

PACC - Serie de investigación regional 1

# Caracterización climática de las regiones Apurímac y Cusco



*"Luz en los Andes"*



*Liderando el Cambio*

## **Programa de Adaptación al Cambio Climático PACC - Perú**

Informe final de investigación del estudio bi-regional disciplinario realizado, en el marco del PACC, por el **Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI)**, titulado “Caracterización climática de las regiones Apurímac y Cusco”.

[www.paccperu.org.pe](http://www.paccperu.org.pe)  
[www.noticias.paccperu.org.pe](http://www.noticias.paccperu.org.pe)

Mayo 2012

PACC Apurímac, Perú  
Jirón Puno 107, Gobierno Regional de Apurímac  
Teléfono: (51)(83) 322595

PACC Cusco, Perú  
Jirón José Santos Chocano H-10, Urbanización Santa Mónica, Wanchaq.  
Telefax: (51)(84)235229

PACC Lima, Perú  
Avenida Ricardo Palma 857, Miraflores, Lima 18.  
Teléfono: (51)(1)4440493

Elaboración:  
Direcciones Generales de Climatología y Meteorología del SENAMHI

Corrección de estilos y diseño gráfico: Yadira Hermoza Ricalde

Primera Edición.

Hecho el Depósito Legal XXXXXX en la Biblioteca Nacional del Perú.

Reproducción autorizada si se cita la fuente. Este libro deberá ser citado de la siguiente manera: SENAMHI 2012. “Caracterización climática de las regiones Apurímac y Cusco”. Serie de investigación regional # 1. Programa de Adaptación al Cambio Climático PACC - Perú.

# Caracterización climática de las regiones Apurímac y Cusco

PACC - Serie de investigación regional 1

2012





## Presentación

El Programa de Adaptación al Cambio Climático - PACC, con el objetivo de desarrollar conocimiento sobre las manifestaciones locales y regionales del cambio climático en Apurímac y Cusco, y sus impactos en los medios de vida de las poblaciones rurales de estos territorios, para dar soporte técnico-científico al establecimiento de políticas públicas, programas, proyectos y medidas específicas de adaptación, por parte de actores regionales y locales; impulsó un proceso de investigación a dos niveles: *regional*, con alcance en las dos regiones antes citadas, y *local*, circunscrito a dos microcuencas, *Huacrahuacho* en la provincia de Canas-Cusco y *Mollebamba* en la provincia de Antabamba-Apurímac.

Este documento es el informe final de investigación del **Estudio de Caracterización Climática de las regiones Apurímac y Cusco**, elaborado el 2010 por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología-SENAMHI, y forma parte de la serie de publicaciones digitales sobre las investigaciones realizadas en las regiones Apurímac y Cusco, ubicadas en los andes sur del Perú. Si bien, esta investigación fue llevada a cabo por la cooperación conjunta entre SENAMHI y PACC, los resultados, las conclusiones e interpretaciones presentes en este documento, son de estricta responsabilidad de SENAMHI.

Este estudio constituye una aproximación a la identificación y caracterización del estado actual del clima en las regiones Apurímac y Cusco, a través del conocimiento del comportamiento promedio estacional y anual de las principales variables climáticas, como son la precipitación, las temperaturas máximas y mínimas del aire, para lo cual se consideró la línea de base climática 1971-2000 y además se desarrolló un análisis de los eventos extremos, como El Niño/Oscilación del Sur (ENSO), ocurridos durante la línea base climática sobre las regiones de estudio, tales como El Niño 1997-1998 y La Niña 1999-2001. La caracterización climática, también permite establecer la línea base climática de las regiones, bajo el conocimiento del clima actual y sus tendencias desde el pasado al presente, insumos necesarios para la generación de escenarios climáticos, así como disponer de una herramienta técnica para evaluar los impactos futuros en los diferentes sectores socioeconómicos de importancia en las regiones Apurímac y Cusco, los que permitirá elaborar estrategias de adaptación y políticas de desarrollo en los niveles regional y local.

El Programa de Adaptación al Cambio Climático a través de esta publicación, pone a disposición de las autoridades, funcionarios y profesionales de las instituciones públicas y privadas, centros de investigación y universidades, los resultados de esta investigación, que pueden ser representativos respecto a la caracterización climática a nivel regional en relación al cambio climático, en otras regiones del sur del país.

Esta publicación busca compartir el conocimiento desarrollado y coadyuvar a un proceso de adaptación basado en un entendimiento de esta realidad y de sus proyecciones.

**Lenkiza Angulo Villarreal**  
**Coordinadora Nacional**  
**Programa de Adaptación al Cambio Climático-PACC**



## CAPITULO 1

### Introducción

1

## CAPITULO 2

### Entorno geográfico y atmosférico

4

#### 2.1 Ubicación del área de estudio

4

#### 2.2 Geomorfología de las regiones Cusco y Apurímac

4

#### 2.3 Condiciones atmosféricas

8

#### 2.4 Clasificación Climática

16

## CAPITULO 3

### El Clima en las regiones de Cusco y Apurímac

18

#### 3.1 Síntesis metodológica de la caracterización climática

18

##### 3.1.1 Base de datos

18

##### 3.1.2 Estaciones meteorológicas para análisis de tendencias e indicadores

20

##### 3.1.3 Trimestres o periodos estacionales

22

##### 3.1.4 Mapas meteorológicos

22

#### 3.2 Distribución espacio/temporal de la temperatura y la precipitación

24

##### 1.1.1 Comportamiento anual y estacional de la temperatura máxima

24

##### 1.1.2 Temperatura Máxima Anual durante casos El Niño/La Niña

28

##### 1.1.3 Comportamiento anual y estacional de la temperatura mínima

30

##### 1.1.4 Temperatura mínima anual durante casos El Niño/La Niña

34

##### 1.1.5 Variación del espesor de la columna atmosférica entre 10000 y 3000 msnm.

36

##### 1.1.6 Comportamiento anual y estacional de la precipitación

37

##### 1.1.7 Precipitación acumulada anual durante casos El Niño/La Niña

41

## CAPITULO 4

### Tendencias, variabilidad e índices climáticos

47

#### 4.1 Metodología para la evaluación de Indicadores de tendencia y variabilidad

47

#### 4.2 Análisis de tendencias lineales

49

#### 4.3 Análisis de ruptura o quiebre

59

#### 4.4 Variabilidad climática

64

#### 4.5 Tendencias de los índices climáticos

67

## **CAPITULO 5**

<b>Eventos climáticos extremos: Periodos secos/ húmedos y heladas</b>	<b>79</b>
1.1 Periodos secos y húmedos	79
1.1.1 Síntesis metodológica para análisis de la sequia	79
1.1.2 Condiciones meteorológicas extremas	81
1.1.3 Distribución anual de los extremos de precipitación	83
1.1.4 Distribución semestral del SPI	86
1.1.5 Distribución trimestral del SPI	90
1.1.6 Tendencias de los eventos extremos secos y húmedos	96
1.2 Heladas	98
5.2.1 Síntesis metodológica para análisis de la sequia	98
5.2.2 Temperaturas mínimas absolutas y fechas de ocurrencia	100
5.2.3 Distribución estacional de la frecuencia de heladas	101
5.2.4 Cambio del Régimen de Heladas de los últimos diez años (1999 -2009)	103
5.2.5 Tendencias de la frecuencia mensual de heladas meteorológicas	112

## **CAPITULO 6**

<b>Conclusiones</b>	<b>114</b>
---------------------	------------

## **CAPITULO 7**

<b>Bibliografía</b>	<b>121</b>
---------------------	------------

## **ANEXOS**

### **ANEXO 1**

#### **LISTA DE MAPAS DE CARACTERIZACION CLIMATICA**

##### **Temperatura Máxima**

- Mapa 3.1: Temperatura Máxima (MULTIANUAL) período 1971-2000.
- Mapa 3.2: Temperatura Máxima (DIC-ENE-FEB) período 1971-2000.
- Mapa 3.3: Temperatura Máxima (MAR-ABR-MAY) período 1971-2000.
- Mapa 3.4: Temperatura Máxima (JUN-JUL-AGO) período 1971-2000.
- Mapa 3.5: Temperatura Máxima (SET-OCT-NOV) período 1971-2000.
- Mapa 3.6: Temperatura Máxima (MULTIANUAL)- El Niño 1997-1998.
- Mapa 3.7: Temperatura Máxima (DIC-ENE-FEB)-El Niño 1997-1998.
- Mapa 3.8: Temperatura Máxima (MAR-ABR-MAY)- El Niño 1997-1998.
- Mapa 3.9: Temperatura Máxima (JUN-JUL-AGO)- El Niño 1997-1998.
- Mapa 3.10: Temperatura Máxima (SET-OCT-NOV)- El Niño 1997-1998.
- Mapa 3.11: Temperatura Máxima (MULTIANUAL)- La Niña 1999-2001
- Mapa 3.12: Temperatura Máxima (DIC-ENE-FEB)-La Niña 1999-2001.
- Mapa 3.13: Temperatura Máxima (MAR-ABR-MAY)- La Niña 1999-2001.
- Mapa 3.14: Temperatura Máxima (JUN-JUL-AGO)- La Niña 1999-2001.
- Mapa 3.15: Temperatura Máxima (SET-OCT-NOV)- La Niña 1999-2001.

### **Temperatura Mínima**

Mapa 3.16 Temperatura Mínima (MULTIANUAL) periodo 1971-2000.

Mapa 3.17: Temperatura Mínima (DIC-ENE-FEB) periodo 1971-2000.

Mapa 3.18: Temperatura Mínima (MAR-ABR-MAY) periodo 1971-2000.

Mapa 3.19: Temperatura Mínima (JUN-JUL-AGO) periodo 1971-2000.

Mapa 3.20: Temperatura Mínima (SET-OCT-NOV) periodo 1971-2000.

Mapa 3.21: Temperatura Mínima (MULTIANUAL)- El Niño 1997-1998.

Mapa 3.22: Temperatura Mínima (DIC-ENE-FEB)- El Niño 1997-1998.

Mapa 3.23: Temperatura Mínima (MAR-ABR-MAY)- El Niño 1997-1998.

Mapa 3.24: Temperatura Mínima (JUN-JUL-AGO)- El Niño 1997-1998.

Mapa 3.25: Temperatura Mínima (SET-OC-NOV)- El Niño 1997-1998.

Mapa 3.26: Temperatura Mínima (MULTIANUAL)- La Niña 1999-2001

Mapa 3.27: Temperatura Mínima (DIC-ENE-FEB)- La Niña 1999-2001.

Mapa 3.28: Temperatura Mínima (MAR-ABR-MAY)- La Niña 1999-2001.

Mapa 3.29: Temperatura Mínima (JUN-JUL-AGO)- La Niña 1999-2001.

Mapa 3.30: Temperatura Mínima (SET-OC-NOV)- La Niña 1999-2001.

### **Precipitación**

Mapa 3.31: Precipitación (MULTIANUAL) periodo 1971-2000

Mapa 3.32: Precipitación (DIC-ENE-FEB) periodo 1971-2000.

Mapa 3.33: Precipitación (MAR-ABR-MAY) periodo 1971-2000.

Mapa 3.34: Precipitación (JUN-JUL-AGO) periodo 1971-2000.

Mapa 3.35: Precipitación (SET-OCT-NOV) periodo 1971-2000.

Mapa 3.36: Precipitación (MULTIANUAL)- El Niño 1997-1998.

Mapa 3.37: Precipitación (DIC-ENE-FEB)- El Niño 1997-1998.

Mapa 3.38: Precipitación (MAR-ABR-MAY)-El Niño 1997-1998.

Mapa 3.39: Precipitación (JUN-JUL-AGO)- El Niño 1997-1998.

Mapa 3.40: Precipitación (SET-OCT-NOV)- El Niño 1997-1998.

Mapa 3.41: Precipitación (MULTIANUAL)- La Niña 1999-2001

Mapa 3.42: Precipitación (DIC-ENE-FEB)- La Niña 1999-2001.

Mapa 3.43: Precipitación (MAR-ABR-MAY)-La Niña 1999-2001.

Mapa 3.44: Precipitación (JUN-JUL-AGO)- La Niña 1999-2001.

Mapa 3.45 Precipitación (SET-OCT-NOV)- La Niña 1999-2001.

## **ANEXO 2**

### **LISTA DE MAPAS DE TENDENCIA CLIMATICA**

#### **Precipitación**

Mapa 4.1: Tendencia de Precipitación Anual al 99% de significancia estadística

Mapa 4.2: Tendencia de Precipitación Verano al 99% de significancia estadística

Mapa 4.3: Tendencia de Precipitación Otoño al 99% de significancia estadística



Mapa 4.4: Tendencia de Precipitación Invierno al 99% de significancia estadística

Mapa 4.5: Tendencia de Precipitación Primavera al 99% de significancia estadística

#### **Temperatura máxima**

Mapa 4.6: Tendencia de Temperatura Máxima Anual al 99% de significancia estadística

Mapa 4.7: Tendencia de Temperatura Máxima Verano al 99% de significancia estadística

Mapa 4.8: Tendencia de Temperatura Máxima Otoño al 99% de significancia estadística

Mapa 4.9: Tendencia de Temperatura Máxima Invierno al 99% de significancia estadística

Mapa 4.10: Tendencia de Temperatura Máxima Primavera al 99% de significancia estadística

#### **Temperatura mínima**

Mapa 4.11: Tendencia de Temperatura Mínima Anual al 99% de significancia estadística

Mapa 4.12: Tendencia de Temperatura Mínima Verano al 99% de significancia estadística

Mapa 4.13: Tendencia de Temperatura Mínima Otoño al 99% de significancia estadística

Mapa 4.14: Tendencia de Temperatura Mínima Invierno al 99% de significancia estadística

Mapa 4.15: Tendencia de Temperatura Mínima Primavera al 99% de significancia estadística

### **ANEXO 3**

#### **GRAFICOS SERIES TEMPORALES DE TENDENCIAS:**

Figura 4.1: Tendencia en el periodo anual y estacional de Precipitación en Apurímac

Figura 4.2: Tendencia en el periodo anual y estacional de Precipitación en Cusco

Figura 4.3: Tendencia en el periodo anual y estacional de Temperatura Máxima en Apurímac

Figura 4.4: Tendencia en el periodo anual y estacional de Temperatura Máxima en Cusco

Figura 4.5: Tendencia en el periodo anual y estacional de Temperatura Mínima en Apurímac

Figura 4.6: Tendencia en el periodo anual y estacional de Temperatura Mínima en Cusco

### **ANEXO 4**

#### **BASES MATEMATICAS DE LOS TEST PARA TENDENCIAS Y QUIEBRES**

### **ANEXO 5**

#### **LISTA DE MAPAS DE FRECUENCIA DE HELADAS**

Mapa 5.2: Frecuencia de Heladas ( $T_{\min} \leq 0^{\circ}\text{C}$ ) - mes de enero

Mapa 5.3: Frecuencia de Heladas ( $T_{\min} \leq 0^{\circ}\text{C}$ ) - mes de febrero

Mapa 5.4: Frecuencia de Heladas ( $T_{\min} \leq 0^{\circ}\text{C}$ ) - mes de marzo

Mapa 5.5: Frecuencia de Heladas ( $T_{\min} \leq 0^{\circ}\text{C}$ ) - mes de abril

Mapa 5.6: Frecuencia de Heladas ( $T_{\min} \leq 0^{\circ}\text{C}$ ) - mes de mayo

Mapa 5.7: Frecuencia de Heladas ( $T_{\min} \leq 0^{\circ}\text{C}$ ) - mes de junio

Mapa 5.8: Frecuencia de Heladas ( $T_{\min} \leq 0^{\circ}\text{C}$ ) - mes de julio

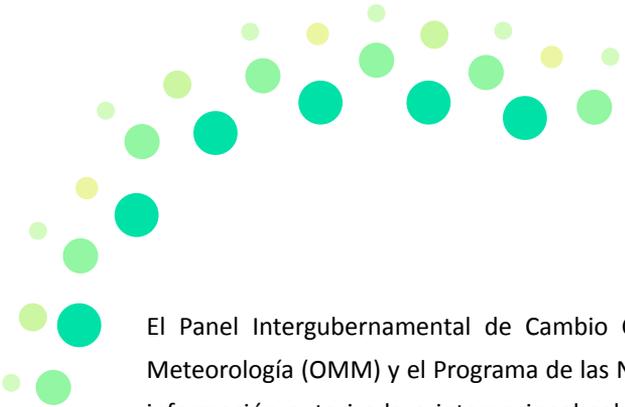
Mapa 5.9: Frecuencia de Heladas ( $T_{\min} \leq 0^{\circ}\text{C}$ ) - mes de agosto

Mapa 5.10: Frecuencia de Heladas ( $T_{\min} \leq 0^{\circ}\text{C}$ ) - mes de setiembre

Mapa 5.11: Frecuencia de Heladas ( $T_{\min} \leq 0^{\circ}\text{C}$ ) - mes de octubre

Mapa 5.12: Frecuencia de Heladas ( $T_{\min} \leq 0^{\circ}\text{C}$ ) - mes de noviembre

Mapa 5.13: Frecuencia de Heladas ( $T_{\min} \leq 0^{\circ}\text{C}$ ) - mes de diciembre



## 1. INTRODUCCION

El Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC), establecido por la Organización Mundial de Meteorología (OMM) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) para proveer información autorizada e internacional sobre el cambio climático, define tal término para referirse a una variación en el estado del clima, identificada al observar cambios en los patrones de series históricas y que persisten durante un periodo de tiempo bastante extenso en la orden de décadas y que además de deberse a procesos naturales pueden también ser provocados por el hombre. Dicha definición implica necesariamente el conocimiento del estado actual o pasado del clima que permita establecer una línea base sobre la cual se reconozca el cambio o la variación que dé cuenta de un proceso de cambio del clima.

El SENAMHI, desde el año 2005, ha venido desarrollando estudios sobre cambio climático, generando escenarios climáticos a nivel regional en los cuales el primer paso es la identificación del estado actual del clima a través de un estudio de Caracterización climática, en el cual se describe el comportamiento de las principales variables meteorológicas que regulan el clima de las regiones de interés.

En el marco del Programa de Adaptación al Cambio Climático - PACC, el SENAMHI como responsable científico de los estudios climáticos presenta en esta primera fase, la Caracterización Climática de las regiones Cusco y Apurímac, donde se describe el clima actual y los cambios observados en los patrones climáticos en ambas regiones así como en las microcuencas Huacrahuacho (Cusco) y Mollebamba (Apurímac).

La Caracterización Climática de las regiones de Cusco y Apurímac con énfasis en las microcuencas Huacrahuacho y Mollebamba, tiene como finalidad establecer el comportamiento promedio estacional y anual de la precipitación, temperatura máxima y mínima del aire, considerando la línea de base climática 1971-2000 y desarrollando un análisis de los eventos extremos El Niño/Oscilación del Sur (ENSO) ocurridos durante la línea base climática sobre las regiones de estudio tales como El Niño 1997-1998 y La Niña 1999-2001. Es importante mencionar que la selección de El Niño 1997-1998 obedece al hecho de describir uno de los eventos de mayor impacto en la región y del que además se cuenta con mayor información a diferencia de otros eventos significativos como El Niño 1982-1983; asimismo el evento La Niña 1999-2001 desarrollado inmediatamente después del evento anterior representa un típico caso de sucesión de fase cálida y fría con mayor información disponible, cuyo análisis se están presentando en el presente documento.

El análisis de las variables climáticas en Cusco ha permitido identificar un fuerte gradiente térmico asociado a la diversidad de climas derivado de sus características topográficas variando desde un clima cálido húmedo a muy húmedo en su región selva norte y central oriental, caracterizados por temperaturas que varían entre 20 a 32°C con precipitaciones de 3000 a 8000 mm, hasta climas fríos y semisecos en sus regiones de cordilleras, zona de sierra sur, con temperaturas de -4 a 12°C con precipitaciones de 200 a 1000 mm.

La región Apurímac es en cambio menos variable climáticamente, sin embargo presenta una mayor irregularidad topográfica lo que le confiere también una marcada variabilidad dentro del rango de climas desde semiseco templado con temperaturas variando desde 8°C en el caso de las mínimas a 28°C las máximas

y precipitaciones de 700 a 1500mm hasta climas semifríos y secos, con temperaturas desde  $-4^{\circ}\text{C}$  las mínimas a  $12^{\circ}\text{C}$  las máximas, y precipitaciones de 200 a 700 mm. Los contrastes entre el periodo de lluvias y el periodo de estiaje son característicos de esta región. Verano es la estación más lluviosa del año acumulando valores entre 1000 y 3000 mm en Cusco y 700-1000 mm en Apurímac, mientras que en invierno se dan los mínimos valores de precipitación oscilando entre 1000 a 1500 mm en la selva de Cusco y de 0 a 50 mm en la parte andina de Apurímac y Cusco.

Impactos en el comportamiento climático han sido observados durante los eventos El Niño y La Niña, esto se muestra en los análisis para el evento El Niño 97/98 periodo algunas zonas llegaron a disminuciones de hasta en un 50 % como en el caso de la región oeste de Apurímac, mientras que en ambas regiones, Cusco y Apurímac, las temperaturas aumentaron hasta  $2^{\circ}\text{C}$  en la máxima y hasta  $3^{\circ}\text{C}$  en la mínima durante la estación de verano. Los eventos El Niño y La Niña son mecanismos que modulan gran parte de la variabilidad climática por lo que su evaluación para las regiones Cusco y Apurímac era imprescindible.

Respecto a las microcuencas de interés se observa que en la microcuenca Huacrahuacho presenta un clima de lluvioso a semiseco, con precipitaciones que oscilan entre 500 a 1000 mm acumulados anuales, presencia de poca humedad y un régimen térmico de frío a semifrío con valores de temperatura de hasta  $-4^{\circ}\text{C}$  las mínimas y hasta  $20^{\circ}\text{C}$  las máximas. En la microcuencas de Mollebamba predomina el clima lluvioso con precipitaciones que oscilan entre 500 y 1000 mm, es semifrío con temperaturas que llegan a  $8^{\circ}\text{C}$  las mínimas y hasta  $20^{\circ}\text{C}$  las máximas.

El análisis de los últimos 44 años ha permitido identificar tendencias en el comportamiento climático, encontrándose una tendencia de incremento de las lluvias en gran parte de las estaciones analizadas llegando en algunos casos a variaciones de hasta 6.3 mm/año en Apurímac y hasta 2.2 mm/año en Cusco. Con respecto a la temperatura máxima y mínimas muestran también tendencia de incremento en varias estaciones de Cusco y Apurímac con valores de hasta  $0.05^{\circ}\text{C}/\text{año}$  en Granja Kayra, el cual quintuplica las tendencias globales en los últimos 50 años a nivel anual de  $0.013^{\circ}\text{C}/\text{año}$  según el IPCC (2007). También son observados tendencias negativas sobre disminución de la temperatura máxima con valores más bajos salvo la estación de Abancay donde se obtuvo una tendencia de  $-0.07^{\circ}\text{C}/\text{año}$ .

La evaluación de las tendencias climáticas se complementa con un ítem sobre el análisis de ruptura o quiebre. Dicha metodología identifica cambios en la ley de probabilidad de las series de tiempo de precipitación o temperaturas en un instante dado, las que pueden deberse a un evento climático global, a efectos locales como procesos de urbanización. En el presente estudio la mayor parte de quiebres identificados están relacionados con la ocurrencia de eventos El Niño y La Niña.

Un capítulo de eventos climáticos de fuerte impacto, sequías y heladas en las regiones de Cusco y Apurímac, ha sido incluido en este documento; en la cual se ha identificado una mayor acentuación entre los periodos lluviosos y de estiaje cada año mientras que los eventos de heladas están siendo cada vez menos frecuentes y con menores intensidades en las regiones Cusco y Apurímac, sin embargo en las microcuencas Huacrahuacho y Mollebamba no siguen ese patrón, siendo al contrario zonas con tendencia a una mayor intensificación y frecuencia de heladas. Otros eventos como veranillos, granizadas o vientos extremos no han sido analizados por falta de observaciones meteorológicas de series largas.

