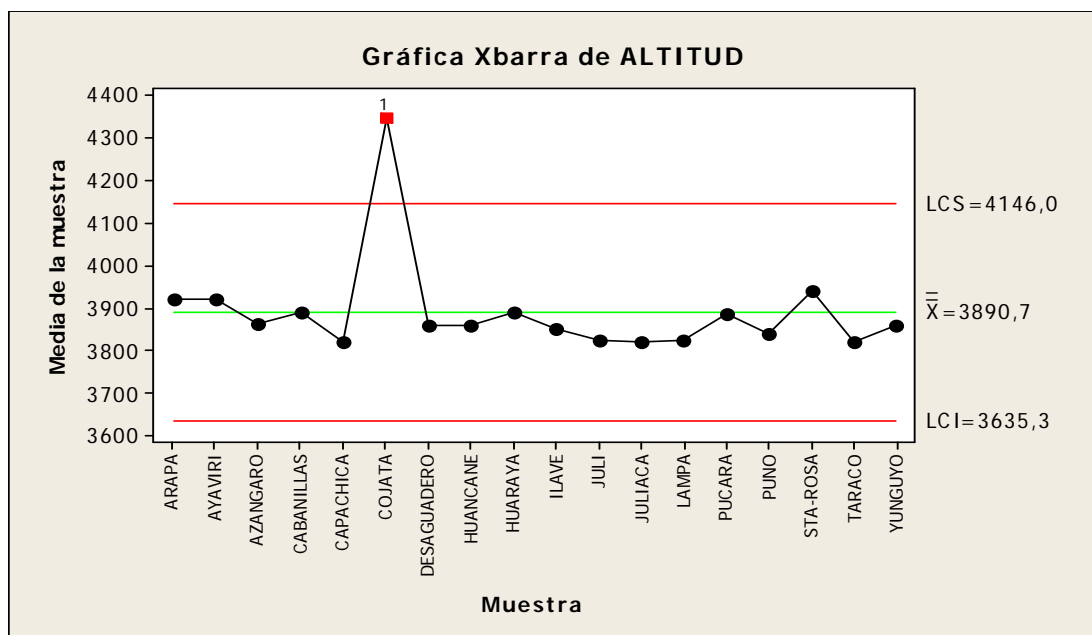


Gráfico 3: Carta de control promedio para la temperatura (°C). Fuente: SENAMHI 1997-2013. Elaboración propia





**Gráfico 4:** Carta de control promedio para la altitud (msnm). Fuente: SENAMHI 1997-2013. Elaboración propia

En **Gráfico 1**, se puede observar como claramente la estación meteorológica de Juli presenta un nivel superior de precipitación en más de 3 desviaciones estándar con respecto a las demás estaciones.

En el **Gráfico 2**, se observa que las distintas temperaturas que presentan las distintas estaciones meteorológicas oscilan por debajo o por encima del promedio, esto debido a la influencia de las masas de aire frío y las características físico-geográficas propias de la región, siendo estos factores decisivos para que se registren temperaturas mínimas notables, principalmente en zonas del interior sur de la región donde se encuentran las partes más altas (Lasso, 1987).

Del mismo modo en el **Gráfico 3**, se aprecia que la estación meteorológica Cojata se encuentra ubicada a una altura superior al promedio de los demás estaciones en estudio.

#### 4.1.2 Agrupamiento de Estaciones Meteorológicas

Mediante la técnica de Análisis de Conglomerados o de Cluster se realizará un agrupamiento de estaciones meteorológicas según la similitud de las variables en estudio las cuales son precipitación, altitud y rango de temperatura de este modo se tendrá grupos homogéneos dentro de cada grupo y heterogéneos entre ellos. Para esta técnica de agrupamiento se utilizará la distancia euclidiana las cuales se muestran en el **Anexo 2**.

**Cuadro N°9: Resumen de procesamiento de casos (a,b)**

Casos					
Válidos		Perdidos		Total	
N	Percent	N	Percent	N	Percent
18	100,0	0	0,0	18	100,0

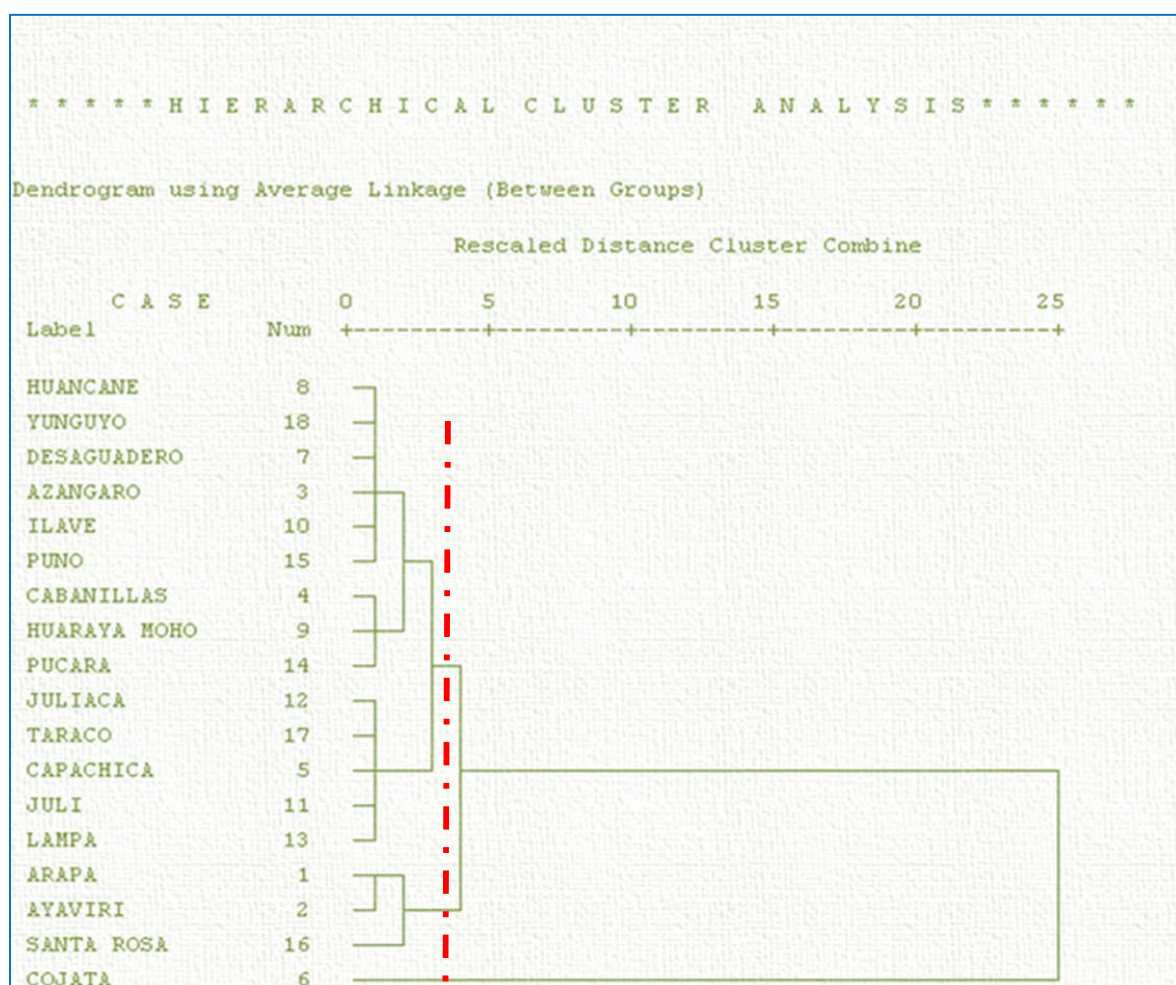
a. Distancia Euclidiana  
b. Relación media (entre grupos)

*Fuente: Elaboración propia*

**Cuadro N°10: Tabla de Aglomeración**

Stage	Cluster Combined		Coefficients	Stage Cluster FirstAppears		NextStage
	Cluster 1	Cluster 2		Cluster 2	Cluster 1	
1	8	18	0,65	0	0	3
2	4	9	0,7	0	0	9
3	7	8	0,8	0	1	6
4	1	2	0,87	0	0	13
5	12	17	2,31	0	0	7
6	3	7	3,04	0	3	12
7	5	12	4,88	0	5	10
8	11	13	5,49	0	0	10
9	4	14	6,39	2	0	14
10	5	11	6,7	7	8	15
11	10	15	10,2	0	0	12
12	3	10	15,7	6	11	14
13	1	16	20,1	4	0	16
14	3	4	32,9	12	9	15
15	3	5	44,6	14	10	16
16	1	3	76,1	13	15	17
17	1	6	480,1	16	0	0

*Fuente: Elaboración propia*



**Figura 13: Dendrograma del Análisis de Cluster para las estaciones meteorológicas de la Región Puno – Distancias Euclidianas. Fuente: Elaboración propia**

Se determinaron tres grupos o clusters de estaciones meteorológicas para la región Puno según el comportamiento de las variables en estudio durante los meses de setiembre hasta abril (meses en los que se desarrolla la actividad agrícola en la región) del período 1996/2013. Para esta técnica de agrupamiento de las estaciones meteorológicas se implementaron los métodos de clasificación: jerárquico y de repartición (K-medias).

Del gráfico anterior (dendograma) se obtuvieron los siguientes clúster o grupos de estaciones meteorológicas:

**Cuadro N°11: Clúster de estaciones meteorológicas**

	N° Cluster	Estación
<b>Región Puno</b>	<b>1</b>	Huancane, Yunguyo, Desaguadero, Azangaro, Ilave, Puno, Cabanillas, Huaraya Moho, Pucara, Juliaca, Taraco, Capachica, Juli, Lampa
	<b>2</b>	Arapa, Ayaviri, Santa Rosa
	<b>3</b>	Cojata

*Fuente: Elaboración propia*

En el **Figura N°11** se puede apreciar que las estaciones meteorológicas pertenecientes al Cluster 1 son las que se encuentran en la zona circunlastre al lago siendo la más influenciada por el efecto termorregulador del mismo y es en ella donde se concentra la actividad agrícola de la región (Pereyra, 2002), debido a que posee un menor rango de temperatura (diferencia entre la temperatura máxima y mínima).

Por otro lado, también se puede apreciar que las estaciones pertenecientes al Cluster 2 presentan una temperatura mínima media menor y con una mayor variabilidad en comparación a las del Cluster 1, esto debido a la influencia de masas de aire frío y las características físico-geográficas propias de la región como son la altura y la distancia al lago ya que a medida que la distancia a este se va incrementando, el efecto termorregulador decrece, es por ello que presentan un mayor rango de temperatura (Villaseca, 1992). También se puede observar que la estación perteneciente al Cluster 3 presenta una temperatura mínima media muy por debajo del promedio y con un

mayor rango de temperatura en comparación a las estaciones meteorológicas pertenecientes al Cluster 1 y 2, debido a la distancia que tiene del lago y la relación existente entre esta variable y la altura.

En general, la temperatura en la región, tiene una distribución espacial asociada a su altitud, mostrando una gradiente negativa que refleja una relación inversa, es decir las temperaturas disminuyen a medida que se va ascendiendo hacia las partes más altas de la región (Cabrera, 2005). Así mismo, analizando las temperaturas de las estaciones meteorológicas que se encuentran en el área de estudio, se ha determinado que la temperatura se incrementa en sentido geográfico desde el sur-occidental hacia el nor-oriental.

#### **4.2 CARACTERIZACIÓN DE LAS HELADAS**

Debido a la importancia de la temperatura en el crecimiento y desarrollo de los cultivos es que se elaboró una caracterización del régimen de heladas, tanto para heladas meteorológicas como agronómicas, la cual se realizó en base al parámetro temperatura mínima considerado como el elemento de mayor incidencia en el crecimiento y desarrollo de los cultivos en la región, el mismo que está asociado principalmente a la altitud y las condiciones fisiográficas (Lasso, 1997). Con el valor de temperatura mínima proveniente de las 18 estaciones meteorológicas, se han calculado relaciones matemáticas que asocian a dicho parámetros con la altitud, permitiendo con ello la elaboración de mapas de heladas.

La caracterización del régimen de heladas en una zona agrícola constituye una herramienta fundamental para la toma de decisiones en la planificación agropecuaria, permite la elección de

las especies y variedades a cultivar, los lugares de implantación, época de baja probabilidad de ocurrencia de este evento, entre otras aplicaciones (Carrasco, 1992).

#### **4.2.1 Comportamiento normal de las heladas en la Región Puno en el período 1996/2013**

En el **Cuadro N° 12** se presentan las fechas medias de primera helada, última helada y periodo medio libre de heladas meteorológica y agronómica con su respectiva desviación estándar, así como también su intensidad media. La determinación del comportamiento normal de las heladas se realizó para las 18 estaciones meteorológicas representativas puestas en estudio y a nivel regional.