Los datos meteorológicos utilizados son provenientes del Banco de Datos del SENAMHI, pero se debe mencionar que datos de la Dirección de Estadística e Información Agraria de Apurímac y Agrorural Cusco y Minera Buenaventura, han sido utilizados también como información referencial y complementaria para algunos procesos durante la elaboración de la caracterización climática.

Finalmente es importante mencionar que los resultados presentados en este estudio permiten establecer la línea base climática de las regiones, bajo el conocimiento del clima actual y sus tendencias desde el pasado al presente, insumos necesarios en el proceso de generar escenarios climáticos y disponer de una herramienta técnica para evaluar los impactos futuros en los diferentes sectores socioeconómicos de importancia en las regiones de Cusco y Apurímac, los que permitirá elaborar estrategias de adaptación así como políticas de desarrollo regional y local a nivel de microcuencas de estudio.



## 2. ENTORNO GEOGRÁFICO Y ATMOSFÉRICO

### 2.1. Ubicación del área de estudio

La región Cusco está situada en la zona central y sur oriental del Perú, entre las latitudes sur de 11°10' y 15°20' y los meridianos 70°10' y 74°00' longitud oeste. Ocupa gran parte del nudo orográfico de Vilcanota. Su diversidad y los cambios abruptos de paisaje y ecosistemas están principalmente asociados a la Cordillera de los Andes. Posee una superficie de 72,104 Km<sup>2</sup> (GORE Cusco, 2008). Limita por el Norte con las selvas de Junín y Ucayali, por el Oeste con la selva de Ayacucho y la sierra de Apurímac, por el Sur con las zonas altas de Arequipa y Puno y por el Este con el gran llano amazónico de Madre de Dios. La capital es la ciudad del Cusco y sus provincias son ocho: Acomayo, Anta, Calca, Canas, Canchis, Cuzco, Chumbivilcas, Espinar, La Convención, Paruro, Paucartambo, Quispicanchi y Urubamba.

La microcuenca de Huacrahuacho abarca parte de los distritos de Kunturkanki y Checca dentro de la provincia de Canas, al sur de la región Cusco. Las áreas más altas de la microcuenca alcanzan los 4900 msnm y las más bajas 3800 msnm, posee 262.10 Km<sup>2</sup> de territorio.

La Región Apurímac se ubica al sur este del Perú, entre las latitudes sur 13°23' y 14°24' y longitudes oeste 72°04' y 73°44' aproximadamente. Con una superficie de 20,895.79 Km<sup>2</sup>, la provincia de Aymaraes es la de mayor extensión, con el 20.2% del área total de la región. Limita en el Norte con Cusco al este con Cusco y Arequipa, al sur con Arequipa y al oeste con Ayacucho. La capital de la región es la ciudad de Abancay y está dividida políticamente en 7 provincias y 80 distritos. Las provincias son Abancay, Andahuaylas, Aymaraes, Antabamba, Cotabambas, Chincheros y Grau.

El ámbito de la microcuenca de Mollebamba se ubica en el distrito de Juan Espinoza Medrano en la provincia de Antabamba, al sur de la región Apurímac. Las zonas más altas de la microcuenca alcanzan los 5100 m.s.n.m y las más bajas se ubican sobre los 2900 msnm, su territorio cuenta con 698.18 km<sup>2</sup>.

## 2.2. Geomorfología de las regiones Cusco y Apurímac

El Altiplano y la Puna peruana han desarrollado principalmente a finales de la era del Mesozoico y la era del Cenozoico, es decir desde hace 100 millones a 01 millón de años atrás, a través de la continua subducción (proceso de hundimiento de una placa litosférica bajo otra) de la placa oceánica de Nazca en el margen continental convergente (fosa oceánica peruana -chilena), peculiar y característica única a lo largo de los 60 000 km de márgenes convergentes alrededor del globo. El ciclo de la subducción andina ha estado sucediendo al menos desde el periodo jurásico (180 millones de años atrás). Aproximadamente hace 30 millones de años atrás ocurrió un máximo y masivo levantamiento, cuya magnitud y periodos de ocurrencia ha variado de norte a sur debido a la naturaleza y tasa de subducción.

Durante esa fase de levantamiento, la placa continental sud americana se ha movido hacia el oeste a una tasa de 25 a 35 mm /año. El levantamiento andino ha generado abruptas pendientes inestables y masiva transferencia de rocas no consolidadas, hacia los cauces de los ríos y llanuras pendiente abajo. La combinación de movimientos de la corteza terrestre (tectonismo), magmatismo, erosión, acarreo y deposición de material litosférico han generado las complejas estructuras tridimensionales que hoy vemos en el paisaje de las cuencas de Apurímac y Urubamba.

En los últimos años las actividades humanas tales como el sobrepastoreo y el mal uso de la tierra están crecientemente alterando los paisajes naturales, por lo tanto la geomorfología.

La Región Cusco es atravesada por la Cordillera Oriental y Central de los Andes originados en el Nudo de Vilcanota. La Cordillera Oriental presenta tres ramales: Vilcabamba, Vilcanota y Paucartambo, ver Mapa 2.1.

La cordillera de Vilcabamba, ubicada al noroeste de la región del Cusco está alineada de manera general en sentido noroeste- sureste. Entre las mayores elevaciones de esta cordillera se encuentra el nevado de Salkantay (6 271 m), el Pumacillo (6 070 m) y el Sajsarayoc (6 050 m), cordillera muy próxima a la cuenca amazónica, por lo cual las precipitaciones son muy intensas en su vertiente occidental, las cuales han originado frecuentes deslizamientos del terreno y acarreo de materiales. En los últimos años el movimiento de masa ha sido exacerbado por la tala de los bosques en las laderas de la selva alta. La cordillera de Vilcanota, alineada al este del río del mismo nombre, en la cual está el nevado Ausangate (6 372 m) es el punto más alto de la región Cusco. En la vertiente orientada al este (barlovento) donde las lluvias son abundantes y ha ocurrido derretimiento de glaciares, se ha generado caída de rocas, deslizamiento de suelos y flujo de sedimentos. La cordillera de Paucartambo es de menor altitud y se localiza al este de la región Cusco, en los límites con la región de Madre de Dios.

Al norte de la región Cusco se encuentra el valle de La Convención formado por el río Urubamba y sus afluentes, está delimitado al oeste por la divisoria de aguas con el río Apurímac y al sudeste con montañas que lo separan de la cuenca del Manu. Al sur de La Convención, los Andes dan origen a una serie de cañones fluviales entre

los que destacan el del Urubamba y sus principales afluentes. El denominado Valle sagrado de los Incas se ubica al este de la ciudad del Cusco formado por el río Urubamba. En general la zona andina presenta aspectos de elevadas montañas, mesetas y altiplanos, extensas pampas rodeadas de profundas quebradas con ríos que forman valles y cañones, siendo los más importantes de los ríos Paucartambo, Urubamba y Apurímac. En la Selva y Baja, existe una gran diversidad de exuberante vegetación, donde predomina el clima cálido continental, ver Mapa 2.1.

El sur de la región Cusco, se ubica la microcuenca de Huacrahuacho, la cual ha sido identificada como una microcuenca en formación donde los procesos de erosión, transporte y sedimentación se encuentran en pleno desarrollo. Posee un terreno suave, con colinas poco empinadas. (PREDES, 2009).

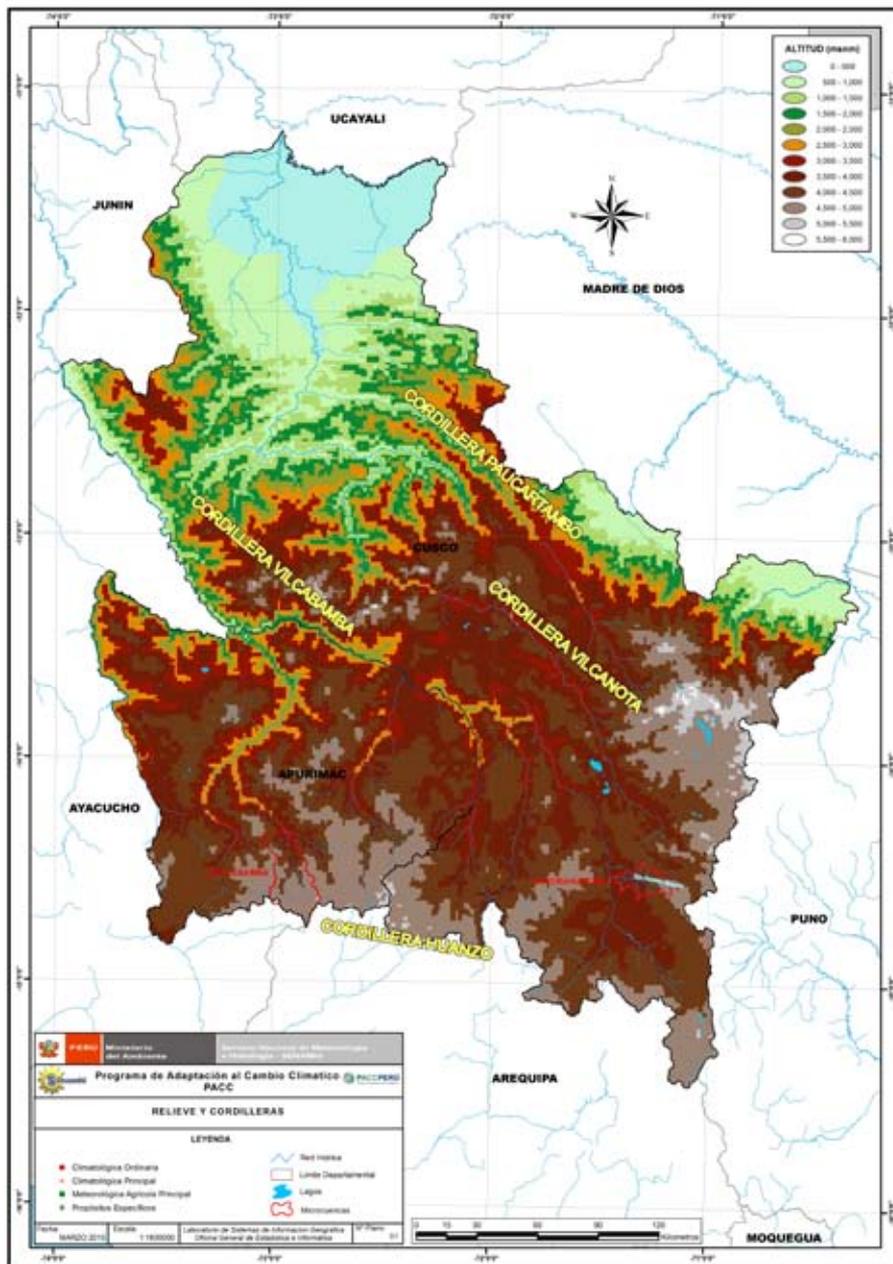
La Región Apurímac a diferencia de la región Cusco presenta mayormente una topografía andina, siendo particularmente de las más accidentadas del país, con presencia de una gran variedad de cañones y valles estrechos con fuertes pendientes. Su territorio es atravesado de sureste a noroeste por la cordillera Huanzo que forma en su recorrido altas cumbres, mesetas, quebradas de paredes inclinadas y valles profundos, originando variedad de climas y pisos ecológicos. El abra principal es El Piste, entre las provincias de Aymaraes y Antabamba; y las elevaciones más importantes son Huaytane (5430 msnm) y el nevado de Chanchahuana (5331 msnm), ambas ubicadas en el distrito de Oropesa en la provincia de Antabamba. Los principales ríos que reciben el aporte de los diversos afluentes de la región son los ríos Apurímac y Pampas. EL primero recibe el nombre de Santo Tomas inicialmente para luego convertirse en Apurímac, este sirve de límite con Cusco y el río Pampas sirve de límite con Ayacucho por el noroeste y norte. El río Santo Tomas y Apurímac corren por un valle profundo y estrecho formando uno de los cañones más imponentes del Perú. Al oeste y sur de Andahuaylas se observan mesetas o relieve menos accidentado.

El valle de Apurímac situado en el centro y este de la región Apurímac tiene una geomorfología muy compleja y variada debido a los variados procesos erosivos que han ocurrido durante millones de años -y que siguen ocurriendo, como son : amplias mesetas disectadas (cortadas) por numerosos ríos que discurren de sur a norte, cadenas montañosas, vertientes con altas pendientes, cañones profundos y valles interandinos angostos. La puna o altiplano se ubica sobre los 3 800 msnm; por corresponder a zonas cubiertas por glaciares en el periodo de máxima expansión glacial hace aproximadamente 20 000 años; donde la línea de nieve estaba ubicada a 1 200 m más abajo de lo que es ahora. Estos territorios han sido meteorizados y erosionados de tal manera que la Puna presenta un relieve predominantemente ondulado y llano, en donde los cambios de pendiente son generalmente suaves; en esta zona destaca el nevado de Ampay (5 235 msnm) ubicado muy próximo a la Amazonia, lo que le permite “capturar “mucho humedad, por lo cual sus glaciares probablemente tengan una reducida disminución por efecto del calentamiento global.

Gran parte del territorio de la microcuenca de Mollebamba se ubica al sur de la región Apurímac, caracterizándose por relieves de ondulados a disectados, alternando con relieves llanos. Estas características generan una gran inestabilidad geológica, característica que se da en mayor medida en la parte media y baja (PREDES 2009).

Entre los 2 000 y 3 800 metros de altitud, la geomorfología guarda estrecha relación con los esfuerzos episódicos de plegamientos que ocurrieron en los Andes , que tras millones de años han sido profundamente

socavados verticalmente por el discurrir de numerosos ríos, en su mayoría cortos, que al transcurrir miles de años se han convertido en muy torrentosos. Esta característica refleja continuos ajustes entre deformación tectónica y procesos fluviales. Muchos valles han sido interrumpidos por los masivos transportes fluviales de materiales sedimentarios, mucho más que hoy, durante los periodos húmedos del Pleistoceno. Mención aparte merece nombrar al cañón de Apurímac y Chalhuanca que en algunos lugares discurre por acantilados de hasta 3 000 m de profundidad.



Mapa 2.1: Relieve de las regiones Cusco y Apurímac

## 2.3. Condiciones climáticas atmosféricas a nivel regional

El análisis de las condiciones climáticas atmosféricas se desarrolló considerando al comportamiento atmosférico a escala global. Para ello fueron utilizados datos mensuales a nivel global del ERA 40 (Información de Reanalysis del Centro Europeo – ECMWF por sus siglas en inglés, a resolución espacial de  $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ ), correspondiente al período de 1971-2000. Las variables atmosféricas consideradas fueron las de viento a 850 y 200 hPa (m/s), humedad específica 850 (Kg/Kg), presión a nivel del mar (hPa), geopotencial a 500 hPa ( $m^2/s^2$ ) y cálculo de espesor 850-200 hPa ( $m^2/s^2$ ), de modo de describir de forma tridimensional el comportamiento atmosférico predominante que caracteriza el clima a nivel regional y local. Es necesario mencionar que el comportamiento de la atmósfera en eventos El Niño presenta características marcadas por lo que en este mismo contexto se consideró en éste análisis el Fenómeno El Niño 1997-1998.

### 2.3.1. Circulación de viento a 200 HPa (12 km) y energía de la columna atmosférica (Espesor 850-200 HPa)

En febrero, mes representativo de la estación de verano, una circulación de alta (Alta de Bolivia), con núcleo entre Perú, Chile y Bolivia abarca gran parte de Sudamérica; con gran concentración de energía; de acuerdo al espesor cálido (850-200 hPa) que se observa en la Figura 2.1 (mayor de 10600 mgp), esto aunado a la interacción con la Baja del Noreste de Brasil; favorecen el desarrollo de sistemas convectivos importantes con ocurrencia de lluvias sobre el norte de Chile y Bolivia así como el sur y centro de Perú. Las regiones de Cusco y Apurímac son directamente afectadas por la circulación de la Alta de Bolivia, como podrá ser verificado en el análisis de las precipitaciones intensas y temperaturas mínimas altas característico de verano (anexo 1- Mapas 3.32 y 3.17).

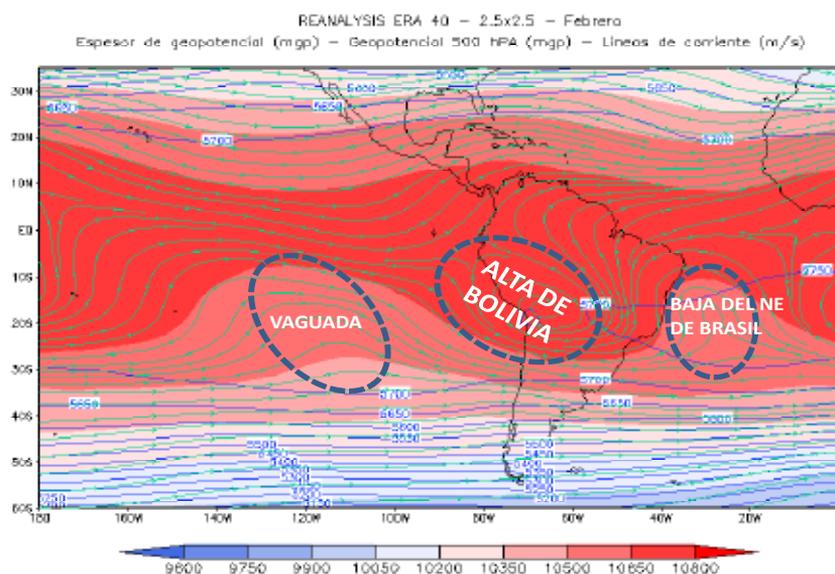


Figura 2.1. Circulación atmosférica en 200 hPa, geopotencial de 500 hPa (línea entrecortada azul) y espesor entre 200 y 850 hPa- Febrero.

En mayo, para la estación de otoño, flujos de viento difluentes se presentan sobre centro América y en la parte norte de territorio sudamericano; con concentración de energía en la parte tropical (mayor espesor de geopotencial), ver Figura 2.2. Esta configuración genera lluvias en dichas zonas (Colombia, Venezuela, centro América y norte de Perú). Mientras que partir del sur de Perú hasta cerca de los polos los flujos de vientos

son del oeste; lo que impide el ingreso de humedad, favoreciendo la presencia de cielo claro o despejado y la ausencia de lluvias (inicio del periodo de estiaje). En esta época se da el inicio de la intensificación de las heladas meteorológicas, cuando la temperatura del aire es igual o menor a 0°C, y a nivel de circulación de niveles altos no se aprecia la Alta de Bolivia.

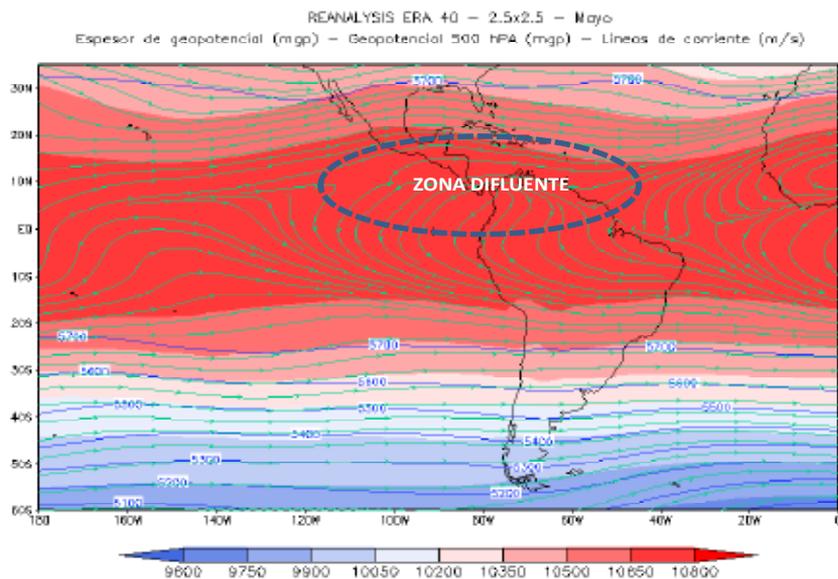


Figura 2.2. Circulación atmosférica en 200 hPa, geopotencial de 500 hPa (línea entrecortada azul) y espesor entre 200 y 850 hPa – Mayo.

En julio, durante el invierno, los vientos predominantes en el territorio peruano son del oeste y la energía en la columna disminuye sobre el sur y centro. Esta configuración ocasiona que en invierno se tenga los valores más bajos de la temperatura mínima en el año, generando consecuentemente el periodo de heladas meteorológicas más intensas del año, ver Figura 2.3.

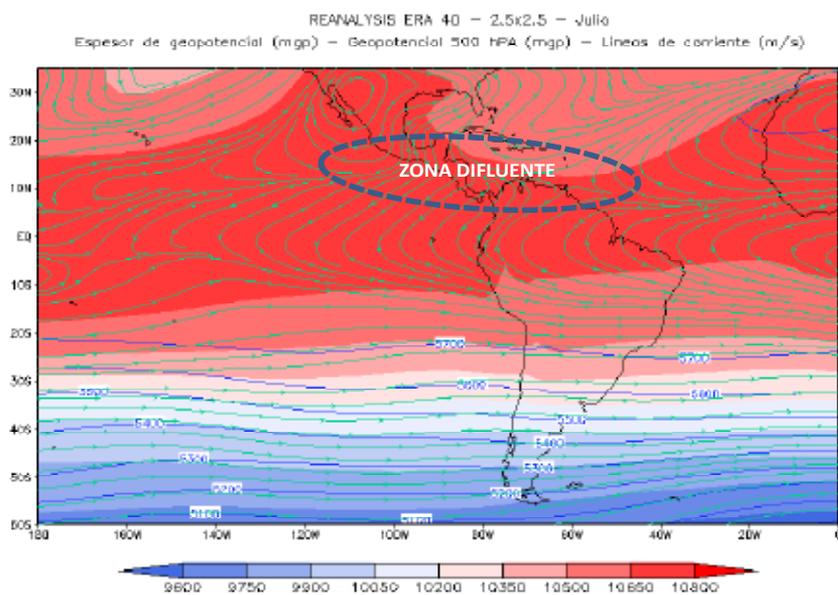


Figura 2.3. Circulación atmosférica en 200 hPa, geopotencial de 500 hPa (línea entrecortada azul) y espesor entre 200 y 850 hPa – Julio.

En octubre, se configura una circulación de alta sobre el Oeste de Brasil (Alta de Bolivia), con expansión de la columna atmosférica y extensión hacia el sur de Perú ver figura 2.4; favoreciendo al inicio del periodo lluvioso en dicha zona (sector oriental), como puede apreciarse para la estación de otoño sobre Cusco y Apurímac, caracterizado además del inicio de las lluvias por la gradual incremento de la temperatura del aire y consecuentemente la gradual disminución de los eventos de heladas meteorológicas.

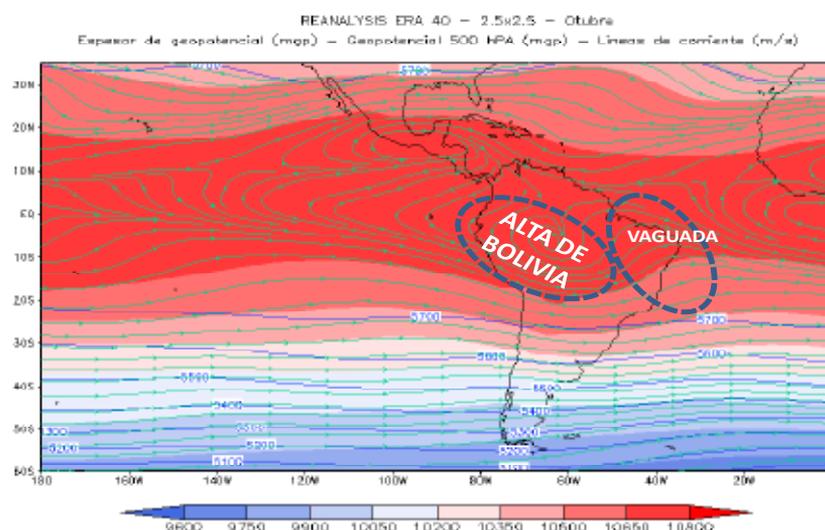


Figura 2.4. Circulación atmosférica en 200 hPa, geopotencial de 500 hPa (línea entrecortada azul) y espesor entre 200 y 850 hPa – Octubre.

### 2.3.2. Vientos, Humedad Específica (850 HPa) y presión atmosférica en superficie

En febrero el flujo de vientos del este, provenientes del Atlántico y de la Amazonia son desviados hacia el sur; favoreciendo una mejor distribución e incursión de humedad sobre el norte y centro de Sudamérica mayor de 1.3 g/kg, ver Figura 2.5; siendo un elemento potencial para la ocurrencia de precipitaciones sobre el territorio peruano, especialmente sobre Cusco y Apurímac (ver Anexo 1, mapa 3.32). La Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) se ubica entre 2 a 5°N; mientras que sobre continente fluctúa alrededor de 8°S.

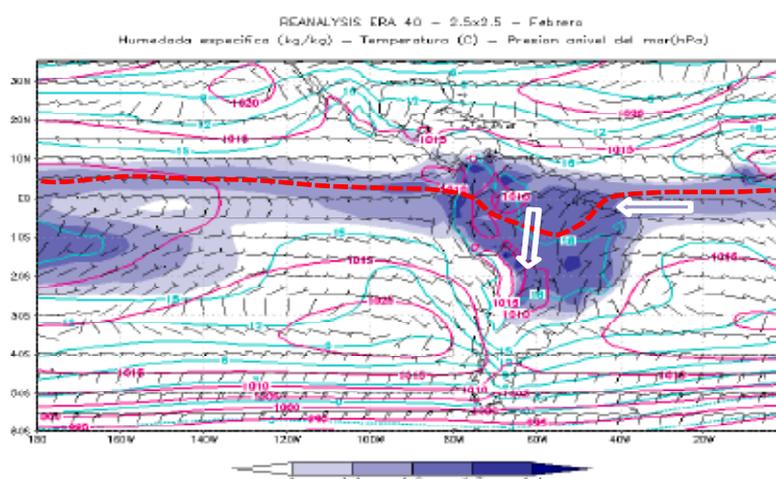


Figura 2.5. Vientos y humedad a 850 hPa, presión a nivel del mar y ZCIT (línea gruesa roja) - Febrero.

En mayo, los vientos del este provenientes del Atlántico y de la Amazonia se desvían hacia el norte, concentrando la mayor humedad ( $> 1.3 \text{ g/kg}$ ) sobre Ecuador, Colombia, Venezuela y norte de Perú y Brasil. Esta situación favorece menor cobertura nubosa en Cusco y Apurímac que está asociado climáticamente con la finalización del periodo de lluvias (ver Anexo 1, Mapa 3.33). La ZCIT sobre el Pacífico; se desplaza hacia el norte alrededor de  $7^\circ\text{N}$ , sobre el continente  $0$  a  $2^\circ\text{S}$  y de la Atlántico entre  $2$  a  $5^\circ\text{N}$ , ver Figura 2.6.

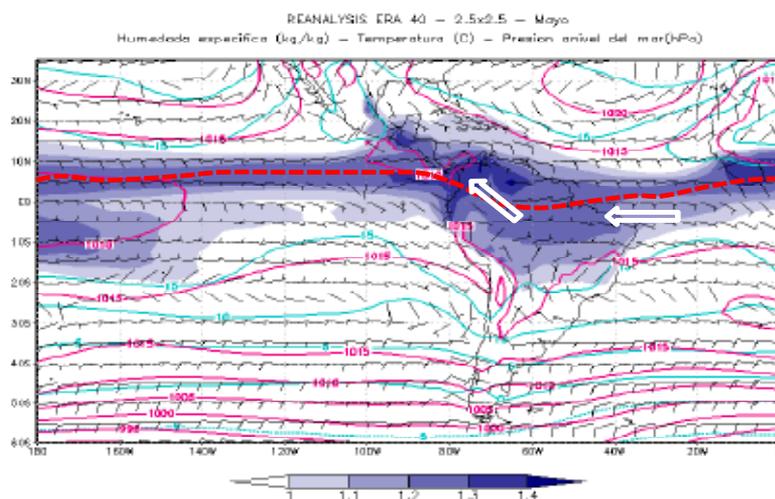


Figura 2.6. Vientos y humedad a 850 hPa, presión a nivel del mar y ZCIT (línea gruesa roja) - Mayo.

En julio los vientos provenientes del Atlántico y de la Amazonia confinan la mayor humedad hacia el extremo norte de Sudamérica; dejando menor humedad sobre el Perú; lo que permite escasas precipitaciones a nivel nacional. En Cusco y Apurímac; la poca humedad; favorece cielos despejados o escasa cobertura nubosa asociado con disminución significativa de lluvias (ver anexo 1, Mapa 3.34). La ZCIT se ubica entre  $8$  a  $9^\circ\text{N}$  sobre el Pacífico; mientras que en continente se ubica alrededor de  $5^\circ\text{N}$ , ver Figura 2.7.

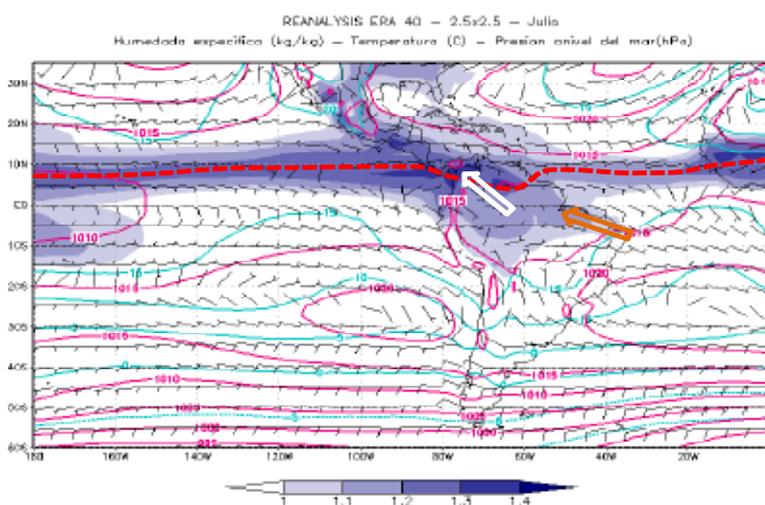


Figura 2.7. Vientos y humedad a 850 hPa, presión a nivel del mar y ZCIT (línea gruesa roja) - Julio.

En octubre la humedad que es transportada por los vientos del Este desde el Atlántico y de la Amazonia, ver Figura 2.8; es distribuida hacia el sur del país por los vientos de dirección norte; con lo que la ZCIT continental, se desplaza nuevamente hacia el sur reforzando la actividad convectiva en Sudamérica, de esta manera en Cusco

y Apurímac, se fortalece el periodo lluvioso que se inicia en setiembre y que es verificado en la distribución estacional de precipitaciones de primavera en base a la información local (ver anexo 1 Mapa 3.35).

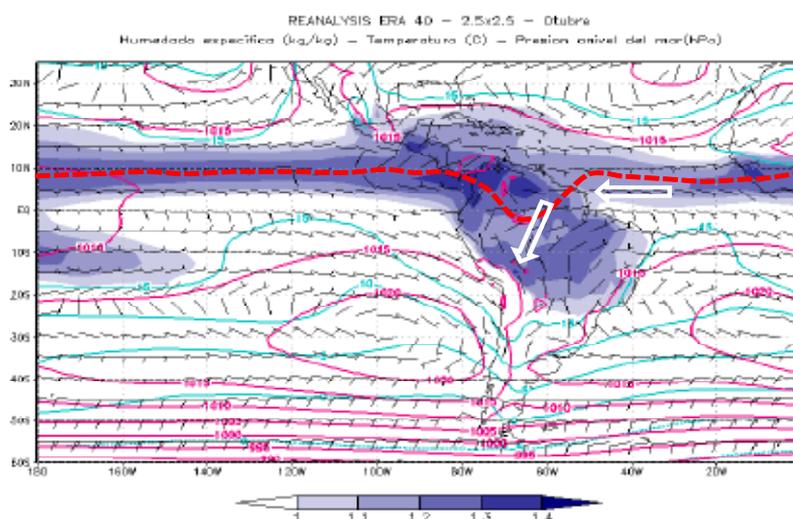


Figura 2.8. Vientos y humedad a 850 hPa, presión a nivel del mar y ZCIT (línea gruesa roja) - Octubre.

### 2.3.3. Condiciones Atmosféricas en Eventos Extremos (Fenómeno El Niño 1997-1998) a Nivel Regional

#### • Viento a 850 HPa (1.8 km) y anomalía de energía de la columna atmosférica (espesor 850-200 HPa)

En julio 1997, sobre el continente sudamericano, incursionan vientos del Atlántico; siendo más intensos en la parte norte. Al comparar la expansión atmosférica con la climática, se tiene que durante El Niño 1997-1998; la atmósfera presentó mayor expansión en la columna (anomalía positiva; atmósfera más cálida de lo normal); sobre el Océano Pacífico (especialmente frente a la costa de Perú) y al sur del océano Atlántico Sur, ver Figura 2.9; siendo normal sobre Cusco y Apurímac.

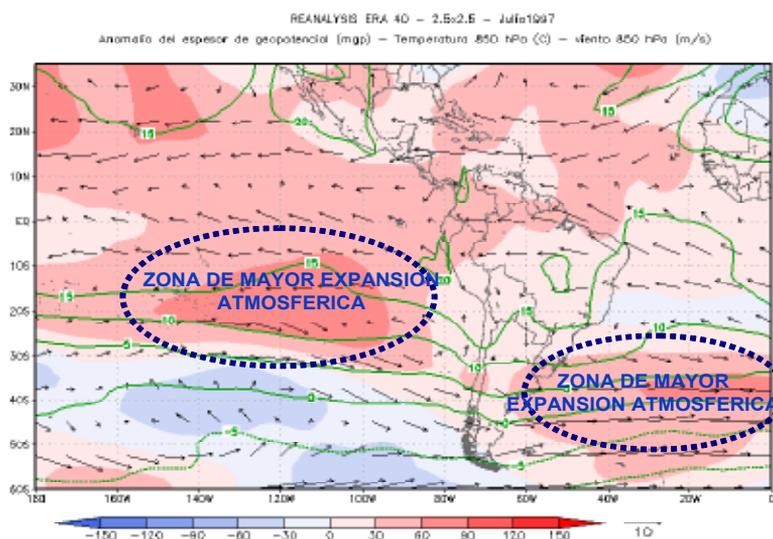


Figura 2.9. Anomalía de espesores (azul: expansión, rojo: compresión), temperatura del aire y vientos a 850 hPa - Julio 1997.

En octubre 1997 los vientos continúan siendo de mayor intensidad en la parte norte de continente sudamericano, pero con desviación hacia el sur sobre Perú, ver Figura 2.10. La expansión atmosférica se distribuye en mayor área; tanto en el Océano Pacífico, continente y Atlántico Sur, siendo indicador de una atmósfera más cálida de lo habitual. Asimismo este comportamiento es observado sobre Cusco y Apurímac, lo que incrementó las temperaturas extremas del aire y las precipitaciones, ver anexo 2 (Mapa 3.10, 3.25 y 3.40).

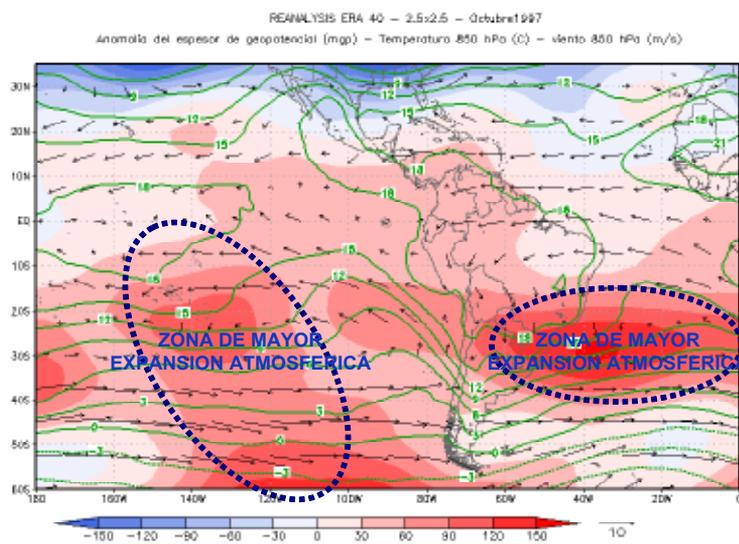


Figura 2.10. Anomalía de espesores (azul: expansión, rojo: compresión), temperatura del aire y vientos a 850 hPa - Octubre 1997.

En febrero 1998, los vientos de bajo nivel; presentaron un comportamiento normal en cuanto a su dirección. Respecto a la columna atmosférica el mayor calentamiento (energía) se ubica sobre el Océano Pacífico Oriental y litoral peruano, ver Figura 2.11. Sobre Cusco y Apurímac, también la columna atmosférica presenta mayor espesor de lo normal; lo que favoreció la ocurrencia de lluvias importantes en dicha zona, como puede verse en la distribución de precipitaciones de verano para el Niño 97/98 (Ver Mapa 3.37).

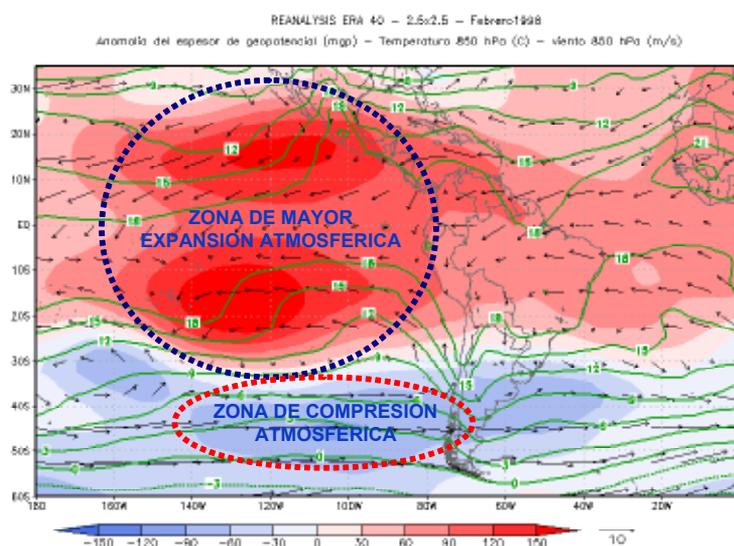


Figura 2.11. Anomalía de espesores (azul: expansión, rojo: compresión), temperatura del aire y vientos a 850 hPa - Febrero 1998.

En mayo 1998 los vientos al norte del continente fueron de dirección sur-sur este (SSE). La energía (espesor) en la columna atmosférica volvió a sus condiciones normales sobre Cusco y Apurímac, menor espesor respecto a lo normal es observado al sur del continente (enfriamiento) y mayor expansión (calentamiento) en el hemisferio norte.

En Cusco y Apurímac las condiciones anómalas de temperatura y precipitación tendieron a normalizarse (ver anexo 1, Mapas 3.8, 3.23, 3.38).

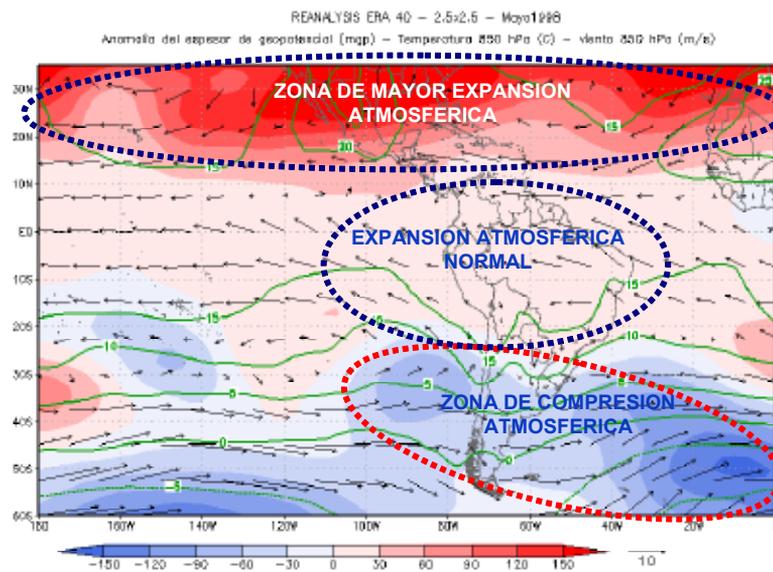


Figura 2.12. Anomalía de espesores (azul: expansión, rojo: compresión), temperatura del aire y vientos a 850 hPa - Mayo 1998.

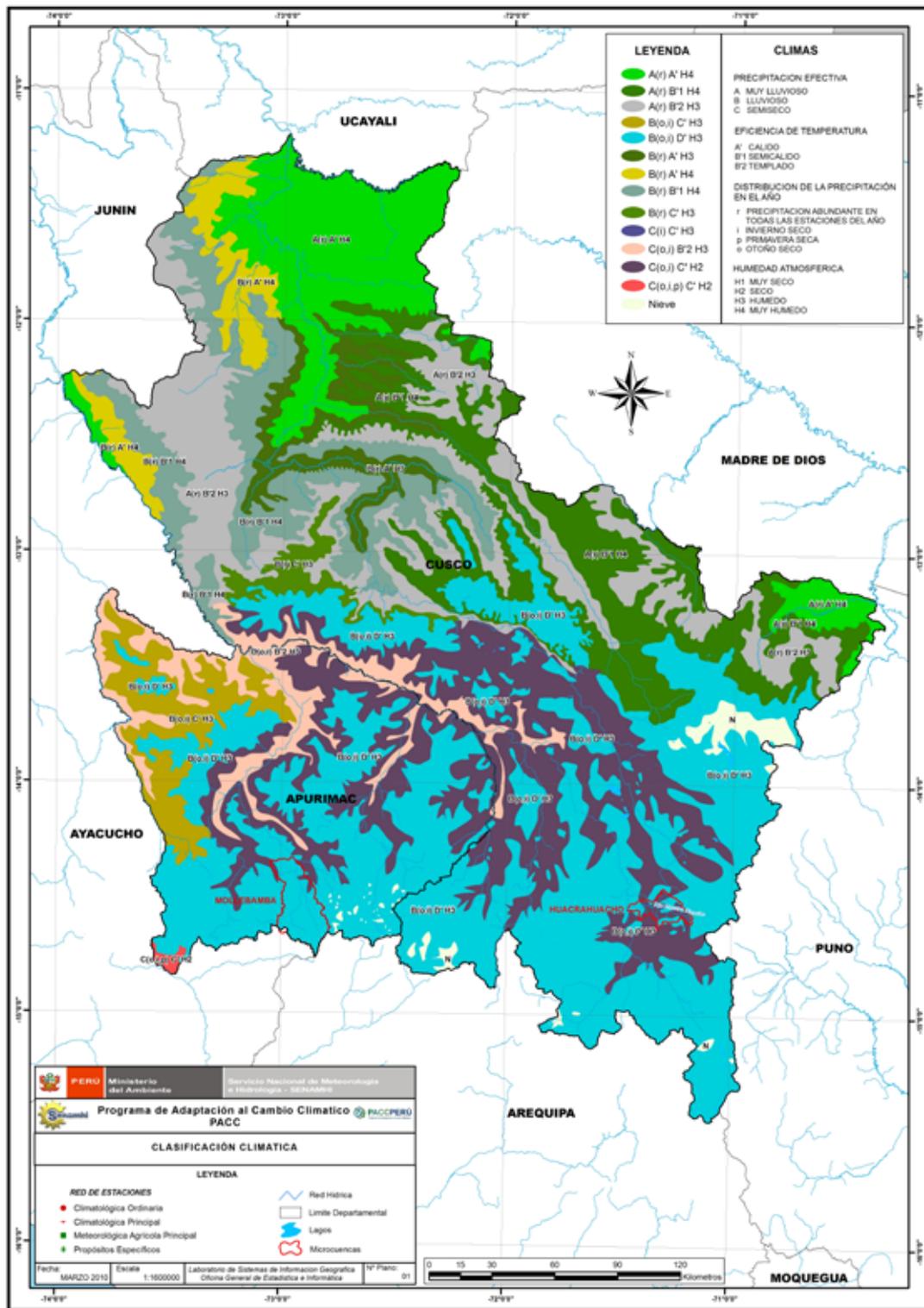
## 2.4. Clasificación Climática

La clasificación climática en las regiones de Cusco y Apurímac se basa en el Mapa de Clasificación Climática del Perú (SENAMHI, 1988), Mapa 2.2, el cual ha sido elaborado considerando factores que condicionan de modo preponderante el clima, como la latitud, la altitud, la Cordillera de los Andes, la Corriente Costera Peruana (de aguas frías), el Anticiclón del Pacífico Sur y la continentalidad. La información base de esta clasificación se sustenta en datos meteorológicos de veinte años (1965-1984), a partir de la cual se formularon los índices climáticos de acuerdo con el Sistema de Clasificación de Climas de Werren Thorntwaite.

En la región Cusco existen hasta nueve tipos de clima, predominando una amplia extensión de climas característicos de Selva, con clima cálido húmedo a muy húmedo (A'H3- A'H4) en gran parte de las estaciones del año, correspondiéndole este tipo del clima a localidades como Sepahua, Malvinas, Echarate y Machu Picchu. Además presenta una región que va de clima semifrío húmedo D'H3 a clima frío seco C'H2 en donde se asientan localidades de gran población como Anta, Cusco, Urcos y Sicuani, aquí las precipitaciones ocurren en verano y son fundamentalmente de tipo orográficas, es decir resultantes de la condensación del vapor de agua de la masa de aire proveniente de la Amazonia que al elevarse van descargando gran parte de esta humedad, especialmente en las vertientes orientales de la cadena de altas montañas y en los

valles interandinos. En la zona correspondiente a la microcuenca Huacrahuacho, se presenta un clima de lluvioso a semiseco, con otoños e inviernos secos, presencia de poca humedad y un régimen térmico de frío a semifrío.

En la región Apurímac existen hasta cinco tipos de climas. Las zonas de Andahuaylas, Abancay, valles formados por los ríos Pachachaca y Vilcabamba, presentan clima semiseco, templado con deficiencias de lluvias en otoño e invierno, con humedad relativa calificado como húmeda (C (o,i)B'2H3) seguido de un clima más frío y seco hacia mayor altitud sobre la zona central este de la región (C(o,i)C'H2). Sobre los 2,800 msnm al noroeste de la región se observa un clima desde lluvioso, frío con deficiencia de lluvias en otoño e invierno, húmedo (B (o,i)C'H3) variando hacia el sur a un clima lluvioso a semifrío con humedad relativa calificada como húmeda (B(o,i)D'H3), predominado este tipo de clima en el sector sur de la región Apurímac incluyendo la microcuenca Mollebamba. El extremo suroeste de la región se presenta una pequeña zona con clima similar pero con periodos secos más prolongados (C(o,i,p)C'H2).