**Cuadro N°12: Fechas medias de primera helada, última helada y periodo libre de heladas**

Estaciones	Temperatura	Primeras Heladas			Ultimas Heladas			Periodo Libre de Heladas			
		Fecha Media	Intensidad Media	Desv. Estand.	Fecha Media	Intensidad Media	Desv. Estand.	Fecha Media	Desv. Estand.	Maxima	Minima
ARAPA	0	92	-0.7	1.1	318	-0.4	0.8	139	57.1	224	33
	4	30	3.2	0.8	330	3.5	0.5	65	10.4	44	1
	5	15	4.3	0.6	350	4.3	0.8	30	6.0	29	1
AYAVIRI	0	49	-0.4	0.5	344	-0.8	1.0	69	54.6	181	8
	4	20	2.9	0.9	335	2.7	0.9	50	4.0	14	1
	5	10	3.1	1.0	348	3.4	1.2	27	2.7	13	1
AZANGARO	0	102	-0.7	0.8	310	-1.0	1.5	157	38.4	237	98
	4	30	3.3	0.7	335	2.8	1.1	60	27.5	127	2
	5	10	4.3	0.7	347	3.9	1.2	28	28.3	127	1
CABANILLAS	0	109	-0.9	0.9	289	-0.8	0.8	185	32.6	248	117
	4	20	3.4	0.9	315	3.5	0.6	70	10.2	37	1
	5	15	4.0	1.2	350	3.9	0.9	30	8.1	37	1
CAPACHICA	0	94	-0.6	0.7	309	-0.7	0.9	150	51.6	232	51
	4	28	3.4	0.5	332	3.4	0.5	61	11.8	40	2
	5	15	3.9	0.7	355	3.9	0.7	25	5.1	17	1
COJATA	0	28	-2.0	2.7	358	-1.3	1.4	35	17.9	58	1
	4	17	-0.2	3.6	365	1.1	1.7	17	0.5	2	1
	5	6	-0.2	3.6	360	1.1	1.7	11	0.5	2	1
DESAGUADERO	0	63	-0.6	0.8	331	-1.2	1.3	97	48.7	185	21
	4	28	3.1	1.0	336	2.8	1.2	57	20.4	91	1
	5	10	4.0	1.1	355	3.8	1.5	20	4.5	19	1
HUANCANE	0	91	-1.2	0.6	317	-1.1	0.8	139	41.2	227	38
	4	25	3.5	2.7	340	3.3	0.9	50	4.0	15	1
	5	12	4.0	0.7	348	3.8	1.2	29	2.2	10	1
HURAYA MOHO	0	105	-0.6	0.5	292	-0.5	0.8	178	36.2	235	105
	4	30	3.4	0.8	343	3.4	0.6	52	9.7	45	2
	5	15	4.2	0.7	350	4.3	0.6	30	3.2	13	1
ILAVE	0	102	-1.0	1.0	314	-1.2	1.3	153	44.9	214	64
	4	35	3.4	0.6	331	3.0	1.1	69	31.4	124	1
	5	16	4.2	0.7	349	3.7	1.1	32	26.3	119	1
JULI	0	110	-0.9	0.9	293	-0.9	0.9	181	46.5	236	46
	4	65	3.7	0.4	330	3.6	0.6	100	15.9	71	2
	5	25	4.4	0.5	347	4.1	0.7	43	3.4	12	1
JULIACA	0	85	-0.3	0.2	325	-1.7	2.9	125	72.3	243	42
	4	30	2.7	1.5	315	1.4	4.3	80	98.5	243	1
	5	19	2.7	1.5	343	1.4	4.3	41	98.6	243	1
LAMPA	0	59	-0.9	1.0	346	-1.2	1.1	78	42.0	150	17
	4	24	3.0	1.0	350	2.8	1.0	39	3.6	17	2
	5	10	4.0	0.9	350	3.6	1.2	25	2.9	14	1
PUCARA	0	50	-1.2	1.2	335	-1.4	1.3	79	41.3	153	3
	4	22	2.2	2.0	350	2.4	1.9	37	14.6	61	1
	5	9	3.3	2.3	351	2.7	2.1	23	14.7	61	1
PUNO	0	119	-0.5	0.4	285	-0.6	0.7	200	39.1	246	122
	4	39	3.5	0.7	330	3.6	0.7	74	36.0	155	3
	5	12	4.4	0.6	351	4.4	0.7	26	9.7	41	1
SANTA ROSA	0	79	-1.3	0.7	273	-1.1	0.6	171	63.2	223	15
	4	53	1.8	2.3	289	1.5	2.1	129	76.5	200	3
	5	26	1.9	2.4	335	2.5	2.6	56	81.6	200	1
TARACO	0	64	-3.1	1.6	323	-2.6	1.2	106	51.9	197	17
	4	30	3.1	1.9	336	3.1	1.5	59	15.4	66	1
	5	15	4.3	0.7	350	4.4	0.6	30	15.0	66	1
YUNGUYO	0	59	-0.8	0.7	317	-0.7	0.8	107	60.8	228	24
	4	28	3.2	0.9	330	3.3	0.8	63	17.3	79	1
	5	10	4.0	1.0	345	3.8	1.0	30	11.8	56	1

Fuente: Elaboración propia

#### 4.2.2 Frecuencia de heladas



Los **Mapas N°4 al 6**, muestran la distribución espacial de la frecuencia de heladas meteorológicas anual y por periodo para la región de Puno.

El **Mapa N°4**, muestra la frecuencia anual de heladas meteorológicas donde se puede observar que la mayor frecuencia se presenta en las partes más alejadas al Lago Titicaca y elevadas de la región, debido a que el gradiente de temperatura es muy marcado en zonas con mayor pendiente (Cabrera, 2005), pudiendo llegar en algunas partes a tener los 365 días del año con heladas como sucede con la estación perteneciente al Cluster 3. Mientras más nos acercamos al lago la frecuencia de heladas disminuye oscilando en algunas partes a solo 150 días al año en promedio, como es el caso de las estaciones que conforman el Cluster 2. En las zonas circunlastres al lago donde se ubican las estaciones pertenecientes al Cluster 1, la frecuencia disminuye de manera significativa limitando la presencia de este evento solo a los meses de otoño e invierno, esto debido al efecto termorregulador que ejerce el mismo siendo así la zona de mayor concentración de la producción agrícola en la región.

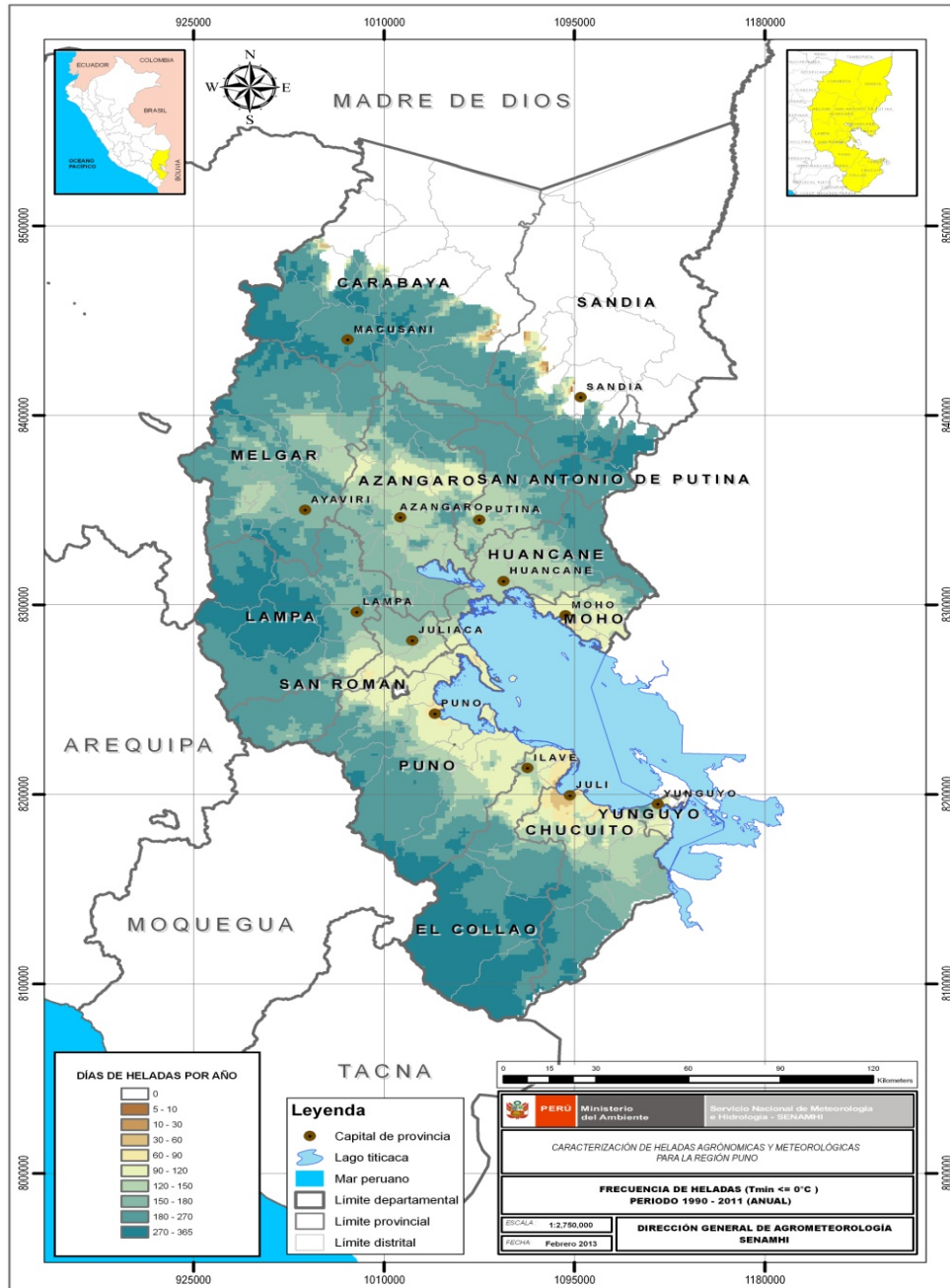
Con fines agrícolas fue necesario elaborar un mapa de frecuencias de heladas meteorológicas que coincida con el periodo agrícola y con la etapa fenológica más crítica del cultivo, para con ello, poder identificar cuáles son las zonas en la región que presentan una menor frecuencia de heladas en dichos periodos haciéndolas así, más aptas para la actividad agrícola.

En el **Mapa N°5 y 6**, se observa la frecuencia de heladas meteorológicas para el periodo setiembre-abril lapso de tiempo en el cual se desarrolla la actividad agrícola en la Región y para el periodo diciembre-febrero el cual abarca la duración de la etapa fenológica más crítica, respectivamente, pudiendo observarse que la frecuencia de heladas aumenta con altura, no siendo así en las zonas circunlastre al Lago debido al efecto termorregulador que ejerce,

causando que la frecuencia de heladas a una misma altura sea considerablemente menor en las zonas cercanas al Lago que en otras partes más alejadas. También se puede observar que el periodo agrícola en la Región coincide con la época de menor frecuencia de heladas para poder reducir el impacto de las mismas obteniendo mejores rendimientos.

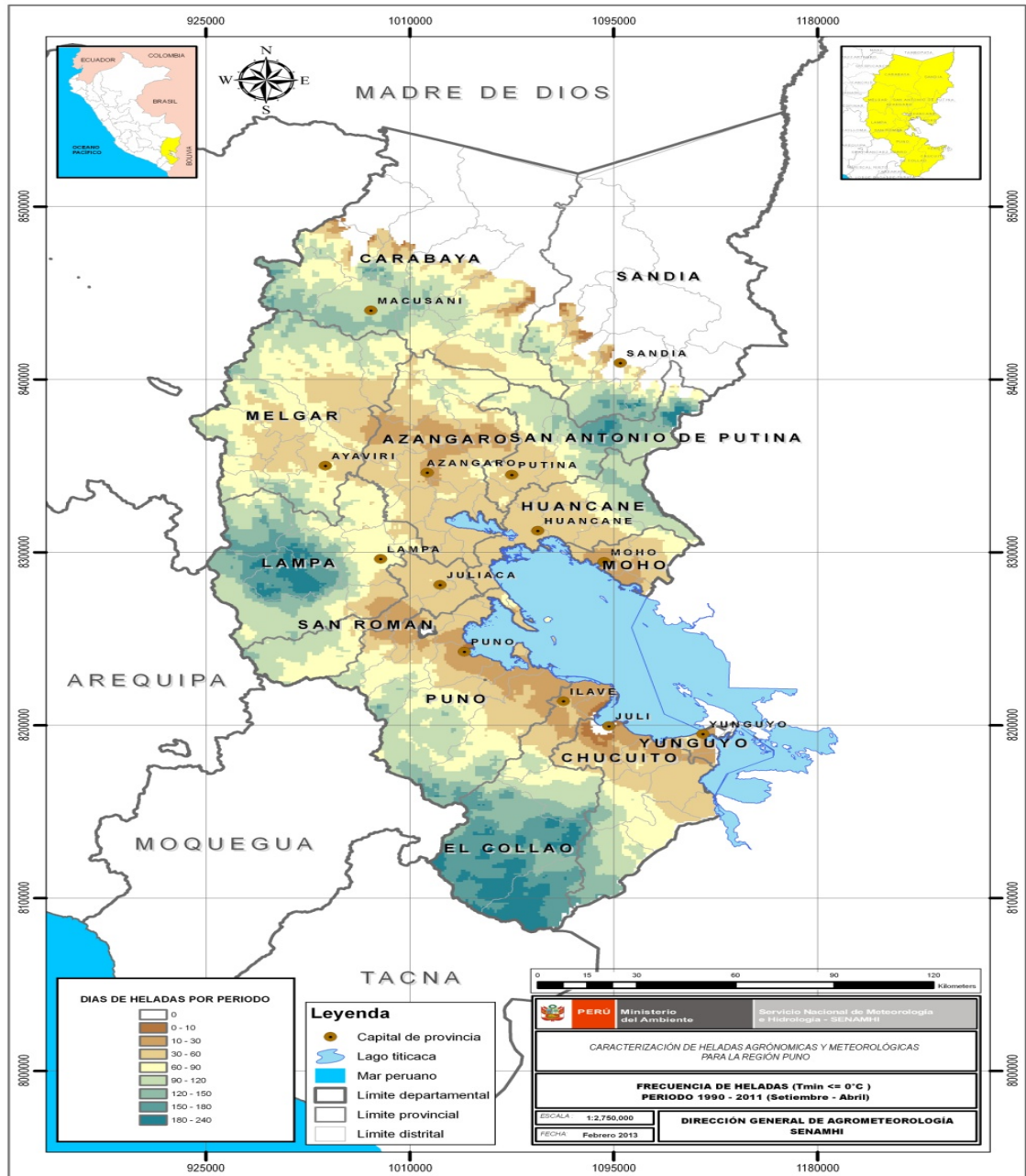
Estacionalmente, las heladas más frecuentes se presentan en los meses de julio a agosto y las menos frecuentes entre los meses de enero y febrero.

**Mapa 4: Frecuencia anual de heladas**



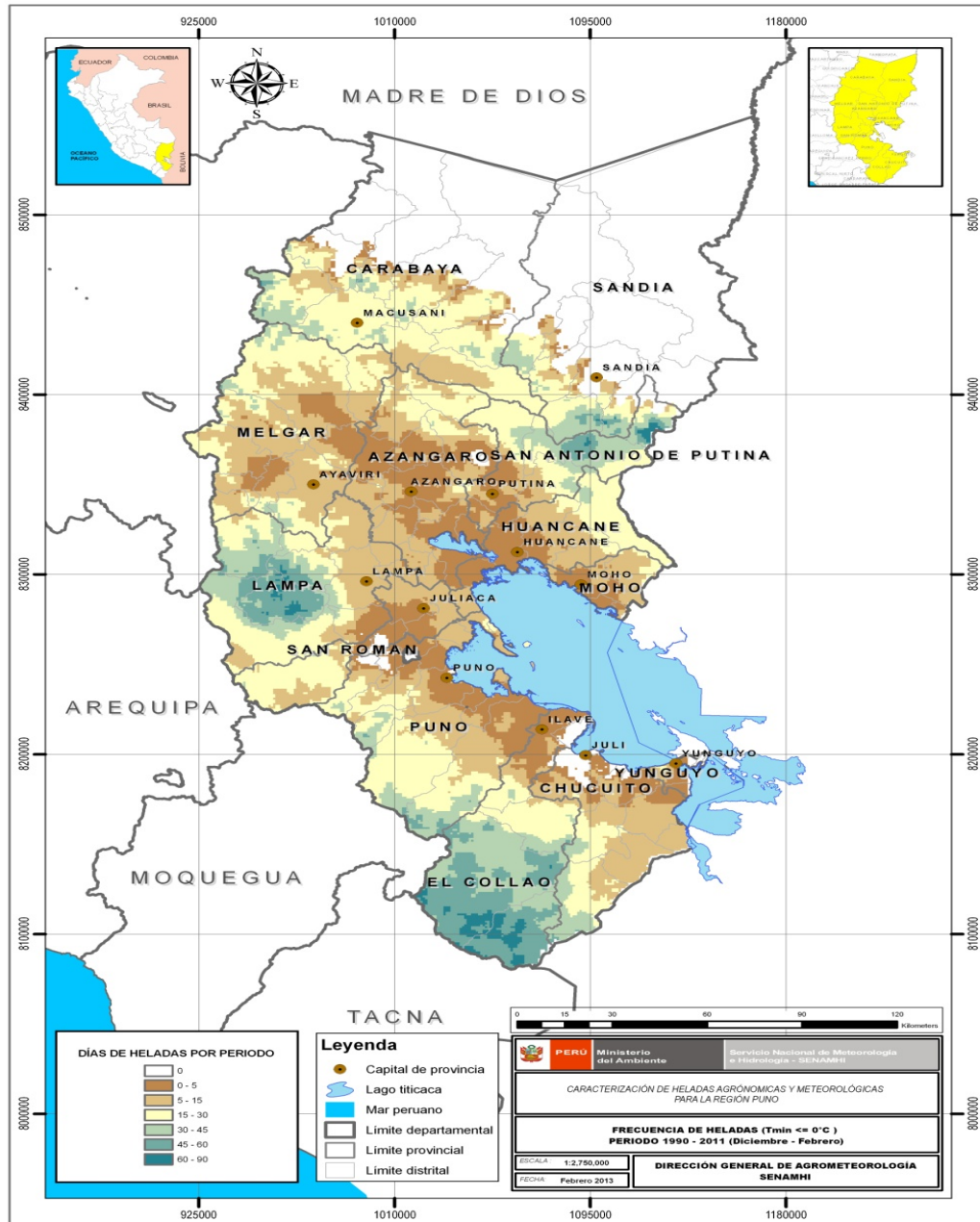
Fuente: SENAMHI 2012

**Mapa 5: Frecuencia de heladas periodo setiembre – abril**



Fuente: SENAMHI (2012)

**Mapa 6: Frecuencia de heladas periodo diciembre – febrero**



Fuente: SENAMHI (2012)

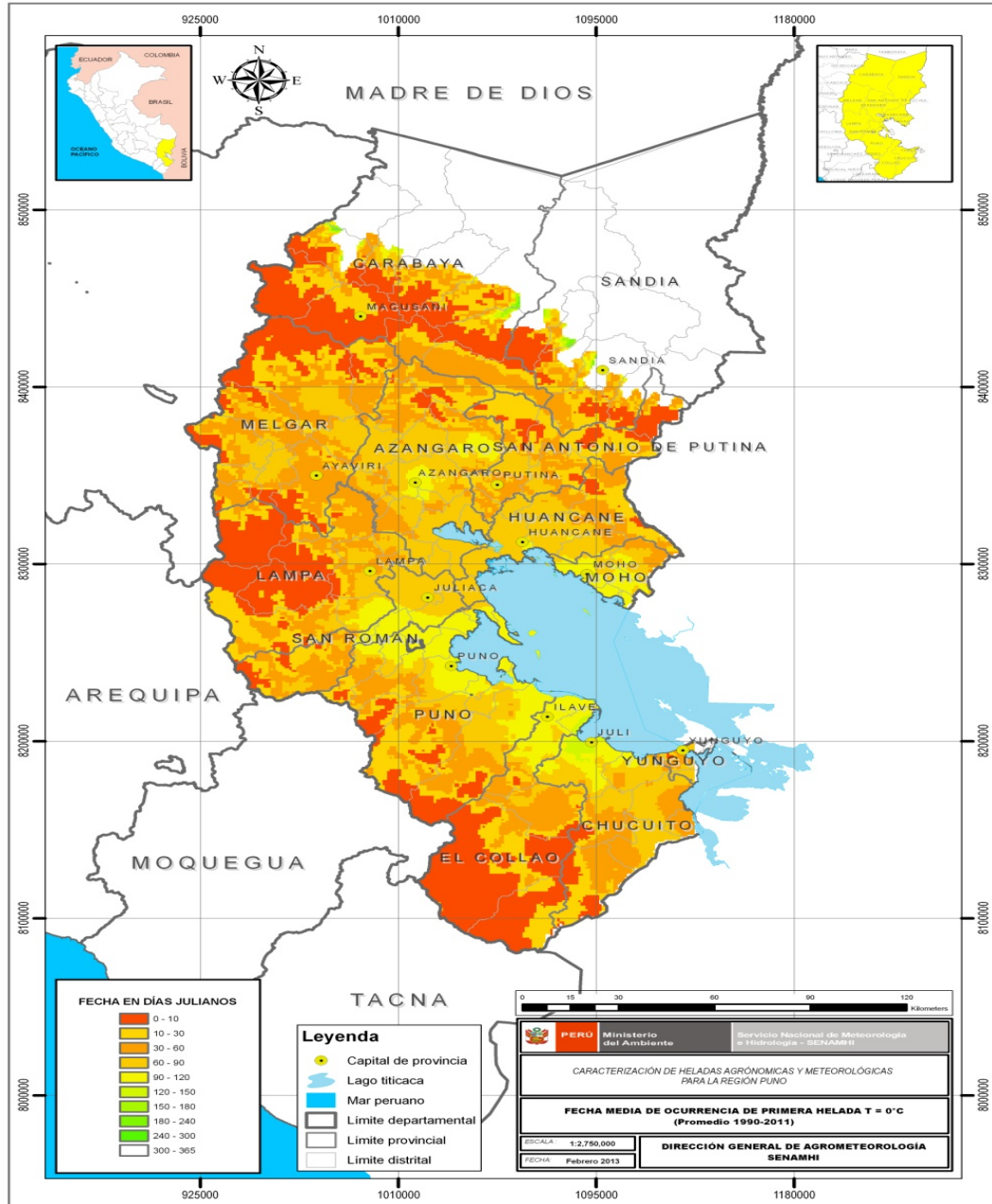
#### **4.2.3 Fecha promedio de primera, última y periodo libre de helada meteorológica**

Las fechas promedio de primera y última helada meteorológica se muestran en los **Mapas N°7 y 8** respectivamente, pudiendo observarse que las primeras heladas meteorológicas generalmente ocurren al inicio del otoño siendo la fecha media de ocurrencia en días julianos el día 105 para las zona circunlastre al lago, las mismas que muestran un retraso más prolongado, disminuyendo conforme más nos alejamos del mismo y hacia las partes más altas de la región, ocurriendo durante los primeros 30 días del año. Las últimas heladas ocurren en la estación de primavera siendo la fecha promedio de ocurrencia en días julianos el día 305 para zonas circunlastre al lago, aumentando mientras más nos alejamos del mismo ocurriendo durante los últimos 5 días del año en las partes más altas de la región.

Las fechas medias de primera helada nos indican las fechas en que una helada puede afectar un cultivo en sus últimas etapas de crecimiento y desarrollo pudiendo así causar grandes daños que originan reducción en los rendimientos (Elías F., Castellvi F. 2001). También se puede apreciar que al SE la fecha de primera helada varía muy rápido a medida que nos alejamos de la orilla del lago, debido a que la pendiente de la superficie aumenta facilitando con ello su ocurrencia debido a ello, el riesgo de daño por helada es mayor limitando la agricultura a solo ciertos cultivos adaptados a esta zonas (Martínez *et al.* (2007). Al NW del Lago la primera helada tarda más en ocurrir y esto se debe a causas ya mencionadas anteriormente. Un cultivo durante su periodo vegetativo también puede ser afectado por las últimas heladas, aquellas que ocurren en sus primeras fases de crecimiento limitando el óptimo desarrollo de las plantas lo que se traduce en pobres o bajos rendimientos

El **Mapa N°9**, muestra el periodo libre de helada meteorológica para la región en donde se puede apreciar, que el mismo puede llegar a tener una duración de 180 días en promedio en las zonas circunlastres al lago. Las estaciones pertenecientes al Cluster 1 son las que registran un mayor periodo libre de helada meteorológica. Por otro lado, en zonas que presentan una mayor elevación y están más alejadas al Lago, como donde se encuentran las estaciones del Cluster 2 se registró un menor el periodo libre de heladas meteorológica, el cual tiene una duración de 145 días en promedio. La estación perteneciente al Cluster 3 registra un periodo menor alrededor de 50 días el cual se va acortando a medida que aumenta el relieve de la superficie llegando a ser en las partes más altas de la región de cero días. El conocimiento del periodo medio libre de heladas es de suma importancia porque es el que nos va a poder permitir planificar la siembra de los cultivos en base a la duración de los mismos, (De Fina, 1945).

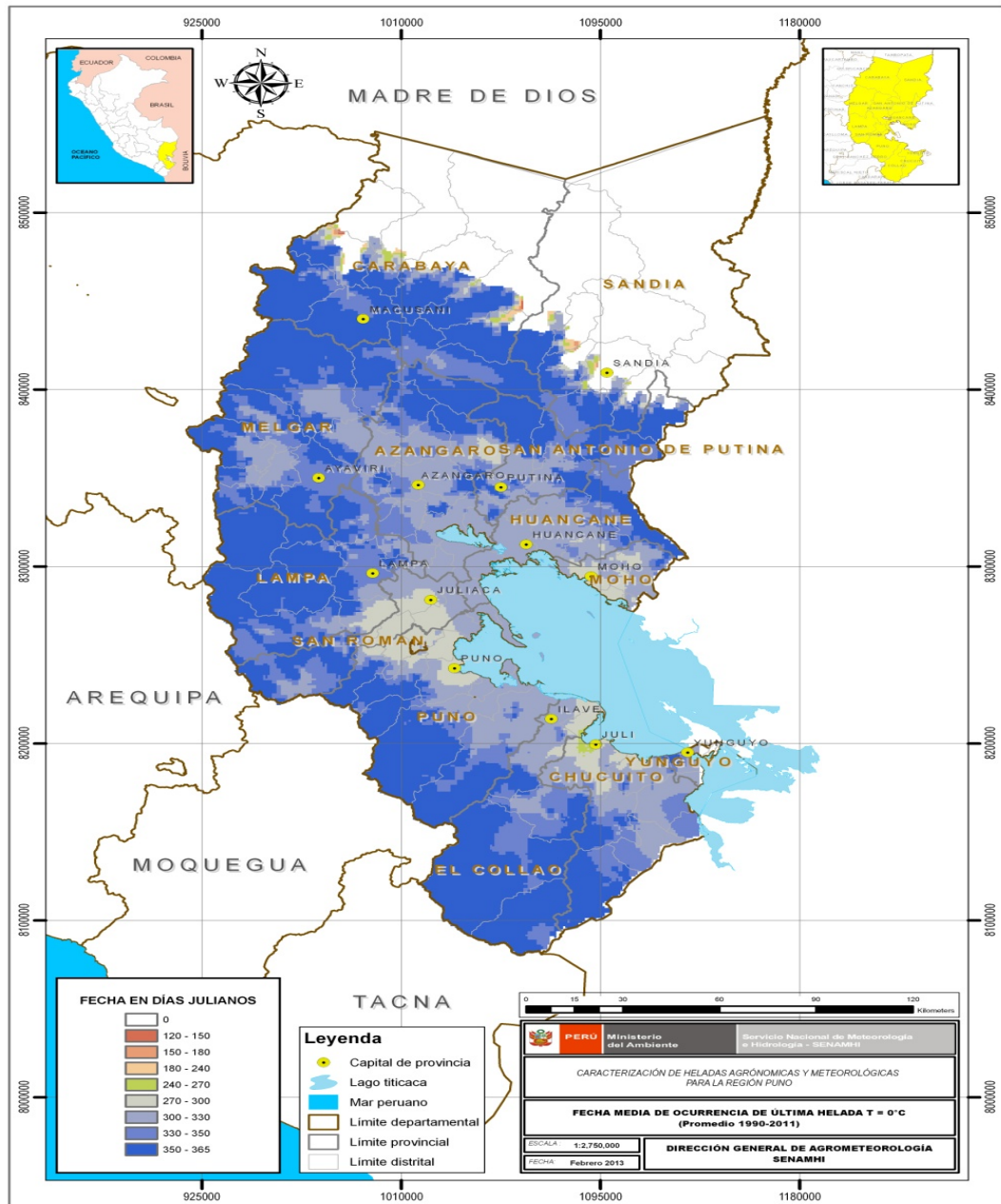
**Mapa 7: Fecha promedio de ocurrencia de primera helada meteorológica**



Fuente: SENAMHI (2012)