Mapa 2.2: Clasificación Climática de las Regiones Cusco y Apurímac



## 3. EL CLIMA EN LAS REGIONES DE CUSCO Y APURÍMAC

### 3.1. Síntesis metodológica de la Caracterización Climática

#### 3.1.1. Base de Datos y metodología del control de calidad

Se utiliza datos meteorológicos de la red de estaciones de SENAMHI ubicadas en Cusco y Apurímac, 46 estaciones para precipitación, 24 estaciones para temperaturas máximas y 13 para temperaturas mínimas, a escala mensual del periodo de 1971 al 2000, ver Tabla 3.1a. Adicionalmente se ha tomado como información referencial y complementaria la proveniente de Agrorural Cusco, Dirección de Estadística e Información Agraria de Apurímac (Ministerio de Agricultura) y Empresa Minera Buenaventura, que datan información del periodo del 2005 - actualmente.

A los datos medidos con instrumental, como la precipitación y temperaturas del aire, se realiza el control de calidad primario y secundario. El control de calidad primario consistió en dos fases: control de calidad de datos con procesos automatizados y en forma manual. En la primera fase se aplica criterios meteorológicos y estadísticos generales de control de calidad en forma automatizada, de esta forma se marcan los datos con distintos indicadores de control de calidad y tomando como base la Clasificación climática de Thornwaite desarrollada por el SENAMHI, se sectoriza áreas climatológicamente homogéneas, con condiciones específicas de acuerdo a la geografía peruana y se obtienen umbrales por sectores regionales que fueron aplicados para cada variable. La segunda fase consistió en realizar la Homogeneidad de la serie, si se detecta saltos en las series, se realizan las pruebas estadísticas de homogeneidad considerando para cada prueba la comparación de dos grupos, para ello se realiza primero la prueba F- fisher de homogeneidad de varianzas y segundo la prueba t-student de homogeneidad de medias. Si a través de la prueba estadística t-student se concluye que existe homogeneidad, entonces la serie es consistente y por lo tanto el parámetro analizado es validado. En caso contrario, antes de desechar la información, se verificó si la inhomogeneidad obedece a un factor artificial o real.

El control de calidad secundario consistió en la verificación de datos dudosos en planillas manuales meteorológicas, luego se corrigen los datos de ser el caso con los siguientes métodos: Revisión manual de la planilla, corrección de unidades. La información faltante hasta en 15 % en la serie, es completada con métodos del promedio, vecino más cercano y vectores regionales (Brunet-Moret, 1979, Suarez, 2010). Esta segunda etapa de control de calidad es aplicada sustancialmente en los capítulos de 4, 5 y 6.

En la Guía de Prácticas Climatológicas, la OMM define el término “Normal” como el promedio computado a partir de un gran periodo, que comprende por lo menos tres décadas consecutivas. La definición correcta implica una serie continua de por lo menos treinta años consecutivos, sin datos perdidos. El periodo de treinta años en los que se basa el presente documento es el que va de 1971 al año 2000. Sin embargo, debido a las acciones terroristas ocurridas en la década de los ochentas, resulta difícil encontrar series completas por

lo que el término usado para estimar las normales climáticas será el de Promedio Multianual.

Tabla 3.1a. Estaciones meteorológicas usadas para la línea base 1971-2000

NOMBRE ESTACION	LONGITUD	LATITUD	ALTITUD	INFORMACION		
				PP	Tmax	Tmin
ABANCAY	72° 52' 14"	13°36'30"	2,750	x	x	x
ACOMAYO	71°41'1"	13°55'1"	3,160	x	x	
ANDAHUAYLAS	73°22'15"	13°39'25"	2,866	x		
ANDARAPA	73°22'1"	13°31'1"	3,215	x		
ANTA ANCACHURO	72°12'57"	13°28'6"	3,340	x	x	x
ANTABAMBA	72°53'1"	14°22'1"	3,639	x	x	x
CALCA	71°57'1"	13°20'1"	2,926	x	x	
CAY CAY	71°42'1"	13°36'1"	3,150	x		
CCATCCA	71°33'37"	13°36'36"	3,729	x		
CHALHUANCA II	73°10'0"	14°20'0"	2,850	x		
CHINCHEROS	73°43'1"	13°31'1"	2,772	x	x	x
CHITAPAMPA	71°58'29"	13°24'54"	3,600	x		
CIRIALO	73°11'1"	12°43'1"	900	x	x	
COLQUEPATA	71°40'24"	13°21'48"	3,729	x	x	
COMBAPATA	71°26'0"	14°6'0"	3,464	x	x	x
CURAHUASI	72°44'6"	13°33'9"	2,763	x	x	
CUSCO	71°56'37"	13°32'14"	3,399	x		
ECHARATE	72°40'1"	12°47'1"	667	x		
GRANJA KCAYRA	71°52'31"	13°33'25"	3,219	x	x	
HUACHIBAMBA	72°6'1"	13°3'1"	2,900	x		
HUANCABAMBA	73°2'11"	13°44'1"	1,666	x		
HUANCARAY	73°32'1"	13°45'1"	2,902	x		
HUYRO	72°27'1"	13°4'1"	1,700	x	x	
LIVITACA	71°41'1"	14°19'1"	3,741	x		
MACHU PICCHU	72°32'45"	13°10'1"	2,563	x	x	
MOLLEPATA	72°33'1"	13°31'1"	2,803	x	x	x
OCOBAMBA	72°26'1"	12°50'1"	1,900	x	x	x
PAMPACHIRI	73°33'1"	14°11'1"	3,364	x		
PAMPAS	73°49'41"	13°26'0"	2,032	x		
PARURO	71°50'41"	13°46'3"	3,084	x		
PAUCARTAMBO	71°35'26"	13°19'28"	3,042	x		
PECOPE	73°27'1"	14°4'1"	4,050	x		
PISAC	71°50'59"	13°24'58"	2,950	x	x	x
POMACANCHI	71°34'22"	14°1'41"	3,200		x	
QUILLABAMBA	72°41'31"	12°51'22"	990	x	x	x
QUINCEMIL	70°45'1"	13°13'1"	651	x	x	
ROCOTAL	71°34'15"	13°6'48"	2,010	x	x	x
SANTO TOMAS	72°5'19"	14°23'58"	3,253	x		
SICUANI	71°14'14"	14°15'13"	3,574	x	x	x
TAMBOBAMBA	72°10'1"	13°56'1"	3,275	x	x	x
TERESITA	73°48'1"	12°33'1"	650	x		
URCOS	71°38'1"	13°42'1"	3,149	x	x	
URIPA	73°41'1"	13°32'1"	3,280	x	x	x
URUBAMBA	72°7'26"	13°18'38"	2,863	x		
YAURI	71°25'1"	14°49'1"	3,927	x		
YUCAY	72°5'1"	13°18' 1"	2,940	x		
ZURITE	72°16'1"	13°28'1"	3,391	x		

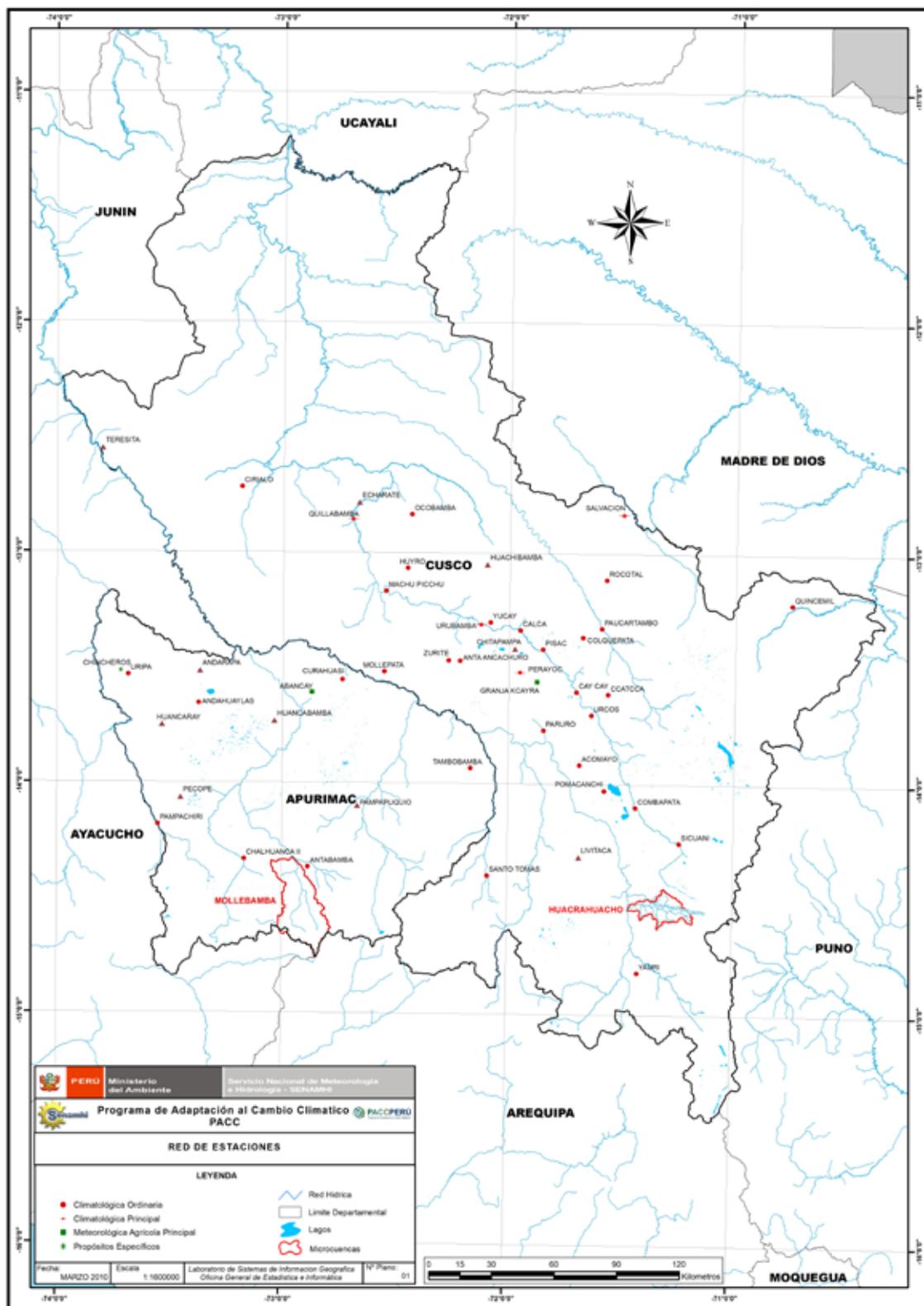
### 3.1.2. Estaciones meteorológicas para análisis de tendencias e indicadores

El cálculo y análisis de tendencias e indicadores climáticos exige el uso de información con los registros más largo y menor porcentaje de información perdida. En ese sentido el periodo de análisis fue el de 1965 al 2008. El Mapa 3.2b muestra las regiones estudiadas con la ubicación de las estaciones meteorológicas que cumplieron con los requisitos mencionados anteriormente. La sección de Heladas agrega al estudio estaciones meteorológicas en los Departamentos de Ayacucho, Arequipa y Puno a fin de contar con información referencial para ayudar en el trazado de isolíneas sobre las fronteras de la región; se mostrará en ese sentido un mapa con las estaciones adicionales en el capítulo correspondiente.

Tabla 3.1b. Estaciones meteorológicas para análisis de tendencias e indicadores

DEPARTAMENTOS	ESTACION METEOROLOGICA	UBICACION			INFORMACION	
		LATITUD	LONGITUD	ALTITUD	INICIO	FIN
<b>CUSCO</b>	Granja Kcayra	-13°33'24"	-71°52'14"	3219	1965	2008
	Ccattcca	-13°36'36"	-71°33'37"	3729	1965	2008
	Sicuani	-14°15'13"	-71°14'14"	3574	1965	2008
	Urubamba	-13°18'38"	-72°07'26"	2863	1965	2008
	Pisac	-13°24'58"	-71°50'59"	2950	1965	2008
	Cay Cay	-13°36'1"	-71°42'1"	3150	1965	2008
	Acomayo	-13°55'1"	-71°41'1"	3160	1965	2008
<b>APURIMAC</b>	Abancay	-13°36'30"	-72°52'14"	2750	1965	2008
	Curahuasi	-13°33'9"	-72°44'6"	2763	1965	2008
	Chalhuanca II *	-14°20'0"	-73°10'0"	2850	1965	2008
<b>AYACUCHO</b>	Puquio	-14°42-42-	-70°08-08-	3219	1965	2008
<b>AREQUIPA</b>	Caylloma	-15°11-01-	-71°46-01--	4420	1965	2008
	La Angostura	-15°10-47-	71°38-582	4150	1965	2008
	Imata	-15°50-12-	-71°05-16-	4519	1965	2008
<b>PUNO</b>	Chuquibambilla	-14°56-56-	-70°43-42-	3950	1965	2008
	Llally	-14°56-56-	-70°53-53-	4190	1965	2008

\* La estación Challhuanca II fue ajustada con datos de la estación Challhuanca (73°10'45"/14°23'34"/3,358 mcnm) para completar el periodo requerido.



Mapa 3.1: Distribución de la red de estaciones meteorológicas

### 3.1.3. Trimestres o periodos estacionales

En algunos de los estudios realizados, se ha optado por presentar la información generada en forma trimestral. Los meses para cada trimestres han sido escogidos para representar mejor las características de las estaciones del año: verano (diciembre, enero, febrero DEF), otoño (marzo, abril, mayo: MAM), invierno (junio, julio, agosto: JJA) y primavera (setiembre, octubre, noviembre: SON)

Estación	Meses	Sigla
Verano	Diciembre, enero, febrero	DEF
Otoño	Marzo, abril, mayo	MAM
Invierno	Junio, julio, agosto	JJA
Primavera	Setiembre, octubre, noviembre	SON

### 3.1.4. Mapas climáticos

Los mapas climáticos son representaciones espaciales y temporales del comportamiento y distribución promedio de una variable meteorológica en una determinada región, expresada en curvas de igual valor denominadas isoyetas para la precipitación e isotermas para la temperatura. En el proceso de obtención de estos mapas climáticos se llevan en consideración la dependencia de las variables con la altitud y la circulación general global y regional de la atmósfera.

El presente estudio sobre Caracterización Climática de las regiones de Cusco y Apurímac y microcuencas Huacrahuacho (Cusco) y Mollebamba (Apurímac) presenta el comportamiento y distribución promedio de la temperatura máxima y temperatura mínima tanto en el periodo anual como estacional (primavera, verano, otoño e invierno), comprendido entre 1971-2000 (línea de base climática). De manera similar para el caso de la precipitación se presenta el comportamiento y distribución del total anual y del total a nivel estacional, para el mismo periodo base.

En el caso del evento El Niño 1997-1998, el análisis anual corresponde a la media anual del periodo comprendido entre diciembre 1996 y noviembre 1998, y el estacional a la media de los correspondientes trimestres para el periodo indicado. Este periodo seleccionado guarda relación con la identificación en la región Niño 4<sup>1</sup> de una ligera anomalía positiva de la TSM desde diciembre del 1996, que se hizo sostenida y se generalizó en todo el Pacífico Central Ecuatorial pasando por los periodos de máximas anomalías a finales de 1997 llegando alcanzar + 4.13°C en la región Niño 1+2 y su progresiva disminución en octubre 1998 a +0.27°C.

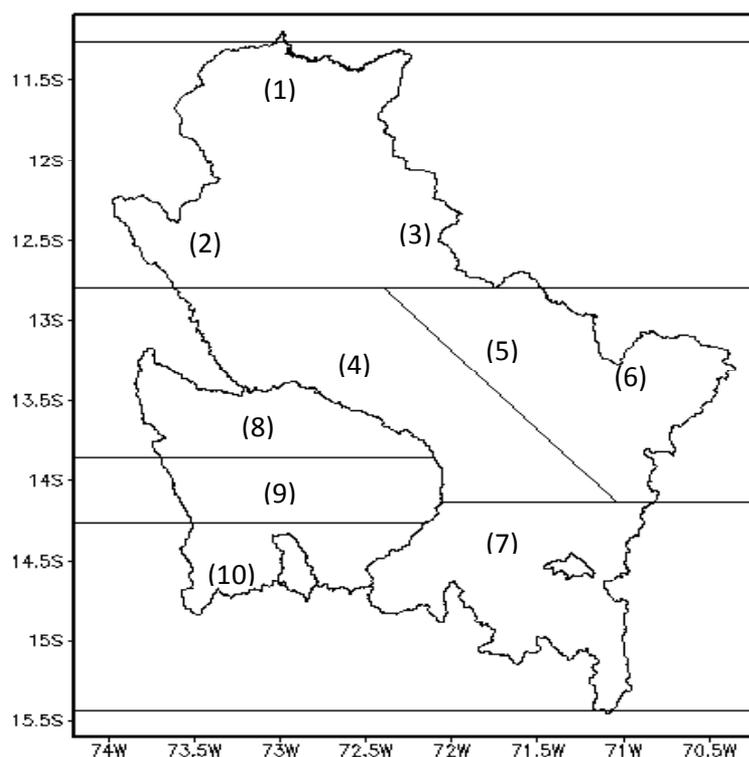
En el caso del evento La Niña 1999-2001, el análisis anual corresponde a la media anual del periodo diciembre 1999 - noviembre 2001, y el estacional a la media de los correspondiente trimestres para el periodo indicado. El periodo seleccionado considera la generalización del enfriamiento en el Pacífico central ecuatorial (Condiciones La Niña en la regiones 1+2, 3, 3.4 y 4) en noviembre de 1998. Siendo el periodo de máximas anomalías entre final de 1999 y comienzos del 2000, llegando alcanzar valores hasta de -1.86°C sobre su valor normal en la región del Niño 3.4<sup>2</sup> y que perduraron hasta inclusive finales del 2001 principalmente en la región Niño 1+2<sup>3</sup>.

Para un mejor análisis de los resultados en el área de estudio, las regiones Cusco y Apurímac se han dividido en

- 1 Región del Pacífico Niño 4 : 5°N-5°S, 160°E-150°W
- 2 Región del Pacífico Niño 3.4 : 5°N-5°S, 170°W-120°W
- 3 Región del Pacífico Niño 1+2 : 0°-10°S, 90°W-80°W

regiones climatológicamente homogéneas, es decir regiones cuyos climas están influenciados características topográficas similares.

La figura 3.1 presenta un mapa con la división de las regiones en estudio en zonas climatológicamente homogéneas: **Región Cusco**: (1) Selva Norte, (2) Sierra Nor Occidental, (3) Sierra Nor Oriental, (4) Sierra Central Occidental, (5) Sierra Central Oriental, (6) Selva Central, (7) Sierra Sur y en la **Región Apurímac**: (8) Sierra Norte (9) Sierra Central (10) Sierra Sur.



- Leyenda:
- (1) Selva norte
  - (2) Sierra nor occidental
  - (3) Sierra nororiental
  - (4) Sierra central occidental
  - (5) Sierra central oriental
  - (6) Selva central
  - (7) Sierra sur
  - (8) Sierra norte
  - (9) Sierra central
  - (10) Sierra sur

Figura 3.1. División de las regiones en estudio.

## 3.2. Distribución espacio/temporal de la temperatura y la precipitación

Esta sección describe el comportamiento medio climático de la temperatura máxima y mínima del aire y de la precipitación, a escala anual y estacional para el periodo 1971-2000, a fin de conocer el comportamiento medio de la región de estudio. Asimismo, con la finalidad de evaluar los impactos en el comportamiento climático de eventos El Niño y La Niña, se analiza el comportamiento de dichas variables durante El Niño 1997-1998 y La Niña 1999-2001.

### 3.2.1. Comportamiento anual y estacional de la temperatura máxima

#### • Anual

En la región Cusco, encontramos valores comprendidos entre 8 y 32°C, los valores más altos se ubican en la selva norte y selva central, la cual incluye selva alta y baja. Los valores más bajos entre 8 y 12°C se ubican en las zonas de las cordilleras Vilcabamba (zona occidental del sector sierra central), Vilcanota (zona suroriental de la sierra central) y Paucartambo (divide la sierra central de la selva central).

La selva norte y central presenta valores entre 20 y 32°C. En la sierra nororiental y nor-occidental las temperaturas oscilan entre 16 y 24°C; en la sierra central occidental los valores fluctúan entre 12 y 24°C; siendo las zonas de cordillera los lugares más fríos con valores entre 12 y 16°C mientras que los valles son más cálidos con valores entre 20 y 24°C. En la sierra central oriental los valores de temperatura máxima se encuentran entre 8 y 24°C, siendo la zona de la Cordillera Vilcanota la más fría con valores entre 8 y 12°C; en la zona de la Cordillera de Paucartambo los valores oscilan entre 16 y 24°C. En la sierra sur las temperaturas están entre 8 y 20°C, siendo las más bajas en el extremo sur de la región con valores entre 8 y 12°C.

En la región Apurímac las temperaturas fluctúan entre 8 y 32°C, los valores más altos están en la sierra norte y disminuyen hacia la sierra sur es decir hacia las zonas más altas de cordillera que colindan con Arequipa (Cordillera de Huanzo).

En la sierra norte los valores de temperatura máxima están comprendidos entre 12 y 28°C, la zona colindante con Ayacucho presenta valores entre 24 y 28°C. La zonas de valles interandinos siempre más cálidos con respecto a otros relieves, con temperaturas entre 20 y 24°C. En la sierra central y sur de Apurímac los valores de temperatura máxima empiezan a decrecer hacia las zonas más altas de relieve muy accidentado donde se encuentran las cordilleras. Las temperaturas en la sierra central están entre los 12 y 24° y en la sierra sur encontramos temperaturas más frías entre los 8 y 20°C, en donde las zonas más altas poseen valores entre 8 y 12°C.

En la microcuenca de Mollebamba encontramos valores entre 12 y 20°C, predominando valores más bajos entre 12 y 16°C en la parte alta de la microcuenca.

En la microcuenca de Huacrahuacho encontramos valores entre 12 y 20°C, predominando valores más bajos entre 12 y 16°C en la parte alta.

#### • Verano

En Cusco, sobre la selva norte y selva central, las temperaturas máximas oscilan entre 16 y 32°C, teniendo éstas una amplia distribución espacial. En la sierra nor-oriental y nor-occidental los valores se encuentran

entre 16 y 24°C. En la sierra central encontramos valores entre 8 y 24°C, las temperaturas más frías se ubican en las cordilleras Vilcanota y Vilcabamba con valores entre 8 y 12°C. En ambas zonas de la sierra los valles siempre son cálidos con temperaturas entre 20 y 24°C.

En Apurímac sobre la sierra norte las temperaturas máximas oscilan entre 12 y 24°C, los valles ubicados en la sierra norte y central poseen valores entre 20 y 24°C, hacia la sierra sur las temperaturas decrecen con valores entre 8 y 24°C y la sierra sur con rangos de 8 y 24°C, los valores más bajos se ubican en las zonas más altas con valores entre 8 y 12°C, es una zona de nevados y cordillera que colinda con Arequipa.

En la microcuenca de Mollebamba los valores de temperatura máxima varían entre 8 y 20 °C con valores menores en la parte alta de la microcuenca, que corresponde a la sierra sur de Apurímac, caracterizado por un relieve accidentado. Asimismo, en la microcuenca Huacrahuacho encontramos valores comprendidos entre 12 y 20 °C, mayores a los de Mollebamba debido probablemente a la presencia de importantes cuerpos de agua cercanos a la microcuenca, como la Laguna de Langui Layo, ubicada al este de la microcuenca, que están generando un efecto termorregulador.

En ambas regiones de Cusco y Apurímac distinguimos que en verano se presentan valores menores de temperatura máxima que coincide con el periodo lluvioso, en el cual hay mucha actividad convectiva y formaciones nubosas que hacen que las temperaturas máximas no alcancen valores altos.