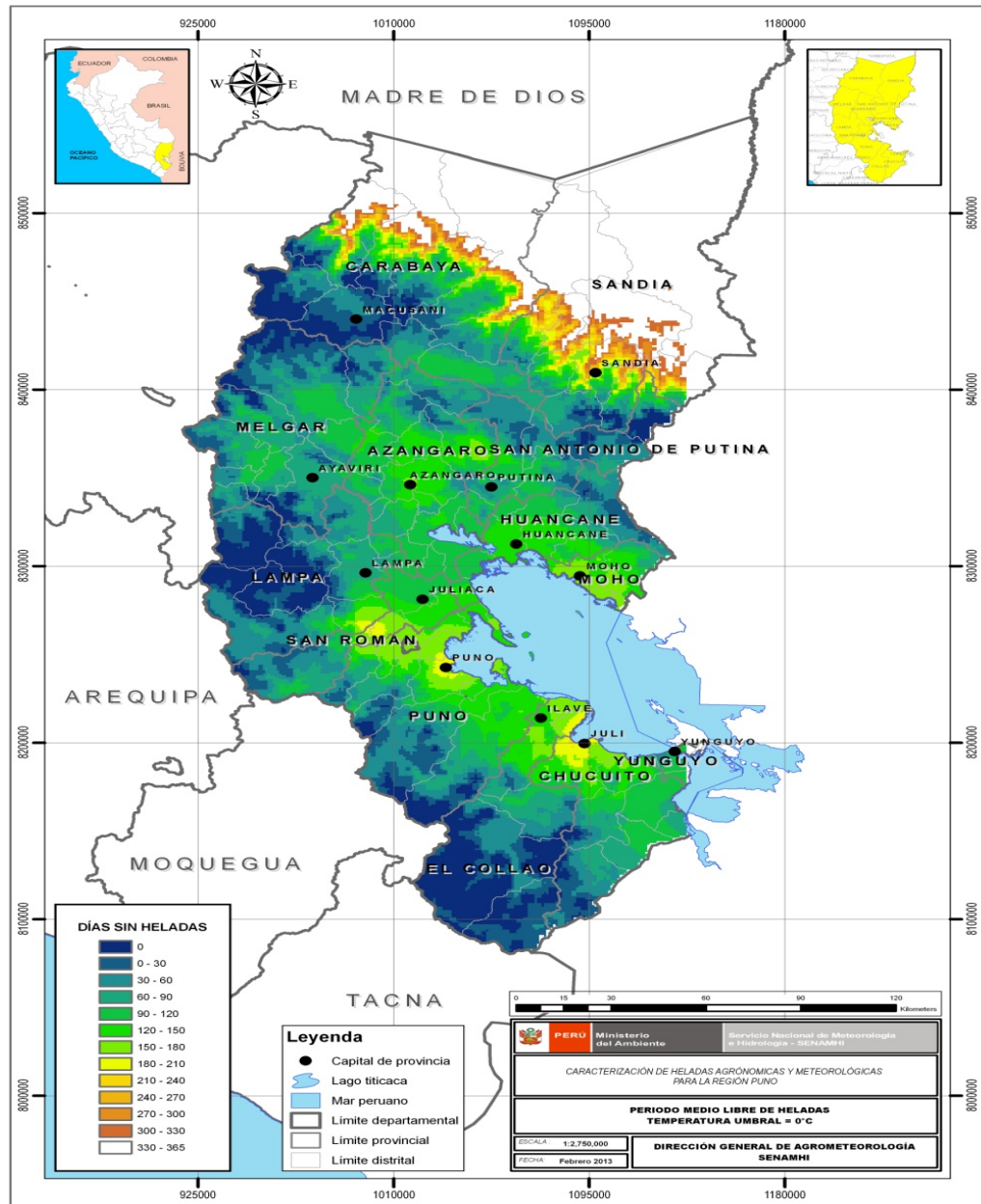


**Mapa 8: Fecha promedio de ocurrencia de última helada meteorológica**



Fuente: SENAMHI (2012)

**Mapa 9: Periodo promedio libre de heladas meteorológicas**



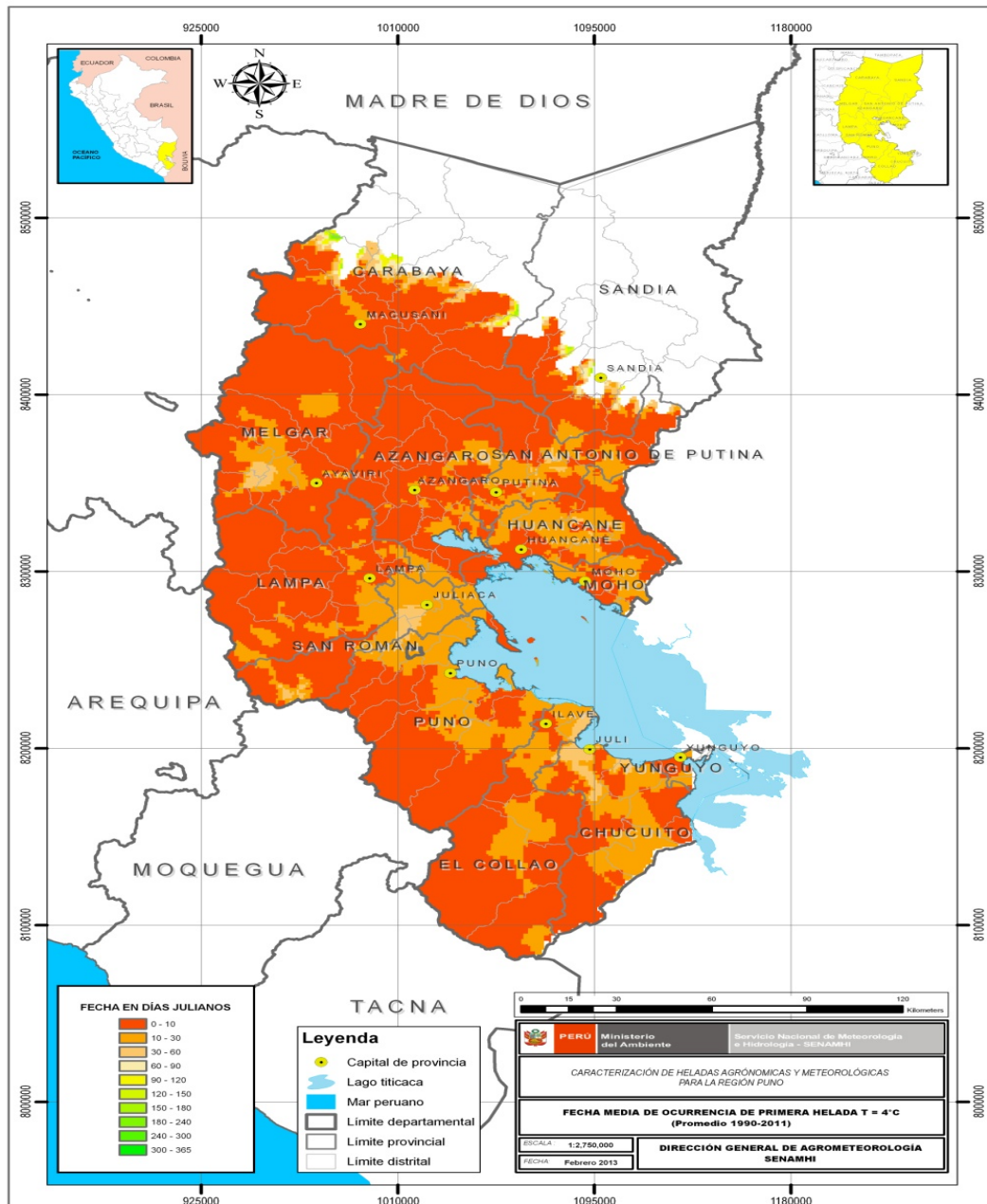
Fuente: SENAMHI (2012)

#### **4.2.4 Fecha promedio de primera, última y periodo libre de helada agronómica ( $T \leq 4^{\circ}\text{C}$ ) para los cultivos de avena (*Avena sativa*) y cebada forrajera (*Hordeum vulgare*)**

Las fechas promedio de primera y última helada agronómica para el cultivo de Avena y Cebada Forrajera se muestran en los **Mapas 10 y 11** respectivamente, pudiendo observarse que las primeras heladas agronómicas generalmente ocurren a mediados del verano siendo la fecha promedio de ocurrencia en días julianos el día 45 para las zonas circunlastrés al lago que son las que muestran el retraso más prolongado de ocurrencia para este evento climático, disminuyendo conforme más nos alejamos del mismo ocurriendo durante los primeros días del año en las partes más altas de la región. Las últimas heladas ocurren a finales de la estación de primavera siendo la fecha promedio de ocurrencia en días julianos el día 315 para zonas circunlastrés al lago, aumentando así la fecha de ocurrencia mientras más nos alejamos del mismo ocurriendo durante los últimos días del año en las partes más altas de la región.

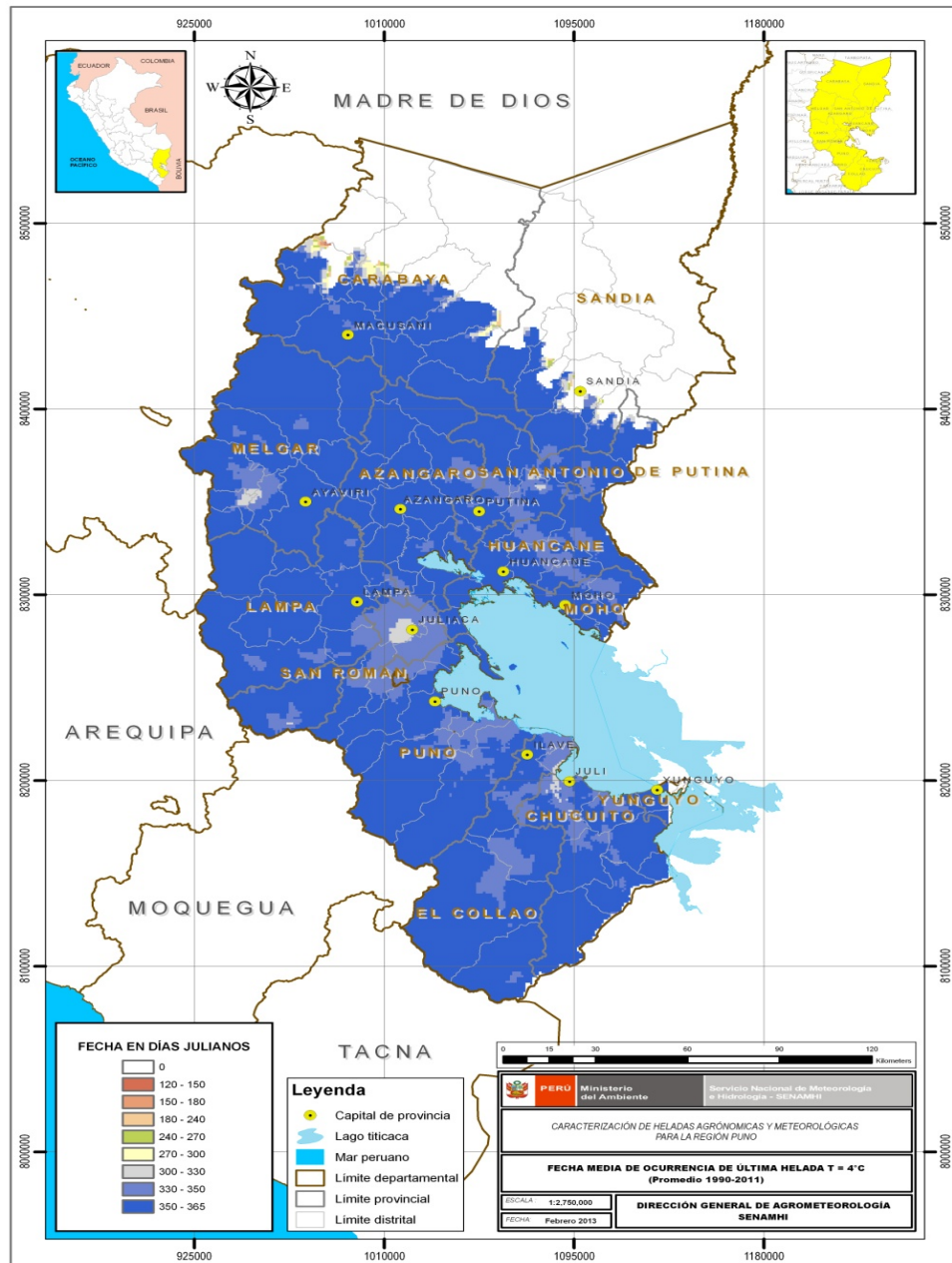
En el **Mapa 12** se puede observar el periodo medio libre de helada agronómica para los cultivos de Avena y Cebada Forrajera, el cual tiene una mayor duración en las zonas cercanas al lago siendo este alrededor de 60 días en promedio. Las estaciones pertenecientes al Cluster 1 son las que registran un mayor periodo libre de helada agronómica, coincidiendo dicho periodo con la etapa fenológica más crítica de ambos cultivos la cual va desde la floración hasta el llenado de grano (Gómez, 2005). Por otro lado, en zonas que presentan una mayor elevación y están más alejadas al Lago Titicaca, como donde se encuentran las estaciones del Cluster 2 se registró un menor periodo libre de heladas, el cual tiene una duración de 35 días en promedio. En las partes más elevadas de la región el periodo libre de helada agronómica puede llegar a ser de pocos días limitando la agricultura a solo ciertos cultivos, caso similar al que se da en la estación del Cluster 3.

**Mapa 10: Fecha promedio de ocurrencia de primera helada agronómica ( $T \leq 4^{\circ}\text{C}$ ) para el cultivo de avena y cebada forrajera**



Fuente: SENAMHI (2012)

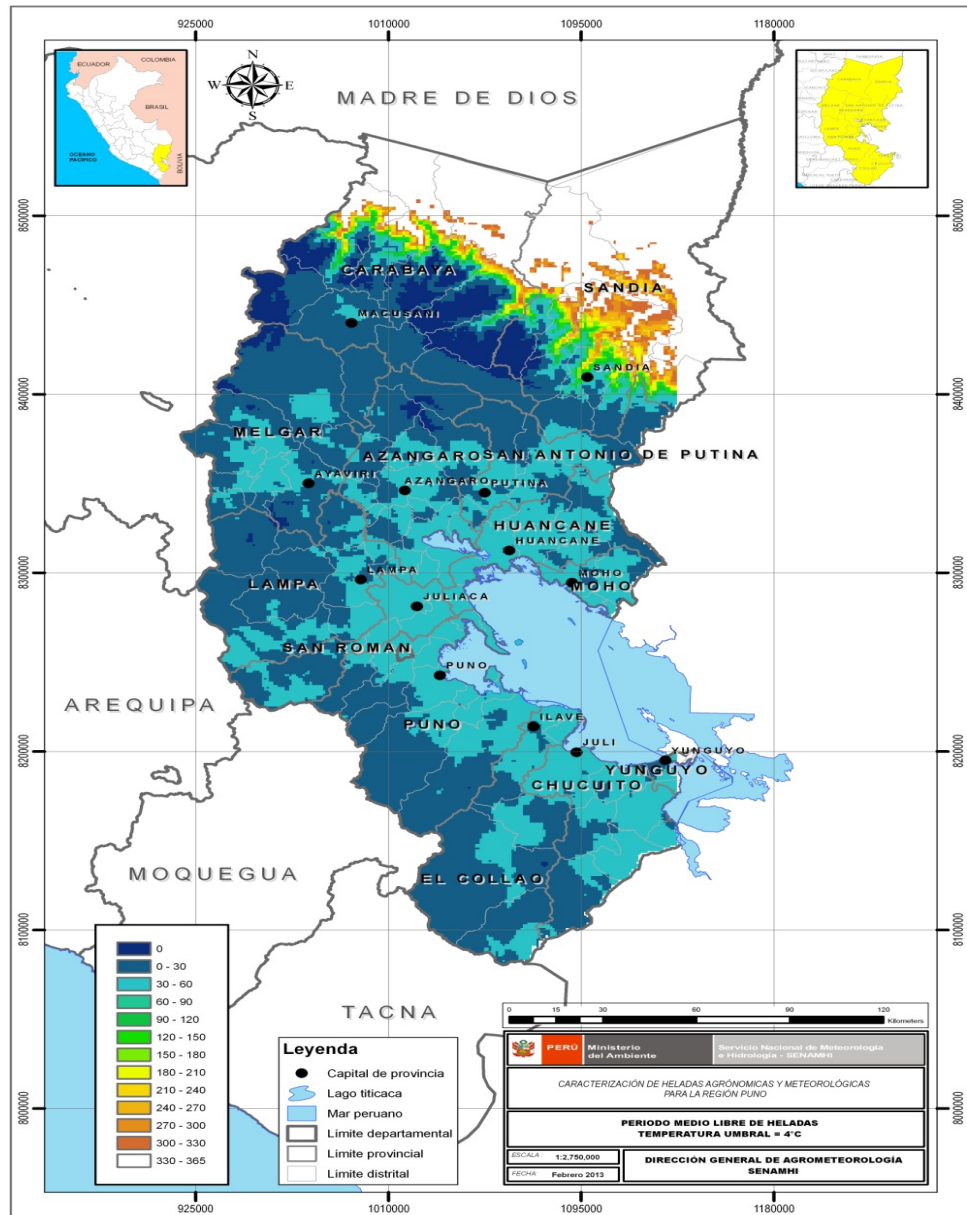
**Mapa 11: Fecha promedio de ocurrencia de última helada agronómica ( $T \leq 4^{\circ}\text{C}$ ) para el cultivo de avena y cebada forrajera**



Fuente: SENAMHI (2012)



**Mapa 12: Periodo promedio libre de heladas agronómica ( $T \leq 4^{\circ}\text{C}$ ) para el cultivo de avena y cebada forrajera**

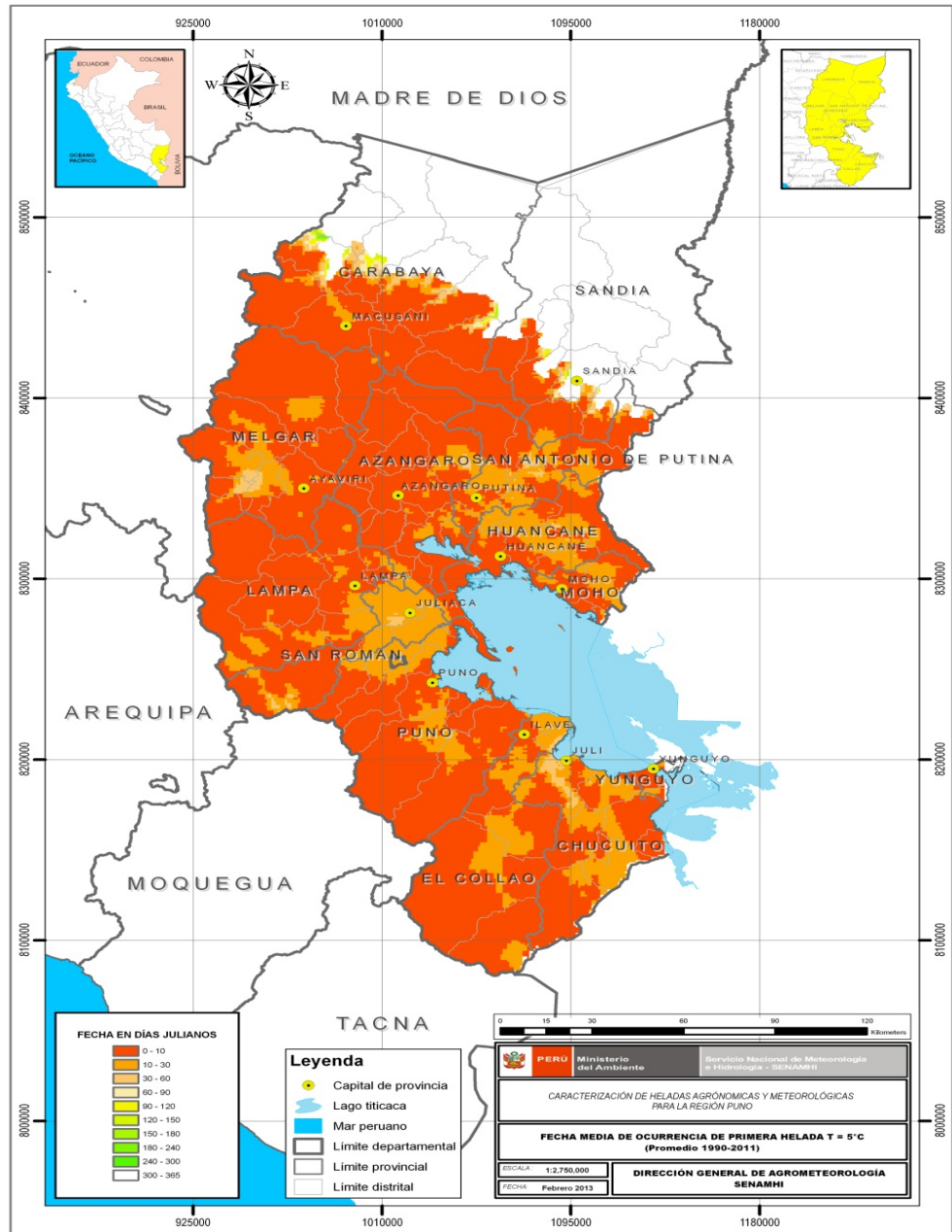


Fuente: SENAMHI (2012)

#### **4.2.5 Fecha promedio de primera, última y periodo libre de helada agronómica ( $T \leq 5^{\circ}\text{C}$ ) para el cultivo alfalfa (*Medicago sativa*)**

Las fechas promedio de primera y última helada agronómica para el cultivo de Alfalfa se muestran en los **Mapas N°13 y 14** respectivamente, pudiendo observarse que las primeras heladas agronómicas generalmente ocurren dentro de los primeros 25 días del mes de enero, siendo la fecha promedio de ocurrencia en días julianos el día 20 para las zonas circunlastres al lago que son las que muestran el retraso más prolongado de ocurrencia para este evento climático, disminuyendo conforme más nos alejamos del mismo ocurriendo durante los primeros días del año en las partes más altas de la región. Las últimas heladas ocurren a finales de la estación de primavera siendo la fecha promedio de ocurrencia en días julianos el día 345 para zonas circunlastres al lago, aumentando así la fecha de ocurrencia mientras más nos alejamos del mismo ocurriendo durante los últimos días del año en las partes más altas de la región. En el **Mapa N°12** se puede observar que el periodo medio libre de helada agronómica para el cultivo de Alfalfa tiene una mayor duración en las zonas cercanas al lago, alrededor de 30 días en promedio, donde también las intensidades de heladas son menores. Las estaciones pertenecientes al Cluster 1 son las que registran un mayor periodo libre de helada agronómica, coincidiendo dicho periodo con la etapa fenológica más crítica del cultivo la cual va desde la floración hasta el crecimiento de las vainas (Camacho, 2004). Por otro lado en zonas que presentan una mayor elevación y están más alejadas al Lago Titicaca, como donde se encuentran las estaciones del Cluster 2 se registró un menor periodo libre de heladas, el cual tiene una duración de 15 días en promedio. En las partes más altas de la región el periodo libre de helada agronómica es de cero días y la producción de Alfalfa es nula como sucede con el distrito perteneciente al Cluster 3.

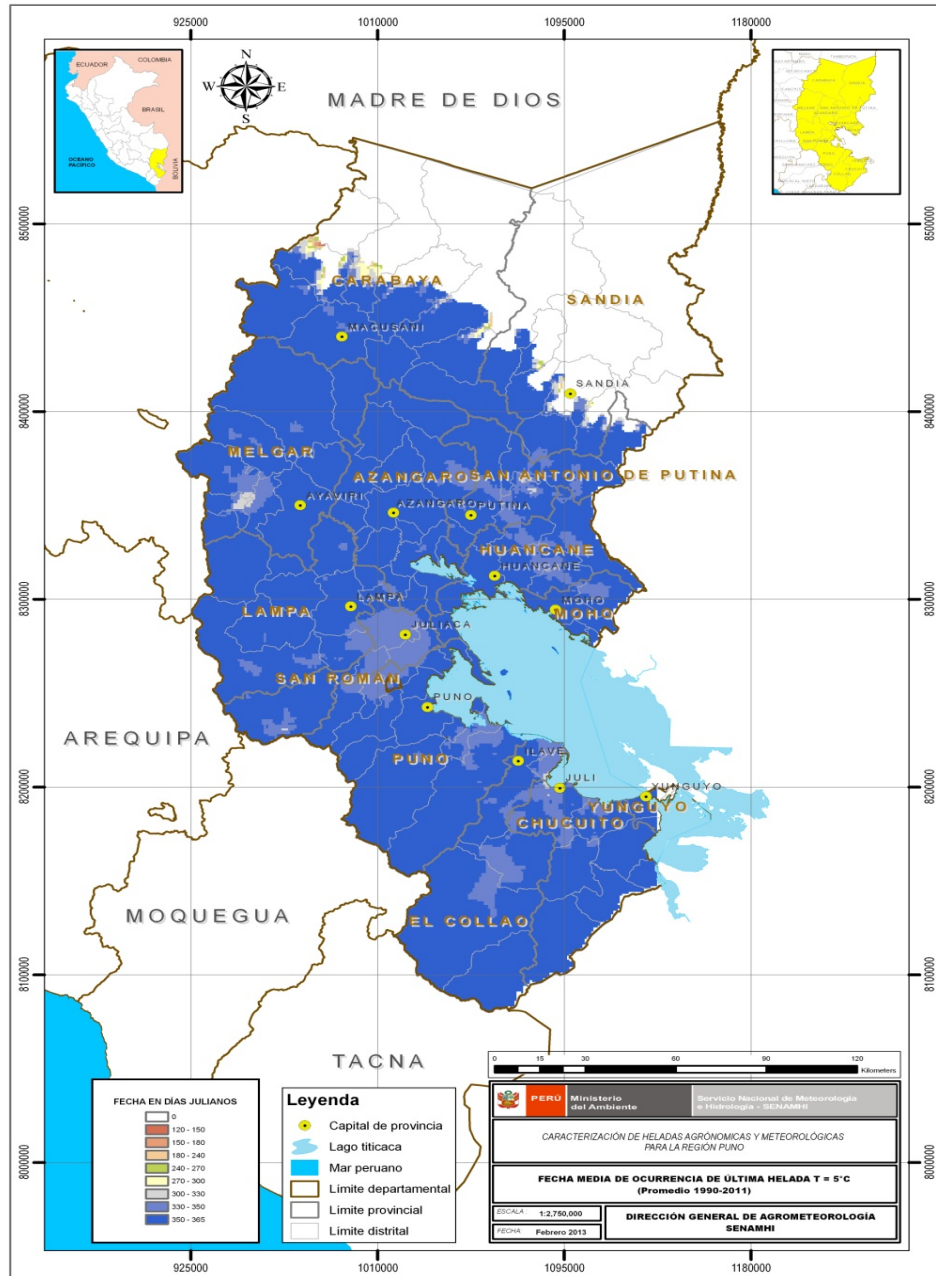
**Mapa 13: Fecha promedio de ocurrencia de primera helada agronómica ( $T \leq 5^{\circ}\text{C}$ ) para el cultivo de alfalfa**



Fuente: SENAMHI (2012)

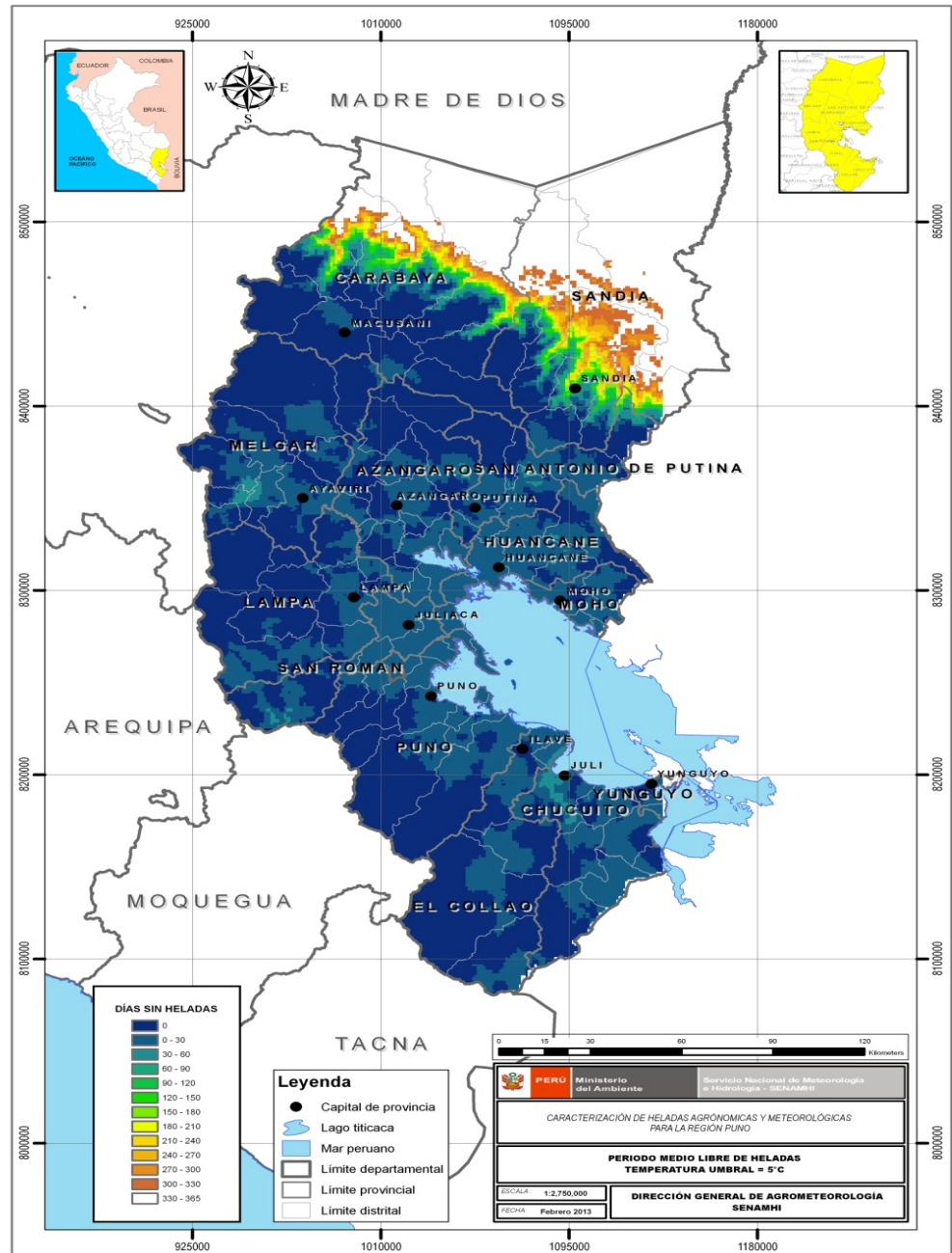


**Mapa 14: Fecha promedio de ocurrencia de última helada agronómica ( $T \leq 5^{\circ}\text{C}$ ) para el cultivo de alfalfa**