#### • Otoño

En Cusco y Apurímac, las temperaturas máximas poseen la misma distribución general con respecto al verano, es decir temperaturas mayores a menor altitud y temperaturas menores a mayor altitud. La diferencia es que la selva norte de Cusco; las temperaturas máximas son más cálidas con valores mayores de 32°C, y el extremo sur de la cordillera oriental el rango fluctúa entre 8 a 16°C; es decir a medida que se alejan del periodo lluvioso las temperaturas comienzan a ampliar su rango. Tanto en Cusco como en Apurímac existe una mayor distribución de temperaturas cálidas, alrededor de 16-20°C, también podemos notar la disminución de la distribución de zonas con temperaturas máximas menores en las zonas altas de Apurímac y Cusco.

En las microcuencas Mollebamba y Huacrahuacho no hay un cambio en los rangos de temperaturas máximas con respecto a la estación anterior, pero sí es notorio una mayor distribución espacial de valores entre 16-20°C principalmente en la microcuenca de Huacrahuacho, que se distingue con respecto a verano por ser más cálida a nivel espacial.

#### • Invierno

En Cusco y Apurímac, notamos una extensión espacial del incremento en los valores de la temperatura máxima, observada anteriormente en otoño principalmente en la zona norte de Cusco, con valores mayores a 32°C y una disminución en la distribución espacial de la temperatura máxima para valores dentro del rango de 28-32°C; en tanto, que la selva central, presenta valores entre 24-32°C. En Apurímac no hay mucha variación en la distribución con respecto a la estación anterior de otoño. Sin embargo; apreciamos un ligero decrecimiento de la temperatura máxima en las zonas altas de Apurímac.

En la microcuenca Huacrahuacho disminuye la distribución de valores entre 16-20°C, es decir es más fría

con respecto a otoño. La microcuenca Mollebamba es más cálida con respecto a otoño, presentando una distribución mayor de valores dentro del rango de 16-20°C.

• **Primavera**

Durante esta estación, continua el incremento de la temperatura máxima. En la zona norte de Cusco existe una mayor distribución espacial de la temperatura máxima con valores mayores a 32°C, también observamos que existe un aumento en la distribución de la temperatura máxima para la zona central (selva) de Cusco para el rango de 28-32°C. Asimismo, en la sierra, se da un aumento en la distribución del rango de 16-20°C; tanto en Cusco como en Apurímac, y una disminución del rango entre 12-16°C, es decir es visible el aumento en general de los valores de la temperatura; en tanto se distingue una disminución notoria de la distribución de valores bajos de temperatura máxima para las zonas más altas de Cusco y Apurímac. También notamos un aumento en las temperaturas máximas en los valles interandinos de Apurímac y Cusco.

La microcuenca Mollebamba también muestra un calentamiento muy significativo en la parte media y baja de la cuenca con valores alrededor de 16-20°C. En la microcuenca Huacrahuacho se distingue un notable aumento de la temperatura máxima abarcando gran parte de la cuenca con temperaturas entre 16-20°C. Este aumento, climáticamente está asociado con el inicio del periodo lluvioso donde se da la presencia de un progresivo incremento de actividad convectiva y cobertura nubosa.

A continuación se presentan unas tablas resumen de los rangos para la distribución de la temperatura máxima sobre Cusco y Apurímac, Tablas 3.2 y 3.3. En Cusco, la región selva norte presenta los rangos más altos de temperatura máxima mientras que la sierra sur de ambas regiones los rangos más bajos. A nivel estacional, la primavera se presenta como la estación más cálida en ambas regiones lo que también es posible identificar a nivel de las microcuencas de Huacrahuacho y Mollebamba.

Tabla 3.2: Temperatura Máxima Estacional y Anual 1971-2000 en la Región Cusco

Región Cusco	Promedio Anual (°C)	Promedio Verano (°C)	Promedio Otoño (°C)	Promedio Invierno (°C)	Promedio Primavera (°C)	Localidades Principales
<b>Sierra Central</b>	8-24	8-24	8-24	8-24	8-28	<b>Machu Picchu, Anta, Calca, Pisac, Granja Kcayra</b>
<b>Sierra Sur</b>	8-20	8-24	8-24	8-24	12-24	<b>Acomayo, Combapata, Sicuani</b>
<b>Selva Norte</b>	20-32	16-32	16 - >32	16 - >32	16 - >32	<b>Ocobamba, Ciriaco, Quillabamba</b>
<b>Selva Central</b>	20-32	20-32	20-32	20-32	20-32	<b>Rocotal, Quincemil, Salvación, Pilcopata</b>
<b>Microcuenca Huacrahuacho</b>	12-20	12-20	12-20	12-20	12-20	<b>El Descanso</b>

Tabla 3.3: Temperatura Máxima Estacional y Anual 1971-2000 en la Región Apurímac

Región Apurímac	Promedio Anual (°C)	Promedio Verano (°C)	Promedio Otoño (°C)	Promedio Invierno (°C)	Promedio Primavera (°C)	Localidades Principales
<b>Sierra Norte</b>	12-28	12-28	12-28	12-28	12-32	<b>Abancay, Curahuasi, Uripa, Chincheros</b>
<b>Sierra Central</b>	12-24	12-28	12-28	12-24	12-28	<b>Tambobamba</b>
<b>Sierra Sur</b>	8-20	8-24	12-24	12-24	12-24	<b>Antabamba</b>
<b>Microcuenca Mollebamba</b>	8-20	8-20	12-20	12-24	12-24	<b>Mollebamba, Calcauso</b>

### 3.2.2. Temperatura Máxima Anual durante casos El Niño/La Niña

#### a. Temperatura Máxima Anual - Fenómeno El Niño 1997-1998

En Cusco la temperatura máxima anual para el evento Niño 1997-1998 en términos generales muestra un aumento de las temperaturas máximas con respecto al periodo normal multianual 1971-2000, las mayores temperaturas se observan en la zona norte y central oriental de la selva y disminuyen hacia la sierra central oriental, occidental y sur. En la selva norte, las temperaturas máximas alcanzan valores entre 24 y 32°C, en la selva central oriental los valores entre 24 y 32°C poseen una mayor distribución espacial. En la sierra central oriental los valores están entre 8 y 24°C, los valores entre 8 y 12°C se ubican en la Cordillera Vilcanota. En la sierra central occidental encontramos valores entre 12 y 24°C, también notamos un incremento de la temperatura, las distribuciones con valores entre 12 y 16°C disminuyen, específicamente en la Cordillera de Vilcabamba. En la sierra sur los valores se encuentran entre 12 y 20°C, notándose igualmente un aumento en la temperatura.

En Apurímac se observa un incremento de la temperatura máxima con respecto al periodo normal multianual 1971-2000, en la sierra norte y central las temperaturas máximas poseen valores entre de 12 y 24°C, con una mayor distribución espacial de valores entre 16 y 20°C. En la sierra sur los valores oscilan entre 12 y 20°C, notándose igualmente un aumento de la temperatura. Los valores entre 8 y 12°C en las zonas más altas de Apurímac desaparecen. Los valles tanto en Cusco como en Apurímac son cálidos con temperaturas entre 20 y 24°C.

En la microcuenca de Mollebamba encontramos valores de temperatura máxima entre 12 y 20°C, sin embargo a diferencia del patrón normal los rangos de 16 a 20°C cubre mayor, es decir la microcuenca fue más cálida correspondiendo con el incremento generalizado de la temperatura máxima en la columna vertical, ver figura 3.2. Similar comportamiento se observa en Huacrahuacho donde los valores entre 16 a 20°C, tienen mayor cobertura territorial que en las condiciones normales.

#### b. Temperatura Máxima Anual - Fenómeno La Niña 1999- 2001

En Cusco la distribución de la temperatura máxima anual para el evento La Niña 1999-2001 en forma general presenta un descenso de las temperaturas máximas con respecto a la distribución normal del periodo 1971-

2000, principalmente en la zona de la sierra central oriental en la Cordillera de Vilcanota, en la cual los valores entre 8 y 12°C tienen una mayor distribución espacial si lo comparamos con el mapa climático del periodo 1971-2000. En la sierra sur también se nota una mayor distribución de valores entre 8 y 12°.

En Apurímac, se aprecia una disminución de las temperaturas máximas con respecto al periodo normal 1971-2000, principalmente en la zona de la sierra sur en las zonas más altas y de cordillera muy cerca a Arequipa. En la microcuenca de Mollebamba encontramos valores de temperatura máxima anual entre 12 y 20°C, sin mayores cambios con respecto a su patrón normal anual, los rangos más altos 16 a 20°C cubren áreas bajas y los rangos menores de 12 a 16°C cubren las zonas más elevadas, sin embargo analizando estacionalmente observamos que durante el verano de La Niña 1999-2001 fue más cálido de lo normal y la primavera más fría. Mientras que en Huacrahuacho los impactos fueron mayores con la disminución de los valores de temperaturas máximas anuales en aproximadamente 3°C dado que los rangos de 12 y 16°C, cubrían gran parte del territorio y los rangos de 16 a 20 °C prácticamente desaparecieron, asociada a la mayor cobertura nubosa por la mayor incidencia de precipitaciones durante ese periodo.

### **c. Variación altitudinal de la Temperatura Máxima - Fenómeno El Niño 1997-1998.**

Una manera de evidenciar los cambios del patrón climático por la ocurrencia de eventos extremos como El Niño 1997-1998, es a través del análisis de la variación altitudinal de la temperatura máxima la cual se realiza en función de los valores observados en las diferentes estaciones analizadas en Cusco y Apurímac y con las que se construye una curva media para el trimestre DEF (1970-2000) y otra para El Niño 1997-1998 con respecto a su altura.

De acuerdo a la figura 3.2 se observa que la temperatura máxima climáticamente disminuye con la altura a razón de 0.4°C por cada 100 m; variando de 30.9°C a 22.3°C entre 100 y 2000 msnm, respectivamente; mientras que entre 2000 y 4400 msnm la temperatura desciende de 22.3 a 10.2°C respectivamente.

Respecto a la variación de la temperatura con la altura durante el Fenómeno El Niño 1997-1998; se observa que la curva tiene un desplazamiento hacia la derecha respecto a su comportamiento promedio; indicando calentamiento en toda la columna comprendida entre 160 y 4400 msnm., por lo que el evento El Niño afectó tanto las zonas de la selva y de la sierra alcanzando en ciertos niveles de altitud incrementos de hasta 2°C.

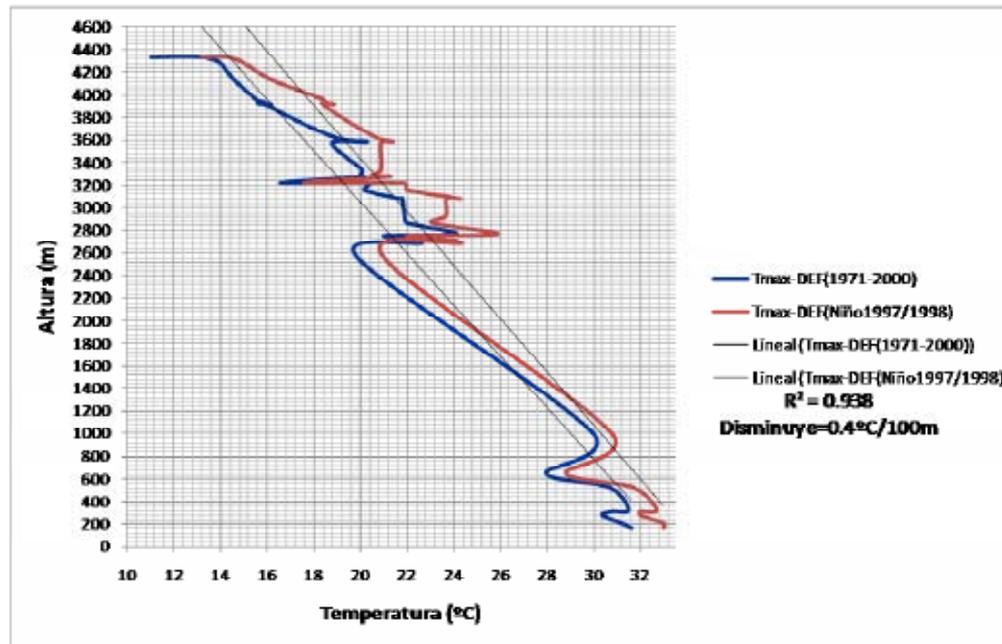


Figura 3.2: Variación de la temperatura máxima del aire multianual (1971-2000) y durante el Fenómeno El Niño 1997-1998 para el trimestre de verano (DEF).

Adicionalmente, durante el evento La Niña 1999-2001, en general presento un descenso de la temperatura máxima en la columna comprendida entre los 160 y 4400 msnm, sin embargo se apreciaron también incrementos de hasta 1.5°C de forma muy localizada en estaciones de selva ubicadas entre los 160 y 990 msnm y de forma similar en estaciones de sierra.

### 3.2.3. Comportamiento anual y estacional de la temperatura mínima

#### • Anual

En Cusco sobre la selva norte y selva central oriental, los valores de temperatura mínima son mayores y oscilan entre 12 y 24°C, teniendo una mayor distribución los valores entre 20 y 24°C en la selva norte. Los valles que atraviesan la selva norte son cálidos con valores entre 16 y 20°C. En la sierra central oriental, los valores de temperatura mínima oscilan entre -8 y 12°C, siendo los más bajos en la Cordillera Vilcanota con valores entre -8 y -4°C. En la sierra sur los valores fluctúan entre -8 y 4°C, en dicha zona en las partes más altas llegan a alcanzar valores entre -8 y -4°C. En la sierra central occidental los valores fluctúan entre -4 y 12°C.

En Apurímac, los valores de temperatura mínima oscilan entre -8 y 20°C. La sierra norte presenta valores entre -4 y 16°C, la sierra central posee valores entre -4 y 12°C y en la sierra sur los valores oscilan entre -8 y 12°C, en la zona de cordillera se encuentran valores entre -8 y -4°C; que son los más bajos de la región. Los valles que atraviesan la región presentan valores entre 12 y 16°C.

En la microcuenca de Huacrahuacho los valores oscilan entre -4 y 4°C con valores más bajos en la parte alta de la microcuenca. La microcuenca de Mollebamba presenta valores entre -8 y 4°C siendo las temperaturas más bajas en la parte alta de la microcuenca.

#### • Verano

En Cusco la temperatura mínima posee valores entre -4 y 24°C, en la selva norte y central oriental se encuentran

los valores más altos entre 12 y 24°C y los valores más bajos entre -4 y 0°C en las zonas de cordillera. En la selva norte existe una mayor distribución espacial de los valores entre 12 y 24°. En la sierra central oriental los valores oscilan entre -4 y 12°C. En la sierra central occidental los valores también se encuentran entre -4 y 12°C pero con núcleos muy pequeños con valores entre -4 y 0°C en la cordillera de Vilcabamba. La sierra sur posee valores entre -4 y 8°, con valores entre -4 y 0°C en el extremo sur.

En Apurímac sobre la sierra norte los valores están entre 0 y 16°C, los valles son más cálidos en la zona de la selva colindante con Ayacucho, donde encontramos temperaturas entre 16 y 20°C. En los valles que atraviesan Apurímac a medida que disminuye la altitud aumentan las temperaturas. En la sierra central occidental las temperaturas están entre -4 y 16°C, en ésta zona los valles son menos cálidos. En la sierra sur los valores de temperatura están entre -4 y 12°C, es la zona más fría de Apurímac en la que se encuentran las zonas de cordillera.

En la microcuenca de Mollebamba las temperaturas están entre -4 y 4°C, se nota un aumento con respecto al promedio multianual. En la microcuenca de Huacrahuacho las temperaturas aumentan en toda el área con rangos entre 0 y 4°C.

#### • Otoño

Las temperaturas más altas en Cusco se ubican en la selva norte y selva central oriental con valores entre 12 y 24°C, en parte de la selva central oriental disminuye la distribución espacial con valores entre 20 y 24°C. En general se nota una disminución de los rangos más bajos de temperaturas mínimas en Cusco, con rangos de -8 a 12 en la sierra central y sur, siendo más predominantes los rangos mínimos de -8 a 0°C en la sierra sur. Los valles que atraviesan Cusco son cálidos y poseen valores entre 16 y 20°C en la selva norte, a medida que aumenta la altitud las temperaturas decrecen en los valles.

En Apurímac, la sierra norte, central y sur también notamos un enfriamiento pues existe una mayor distribución espacial de valores entre 0 y 4°C y una mayor distribución con valores entre -4 y 0°C. Los valles interandinos que atraviesan Apurímac en la sierra norte están entre los 16 y 20°C, mientras que en la sierra central poseen valores entre 12 y 16°C.

En la microcuenca de Mollebamba las temperaturas están entre los -4 y 4°C, notamos un enfriamiento en la parte alta. En la cuenca de Huacrahuacho las temperaturas fluctúan entre -4 y 4°C también se produce un enfriamiento en la parte alta de la microcuenca.

#### • Invierno

En Cusco los valores fluctúan entre -12 y 24°C, es muy notorio la disminución de la temperatura mínima, que alcanza valores entre -8 y -4°C en las partes altas de Cusco en la sierra central oriental y occidental, siendo más bajas en la sierra central sur-oriental y sierra sur alcanzando valores entre -12 y -8 °C en las zonas de cordillera. Los valles son menos cálido respecto al otoño con valores de temperaturas entre 0 y 8°C en la sierra central occidental y entre 4 y 12°C en la sierra central oriental.

En Apurímac, se observa la disminución de la temperatura mínima, en la sierra norte las temperaturas están entre -4 y 20°C y en la sierra sur de -8 a 12°C, siendo mayor la distribución de los valores entre -4 y 0°C en la sierra norte, central y sur. En sierra sur los valores entre -8 y -4°C poseen una amplia distribución.

En la microcuenca de Mollebamba las temperaturas decrecen notoriamente con respecto a otoño y poseen valores entre -8 y 4°C, en la parte alta los valores están entre -8 y -4°C. En la microcuenca de Huacrahuacho las temperaturas también disminuyen y poseen valores entre -8 y 0°C, en la parte alta alcanza valores entre -8 y -4°C.

Esta disminución de la temperatura mínima es propia de la estación de invierno, en la cual ésta alcanza valores mínimos debido a la baja humedad y escasa nubosidad lo que permite la liberación de energía térmica durante el periodo nocturno al espacio y por consiguiente un mayor enfriamiento, ocasionado en algunos casos temperaturas hasta por debajo de los 0°C, eventos denominados heladas meteorológicas. Es necesario resaltar que ésta época es caracterizada por la incursión de friajes (sistemas provenientes de la región polar) que ingresan por la zona de la selva.

#### • Primavera

En Cusco notamos en forma general un incremento en los valores promedios de la temperatura mínima. Las temperaturas oscilan entre -8 y 24°C, las mayores temperaturas se ubican en la selva norte y selva central oriental con valores entre 12 y 24°C. En la sierra central oriental y occidental los valores fluctúan entre -4 y 16°C, mientras que en la sierra sur las temperaturas son más bajas con valores entre -8 y 4°C. Existe una mayor distribución de temperaturas entre 0 y 4°C los valores comprendidos entre -12 y -8 desaparecen tanto en la sierra central oriental como en la sierra sur. Los valles son más cálidos con respecto al trimestre anterior, en la sierra central oriental posee valores entre 8 y 12°C mientras que en la sierra central occidental los valores están entre 4 y 8°C.

En Apurímac es notorio un incremento en las temperaturas mínimas que posee valores entre -4 y 20°C, la sierra norte posee temperaturas más altas con valores entre 16 y 20°C en la parte más baja de los valles. En la sierra central los valores se encuentran entre -4 y 16°C, con una mayor distribución con valores entre 0 y 4°C, en la sierra sur los valores se encuentran entre -4 y 8°C. Los valles son menos cálidos a mayor altitud.

En la microcuenca de Mollebamba las temperaturas aumentan y poseen valores entre -8 y 4°C. En la microcuenca de Huacrahuacho las temperaturas también se encuentran entre -4 y 4°C. En la parte alta de ambas microcuencas las temperaturas son menores

En resumen, rangos para la distribución de la temperatura mínima sobre Cusco y Apurímac con presentados en las Tablas 3.4 y 3.5. En general, la región sierra sur de Cusco presenta los valores más bajos de temperatura mínima con respecto a Apurímac. De acuerdo al análisis estacional, invierno viene a ser la estación más fría del año en ambas regiones incluyendo las microcuencas. Los valores más altos de temperatura mínima se ubican sobre la región de selva central con valores máximos de hasta 20 a 24°C.

Tabla 3.4: Temperatura Mínima Estacional y Anual 1971-2000 en la Región Cusco

Región Cusco	Promedio Anual (°C)	Promedio Verano (°C)	Promedio Otoño (°C)	Promedio Invierno (°C)	Promedio Primavera (°C)	Localidades Principales
Sierra Central	-8 – 12	-4 - 12	-8 -12	-12 - 8	-4 - 12	Anta, Pisac, Mollepata, Perayoc
Sierra Sur	-8 – 8	-4 - 12	-8 - 12	-12 - 0	-8 - 12	Combapata, Sicuani
Selva Norte	8 – 24	8 - 24	8 - 24	8 - 24	8 - 24	Ocobamba, Quillabamba
Selva Central	12 – 24	12 - 24	8 - 24	12 - 20	8 - 24	Rocotal, Pilcopata
Microcuenca Huacrahuacho	-4 – 4	0 - 4	-4 - 0	-8 - -4	-4 - 4	El Descanso

Tabla 3.5: Temperatura Mínima Estacional y Anual 1971-2000 en la Región Apurímac

Región Apurímac	Promedio Anual (°C)	Promedio Verano (°C)	Promedio Otoño (°C)	Promedio Invierno (°C)	Promedio Primavera (°C)	Localidades Principales
Sierra Norte	-4 – 20	0-20	0-20	-4 - 20	-4 - 20	Abancay, Chincheros, Uripa
Sierra Central	-4 – 20	0-20	-4 - 20	-8 - 12	-4 - 12	Tambobamba
Sierra Sur	-8 -12	-4 -12	-4 -12	-8 - 12	-4 - 12	Antabamba
Microcuenca Mollebamba	-8 - 4	-4 - 8	-4 - 4	-8 - 0	-8 – 4	Calcauso , Mollebamba

### 3.2.4. Temperatura mínima anual durante casos El Niño/La Niña

#### a. Temperatura Mínima Anual - Fenómeno El Niño 1997-1998

En Cusco El Niño 1997-1998 muestra en general un aumento de las temperaturas mínimas multianuales con respecto al promedio multianual del periodo 1971-2000. Las temperaturas mayores se ubican en la selva norte y central oriental con valores entre 12 y 24°C. En la sierra central oriental los valores oscilan entre -8 y 12°C, los núcleos con valores entre -8 y -4°C disminuyen. Los valores entre 4 y 12°C poseen una mayor distribución y en la sierra nor-occidental los valores entre 0 y 4°C tienen una menor distribución espacial.

En Apurímac el aumento de temperaturas también es notable con respecto al promedio multianual del periodo 1971-2000, tanto en la sierra norte, central y sur. En la sierra norte los valores entre 0 y 4°C poseen una mayor distribución espacial. Los valles interandinos alcanzan valores entre 16 y 20°, a medida que aumenta la altitud las temperaturas disminuyen. En la sierra central la distribución espacial de valores comprendidos entre -4 y 0°C disminuye al igual que en la sierra sur (ver anexo).

En la microcuenca de Mollebamba encontramos valores de temperatura mínima entre -4 y 4°C, con valores menores en la parte alta. En la microcuenca de Huacrahuacho encontramos valores entre -4 y 4°C, con valores menores en la parte alta de la microcuenca; en ambas microcuencas se nota un ligero incremento de las temperaturas.