Fuente: SENAMHI (2012)

**Mapa 15: Periodo promedio libre de helada agronómica ( $T \leq 5^{\circ}\text{C}$ ) para el cultivo de alfalfa**



Fuente: SENAMHI (2012)

### **4.3 IMPACTO DE LAS VARIABLES CLIMÁTICAS EN LOS CULTIVOS**

El rendimiento agrícola experimenta importantes cambios de una campaña a otra. El clima influye en dichos cambios de forma distinta en la región según el cultivo, las condiciones geográficas y la intensidad de las anomalías climáticas presentadas. Para determinar el impacto de las variables climáticas puestas en estudio en el rendimiento de los cultivos se usaron modelos de regresión lineal general. Con este modelo de lineal general se pretende determinar que variable climática explica mejor la varianza de los rendimientos agrícolas a través del análisis estadístico.

Previo al análisis de regresión general se realizó la verificación de supuestos para normalidad de los errores, homocedasticidad, linealidad e independencia de los errores como se puede apreciar en el **Anexo 4**, por lo que es posible realizar el análisis de regresión general o un modelo lineal general entre la variable rendimiento versus las variables temperatura, precipitación y cluster asociado.

#### **4.3.1 Relación entre rendimiento de avena forrajera (*Avena sativa*) y variables precipitación; temperatura; cluster asociado:**

A continuación se procederá a realizar inferencias y estimaciones mediante un modelo lineal general, para ello se usará la información agrícola del cultivo avena forrajera (*Avena sativa*) para con ello poder determinar qué variables climáticas explican parte de la varianza del rendimiento agrícola.

**Cuadro N°13: Rendimientos de avena forrajera según cluster asociado**

Cluster	Media	Error			
		Media	Des. Estándar	Mínimo	Máximo
Cluster 1	21,64	0,56	1,96	18,15	24,99
Cluster 2	19,00	0,29	1,01	15,27	19,00
Cluster 3	17,09	0,81	2,82	16,07	24,99

Fuente: Dirección Regional Agraria (DRA) de Puno 1997-2013.

Elaboración propia

Los resultados del análisis de regresión general que se muestran en el **Anexo 5** resuelven que a un nivel de significación del 5%, existe suficiente evidencia estadística para afirmar que sólo variable temperatura influye de manera significativa en los rendimientos del cultivo de avena forrajera, con un  $R^2$  de 82.83% el cual nos garantiza un correcto ajuste de los datos al modelo.

**Cuadro 14: Resultados del análisis de regresión general**

Término	Coef.	EE del Coef.	T	P
Constante	10,75	6,45	1,66	0,107
PPTT	-0,32	0,75	-0,43	0,67
TEMP	0,91	0,42	2,13	0,042
<b>CLUSTER</b>				
<b>G1</b>	1,09	0,68	1,59	0,122
<b>G2</b>	-1,82	0,63	-2,86	0,008
<b>G3</b>	-1,83	0,62	-2,87	0,009

Fuente: Elaboración propia

**Resumen del modelo**

S	PRESS	R-cuad	R-cuad (pred.)	R-cuad (ajust.)
1,74	117,69	82,83%	49,84%	77,52%

Fuente: Elaboración propia

**Cuadro 15: Ecuación de regresión lineal**

<b>CULTIVO AVENA FORRAJERA GRUPO</b>	
G1	RENDIMIENTO = 21,64 - 0,325704 PPTT + 0,913381 TEMP
G2	RENDIMIENTO = 19 - 0,325704 PPTT + 0,913381 TEMP
G3	RENDIMIENTO = 17,09 - 0,325704 PPTT + 0,913381 TEMP

Fuente: Elaboración propia

Del modelo matemático resultante se desprende la relación lineal que existe entre la variable temperatura y el rendimiento del cultivo de avena forrajera influyendo esta de manera significativa, quedando demostrado que si la temperatura promedio anual aumenta en 1°C los rendimientos por hectárea de dicho cultivo aumentarían en 913 Kg en promedio.

#### **4.3.2 Relación entre rendimiento de alfalfa (*Medicago sativa*) y variables precipitación; temperatura; cluster asociado:**

A continuación se procederá a realizar inferencias y estimaciones mediante un modelo lineal general, para ello se usara la información agrícola del cultivo alfalfa (*Medicago sativa*) para con ello poder determinar qué variables climáticas explican parte de la varianza del rendimiento agrícola.

**Cuadro N°16: Rendimientos de alfalfa según cluster asociado**

Cluster	Media	Error			
		Media	Des. Estándar	Mínimo	Máximo
Cluster 1	19,64	0,37	1,29	16,96	21,07
Cluster 2	19,3	0,46	1,61	16,37	22,31

Fuente: Dirección Regional Agraria (DRA) de Puno 1997-2013.  
Elaboración propia

Los resultados del análisis de regresión general que se muestran en el **Anexo 6** resuelven que a un nivel de significación del 5%, existe suficiente evidencia estadística para afirmar que sólo la variable temperatura influye de manera significativa en los rendimientos del cultivo de alfalfa, con un R<sup>2</sup> de 72.83% el cual garantiza un correcto ajuste de los datos al modelo.

**Cuadro 17: Resultados del análisis de regresión general**

Termino	Coef.	EE del Coef.	T	P
Constante	25,745	4,654	5,53	0
PPTT	-0,3569	0,8401	-1,02	0,319
TEMP	+0,8382	0,2629	-1,29	0,212
<b>CLUSTER</b>				
<b>G1</b>	1,09	0,68	1,59	0,122
<b>G2</b>	-1,82	0,63	-2,86	0,008

Fuente: Elaboración propia

**Resumen del modelo**

S	PRESS	R-cuad	R-cuad (pred.)	R-cuad (ajust.)
1,65	117,5	72,83%	48,97%	67,52%

Fuente: Elaboración propia

**Cuadro 18: Ecuación de regresión lineal**

<b>ALFALFA</b>	
GRUPO	
G1	RENDIMIENTO = 19,64 - 0,3569 PPTT + 0,8382 TEMP
G2	RENDIMIENTO = 19.3 - 0,3569 PPTT + 0,8382 TEMP

Fuente: Elaboración propia

Del modelo se desprende la relación lineal que existe entre la variable temperatura y el rendimiento del cultivo de alfalfa quedando demostrado que si la temperatura promedio anual aumenta en 1°C los rendimientos por hectárea de dicho cultivo aumentarían en 838 Kg en promedio.

#### 4.3.3 Relación entre rendimiento de cebada forrajera (*Hordeum vulgare*) y variables precipitación; temperatura; cluster asociado:

A continuación se procederá a realizar inferencias y estimaciones mediante un modelo lineal general, para ello se usara la información agrícola del cultivo cebada forrajera (*Hordeum vulgare*) y con ello poder determinar qué variables climáticas explican parte de la varianza del rendimiento agrícola.

**Cuadro N°19: Rendimientos de cebada forrajera según cluster asociado**

Cluster	Media	Error			
		Media	Des. Estándar	Mínimo	Máximo
Cluster 1	19,42	0,39	1,36	16,75	21,07
Cluster 2	19,14	0,49	1,71	16,37	22,31

Fuente: Dirección Regional Agraria (DRA) de Puno 1997-2013.  
Elaboración propia

Los resultados del análisis de regresión general que se muestran en el **Anexo 7** resuelven que a un nivel de significación del 5%, existe suficiente evidencia estadística para afirmar que sólo variable temperatura influye de manera significativa en los rendimientos del cultivo de cebada forrajera, con un  $R^2$  de 68.94% el cual nos garantiza un correcto ajuste de los datos al modelo.

**Cuadro 20: Resultados del análisis de regresión general**

<b>Termino</b>	<b>Coef.</b>	<b>EE del Coef.</b>	<b>T</b>	<b>P</b>
<b>Constante</b>	28,474	4,580	6,22	0
<b>TEMP</b>	0,5353	0,2792	-1,92	0,69
<b>PPT</b>	-0,0742	0,7507	-1,43	0,167
<b>CLUSTER</b>				
<b>G1</b>	0,99	0,56	1,32	0,122
<b>G2</b>	-0,72	0,62	-2,31	0,008

*Fuente: Elaboración propia*

**Resumen del modelo**

<b>S</b>	<b>PRESS</b>	<b>R-cuad</b>	<b>R-cuad (pred.)</b>	<b>R-cuad (ajust.)</b>
1,46	112,1	68,94%	47,74%	62,31%

*Fuente: Elaboración propia*

**Cuadro 21: Ecuación de regresión lineal**

<b>CEBADA FORRAJERA GRUPO</b>
G1    RENDIMIENTO = 19,42 - 0,00742 PPTT + 0,5353 TEMP
G2    RENDIMIENTO = 19,14 - 0,00742 PPTT + 0,5353 TEMP

*Fuente: Elaboración propia*

Del modelo se desprende la relación lineal que existe entre la variable temperatura y el rendimiento del cultivo de cebada forrajera quedando demostrado que si la temperatura promedio anual aumenta en 1°C los rendimientos por hectárea de dicho cultivo aumentarían en 535 Kg en promedio.



#### 4.4 COMENTARIOS FINALES

El análisis realizado demostró la existencia de tres grupos de patrones térmicos espaciales con un comportamiento homogéneo tanto espacial como temporal en cada de uno de ellos. De esta manera se determinó tres grupos o clusters de estaciones meteorológicas bien diferenciados en cuanto al comportamiento de las temperaturas mínimas para la Región de Puno.

La caracterización de las heladas puso en evidencia que los pastos cultivados considerados en el estudio, los cuales son sembrados en casi toda la región, sobre todo en las partes más altas, se encuentran expuestos durante gran parte del año a las heladas tanto meteorológicas como agronómicas, lo cual tiene impacto sobre la producción de la biomasa aérea y materia seca.

La zona que abarca el Cluster 1 es donde se concentra la actividad agrícola de la región pudiendo encontrar los más altos rendimientos en los tres cultivos estudiados, esto debido a que posee un menor rango de temperatura [ $11,5^{\circ}\text{C} - 5,5^{\circ}\text{C}$ ] y una mayor temperatura media ( $T_m=11^{\circ}\text{C}$ ), la frecuencia de heladas meteorológicas es menor sobre todo durante el periodo en que los cultivos atraviesan su etapa fenológica más crítica siendo en promedio 6% y con un periodo libre de helada agronómica de 60 días para los cultivos de avena y cebada forrajera y de 30 días para la alfalfa.

La zona que abarca el Cluster 2 presentan un mayor rango de temperatura [ $13^{\circ}\text{C} - 6^{\circ}\text{C}$ ] así como también una menor temperatura media ( $T_m=10^{\circ}\text{C}$ ) y con una mayor variabilidad, registrando una mayor frecuencia de heladas anual y por periodo, el periodo libre de heladas agronómica tiene una duración de 35 días para los cultivos de avena y cebada forrajera y de 25 días para la alfalfa, lo cual se traduce en un mayor impacto negativo.

La zona que abarca el Cluster 3 presenta una temperatura mínima media por debajo del promedio ( $T_m=9^{\circ}\text{C}$ ) y con un mayor rango de temperatura [ $11,5^{\circ}\text{C} - 5,5^{\circ}\text{C}$ ] eso indica que las temperaturas sufren fuertes descensos por lo que las heladas son de fuerte intensidad y abarcan un amplio período de ocurrencias limitando así a la agricultura solo ciertos cultivos.

## V. CONCLUSIONES

1. Las heladas meteorológicas son un peligro persistente durante todos los años para la región Puno, debido a que para todos los casos la frecuencia anual de heladas es del 100%. Estacionalmente la mayor frecuencia de heladas se registra entre los meses de mayo y agosto, en el periodo setiembre-abril, lapso de tiempo en el cual se desarrolla la actividad agrícola en la región, es en promedio 22% y para el periodo diciembre-febrero, el cual abarca la duración de la etapa fenológica más crítica, es de 16%.
2. Las primeras heladas ocurren entre el 28 de enero y 14 de abril y su intensidad media oscila entre  $-3,1^{\circ}\text{C}$  (Taraco) y  $-0,3^{\circ}\text{C}$  (Juliaca). La última helada meteorológica ocurre entre el 1° de noviembre y el 26 de diciembre y la intensidad media oscila entre  $-2,6^{\circ}\text{C}$  (Taraco) y  $-0,4^{\circ}\text{C}$  (Arapa). El periodo libre de heladas meteorológicas fluctúa entre 160 y 200 días para las estaciones agrupadas en el Cluster 1, entre 120 y 150 días para la estaciones del Cluster 2 y 50 días en promedio para la estación que pertenece al Cluster 3.
3. El modelo matemático resultante estableció la estrecha relación lineal que existe entre la variable temperatura y el rendimiento, impactándolo de manera significativa. Quedando demostrado que si la temperatura promedio anual aumenta en  $1^{\circ}\text{C}$ , los rendimientos por hectárea para el cultivo de avena forrajera (*Avena sativa*) aumentarían en 913 Kg; en el cultivo de alfalfa (*Medicago sativa*) en 838 kg y para el cultivo de cebada forrajera (*Hordeum vulgare*) en 535 kg.