#### **b. Temperatura Mínima Anual - Fenómeno La Niña 1999- 2001**

En Cusco La Niña 1999-2001 en general muestra una disminución de las temperaturas mínimas con respecto al promedio multianual del periodo 1971-2000. Las temperaturas más altas se encuentran ubicadas en la selva norte y selva central oriental con valores entre 12 y 24°C. En la sierra central oriental posee valores de temperatura entre -8 y 12°C. Los valores más bajos se ubican en las cordilleras con valores entre -8 y -4°C, con una amplia distribución espacial mayor en la Cordillera Vilcanota. En la sierra central occidental los valores entre 4 y 12°C también poseen una mayor distribución espacial. En la sierra sur los valores entre -4 y 0°C poseen una mayor distribución espacial, los núcleos entre -8 y 4°C son mayores con respecto al promedio multianual del periodo 1971-2000.

En Apurímac se observa un ligero aumento de las temperaturas mínimas en la sierra norte con respecto al promedio multianual del periodo 1971-2000; en la sierra central notamos una ligera disminución de las temperaturas comprendidas entre -4 y 0°C. En la sierra sur es más notoria la disminución de las temperaturas, valores entre -4 y 0°C poseen una mayor distribución espacial y los núcleos entre -8 y -4 poseen una mayor distribución espacial.

En las microcuencas de Mollebamba y Huacrahuacho encontramos valores entre -4 y 4°C, notamos un ligero enfriamiento de las microcuencas cuyos valores menores entre -4 y 0°C se ubican en la parte alta de ambas microcuencas.

#### **c. Variación altitudinal de la Temperatura Mínima - Fenómeno El Niño 1997-1998**

De la misma manera que el análisis en la temperatura máxima se evaluó la variación altitudinal de la temperatura mínima la cual se realiza en función de los valores observados en las diferentes estaciones analizadas en Cusco y Apurímac y con las que se construye una curva media para el trimestre DEF (1971-2000) y otra para La Niña 1999-2001, con respecto a la altura.

Según la figura 3.3, la temperatura mínima disminuye con la altura a razón de 0.5°C por cada 100 m; variando de 14 a 22.3°C entre 100 y 2000 msnm, respectivamente. Mientras que entre 2000 y 4400 msnm la temperatura desciende de 22 a 0.2°C respectivamente.

Asimismo, se observa que la variación de la temperatura mínima del aire con la altura durante el Fenómeno el Niño 1997-1998; tuvo un desplazamiento hacia la derecha respecto a su climatología; indicando un incremento de la temperatura desde la superficie (160 msnm) hasta las zonas más elevadas inclusive de cordillera, alcanzando diferencias de hasta 3°C.

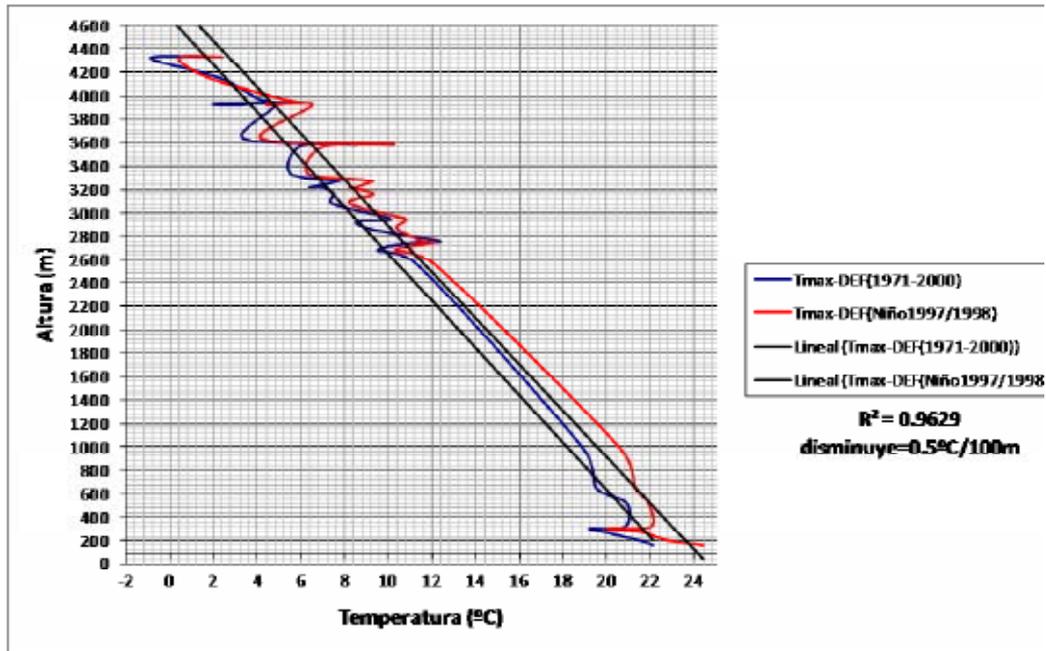


Figura 3.3: Variación multianual de la temperatura mínima del aire (1971-2000) y durante el fenómeno El Niño 1997-1998 para el trimestre de verano (DEF)

En el caso de La Niña 1999-2001, los efectos sobre la selva se reflejaron durante el invierno y la primavera de 1999 con anomalías negativas hasta de  $-1.5^{\circ}\text{C}$ , del mismo modo en la sierra hasta los 4000 msnm se tuvieron anomalías de hasta  $-2.5^{\circ}\text{C}$ , en tanto que por encima de los 4000 msnm las anomalías fueron positivas.

### 3.2.5. Variación del espesor de la columna atmosférica entre 10000 y 3000 msnm.

De acuerdo a la figura 3.4; se observa mayor espesor en lado oriental, sobre la selva y sierra; lo que explica los mayores valores de temperatura en la vertiente oriental de la cordillera de los Andes que en el lado occidental de dicha cordillera. Además, durante los eventos El Niño; en ambos espesores la atmósfera se calienta más; dilatando los espesores para los años 1972-1973, 1982-1983, 1997-1998 y 2009-2010.

De la figura 3.5; la diferencia de espesores entre el lado oriental y occidental de la cordillera de los Andes es positiva; es decir que la columna atmosférica del lado oriental es más cálida que la occidental; lo que favorece la elevación de la temperatura y los mecanismos para la generación de las precipitaciones, con un mayor ascenso de la masa húmeda a mayor altura.

GRAF 03.VARIACION MULTIANUAL DEL ESPESOR (3000-10 000 m) SOBRE EL PACIFICO Y LADO ORIENTAL PARA EL TRIMESTRE DIC-FEB

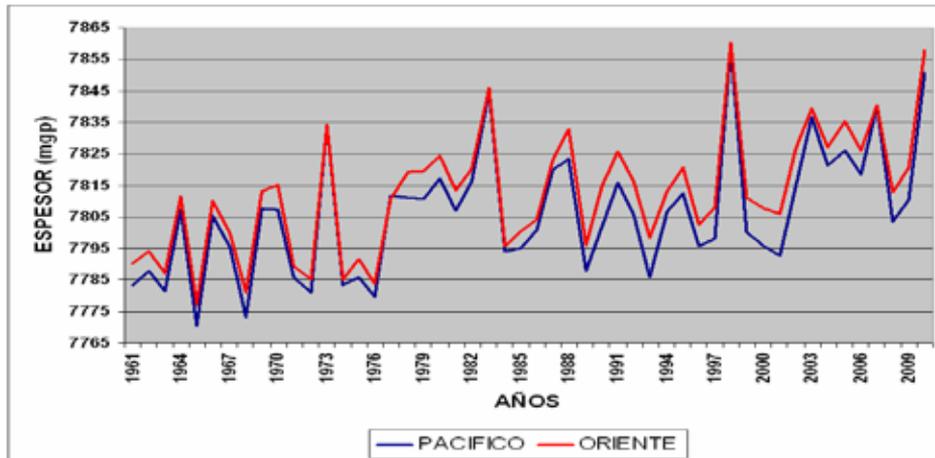


Figura 3.4: Variación Multianual del espesor (3000- 10000 m) sobre el Pacífico y lado oriental de la cordillera

GRAF 04.VARIACION MULTIANUAL DE LA DIFERENCIA DE ESPESOR DEL ORIENTE CON EL PACIFICO PARA EL TRIMESTRE DIC-FEB

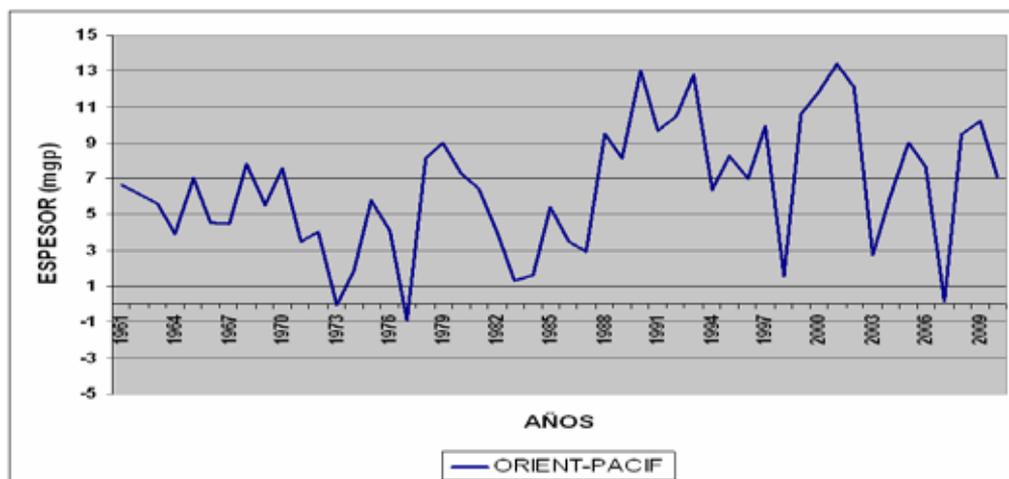


Figura 3.5: Variación Multianual de la diferencia de espesor (3000- 10000 m) sobre el Pacífico y lado oriental de la cordillera para Verano

### 3.2.6. Comportamiento anual y estacional de la precipitación

- **Total Anual**

La región Cusco se caracteriza por presentar zona de sierra y selva, con topografía compleja y suave; respectivamente, lo cual tiene influencia en la distribución espacial de las lluvias. La sierra se encuentra en el sector central y sur de Cusco y la zona de selva en el sector norte, central y sur este (ver figura 3.1, Anexo 1: Mapa 3.31).

En el periodo multianual, en la sierra sur, la precipitación media es del orden de 500 a 1500 mm, siendo menores a mayor altitud. Sobre la sierra central las precipitaciones son menores con valores entre 200 y 1500 mm debido al menor transporte de humedad, formándose núcleos de bajas precipitaciones principalmente en Cay Cay; SENAMHI, (2007).

En tanto, en la selva norte, sobre la selva baja de la región Cusco, las precipitaciones fluctúan entre 2000-3000 mm; mientras que en la selva alta entre 1000 a 2000 mm (Quillabamba y Machu Picchu). Sobre la selva central de Cusco, en lo que respecta a la selva alta, las precipitaciones climatológicamente presentan valores comprendidos entre 1500 y 5000 mm; este comportamiento medio está asociado al flujo de vientos del nor-este, cálidos y húmedos provenientes de la selva y que ascienden por la cordillera por convección forzada y originan lluvias orográficas, Gómez, D. (1978), Avalos G. (2005) y SENAMHI (2007); mientras que en la selva baja fluctúan entre 1500 y a valores mayores a 5000 mm.

De otro lado, a lo largo de los valles que forman los ríos Urubamba y Vilcanota las precipitaciones presentan valores medios entre 200 y 1000 mm y los valles que forman los ríos Apurímac, Velille y Santo Tomás las precipitaciones son del orden de 700 y 1500 mm (ver Anexo 1: Mapa 3.31).

La región Apurímac se caracteriza por presentar gran parte de su territorio zona de sierra con topografía abrupta la cual tiene influencia en la distribución de las lluvias de esa región.

En el sector oeste de la Región Apurímac, las precipitaciones presentan los máximos valores de lluvias entre 700 y 1500 mm, en sector central desde la sierra norte hacia la sierra sur a lo largo del río Pachachaca, se presentan en el orden de 200-700 mm. Bajas precipitaciones se registran en la confluencia de los ríos Pampas, Pachachaca y Apurímac con valores entre 200-500 mm. En tanto, hacia el sector este de la región, entre los valles de los ríos Vilcabamba y Santo Tomás las precipitaciones presentan acumulados entre 700-1000 mm (ver figura 3.1, Anexo 1: Mapa 3.31).

En las microcuencas de Mollebamba y Huacrahuacho las precipitaciones oscilan entre 500 y 1000 mm.

#### • Verano

Durante el verano la región Cusco (sector central y sur) las lluvias muestran un comportamiento marcado, registrándose los mayores valores acumulados en verano, donde la sierra central este de Cusco presenta valores entre 500 y 1000 mm de precipitación. La sierra central oeste entre 200 y 1000 mm. En tanto; los máximos valores acumulados se observan en la selva, sector norte parte baja entre 1000 y 1500 mm, parte alta entre 500 y 1000 mm (Quillabamba y Machu Picchu), mientras que en la selva central oriental fluctúan entre 1000-3000 mm.

En el sector oeste de Apurímac se observan las máximas precipitaciones entre 500 y 700 mm, en el sector central (margen derecha e izquierda del río Pachachaca) presentan valores entre 200 y 500 mm con un núcleo mínimo de lluvias entre 100 y 200 mm en Andarapa. Mientras que hacia el sector este de la región, a lo largo del río Vilcabamba (en ambos márgenes) las precipitaciones son mayores entre 500-1000 mm, a excepción del extremo sur este que presenta valores entre 500-700 mm.

En la microcuenca de Mollebamba los valores se encuentran entre 200 y 500 mm y en la microcuenca de Huacrahuacho las precipitaciones oscilan entre 200-700 mm. En esta estación se dan los mayores acumulados de precipitación estacional.

#### • Otoño

En otoño las lluvias sobre Cusco tienden a descender e indican la finalización del período lluvioso. En la sierra central oriental los acumulados de precipitaciones están entre 50 y 500 mm, es decir disminuyen a medida que aumenta la altitud, encontrándose núcleos entre 50 y 100 mm en Cay Cay. En la sierra central occidental de la región Cusco las precipitaciones fluctúan entre 50 y 700 mm. La sierra sur presenta valores de precipitación entre 100 y 500 mm. Los valles de los ríos Velille y Apurímac presentan valores entre 200 y 500 mm, el valle que forma el río Santo Tomás las precipitaciones se presentan en el orden de 100 a 200 mm. En general, a lo largo de los ríos Vilcanota y Urubamba las precipitaciones aumentan a medida que disminuye la altitud. En la selva norte y selva central oriental las precipitaciones se distribuyen entre 500-1500 mm, siendo mayores hacia el sector más oriental entre 700 y 1500 mm.

En el sector oeste de la región Apurímac las lluvias se presentan entre 200 y 500 mm, en el sector central de la región Apurímac las precipitaciones son del orden de 100 a 500 mm, principalmente a lo largo del río Pachachaca. En tanto, en Andarapa (extremo norte del sector central) se forma un núcleo de bajas precipitaciones entre 50 y 100 mm. En el sector este de la región, los valores fluctúan entre 100 a 500 mm, principalmente en ambas márgenes del río Vilcabamba.

En la microcuenca de Mollebamba los valores de precipitación llegan a los 200 y 500 mm distribuidos en toda el área de la microcuenca. En Huacrahuacho los rangos de precipitación fluctúan entre 100-500 mm, con valores entre 100-200 mm en la parte alta y media de la microcuenca.

En general, con respecto a la estación anterior las precipitaciones disminuyen coincidiendo con el término de la temporada de lluvias.

#### • Invierno

En invierno las lluvias en general se presentan escasas en la región andina de Cusco. En la sierra central occidental las precipitaciones presentan valores entre 0 y 200 mm. En la sierra central oriental las precipitaciones son bajas con valores de 100 a 500 mm, a mayor altitud las precipitaciones disminuyen. En la sierra sur de Cusco, los rangos de precipitación se encuentran entre 0 y 50 mm. Así como también, en los valles de los ríos Urubamba, Vilcanota, Apurímac, Velille y Santo Tomás. En tanto, en la Selva norte de la región Cusco, las lluvias son permanentes en todas las estaciones del año, registrándose en invierno un marcado descenso respecto a las estaciones anteriores, en la selva baja se presentan en el orden de 200 a 500 mm, en la selva alta (Machu Picchu) los rangos están entre 100 y 200 mm. En tanto, en la selva central oriental los rangos de precipitación se encuentran entre 500 y 1500 mm.

En gran parte de la región Apurímac, las precipitaciones son bajas con rangos entre 0 y 50 mm; a excepción del sector oeste en el límite con Ayacucho los valores de precipitación están entre 50-100 mm.

En la microcuenca de Mollebamba y en Huacrahuacho las precipitaciones fluctúan entre 0-50 mm.

En general, en invierno, se presentan las precipitaciones más bajas de todo el periodo estacional.

• **Primavera**

En la sierra central occidental de la región Cusco, las precipitaciones se presentan entre 100 y 200 mm; mientras en la sierra central oriental se presentan entre 200 y 700 mm, debido al ascenso y enfriamiento de aire cálido-húmedo que origina lluvias a medida que asciende por la cordillera. En la sierra sur los rangos de precipitación están entre 50 y 200 mm, se ubica un núcleo con valores entre 50 y 100 mm en Yauri. En tanto, los valles del Urubamba, Vilcanota, Apurímac y Santo Tomás las precipitaciones poseen valores entre 100 y 200 mm. En la selva norte parte baja, las precipitaciones están entre 500 y 1000 mm; mientras que en selva alta (Quillabamba y Machu Picchu) son menores, con valores entre 200 y 500 mm. En la selva central oriental los valores fluctúan entre 700 y 2000 mm.

En el sector oeste de la región Apurímac las precipitaciones fluctúan entre 0 y 500 mm, con núcleos de extrema precipitación entre 200 y 500 mm en la parte central y escasa precipitación en el extremo sur de 0 a 50 mm. En el sector central las precipitaciones fluctúan entre 0 y 200 mm, un núcleo de bajas precipitaciones es observado en la intersección de los ríos Pampas, Apurímac y Pachachaca; con valores del orden de 0 a 100 mm. En el sector este de la región, las precipitaciones varían entre 100 y 200 mm.

En la microcuenca de Mollebamba los valores de precipitación llegan a totalizar entre 100 y 200 mm. En Huacrahuacho, los valores oscilan entre 50 y 200 mm, siendo menores las precipitaciones en la parte alta de la microcuenca.

En general, las precipitaciones durante la primavera comienzan a aumentar respecto a invierno; dándose el inicio del periodo lluvioso especialmente en la sierra de ambas regiones.

A continuación se presenta unas tablas resumen para el comportamiento anual y estacional de la precipitación, Tablas 3.6 y 3.7. En general, rangos máximos de precipitación se encuentran en la región selva central de Cusco, el cual por sus condiciones topográficas concentra el aporte de humedad proveniente de la región amazónica presentando los máximos niveles de precipitación anual. A nivel estacional el verano es la estación más lluviosa en ambas regiones siendo el mismo comportamiento a nivel de microcuencas, mientras que invierno viene a ser la estación más seca a nivel regional y local.

Tabla 3.6: Precipitación Estacional y Anual 1971-2000 en la Región Cusco

Región Cusco	Rango Anual (mm)	Rango Verano (mm)	Rango Otoño (mm)	Rango Invierno (mm)	Rango Primavera (mm)	Localidades Principales
<b>Sierra Central</b>	200-1500	200-1000	50-700	0-200	100-500	<b>Urubamba, Yucay, Calca, Paucartambo, Chitapampa, Zurite. Pisac, Colquepata, Granja Kcayra, Cay Cay, Cusco, Ccatcca, Anta, Urcos, Paruro, Acomayo</b>

<b>Sierra Sur</b>	500-1500	200-1000	100-500	0-50	50-200	<b>Combapata, Santo Tomás, Sicuani, Yauri, Livitaca</b>
<b>Selva Norte</b>	1000-3000	700-1500	500-1500	100-500	500-1000	<b>Teresita, Echarate Quillabamba, Ocobamba,</b>
<b>Selva Central</b>	1500- >5000	700-3000	700-1500	500-1500	500-1500	<b>Rocotal, Quincemil, Salvación</b>
<b>Microcuenca Huacrahuacho</b>	500-1000	200-700	100-500	0-50	50-200	<b>El Descanso</b>

Tabla 3.7: Precipitación Estacional y Anual 1971-2000 en la Región Apurímac

<b>Región Apurímac</b>	<b>Rango Anual (mm)</b>	<b>Rango Verano (mm)</b>	<b>Rango Otoño (mm)</b>	<b>Rango Invierno (mm)</b>	<b>Rango Primavera (mm)</b>	<b>Localidades Principales</b>
<b>Sierra Norte</b>	200-1500	100-1000	50-500	0-200	0-500	<b>Chincheros, Uripa, Andarapa, Curahuasi, Abancay, Andahuaylas, Huancaray</b>
<b>Sierra Central</b>	500-1500	200-700	100-500	0-50	100-500	<b>Pécope, Tambobamba, Pampachiri</b>
<b>Sierra Sur</b>	500-1000	200-700	100-500	0-50	50-200	<b>Chalhuanca, Antabamba</b>
<b>Microcuenca Mollebamba</b>	500-1000	200-500	200-500	0-50	100-200	<b>Mollebamba, Calcauso</b>

### 3.2.7. Precipitación acumulada anual durante casos El Niño/La Niña

#### 3.2.7.1 Distribución espacial de la precipitación anual y estacional - Fenómeno El Niño 1997-1998

##### • Total Anual

En la sierra central occidental de Cusco a lo largo del valle del río Vilcanota en dirección hacia el valle del río Urubamba las lluvias acontecidas durante el evento El Niño 1997/98 se registraron entre 200 y 2000 mm. En la sierra central oriental las precipitaciones variaron entre 200 y 2000 mm, siendo mayores a menores altitudes, así en las zonas de mayor altitud Cay Cay y Pisac se presentaron en el orden de 200 a 500 mm. En tanto, en la sierra sur de la región Cusco se registraron entre 500 y 1000 mm.

En la selva norte parte alta (Quillabamba, Machu Picchu) las precipitaciones se presentaron entre 1500 y 2000 mm, aumentado hacia la parte más oriental alcanzando valores entre 2000 y 3000 mm. Mientras que en la selva central las precipitaciones se presentaron en el orden de 1000 a 1500 mm.

En la sierra norte de Apurímac (Andahuaylas y Curahuasi) se presentaron entre 500 y 700 mm. En la sierra

central los rangos se mantuvieron entre 500-1000 mm, en tanto en los valles del río Pachachaca y Chalhuanca las precipitaciones variaron entre 500 y 700, mientras que en el valle del río Vilcabamba se presentaron entre 700 y 1000 mm. En la sierra sur los valores se mantuvieron entre 500 y 1000 mm.

En general, existe una disminución de la precipitación en Cusco y Apurímac con respecto al promedio multianual del periodo 1971-2000 (clima base).

En las microcuencas, se observa un ligero aumento de las precipitaciones ocurridas durante 1997/98 en relación al promedio climático 1971-2000. Las precipitaciones variaron entre 700 y 1000 mm.

#### • Verano

En la sierra central oriental de Cusco las precipitaciones oscilaron entre 100 y 700 mm. En Cay Cay y Pisac se observó un núcleo con valores de 100 a 200 mm. En la sierra sur los valores oscilaron entre 200 y 700 mm, en los valles de los ríos Santo Tomás y Velille entre 500-700 mm. En la selva norte los valores se distribuyen entre 500 y 1500 mm, aumentando hacia la zona más oriental. En Machu Picchu las precipitaciones se encuentran entre 200-500 mm, mientras que en Quillabamba están entre 500-700 mm. En la selva central oriental la distribución de los valores se registraron entre 700-1000 mm y aumenta con respecto al promedio climático 1971-2000.

En la sierra norte, central y sur de la región Apurímac observamos una franja con rangos entre 200-500 mm que abarca los valles de los ríos Pachachaca, Chalhuanca y parte del río Vilcabamba. En el lado este de la franja las precipitaciones están entre 500-700 mm.