## **VI. RECOMENDACIONES**

1. De acuerdo a los resultados obtenidos en esta investigación se recomienda realizar la siembra en la región Puno durante los meses de octubre y noviembre, ya que la frecuencia de helada es muy baja y el periodo crítico de los cultivos no coincide con las fechas de mayor ocurrencia de heladas.
2. El mejor método de prevención de heladas y el menos costoso es la selección del lugar donde ubicar los cultivos, estas deben realizarse teniendo en cuenta el relieve del terreno y las características de las plantas en función a la sensibilidad al frío, así como también evitando que las fases más críticas de los cultivos coincidan en las fechas de ocurrencia de heladas.
3. La temperatura del aire debería medirse a una altura no mayor de 50 cm del suelo como máximo debido a la diferencia de temperatura medida en una caseta meteorológica y la temperatura medida a la altura de los cultivos.

## VII. BIBLIOGRAFÍA

Alarcón, C. (1991). Caracterización Agroclimática del Departamento de Cuzco. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima-Perú. Tesis de Ing. Meteorólogo.

Anaya, M. (2004). Cultivo de Alfalfa con riego por goteo superficial. México.

Banco Central de Reserva (2013). Síntesis Económica de Puno, Perú.

Barreto, C. (1997). Análisis de la agricultura en la provincia de Jauja. El caso de cultivo de cereales. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima-Perú. Tesis de Ing. Agrónomo.

Borrough, A. (1993). "Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment". Ed. Oxford University Press Inc. Ed. Butler & Tanner Ltd. London.

Campos, D. (2005). Agroclimatología cuantitativa de cultivos. Editorial Trillas. México.

Collantes, R. (2007). Comparativo del rendimiento y calidad de cultivares mejoradas de cebada (*Hordeum vulgare*) en dos localidades de la sierra central del Perú. Universidad Nacional Agraria la Molina. Lima Perú. Tesis de Ing. Agrónomo.

CONAM (1997). Proyecto: Sistemas Ingeniosos del Patrimonio Agrícola Mundial.

Coronel, R. (2000). Caracterización de líneas dobles haploides de Cebada bajo condiciones de la Molina. Universidad Nacional Agraria la Molina. Lima Perú. Tesis de Ing. Agrónomo.

D'Attlellis, R. (2005). Alfalfa (*Medicago sativa*) producción de semilla Tinogasca, Cajamarca. Dirección provincial de Programación del Desarrollo Ministerio de Producción de la provincia de Catamarca. Perú.

Dallas, E. (1998). "Métodos Multivariados Aplicados al Análisis de Datos". Brooks Cole Publishing Company. México.

De Fina, A. (1945). Los elementos Climáticos y los Cultivos. Editorial Sudamericana, Buenos Aires, segunda edición. Argentina.

De Fina, A. y Ravello, C. (1979). Climatología y Fenología Agrícolas. Editorial Universitaria de Buenos Aires, tercera edición, Buenos Aires.

Del Pozo, M. (1971). La alfalfa, su cultivo y aprovechamiento. Mundi – prensa. Madrid – España.

Domenech, J. (1985). Métodos estadísticos: modelo lineal de regresión. Barcelona – España.

Elías, F. y Castellvi, F. (2001). Agrometeorología. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, segunda edición.

Everitt, B. (1981). "Cluster Analysis" J.Willey & Sons, págs 12-17.

Etxeberria, J. (1999). Regresión Múltiple. Cuadernos de Estadística. Ed. La Muralla S.A. Espérides, Salamanca

Gómez, L. (2005). Curso de cereales menores y granos nativos. Universidad Nacional Agraria la Molina. Facultad de Agronomía. Lima Perú.

González, J. (2013). Agrupamiento de las estaciones meteorológicas del occidente de Cuba según el comportamiento de la temperatura mínima. Patrones sinópticos asociados.

Hair, J. (2001). “Análisis Multivariante”. Editorial Pretince Hall Iberia. Madrid.

Huamani, C. (2005). Atlas de Heladas. Dirección General de Información Agraria, Ministerio de Agricultura del Perú.

INEI (2012). Cuarto Censo Nacional Agropecuario, Perú. Instituto Nacional de Estadística e informática (INEI).

INEI (2007). Censo Nacional Perú. Instituto Nacional de Estadística e informática (INEI).

INIPA – GTZ, (1983). Producción comercialización de la cebada y de más cereales menores en la sierra del Perú. Proyecto: Fomento de la producción de cebada y otros cereales como sustituto del trigo en la nutrición humana. Lima Perú.

Kamisato, J. (1996). Evaluación de 5 genotipos de cebada bajo dos modalidades de siembra, en surco y al voleo y dos densidades bajo las condiciones del valle del Mantaro. Universidad Nacional Agraria la Molina. Lima Perú. Tesis de Ing. Agrónomo.

- Lasso, L. (1987). Anotaciones sobre el fenómeno de las heladas. Instituto Colombiano de Hidrología, Meteorología y Adecuación de Tierras-HIMAT. Bogotá, segunda edición.
- Manarelli, L. (1988). Temperatura mínima. En: Evaluación agroclimática del departamento de Puno. Dirección General de Agrometeorología. SENAMHI.
- Martínez, L., Ibacache, A. y Rojas, L. (2007). Efecto de las heladas en la agricultura. Boletín INIA N°165. INIA Intihuasi. Coquimbo, Chile.
- Matías, L., Fuentes, A. y García, F. (2007). Heladas. Pag 32-54.
- Matías, L., Fuentes, A. y García, F. (2007). Heladas. En: [http://www.cenapred.unam.mx/es/publicaciones/archivos/1412008fasc.\\_Heladas\\_2007.pdf](http://www.cenapred.unam.mx/es/publicaciones/archivos/1412008fasc._Heladas_2007.pdf).
- Mayhua, R. (2008). Instalación y conservación de pastos cultivados en altura. Huancavelica - Perú.
- Mayta, F. (2002). Cultivo y Manejo de Pastos. Puno – Perú.
- Menacho, E. (1992). Pronóstico de temperatura y precipitación y elaboración de calendario agrícola para Huayao – Huancayo. Universidad Nacional Agraria la Molina. Lima Perú. Tesis de Ing. Meteorólogo.
- Ministerio de Agricultura (2005). Compendio Estadístico Agrario (1994-2005), Perú.
- Ministerio de Agricultura (2013). Normales Decadales de temperaturas y precipitación y Calendario de siembras y cosecha, Perú.
- ONERN (1965). Programa de inventario y Evaluación de los Recursos Naturales del Departamento de Puno. Perú. Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales (ONERN).
- ONERN (1982). Clasificación de las tierras del Perú. Lima Perú. Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales (ONERN)
- ONERN (1986). Inventario y Evaluación de los Recursos Naturales de la zona alto andina del Perú. Departamentos de Cuzco. Lima Perú. Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales (ONERN).

- OMM (1996). Guía de Instrumentos y Métodos de Observación Meteorológicos. Organización de Meteorología Mundial. Sexta edición, OMM N°8. Ginebra, Suiza. Organización Mundial de la Salud
- Pereyra, D., Zitacuaro, L. y Palma, B. (1990). Heladas en el Cofre de Perote: técnicas de protección. Primera edición, Universidad Veracruzana, México.
- Prats, J. y Grandcourt, M. (1969). Los Cereales. Madrid – España.
- Ramsay, J. O. y Silverman, B. W. (1997). Functional Data Analysis. New York: Springer-Verlag.
- Ramsay, J. O. y Silverman, B. W. (2002). Applied Functional Data Analysis, methods and case studies. New York: Springer-Verlag.
- SAS Institute 1999. “SAS Online Doc V8.”, Cary, NC, USA.
- SENAMHI (2009). Manual de observaciones fenológicas. Dirección general de Agrometeorología. Lima-Perú. Servicio Nacional de Meteorológica e Hidrología (SENAMHI).
- SENAMHI (2010). Atlas de Heladas del Perú. Servicio Nacional de Meteorológica e Hidrología (SENAMHI).
- SENAMHI (2010). Caracterización Agroclimática de la Región Apurímac. Servicio Nacional de Meteorológica e Hidrología (SENAMHI).
- Shibasaki, R. (1993). “The Problems and Difficulties in GIS Database Revision”. Proceeding of the Japan Society of Photogrammetry and Remote Sensing.
- Soil Survey Staff, 2014. Keys to Soil Taxonomy U.S. Department of Agriculture, 12<sup>a</sup> edition, 342pp
- Valdivia, J. (1977). Meteorología general. Ediciones UNMSM, Lima, Perú.
- Villegas, E. y Rosas, V. (1989). Topoclimatología de las temperaturas mínimas y frecuencia de heladas. En: Estudio agrometeorológico del valle del río Mantaro. Dirección General de Agrometeorología. SENAMHI. Lima, Perú.
- Villareal, R. (2000). Cultivo de alfalfa. AGROVILLA S.A.



Villaseca, S., Novoa, R. y Carrasco, J. (1992). Las heladas y su importancia en la agricultura. Investigación y Progreso Agropecuario La Platina.  
Tossi, J. (1960). Zona de Natural en el Perú. Lima, Zona Andina del IICA. Pag 271. Informe N°5.

## ***ANEXOS 1***

### **ANALISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LAS VARIABLES**

#### **Paso 1:**

##### **Hipótesis estadística**

Ho=Todos los distritos son similares en Altitud, Temperatura, Precipitación  
H1=Al menos un distrito es diferente al resto

#### **Paso 2:**

Nivel de significación  $\alpha= 0.05$

#### **Paso 3:**

Prueba estadística: **T<sup>2</sup> de Hotelling**

#### **Resultados de la prueba de la gráfica T<sup>2</sup> de Hotelling:**

	Punto	Variable	Valor P
Mayor que el LCS	COJATA	ALTITUD	0,0033

#### **Paso 4:**

Regla de decisión

¿P valor = 0.0033 < 0.05? → Verdadero, Por lo tanto se rechaza Ho



**ANEXO 2**

**DISTANCIA EUCLIDIANA PARA AGRUPAMIENTO DE ESTACIONES METEOROLÓGICAS**

**Matriz de proximidades**

Caso	Distancia Euclidiana																	
	ARAPA	AYAVIRI	AZANGARO	CABANILLAS	CAPACHICA	COJATA	DESAGUADERO	HUANCANE	HUARAYA MOHO	ILAVE	JULI	JULIACA	LAMPA	PUCARA	PUNO	SANTA ROSA	TARACO	YUNGUYO
ARAPA	0	0,87	57,01	30,05	100,02	424,01	60,02	60,01	30,10	70,01	95,17	100,01	95,04	35,05	80,02	20,12	100,07	60,02
AYAVIRI	0,87	0	57,02	30,06	100,03	424,02	60,03	60,01	30,12	70,02	95,15	100,01	95	35,04	80,03	20,12	100,07	60,02
AZANGARO	57,1	57,02	0	27,02	43,02	481,01	3,05	3,01	27,05	13	38,33	43,08	38,03	22,18	23,01	77,06	43,25	3,06
CABANILLAS	30,1	30,1	27,02	0	70	454,01	30,02	30,02	0,7	40,01	65,12	70,08	65,04	6,18	50,01	50,16	70,22	30,01
CAPACHICA	100,02	100,03	43,02	70	0	524	40,02	40,02	70	30,03	6,37	3,82	5,6	65,12	20,02	120,08	5,95	40,01
COJATA	424,01	424,02	481,01	454,01	524,01	0	484,01	484,01	454,01	494,01	519,02	524,03	519,02	459,03	504,01	404,04	524,05	484,01
DESAGUADERO	60,01	60,03	3,05	30,08	40,02	484,01	0	0,7	30,02	10,01	35,36	40,13	35,06	25,21	20,03	80,08	40,32	0,91
HUANCANE	60	60,01	3,01	30,02	40,02	484,01	0,7	0	30,1	10	35,36	40,08	35,02	25,14	20,02	80,05	40,26	0,65
HUARAYA	30,1	30,12	27,05	0,7	70	454,01	30,04	30,1	0	40,03	65,10	70,12	65,06	6,61	50,01	50,22	70,28	30,02
ILAVE	70	70,02	13	40,01	30,03	494,01	10,01	10	40,03	0	25,49	30,12	25,04	35,12	10,02	90,06	30,37	10,02
JULI	95,2	95,15	38,33	65,13	6,38	519,02	35,37	35,36	65,1	25,45	0	8,36	5,49	60,4	15,74	115,2	10,3	35,27
JULIACA	100,02	100,01	43,08	70,08	3,82	524,03	40,13	40,	70,12	30,12	8,3	0	5,16	65	20,28	120,04	2,32	40,11
LAMPA	95	95	38,03	65,04	5,61	519,02	35,06	35,03	65,06	25,05	5,49	5,17	0	60,02	15,16	115,02	6,15	35,04
PUCARA	35,1	35,04	22,18	6,18	65,13	459,03	25,22	25,15	6,62	35,12	60,4	65	60,02	0	45,14	55,01	65,03	25,2
PUNO	80,02	80,03	23,01	50,01	20,02	504,01	20	20,02	50,01	10,02	15,74	20,29	15,16	45,14	0	100,07	20,7	20,01
SANTA ROSA	20,12	20,12	77,06	50,16	120,08	404,04	80,08	80,01	50,22	90,06	115,24	120,01	115,01	55,01	100,07	0	120,01	80,07
TARACO	100,07	100,07	43,26	70,22	5,95	524,05	40,32	40,26	70,28	30,37	10,3	2,32	6,14	65,03	20,7	120,01	0	40,32
YUNGUYO	60,02	60,02	3,07	30,01	40,01	484,01	0,91	0,65	30,02	10,02	35,27	40,11	35,03	25,2	20,01	80,07	40,32	0

Esto es una matriz de disimilaridad.