En Mollebamba y Huacrahuacho las precipitaciones poseen valores entre 200-700 mm, notándose un ligero aumento de precipitaciones en Mollebamba y más pronunciado en Huacrahuacho.

En general, las precipitaciones muestran una disminución de las precipitaciones en Cusco y Apurímac, con respecto al promedio climático 1971-2000.

#### • Otoño

En Cusco las precipitaciones en la sierra central occidental de la región Cusco, especialmente entre Cay Cay y Pisac presentaron un núcleo mayor respecto a la climatología con valores entre 100 y 200 mm. En la sierra central oriental, los valles de los ríos Vilcanota, Urubamba, Apurímac, Velille y Santo Tomás las precipitaciones presentaron valores entre 200-500 mm, en general las precipitaciones disminuyen en estos sectores respecto al promedio climático (1971-2000). En tanto, en la sierra sur de la región Cusco, los valores se presentaron entre 200-700 mm, es decir las precipitaciones aumentaron respecto a su promedio climatológico.

En la selva norte los valores oscilaron entre 700 y 1000 mm presentando una mayor distribución espacial con respecto al promedio climático, las isoyetas con valores entre 700 y 1500 mm desaparecen. En Machu Picchu y Quillabamba se registraron entre 500 y 1000 mm. En la selva central oriental las isoyetas con valores entre 1000 y 1500 mm disminuyen espacialmente con respecto al promedio climático.

En la sierra norte y central de Apurímac las lluvias presentaron valores comprendidos entre 200 y 700 mm, en general aumentaron respecto al promedio climático. En la sierra sur los valores oscilaron entre 200 y 500 mm.

En Mollebamba las precipitaciones se totalizaron cantidades entre 200 y 500 mm en toda la microcuenca, mientras que en Huacrahuacho los valores oscilaron entre 200 y 700 mm siendo mayores en la parte alta de la microcuenca entre 500 y 700 mm, que comparadas con el promedio climático fueron mayores.

En general, en Apurímac en el otoño del evento El Niño 1997/98, se nota un incremento de las precipitaciones

y en Cusco disminución y aumento en algunos sectores.

- **Invierno**

En la sierra central occidental de Cusco las lluvias alcanzaron valores desde 0 y 200 mm. En tanto, los valles de los ríos Apurímac, Velille y Santo Tomás presentaron entre 0 y 50 mm. Así como también en la sierra sur y sierra central oriental principalmente los valles del río Vilcanota y Urubamba en la parte alta, sin embargo en la parte baja de su curso los valores se incrementaron.

En tanto, en la selva norte las precipitaciones estuvieron entre 200 y 500 mm y abarcaron una mayor distribución con respecto al promedio climático. Machu Picchu y Quillabamba presentaron valores entre 100 y 200 mm.

En la selva central oriental las precipitaciones se presentaron entre 500 y 700 mm, siendo inferiores respecto al promedio climatológico.

En la sierra norte de Apurímac las isoyetas comprendieron valores entre 0 y 100 mm, con una mayor distribución espacial, las comprendidas entre 0 y 50 mm, similar comportamiento fue observado en la sierra central y los valles de los ríos Pachachaca, Chalhuanca y Vilcabamba, mientras que en la sierra sur los valores comprendieron entre 0 y 100 mm.

En Mollebamba las isoyetas comprendieron entre 0 y 100 mm, siendo mayores en la parte alta de la microcuenca, en Huacrahuacho se presentaron entre 0 y 50 mm.

En general, en Cusco las precipitaciones en el sector de selva aumentaron respecto a la climatología (1971-2000), así como también al sur de la región Apurímac.

- **Primavera**

En la sierra central occidental y oriental de Cusco las lluvias comprendieron entre 50 y 500 mm. En Cay Cay y Urubamba se presentó núcleos entre 50 y 100 mm. En los valles de los ríos Urubamba, Vilcanota, Apurímac, Velille y Santo Tomás las lluvias se presentaron entre 100 y 200 mm.

En la selva norte y central los valores fluctuaron entre 500 y 700 mm, en Machu Picchu y Quillabamba entre 100-500 mm, disminuyendo respecto al promedio climático 1971-2000.

En la sierra norte de Apurímac las lluvias presentaron cantidades comprendidos entre 50 y 200 mm, desapareciendo los núcleos entre 0 y 50 mm. En la sierra central y sur de 0 a 200 mm, valores dentro de su variabilidad normal (valles de los ríos Pachachaca, Chalhuanca y Vilcabamba).

Las microcuencas de Mollebamba y Huacrahuacho presentaron lluvias entre 100 y 200 mm; en Huacrahuacho se vislumbró el aumento de las precipitaciones con respecto al promedio climático 1971- 2000.

En general, en primavera tanto en Cusco como en Apurímac, las precipitaciones 1997-98 disminuyeron con respecto al promedio climático.

### **3.2.7.2 Distribución espacial de la precipitación anual - Fenómeno La Niña 1999-2001.**

- **Total anual**

En la sierra central occidental de la región Cusco, las precipitaciones promedias en el verano 1999-2001 se registraron entre 200 y 3000 mm; principalmente a lo largo del valle del río Urubamba y Vilcanota donde las precipitaciones aumentaron hacia altitudes más bajas. En Ocobamba y Huyro se presentó un núcleo con valores comprendidos entre 2000-3000 mm, valores superiores con respecto al promedio climático, en tanto en Cay Cay se formó un núcleos entre 200 y 500 mm y en Pisac entre 500 y 700 mm, con menor distribución

espacial respecto al promedio climático. Sin embargo; las precipitaciones entre 1000 y 1500 mm presentaron una mayor distribución con respecto al promedio climático. Así como también los valores de isoyetas entre 700 y 1000 mm en la sierra sur de la región Cusco.

En la selva norte de Cusco las precipitaciones disminuyeron con respecto al promedio climático, presentando valores entre 1000 y 2000 mm. En la selva central oriental las precipitaciones mostraron aumento llegando a totalizar entre 2000 y 3000 mm.

En la sierra norte, central y sur de la región Apurímac las lluvias se registraron entre 700 y 1500 mm, a nivel espacial los valores entre 700 y 1000 mm tuvieron una mayor distribución en la región Apurímac, en general con respecto al promedio climático las precipitaciones en La Niña 1999-2001 mostraron aumento.

En las microcuencas de Mollebamba y Huacrahuacho las precipitaciones se presentaron entre 700 y 1000 mm, mayores con respecto al promedio climático.

En general, en Cusco y Apurímac las precipitaciones aumentaron durante la ocurrencia de La Niña 1999-2001 que fue catalogada de intensidad moderada.

#### • Verano

En la sierra central oriental de Cusco los valores de precipitación disminuyen a medida que aumenta la altitud. Encontramos un núcleo de bajas precipitaciones entre 50-100 mm en Cay Cay. Los rangos más altos llegan a los 700-1000 mm. En la sierra central occidental los rangos se encuentran entre 50-1000 mm, en Machu Picchu y Quillabamba los rangos fluctúan entre 700-1000 mm, las precipitaciones van disminuyendo a medida que aumenta la altitud hacia las partes más altas de Cusco. En la sierra sur encontramos rangos entre 200-700 mm, teniendo una mayor distribución el rango entre 500-700 mm.

En la selva norte de la región, la precipitación se presentó entre 700 y 1000 mm, mientras que en la selva central oriental entre 1000 y 1500 mm, superiores respecto al promedio climático.

En la sierra norte, centro y sur de la Región Apurímac los valores de precipitación fluctuaron entre 200 y 700 mm, presentando amplia distribución el rango entre 200-500 mm.

En la microcuenca de Mollebamba las lluvias se registraron entre 500 y 700 mm y en Huacrahuacho entre 200 y 700 mm, siendo mayores respecto al promedio climático.

En general, en las regiones Cusco y Apurímac, se observó el incremento de las precipitaciones en La Niña 1999-2001, respecto al promedio climático del periodo 1971-2000.

#### • Otoño

En la sierra central oriental de la región Cusco, las precipitaciones se registraron del orden de 100 a 700 mm. En tanto, en la sierra central occidental de 50 a 700 mm. En los valles de los ríos Velille y Santo Tomás de 200 a 500 mm y el valle del río Urubamba de 100 a 200 mm con un núcleo de 50 - 100 mm en Cay Cay. En la sierra sur los valores oscilaron entre 100 y 500 mm, presentando una mayor distribución espacial las isoyetas de 200 a 500 mm en el valle del río Vilcanota.

En la selva norte de la región Cusco, los rangos de precipitación fluctuaron entre 500 y 700 mm, presentando una amplia distribución espacial pero con valores inferiores respecto al promedio climático, similar comportamiento se observó en la selva central oriental. En localidades como Quillabamba se registraron entre 200 y 500 mm y Machu Picchu entre 500 y 700 mm.

En general, en la sierra norte, central y sur de Apurímac, las precipitaciones se registraron entre 100 y 500 mm. Cabe señalar que en la sierra central, la distribución con valores de 100 a 200 mm fue mayor respecto a los otros sectores de la región.

En la microcuenca de Mollebamba las lluvias en La Niña 1999-2001 oscilaron entre 200 y 500 mm similar al



promedio climático; mientras que en Huacrahuacho las precipitaciones se reportaron entre 200 y 500 mm, en ésta microcuenca se observó el aumento de las precipitaciones respecto al promedio climático.

En general, en otoño La Niña 1999-2001, las precipitaciones aumentaron, tanto en Cusco como en Apurímac, respecto al patrón climático (1971-2000).

#### • Invierno

En la sierra central oriental y occidental de la región Cusco las lluvias se registraron entre 0 y 200 mm. Mientras que en los valles de los ríos Apurímac, Velille y Santo Tomás, las precipitaciones se presentaron entre 0 y 50 mm.

En la selva norte las lluvias oscilaron entre 100 y 200 mm, en tanto; en la selva central oriental alcanzaron entre 200 y 2000 mm.

En la sierra norte y central de Apurímac, las precipitaciones en La Niña 1999-2001 fluctuaron entre 0 y 100 mm. Teniendo una mayor distribución las isoyetas de 0 a 50 mm, las principales localidades afectadas fueron los valles de los ríos Pachachaca, Chalhuanca y Vilcabamba.

En la sierra sur de la región, los rangos de precipitación fluctuaron entre 0 y 50 mm con una distribución uniforme en toda la zona.

En las microcuencas de Mollebamba y Huacrahuacho los rangos de precipitación oscilaron entre 0 y 50 mm, valores que fueron observados en la totalidad de ambas microcuencas.

En general, las precipitaciones durante La Niña 1999-2001 comparadas respecto al promedio climático, en algunas regiones aumentaron mientras que en otras disminuyeron.

#### • Primavera

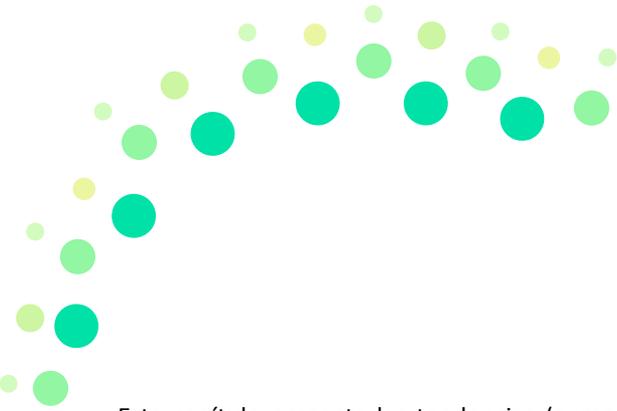
En la sierra central oriental de la región Cusco, los rangos de lluvias se presentaron entre 100 y 500 mm. En la sierra central occidental estuvieron entre 50 y 500 mm. En Cay Cay se observó un núcleo de bajas precipitaciones con rangos entre 50 y 100 mm. En tanto, a lo largo del río Vilcanota hacia el río Urubamba los rangos de precipitación aumentaron a menores altitudes y disminuyeron a mayores altitudes. Los valles de los ríos Apurímac, Velille y Santo Tomás las lluvias totalizaron cantidades entre 100 y 200 mm, similares valores se registraron en el ámbito de la sierra sur de la región.

En la selva norte de Cusco, las precipitaciones oscilaron entre 200 y 700 mm, registrándose en Machu Picchu entre 200 y 500 mm mientras que en Quillabamba entre 100 y 200 mm. En tanto, en la selva central oriental alcanzaron rangos entre 1000 y 1500 mm.

En la sierra norte y central de Apurímac, las lluvias en La Niña 1999-2001 oscilaron entre 100 y 500 mm, teniendo mayor distribución las isoyetas entre 100 y 200 mm. En la sierra sur, similar comportamiento fue observado, así como también en los valles de los ríos Pachachaca, Chalhuanca y Vilcabamba.

En las microcuencas de Mollebamba y Huacrahuacho los rangos de precipitación en La Niña 1999-2001, alcanzaron entre 100 y 200 mm, distribuidos espacialmente en la totalidad de ambas microcuencas.

En general, con respecto al promedio climático la distribución de la precipitación es diferenciada, es decir en algunas zonas existe un incremento de la precipitación (sierra norte de Apurímac) mientras que en otras existe una disminución de la precipitación (selva norte de Cusco).



## 4. TENDENCIAS, VARIABILIDAD E INDICES CLIMATICOS

Este capítulo presenta las tendencias (aumento o disminución en el tiempo) de la temperatura máxima, mínima del aire y la precipitación, en su escala media. Así como el análisis de la ruptura y la variabilidad de las series estudiadas y las tendencias de índices de extremos climáticos relacionados a la precipitación y la temperatura.

La información meteorológica proviene de estaciones con un historial relativamente largo: 1965-2008. Adicionalmente se ha buscado que estas estaciones tengan un máximo de 15% de información perdida.

Estos análisis nos permitirán la detección de posibles cambios en los patrones climáticos de las regiones Cusco y Apurímac, a partir de los registros observados en los últimos 44 años de información disponible, así como ver su comportamiento en la última década y comparar con la percepción del poblador andino de las regiones de estudio. Información relevante para detectar los cambios en el clima.

### 4.1. Indicadores de tendencia y variabilidad

El estudio de la detección de los cambios del clima se basa en el análisis de tendencia lineal de la serie comprendida entre 1965-2008 en el periodo anual y estacional, el cual considera la precipitación totalizada y temperaturas medias de enero a diciembre (anual), verano (DEF), otoño (MAM), invierno (JJA) y primavera (SON).

Se presenta dos tipos de indicadores de tendencia: el valor de la tendencia propiamente dicho, e índices de tendencia.

#### 4.1.1 Tendencias según el estadístico Sen.

En esencia, el método Sen (1968) calcula la mediana de un conjunto de pendientes. Las pendientes en cuestión son calculadas, cada una a partir de dos puntos. La siguiente ecuación presenta el cálculo de una de estas pendientes.

$$Q = \frac{X_j - X_i}{j - i}$$

$X_j$  es la  $j$ -ésima observación en una serie,  $X_i$  es la  $i$ -ésima observación de la misma serie,  $j$  es mayor que  $i$ . En un conjunto de  $N$  observaciones, se obtienen  $N(N-1)/2$  pares de datos. De cada par de datos se obtiene una pendiente. Las pendientes son ordenadas de menor a mayor, y se selecciona el valor mediano, según las reglas de la estadística no paramétrica.

La significancia estadística asociada a la tendencia de Sen es dada por el test de Mann-Kendall y consiste en probar la existencia de la tendencia en los datos de la serie de tiempo  $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ . Definiéndose la significancia estadística como la medida de error que se asume sobre las inferencias de una muestra respecto a la población, es decir al momento de procesar la prueba de tendencia se realiza con una serie de datos que

viene a ser una muestra, por lo tanto tendremos un margen pequeño de error (generalmente 0.05), y cuanto más pequeño sea ese margen más nos aproximamos a los verdaderos valores de la población que son los parámetros.

#### **4.1.2 Pruebas e índices de tendencia**

Las pruebas de tendencia indican con cierto grado de confianza la presencia o no de tendencia. En el presente estudio se han usado tres pruebas adicionales: Mann-Kendall (prueba no paramétrica), la de correlación de rangos de Spearman y la de regresión lineal (pruebas paramétricas). Las dos primeras pruebas indican la presencia de tendencias, independientemente de valores extremos. En cambio, la prueba de regresión si está influenciada por valores extremos. Estas pruebas de tendencias han sido utilizadas para el cálculo del índice de tendencias con niveles de significancia de 90, 95 y 99 %, con la finalidad de justificar estadísticamente la posible, fuerte y muy fuerte evidencia de la tendencia en la serie temporal de las variables precipitación y temperatura del aire. Asimismo, permitirán respaldar la tendencia encontrada con el método de Sen (4.1.1), haciendo más confiable los resultados cuando se requieran tomar decisiones.

Cabe señalar que la precipitación es una variable que no se ajusta necesariamente a una distribución normal por lo que las pruebas de Sen y Mann Kendall (no paramétricas tiene mayor peso en relación a las otras pruebas). Mientras que la temperatura se ajusta a la distribución normal y las pruebas paramétricas Spearman y Regresión lineal tienen mayor incidencia en el análisis que darán mayor confiabilidad en los resultados obtenidos con el estadístico de Sen.

#### **4.1.3 Pruebas de ruptura o quiebre en una serie temporal**

El análisis de tendencia climática se complementa con el análisis de ruptura o quiebre en la serie temporal 1965-2008. Definiéndose a la ruptura como un cambio en la ley de probabilidad en las series de tiempo, en un instante dado. Se evalúa la ruptura mediante la Distribución de Cusum (prueba no paramétrica), Desviación acumulada y la verosimilitud Worsley (pruebas paramétricas).

#### **4.1.4 Variabilidad climática**

El cambio climático implica no solamente el aumento o descenso del valor de una variable meteorológica, también implica su variabilidad. La variabilidad del clima se refiere a las variaciones en su estado medio (como las desviaciones típicas, la ocurrencia de fenómenos extremos, etc.) en todas las escalas temporales y espaciales, más allá de fenómenos meteorológicos determinados. Donde, la variabilidad se puede deber a procesos internos naturales dentro del sistema climático, o a variaciones en los forzamientos externos antropogénicos (IPCC, 2007). En este estudio, se realiza el análisis de la variabilidad decadal de la precipitación, temperatura máxima y mínima del aire en la escala anual y estacional en el periodo de 1965-2008 en relación a su valor normal 1971-2000, mediante el cálculo de la desviación estándar.

La desviación estándar mide en cuanto se alejan los datos respecto a su media o normal climática, es decir permiten determinar los umbrales de la variabilidad climática.

## **4.2 Análisis de Tendencias lineales**

### **4.2.1 Tendencia anual y estacional de la precipitación**

Podemos observar que la tendencia espacial en el periodo anual en diferentes localidades de las regiones de estudio, viene siendo positiva (aumento) con valores del orden de 0.75 a 6.32 mm/año en Apurímac (Curahuasi

y Abancay), y del orden de 0.22 a 2.20 mm/año en Cusco (Urubamba, Cay Cay) con nivel de significancia de 99% en ambas regiones. Cabe resaltar, que a pesar de no contar con altos niveles de significancia (menores al 87%), el resto de localidades de Cusco (Granja Kcayra, Pisac, Ccatcca, Sicuani) y de Apurímac (Chalhuanca), se observa claramente un comportamiento regional de aumento de la precipitación, a excepción de la localidad de Acomayo (Cusco) donde la tendencia de la precipitación es negativa (disminución) del orden -2.05 mm/año con nivel de significancia del 90%, ver tabla 4.1 y mapa 4.1 (anexo 2).

De otro lado, la tendencia de la precipitación anual estimada por SENAMHI (PRAA<sup>4</sup>,2007) en las estaciones Urubamba, Granja Kcayra y Sicuani ubicadas en la parte alta de la cuenca del río Urubamba, son de aumento de la precipitación en el periodo de 1965-2006 siendo del orden de 0.7 a 2.9 mm/año, mayores en relación al periodo actual (1965-2008) de 0.22 a 2.20 mm/año (ver anexo 3, Figura 4.1). Si bien es cierto es de aumento en el periodo actual, aparentemente está tendiendo hacia una disminución en la década reciente (2001-2008) que se ve reflejado en los valores de tendencia de los últimos cuarenta y cuatro años. Este comportamiento aparente de disminución de lluvias en la década reciente (ver figuras anexo 4), lo cual amerita una investigación más detallada; es coherente y consistente, con lo encontrado in situ basado en entrevistas realizadas sobre la percepción del clima del poblador andino en distintos puntos de las regiones de estudio (Fase de Campo de las Componentes hidro-agro-meteorológica de los proyectos PACC y PRAA 2009/10). Siendo las lluvias percibidas por la población de características de mayor intensidad, de corto periodo y con mayor presencia de veranillos (ver 4.5.1, Índices de Extremos Climáticos de Precipitación), que se reflejan en la escala mensual con la disminución de lluvias en la década reciente (ver 4.4). Similar comportamiento también es observado en las estaciones de Apurímac con datos medidos con instrumental e información de percepción del clima.

Suarez, W. (2010)<sup>5</sup> analiza la tendencia de la serie de precipitación anual (1964-2008) para el periodo hidrológico (setiembre(n) hasta agosto(n+1)) en seis regiones pluviométricas que comprende las cuencas de los ríos Apurímac, Pampas y Urubamba de las regiones Cusco y Apurímac. Donde encuentra que no existe de manera significativa tendencia, sin embargo; en la parte alto andina la tendencia es positiva para la zona oeste, lo cual concuerda con la tendencia estimada actual, ver mapa 4.1 (anexo 2), mientras que, para el este (parte baja amazónica) no se puede generalizar los resultados debido a la escasez de datos.

A nivel estacional (ver mapas 4.2- 4.5 y tabla 4.1), la tendencia de la precipitación en el verano (estación más lluviosa del año ver 3.2.3 Caracterización Climática), presenta comportamiento similar al periodo anual, con valores positivos del orden de 1.41 a 4.47 mm/año en Apurímac y de 0.85 a 1.76 mm/año en Cusco, siendo marcadamente significativo (99%) en Curahuasi, Abancay, Urubamba, Pisac, Cay Cay y Ccatcca. En el resto de localidades (Chalhuanca, Granja Kcayra y Sicuani) a pesar de no contar con altos niveles de significancia estadística (menores al 92%), muestran valores de tendencia positiva. Esto indica que las lluvias en verano presentan un comportamiento regional y están aumentando. A excepción de Acomayo que presenta tendencia negativa de 0.67 mm/año, sin embargo no es significativa (70%).

En la estación astronómica de transición de el otoño, a pesar de no contar con altos niveles de significancia (menores al 88%), en gran parte de las localidades altoandinas analizadas de ambas regiones, la tendencia es de disminución de las precipitaciones a razón de -0.31 mm/año a -0.05 mm/año en Apurímac (Curahuasi

4 Programa de Adaptación al Cambio Climático y Proyecto Regional Andino de Adaptación (2da Fase)

5 Informe Técnico N°3 "Clima presente y futuro, impacto en cultivos prioritarios y en la disponibilidad hídrica" - Componente Hidrológico del PACC

y Chalhuanca) y de -0.98 a -0.10 mm/año en Cusco (Pisac, Granja Kcayra, Ccattca y Acomayo). En tanto, tendencias positivas con niveles de significancia estadística menores al 97%, es observada en Abancay (1.06 mm/año), Urubamba (0.03 mm/año) y Cay Cay (0.43 mm/año en) y Sicuani (0.73 mm/año), ver mapa 4.3, tablas 4.1 y 4.2.