### ANEXO 3

## ANÁLISIS DE CORRELACIÓN DE PEARSON ENTRE VARIABLE METEOROLÓGICAS Y RENDIMIENTO DE LOS CULTIVO DE ALFALFA, AVENA Y CEBADA FORRAJERA

### Paso 1:

#### Hipótesis estadística

Ho:  $r = 0$

H1:  $r \neq 0$

### Paso 2:

Nivel de significación  $\alpha = 0.05$

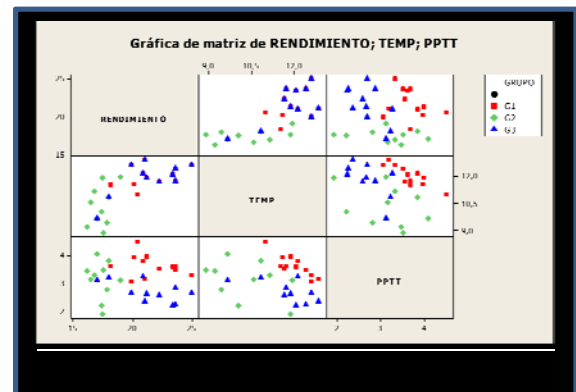
### Paso 3:

Prueba estadística: **Correlación de Pearson**

#### Resultados de la prueba Correlación de Pearson:

	RENDIMIENTO	TEMP
TEMP	0,815 0,000	
PPTT	-0,101 0,577	-0,225 0,209

Contenido de la celda: Correlación de Pearson  
Valor P



### Paso 4:

El análisis de correlación de Pearson demuestra que a un nivel de significación del 5% existe suficiente evidencia estadística para afirmar que si existe una correlación lineal positiva entre el rendimiento del cultivo de Alfalfa, Avena y Cebada Forrajera con la variable temperatura, lo cual no sucede con la variable precipitación ya que esta relación presenta un índice de correlación negativo lo cual indica que a valores altos de una de ellas le suelen corresponder valor bajos de la otra y viceversa (Etxeberria, 1999).

## ANEXO 4

### VERIFICACIÓN DE SUPUESTOS PARA NORMALIDAD DE LOS ERRORES, HOMOCEDEASTIDAD, LINEALIDAD E INDEPENDENCIA DE ERRORES

#### **Paso 1:**

$$H_0: e_{ij} \sim N(0,1)$$

$$H_1: e_{ij} \not\sim N(0,1)$$

#### **Paso 2:**

Nivel de significación  $\alpha = 0.05$

#### **Paso 3:**

Prueba estadística: **Anderson-Darling**

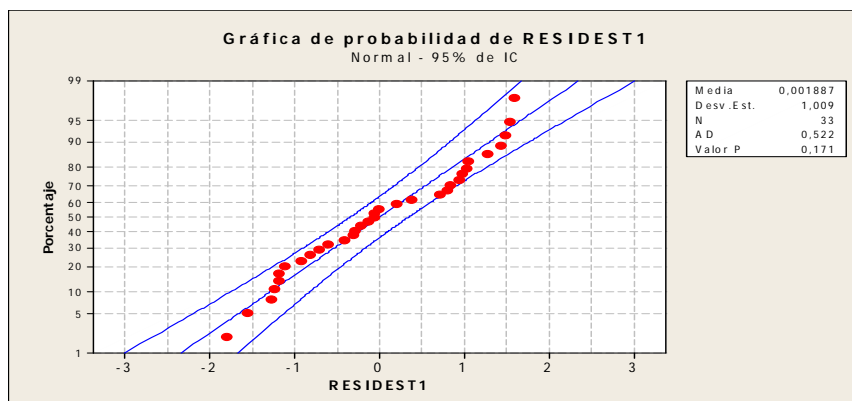
#### **Paso 4:**

Regla de decisión

¿P valor = 0.171 > 0.05? → Falso, Por lo tanto no se rechaza  $H_0$

A un nivel de significación del 5%, existe evidencia estadística para afirmar que los errores siguen una distribución normal, tal como se muestra en el siguiente **gráfico 7**.

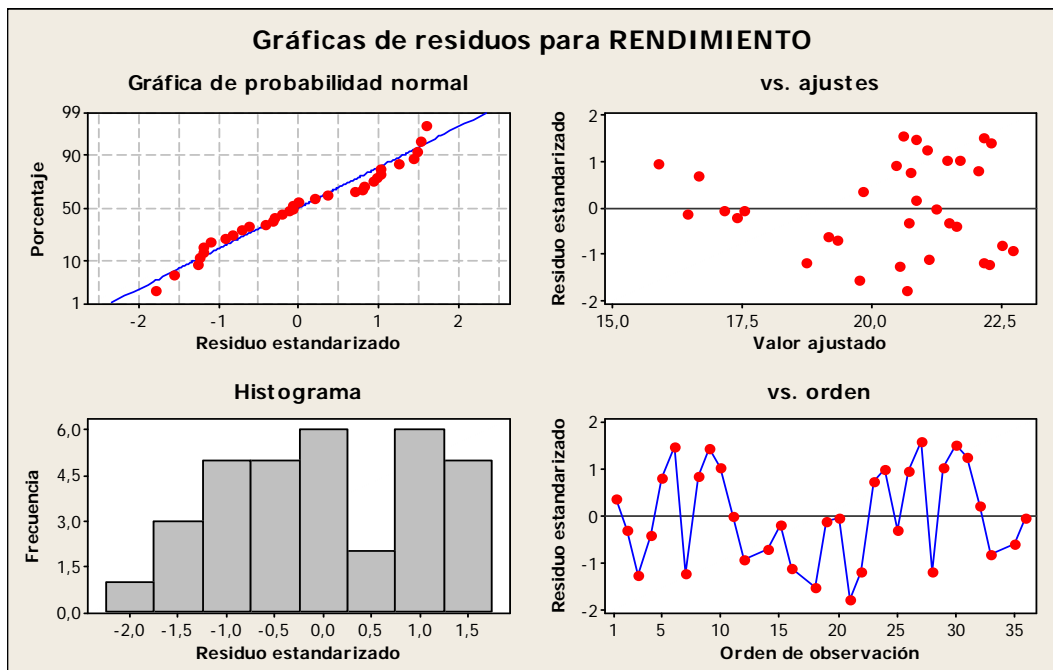
**Gráfico 6: Probabilidad normal de residuales estandarizados**



Fuente: Elaboración propia

En el **Gráfico 8**, se puede observar que existe la aleatoriedad de los residuos estandarizados vs ajustes, lo que nos refleja la independencia de los errores. En el gráfico residuo estandarizado vs orden, podemos verificar que los valores se encuentran en el rango de -2 a 2, lo que nos garantiza que no existen valores atípicos y más aún no hay un patrón que nos diga que pudiese existir multicolinealidad, es decir asociación entre las variables regresoras. Del mismo modo en el gráfico del Histograma de residuos, se observa que no existe asimetría hacia un solo lado.

**Gráfico N°7: Graficas de residuo para la variable rendimiento**



*Fuente: Elaboración propia*

## ANEXO 5

### ANÁLISIS DE REGRESIÓN GENERAL: RENDIMIENTO versus PPTT; TEMP; CLUSTER CULTIVO AVENA FORRAJERA

#### Paso 1:

##### Modelo Lineal General:

$$H_0: \beta_{ij} = 0$$

$$H_1: \text{Al menos un } \beta_{ij} \neq 0$$

#### Paso 2:

Nivel de significación  $\alpha = 0.05$

#### Paso 3:

##### Ecuación de regresión

GRUPO

$$G1 \quad \text{RENDIMIENTO} = 21,64 - 0,325704 \text{ PPTT} + 0,913381 \text{ TEMP}$$

$$G2 \quad \text{RENDIMIENTO} = 19 - 0,325704 \text{ PPTT} + 0,913381 \text{ TEMP}$$

$$G3 \quad \text{RENDIMIENTO} = 17,09 - 0,325704 \text{ PPTT} + 0,913381 \text{ TEMP}$$

Término	Coef	EE del coef.	T	P
Constante	10,7586	6,45470	1,66678	0,107
PPTT	-0,3257	0,75612	-0,43076	0,670
TEMP	0,9134	0,42788	2,13466	0,042
GRUPO				
G1	1,0976	0,68834	1,59449	0,122
G2	-1,8286	0,63839	-2,86436	0,008
G3	-1,83	0,62	-2,87	0,009

#### Paso 4:

##### Regla de decisión

Temperatura: ¿P valor = 0.042 < 0.05? → Verdadero, Por lo tanto se rechaza  $H_0$

Precipitación: ¿P valor = 0.67 > 0.05? → Falso, Por lo tanto no se rechaza  $H_0$

## ANEXO 5A

### ANALISIS DE VARIANZA

#### Paso 1

##### 1.- Definición de hipótesis

$$H_0 : \mu_0 = \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu$$

$$H_1 : \text{Al menos un } \mu_i \neq \mu, i=0,1,2,3$$

#### Paso 2

Nivel de significación:  $\alpha=0.05$

#### Paso 3

Prueba estadística

Análisis de varianza

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	CM Ajust.	F	P
Regresión	4	144,918	144,918	36,2294	11,8326	0,000009
PPTT	1	2,343	0,568	0,5681	0,1856	0,669943
TEMP	1	116,596	13,952	13,9520	4,5568	0,041681
GRUPO	3	25,979	25,979	12,9894	4,2424	0,024584
Error	28	85,731	85,731	3,0618		
Total	33	228,649				

Ajustes y diagnósticos para observaciones poco comunes

No hay observaciones poco comunes

#### Paso 4:

Regla de decisión

Temperatura: ¿P valor = 0.041 < 0.05? → Verdadero, Por lo tanto se rechaza Ho

Precipitación: ¿P valor = 0.669 > 0.05? → Falso, Por lo tanto no se rechaza Ho (no hay interacción entre la variable precipitación y el rendimiento)



## ANEXO 6

### ANÁLISIS DE REGRESIÓN GENERAL: RENDIMIENTO versus PPTT; TEMP; CLUSTER CULTIVO ALFALFA

#### **Paso 1:**

##### **Modelo Lineal General:**

$$H_0: \beta_{ij} = 0$$

$$H_1: \text{Al menos un } \beta_{ij} \neq 0$$

#### **Paso 2:**

Nivel de significación  $\alpha = 0.05$

#### **Paso 3:**

Ecuación de regresión

GRUPO

$$G1 \quad \text{RENDIMIENTO} = 19,64 - 0,8569 \text{ PPTT} + 0,3382 \text{ TEMP}$$

$$G2 \quad \text{RENDIMIENTO} = 19,3 - 0,8569 \text{ PPTT} + 0,3382 \text{ TEMP}$$

Término	Coef	EE del coef.	T	P
Constante	25,745	4,654	5,53	0,00
PPTT	-0,8569	0,8401	-1,02	0,319
TEMP	+0,3382	0,2629	-1,29	0,0212
G1	1,09	0,68	1,59	0,0122
G2	-1,82	0,63	-2,86	0,008

#### **Paso 4:**

Regla de decisión

Temperatura: ¿P valor = 0.021 < 0.05? → Verdadero, Por lo tanto se rechaza  $H_0$

Precipitación: ¿P valor = 0.31 > 0.05? → Falso, Por lo tanto no se rechaza  $H_0$

## ANEXO 6A

### ANALISIS DE VARIANZA

#### Paso 1

##### 1.- Definición de hipótesis

$$H_0 : \mu_0 = \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu$$

$$H_1 : \text{Al menos un } \mu_i \neq \mu, i=0,1,2,3$$

#### Paso 2

Nivel de significación:  $\alpha=005$

#### Paso 3

Prueba estadística

Análisis de varianza

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	CM Ajust.	F	P
Regresión	4	134,91	134,91	36,2294	11,8326	0,000009
PPTT	1	2,543	0,568	0,5681	0,1856	0,539943
TEMP	1	111,695	12,952	13,269	4,5568	0,034181
GRUPO	2	25,112	22,979	12,4989	4,2424	0,022584
Error	28	82,317	85,137	3,098		
Total	32	230,649				

Ajustes y diagnósticos para observaciones poco comunes

No hay observaciones poco comunes

#### Paso 4:

Regla de decisión

Temperatura: ¿P valor = 0.034 < 0.05? → Verdadero, Por lo tanto se rechaza Ho

Precipitación: ¿P valor = 0.53 > 0.05? → Falso, Por lo tanto no se rechaza Ho (no hay interacción entre la variable precipitación y el rendimiento)

## ANEXO 7

### ANÁLISIS DE REGRESIÓN GENERAL: RENDIMIENTO versus PPTT; TEMP; CLUSTER CULTIVO CEBADA FORRAJERA

#### Paso 1:

##### Modelo Lineal General:

$$H_0: \beta_{ij} = 0$$

$$H_1: \text{Al menos un } \beta_{ij} \neq 0$$

#### Paso 2:

Nivel de significación  $\alpha = 0.05$

#### Paso 3:

Ecuación de regresión

Ecuación de regresión

GRUPO					
G1	RENDIMIENTO	=	19,42 - 1,00742 PPTT + 0,5353 TEMP		
G2	RENDIMIENTO	=	19,14 - 1,00742 PPTT + 0,5353 TEMP		
Termino	Coef.	EE delCoef.	T	P	
Constante	28,474	4,580	6,22	0	
TEMP	0,5353	0,2792	-1,92	0,069	
PPT	-0,0742	0,7507	-1,43	0,167	
CLUSTER					
G1	0,99	0,56	1,32	0,122	
G2	-0,72	0,62	-2,31	0,008	

#### Paso 4:

Regla de decisión

Temperatura: ¿P valor = 0.069 < 0.05? → Verdadero, Por lo tanto se rechaza  $H_0$

Precipitación: ¿P valor = 0.16 > 0.05? → Falso, Por lo tanto no se rechaza  $H_0$

## ANEXO 7A

### ANÁLISIS DE VARIANZA

#### Paso 1

##### 1.- Definición de hipótesis

$$H_0 : \mu_0 = \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu$$

$$H_1 : \text{Al menos un } \mu_i \neq \mu, i=0,1,2,3$$

#### Paso 2

Nivel de significación:  $\alpha=005$

#### Paso 3

Prueba estadística

Análisis de varianza

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	CM Ajust.	F	P
Regresión	4	122,812	122,812	36,2294	11,8326	0,000009
PPTT	1	1,343	0,856	0,5681	0,1856	0,539943
TEMP	1	111,596	13,952	13,9520	4,5568	0,045681
GRUPO	2	23,876	23,876	12,9894	4,2424	0,024584
Error	28	85,731	85,731	3,0618		
Total	32	231,649				

Ajustes y diagnósticos para observaciones poco comunes

No hay observaciones poco comunes

#### Paso 4:

Regla de decisión

Temperatura: ¿P valor = 0.045 < 0.05? → Verdadero, Por lo tanto se rechaza Ho

Precipitación: ¿P valor = 0.53 > 0.05? → Falso, Por lo tanto no se rechaza Ho (no hay interacción entre la variable precipitación y el rendimiento)