En el invierno, al igual que la estación de verano y en el periodo anual, las tendencias son positivas mostrando un comportamiento regional (ver mapa 4.4), la diferencia radica en que presentan niveles de significancia menores al 81%, siendo los valores de tendencia estimadas de 0.01 a 0.22 mm/año en Apurímac y de 0.002 a 0.22 mm/año en Cusco. Esto indica que las lluvias que se presentan en el periodo seco están tendiendo a aumentar en gran parte de las estaciones meteorológicas analizadas, aunque sin significancia estadística. Asimismo, en Cay Cay se observa aumentos de 0.10 mm/año pero con alto nivel de significancia (99 %). Caso contrario es observado en Sicuani y Acomayo que presentan tendencia negativa de 0.004 y 0.02 mm/año, respectivamente, pero con muy bajos niveles de significancia estadística de 55 y 59%, respectivamente (ver mapa 4.4, tablas 4.1 y 4.2).

En la primavera, las tendencias de la precipitación son positivas (aumento) en localidades de Apurimac (Curahuasi y Abancay) siendo del orden de 0.72 -1.01 mm/año; en tanto en Cusco (Pisac, Urubamba, Cay Cay, Ccattca y Sicuani ) de 0.35 a 1.02 mm/año, siendo estadísticamente significativa a nivel de 99% en Cusco. Esto quiere decir que las lluvias de inicio del periodo lluvioso en gran parte de las estaciones analizadas de la región Cusco cada vez están aumentando (ver Anexo 2, mapas 4.5). En tanto, tendencias de disminución de la precipitación a razón de -0.86 mm/año es observado en Chalhuanca, de -0.15 mm/año en Granja Kcayra y en 0.84 mm/año en Acomayo. Sin embargo; la significancia estadística asociada a las tendencias negativas es menor al 92% (ver mapa 4.5, tablas 4.1 y 4.2).

En la tabla 4.1, se indica la tendencia estimada a nivel anual y estacional de la precipitación en las estaciones representativas de las regiones Cusco y Apurímac. Los valores de significancia se indican en cursiva y la significancia asociada al 99% es resaltada en negrita.

Tabla 4.1: Tendencia de la precipitación 1965-2008 en estaciones representativas

Estaciones Representativas	Sierra	Tendencia Anual (mm/año)	Tendencia Verano (mm/año)	Tendencia Otoño (mm/año)	Tendencia Invierno (mm/año)	Tendencia Primavera (mm/año)
<b>Apurímac</b>						
<b>Curahuasi</b>	Norte	<b>3.63</b> <i>NS: 99%</i>	<b>3.27</b> <i>99%</i>	-0.05 <i>54%</i>	0.10 <i>81%</i>	1.01 <i>94%</i>
<b>Abancay*</b>		<b>6.32</b> <i>NS: 99%</i>	<b>4.47</b> <i>99%</i>	1.06 <i>97%</i>	0.15 <i>75%</i>	0.72 <i>88%</i>
<b>Chalhuanca*</b>	Sur	0.75 <i>NS: 60%</i>	1.41 <i>92%</i>	-0.31 <i>70%</i>	0.22 <i>74%</i>	-0.86 <i>90%</i>
<b>Cusco</b>						
<b>Urubamba</b>	Norte	<b>2.03</b> <i>NS: 99%</i>	<b>1.11</b> <i>99%</i>	0.03 <i>52%</i>	0.04 <i>62%</i>	<b>0.92</b> <i>99%</i>

<b>Pisac</b>	Central	0.90 NS: 70%	<b>1.76</b> 99%	-0.98 88%	0.002 53%	0.35 78%
<b>Cay Cay</b>		<b>2.20</b> NS: 99%	<b>0.99</b> 99%	0.43 81%	<b>0.10</b> 99%	<b>0.66</b> 99%
<b>Granja Kcayra</b>		0.22 NS: 54%	0.85 80%	-0.18 64%	0.01 54%	-0.15 64%
<b>Ccatcca</b>		1.21 NS: 87%	<b>1.20</b> 99%	-0.10 60%	0.22 88%	<b>0.50</b> 99%
<b>Acomayo</b>		-2.05 NS: 90%	-0.67 68%	-0.85 82%	-0.02 59%	-0.84 92%
<b>Sicuani*</b>	Sur	1.81 NS: 85%	1.11 87%	0.73 84%	-0.004 55%	<b>1.02</b> 99%

(\*) Información completada, NS: Nivel de Significancia

La tabla 4.2, muestra adicionalmente al estadístico de Sen, índices cualitativos de las tendencias positivas y negativas en la serie de precipitación obtenidas mediante: Mann Kendall (prueba no paramétrica), Spearman y Regresión lineal (pruebas paramétricas), para las diferentes localidades de las regiones Cusco y Apurímac, con niveles de significancia estadística de 90, 95 y 99%, donde el símbolo **(+)** indica tendencia positiva con significancia y el símbolo **(o)** indica tendencia negativa con significancia. Asimismo, la tabla muestra una columna **(RES)** que contiene el consenso de todas pruebas evaluadas, que nos indica con mayor confiabilidad **(\*)** la evidencia de la tendencia de carácter positiva o negativa.

Podemos observar, que existe muy fuerte evidencia de la tendencia positiva (aumento) de la precipitación en el periodo anual, en las localidades de Abancay, Curahuasi y Cay Cay, mediante las cuatro pruebas evaluadas (Sen, Mann Kendal, Spearman y regresión lineal), que respaldan con mayor confiabilidad los resultados cuantitativos obtenidos con el método estadístico de Sen. Asimismo, en la estación de verano (periodo de máximas lluvias) Curahuasi y Abancay presentan un comportamiento similar.

En la estación de invierno (periodo seco), existe una fuerte evidencia de tendencia de aumento de la precipitación en Cay Cay. Así como también en la primavera, sumándose a ella las localidades de Ccatcca y sicuani.

Tabla 4.2: Análisis de Tendencias en la serie de precipitación (1965-2008)

	REGIONES	ESTACION METEOR.	TEST DE MANN KENDALL			TEST DE SPEARMAN'S			TEST DE REGRESION L.			SEN	R E S
			90 %	95 %	99 %	90 %	95 %	99 %	90 %	95 %	99 %		
ANUAL	CUSCO	Granja Kcayra											
		Ccattcca				+	+	+	+				
		Sicuani										+	
		Urubamba											
		Pisac											
		Cay Cay	+	+		+			+			+	*
		Acomayo	o			o							
	APURIMAC	Abancay	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	*
		Curahuasi	+	+		+	+		+	+	+	+	*
		Chalhuanca											
DEF	CUSCO	Granja kayra											
		Ccattcca											
		Sicuani										+	
		Urubamba											
		Pisac				+			+	+		+	
		Cay Cay										+	
		Acomayo										+	
	APURIMAC	Abancay	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	*
		Curahuasi	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	*
		Chalhuanca											
MAM	CUSCO	Granja Kcayra											
		Ccattcca					o						
		Sicuani					+						
		Urubamba					+						
		Pisac											
		Cay Cay						+					
		Acomayo											
	APURIMAC	Abancay	+			+	+		+	+			
		Curahuasi	o										
		Chalhuanca											
JJA	CUSCO	Granja Kcayra	+										
		Ccattcca	+										
		Sicuani											
		Urubamba	+										
		Pisac	+										
		Cay Cay	+									+	*
		Acomayo				+							
	APURIMAC	Abancay											
		Curahuasi											
		Chalhuanca											
SON	CUSCO	Granja Kcayra											
		Ccattcca											
		Sicuani	+									+	*
		Urubamba	+	+		+	+					+	*
		Pisac											
		Cay Cay	+			+	+		+			+	*
		Acomayo											
	APURIMAC	Abancay											
		Curahuasi											
		Chalhuanca											

#### 4.2.2 Tendencia anual y estacional de la temperatura máxima

Podemos observar que a nivel espacial, la tendencia de la temperatura máxima en el periodo anual (ver mapa 4.6 - Anexo 2 y tabla 4.3) es positiva o de calentamiento, en Curahuasi, Urubamba, Granja Kcayra, Acomayo y Sicuani, aunque con valores pequeños, variando entre 0.007 y 0.05 °C/año. Siendo, estadísticamente significativo en Granja Kcayra.

Estos resultados confirman lo encontrado por SENAMHI (PRAA, 2007), quienes estimaron la tendencia de la temperatura máxima en el periodo de 1965-2006 en las estaciones Urubamba, Granja Kcayra y Sicuani ubicadas en la parte alta de la cuenca del río Urubamba (Cusco) encontrando que la tendencia es de aumento, aunque con valores muy discretos, variando entre 0.01 - 0.04 °C/año, valor ligeramente superior respecto a la tendencia encontrada 1965-2008.

Si bien, la tendencia es de aumento en los últimos cuarenta y cuatro años; en el periodo 2001-2008, el aumento aparentemente es menor a la ocurrida principalmente en las décadas de 1971-1980 y 1981-1990 (ver anexo 3: Figura de series temporales de tendencias), comportamiento que amerita una investigación más detallada.

Por otro lado, la tendencia en localidades como Ccatcca, Chalhuanca, Abancay es de enfriamiento, pero con valores muy pequeños del orden de -0.07 a -0.0002 °C/año. Siendo estadísticamente significativo en Abancay. En relación al período estacional, en las estaciones de verano e invierno las tendencias son positivas (calentamiento) en gran parte de las localidades estudiadas; presentando valores pequeños del orden de 0.0039 a 0.06 °C/año, con significancia estadística de 99% en Granja Kcayra. Mientras que, en Abancay se observa enfriamiento a razón de -0.06°C/año con alta significancia estadística.

En las estaciones de otoño y primavera, la tendencia de la temperatura máxima presenta marcado enfriamiento en Abancay (-0.07 a -0.06°C/año) y sin significancia en Chalhuanca. En tanto Granja Kcayra presenta calentamiento significativo (0.04-0.05°C/año). En el resto de estaciones analizadas de Cusco (Urubamba, Acomayo y Sicuani) y de Apurímac (Curahuasi) a pesar de no contar con altos niveles de significancia (menores de 96%), presentan tendencias positivas. En los mapas 4.6- 4.10 (Anexo 2), se presenta la tendencia espacial con significancia de 99%.

En la Tabla 4.3, se observa la tendencia anual y estacional de la temperatura máxima en las regiones de estudio, y la significancia asociada al 99% es resaltada en negrita. Los valores de significancia se indican en cursiva.

Tabla 4.3: Tendencia de la temperatura máxima 1965-2008 en estaciones representativas

Estaciones Representativas	Sierra	Tendencia Anual (°C/año)	Tendencia Verano (°C/año)	Tendencia Otoño (°C/año)	Tendencia Invierno (°C/año)	Tendencia Primavera (°C/año)
Apurímac						
<b>Curahuasi</b>	Norte	0.03 <i>NS: 93%</i>	0.03 <i>92%</i>	0.04 <i>96%</i>	0.03 <i>91%</i>	0.02 <i>74%</i>
<b>Abancay</b>		<b>-0.07</b> <i>NS: 99%</i>	<b>-0.06</b> <i>99%</i>	<b>-0.06</b> <i>99%</i>	<b>-0.06</b> <i>99%</i>	<b>-0.07</b> <i>99%</i>
<b>Chalhuanca</b>	Sur	-0.003 <i>NS: 55%</i>	0.006 <i>68%</i>	-0.006 <i>71%</i>	-0.005 <i>63%</i>	0.000 <i>51%</i>

Cusco						
Urubamba	Norte	0.007 NS: 94%	0.01 77%	0.02 96%	0.005 72%	0.01 83%
Granja Kcayra	Central	<b>0.05</b> NS: 99%	<b>0.06</b> 99%	<b>0.05</b> 99%	<b>0.06</b> 99%	<b>0.04</b> 99%
Ccatcca		-0.0002 NS: 52%	0.0039 70%	-0.0027 67%	0.0011 53%	-0.0014 63%
Acomayo		0.01 NS: 93%	0.01 94%	0.01 73%	0.01 84%	0.01 92%
Sicuani	Sur	0.007 NS: 72%	0.010 79%	0.006 70%	0.005 63%	0.008 79%

NS: Nivel de Significancia

La tabla 4.4, muestra adicionalmente al estadístico de Sen, los índices cualitativos de las tendencias positivas y negativas en la serie de temperatura máxima obtenidas mediante: Mann Kendall (prueba no paramétrica), Spearman y Regresión lineal (pruebas paramétricas), para las diferentes localidades de las regiones Cusco y Apurímac, con niveles de significancia estadística de 90, 95 y 99%, donde el símbolo **(+)** indica tendencia positiva con significancia y el símbolo **(o)** indica tendencia negativa con significancia. Asimismo, la tabla muestra una columna **(RES)** que contiene el consenso de todas pruebas evaluadas, que nos indica con mayor confiabilidad **(\*)** la evidencia de la tendencia de carácter positiva o negativa.

Tabla 4.4: Análisis de Tendencias en la serie de temperatura máxima (1965-2008)

	REGIONES	ESTACION METEOR.	TEST DE MANN KENDALL			TEST DE SPERMAN'S			TEST DE REGRESION L.			SEN	RES
			90% 0.10	95% 0.05	99% 0.01	90% 0.10	95% 0.05	99% 0.01	90% 0.10	95% 0.05	99% 0.01		
ANUAL	CUSCO	Granja Kcayra				+	+	+				+	*
		Ccattcca				+	+	+					
		Sicuani				+	+	+					
		Urubamba				+	+	+					
		Acomayo				+	+	+	+				
APURIMAC	Abancay Curahuasi Chalhuanca		o			o	o		o	o	o	o	*
						+	+		+				
									o				
DEF	CUSCO	Granja Kcayra	+			+	+	+	+	+		+	*
		Ccattcca				+	+	+	+				
		Sicuani				+	+	+					
		Urubamba				+	+	+					
		Acomayo	+	+		+	+	+	+	+			
APURIMAC	Abancay Curahuasi Chalhuanca		o	o	o	o	o		o	o	o	o	*
			+			+	+		+				
			+			+			+				
MAM	CUSCO	Granja Kcayra	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	*
		Ccattcca	+			+	+		+				
		Sicuani				+	+						
		Urubamba				+	+	+					
		Acomayo											
APURIMAC	Abancay Curahuasi Chalhuanca		o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	*
						+	+	+					

JJA	CUSCO	Granja Kcayra Ccattcca Sicuani Urubamba Acomayo	+ o +	+	+	+ + + +	+ + +	+ + +	+ o	+	+	+	+	*
	APURIMAC	Abancay Curahuasi Chalhuanca	o o	o	o	o +	o		o	o	o	o	o	*
SON	CUSCO	Granja Kcayra Ccattcca Sicuani Urubamba Acomayo	+	+	+	+ + +	+ + +	+ + +	+	+	+	+	+	*
	APURIMAC	Abancay Curahuasi Chalhuanca	o +	o	o	o +	o		o +	o	o	o	o	*

(\*) Indica la existencia de muy fuerte evidencia de carácter positiva (+) ó negativa (-) de la tendencia

#### 4.2.3 Tendencia anual y estacional de la temperatura mínima

La tendencia anual y estacional de la temperatura mínima, durante el periodo 1965-2008 presenta comportamiento similar al de la temperatura máxima; tendencias positivas o de calentamiento son observadas en gran parte de las estaciones analizadas de Cusco (Urubamba, Granja Kcayra y Acomayo) con valores del orden de 0.003 a 0.04 °C/año, con alta significancia, a excepción de Sicuani (sierra sur de Cusco). Asimismo, este comportamiento es consistente con lo encontrado por SENAMHI (PRAA, 2007) donde los valores positivos de las tendencias oscilan entre 0.02-0.06 °C/año, siendo ligeramente mayor al periodo actual (1965-2008). Las tendencias en las temperaturas máximas y mínimas del aire, observadas en las estaciones analizadas de Cusco, además de la influencia de la variabilidad natural del clima, estarían asociadas a forzantes antropogénicas.

En la región Apurímac (Abancay y Chalhuanca), predominan las tendencias negativas en el periodo anual y estacional del orden de -0.06 a -0.01 °C/año, siendo más acentuada y con significancia estadística al 99% en Abancay.

En general, las tendencias de la temperatura mínima en Chalhuanca y Sicuani, estaciones representativas de la sierra sur de las regiones Cusco y Apurímac, en gran parte de la escala temporal de estudio (anual y estacional), indica que la temperatura mínima está disminuyendo, a diferencia de la sierra norte y central de Cusco. Las distribuciones espaciales y temporales de estas tendencias, se pueden observar en los mapas 4.11, 4.12, 4.13, 4.14 y 4.15 (Anexo 2), con significancia de 99% y en el Anexo 3.

Los valores y significancias de la tendencia anual y estacional de la temperatura mínima en las regiones Cusco y Apurímac se presentan en la Tabla 4.5. Donde la tendencia asociada a una significancia de 99% es resaltada en negrita y los valores de significancia se indican en cursiva.

Tabla 4.5: Tendencia de la temperatura mínima 1965-2008 en estaciones representativas

Estaciones Representativas Apurímac	Sierra	Tendencia Anual (°C/año)	Tendencia Verano (°C/año)	Tendencia Otoño (°C/año)	Tendencia Invierno (°C/año)	Tendencia Primavera (°C/año)
<b>Apurímac</b>						
<b>Curahuasi</b>	Norte	0.01 NS: 74%	0.01 72%	0.02 90%	0.01 74%	-0.01 82%
<b>Abancay</b>		-0.05 NS: 99%	-0.05 99%	-0.04 99%	-0.06 99%	-0.06 99%
<b>Chalhuanca</b>	Sur	-0.01 NS: 93%	0.005 75%	-0.01 88%	-0.02 97%	-0.01 91%
<b>Cusco</b>						
<b>Urubamba</b>	Norte	0.02 NS: 99%	0.02 99%	0.02 99%	0.02 99%	0.02 99%
<b>Granja Kcayra</b>	Central	0.02 NS: 99%	0.01 99%	0.02 99%	0.02 99%	0.01 99%
<b>Ccatcca</b>		0.01 NS: 88%	0.01 73%	0.02 87%	0.03 99%	0.003 63%
<b>Acomayo</b>		0.03 NS: 99%	0.03 99%	0.04 99%	0.02 99%	0.02 99%
<b>Sicuani</b>	Sur	-0.01 NS: 93%	0.01 75%	-0.01 88%	-0.04 99%	-0.02 94%

NS: Nivel de Significancia

La tabla 4.6, muestra adicionalmente al estadístico de Sen, índices cualitativos de las tendencias positivas y negativas en la serie de temperatura mínima obtenidas mediante: Mann Kendall (prueba no paramétrica), Spearman y Regresión lineal (pruebas paramétricas), para las diferentes localidades de las regiones Cusco y Apurímac, con niveles de significancia estadística de 90, 95 y 99%, donde el símbolo (+) indica tendencia positiva con significancia y el símbolo (o) indica tendencia negativa con significancia. Asimismo, la tabla muestra una columna (RES) que contiene el consenso de todas pruebas evaluadas, que nos indica con mayor confiabilidad (\*) la evidencia de la tendencia de carácter positiva o negativa.

Tabla 4.6: Análisis de Tendencias en la serie de temperatura mínima (1965-2008)

	REGIONES	ESTACION METEOR.	TEST DE MANN KENDALL			TEST DE SPERMAN'S			TEST DE REGRESION L.			SEN	RES
			90%	95%	99%	90%	95%	99%	90%	95%	99%		
ANUAL	CUSCO	Granja Kcayra				+	+	+				+	*
		Ccattcca				+	+	+					
		Sicuani				+	+	+					
	Urubamba	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	**	
	Acomayo	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
APURIMAC	Abancay	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	*
	Curahuasi				+	+		+	+				
	Chalhuanca							o					
DEF	CUSCO	Granja Kcayra	+			+	+	+	+	+		+	*
		Ccattcca				+	+	+					
		Sicuani				+	+	+					
	Urubamba	+	+		+	+	+	+	+	+	+	**	
	Acomayo	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
APURIMAC	Abancay	o	o	o	o	o		o	o	o	o	o	*
	Curahuasi				+	+	+						
	Chalhuanca				+	+	+						

MAM	CUSCO	Granja Kcayra Ccattcca Sicuani Urubamba Acomayo	+	+		+	+	+	+	+		+	*	
	APURIMAC	Abancay Curahuasi Chalhuanca	o	o	o	o	+	+		o	o	o	o	*
JJA	CUSCO	Granja Kcayra Ccattcca Sicuani Urubamba Acomayo	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	*
	APURIMAC	Abancay Curahuasi Chalhuanca	o	o	o	o	+	+	o	o	o	o	o	*
SON	CUSCO	Granja Kcayra Ccattcca Sicuani Urubamba Acomayo	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+	*
	APURIMAC	Abancay Curahuasi Chalhuanca	o	o	o	o	o	o		o	o	o	o	*

(\*) Indica la existencia de muy fuerte evidencia de carácter positiva (+) ó negativa (-) de la tendencia

## 4.3 Análisis de Ruptura o quiebre

### 4.3.1 Precipitación

La Tabla 4.7 muestra, la ruptura o quiebre en las series históricas (1965-2008) de la precipitación en estaciones representativas de Cusco y Apurímac al 90, 95 y 99% de significancia. Se observa, que la mayoría de rupturas en las series de precipitación están asociadas principalmente a la fase cálida de El Niño Oscilación del Sur (ENOS) como los ocurridos en 1969-70, 1976, 1978, 1983, 1986, 1992-93, 1998, y reflejan disminución de la precipitación. Por otro lado otras rupturas asociadas a la fase fría 1999 y 2000 reflejan aumento de lluvia sobre su valor normal lo cual se aprecia en el Mapa 3.41 (Anexo 1).

Las localidades que muestran efectos de rupturas debido a teleconexiones de gran escala con el ENOS en los periodos de verano, primavera y anual son Ccatcca (2000), Urubamba (1983, 2000), Cay Cay (1989, 1998), Sicuani (1991), Abancay (1993, 1995) y Curahuasi (1992), ver tabla 4.7.

Las rupturas o quiebre observadas en la escala anual, primavera (inicio del periodo lluvioso) y verano (periodo de máxima lluvias), principalmente éstas dos últimas escalas estacionales, están asociadas con la etapa de inicio y desarrollo del ENOS, respectivamente.

Tabla 4.7: Análisis de ruptura o quiebre en la serie de precipitación (1965-2008)

	REGIONES	ESTACION METEOROLOG.	TEST DE CUSUM			TEST DE DESVIACION ACUMULATIVA			VEROSIMILITUD DE WORSLEY		
			90% 0.10	95% 0.05	99% 0.01	90% 0.10	95% 0.05	99% 0.01	90% 0.10	95% 0.05	99% 0.01
ANUAL	CUSCO	Granja Kcayra Ccattcca Sicuani Urubamba Pisac Cay Cay Acomayo	2000	2000		2000 2000	1998	1998	2000 2000	2000 2000	
	APURIMAC	Abancay Curahuasi Chalhuanca	1995	1995	1995	1995 1992	1995 1992	1995 1992	1995 1992	1995 1992	1995 1992
DEF	CUSCO	Granja Kcayra Ccattcca Sicuani Urubamba Pisac Cay Cay Acomayo	1995						1999 1970	1970	1970
	APURIMAC	Abancay Curahuasi Chalhuanca	1993 1992	1993 1992	1993 1992	1993 1992	1993 1992	1993 1992	1992	1992	1992
MAM	CUSCO	Granja Kcayra Ccattcca Sicuani Urubamba Pisac Cay Cay Acomayo				1986	1986				
	APURIMAC	Abancay Curahuasi Chalhuanca				1994	1994	1994	1994	1994	1994
JJA	CUSCO	Granja Kcayra Ccattcca Sicuani Urubamba Pisac Cay Cay Acomayo	1999								
	APURIMAC	Abancay Curahuasi Chalhuanca									
SON	CUSCO	Granja Kcayra Ccattcca Sicuani Urubamba Pisac Cay Cay Acomayo	1991 1983	1991 1983	1991 1983						
	APURIMAC	Abancay Curahuasi Chalhuanca				1992					

#### 4.3.2 Temperatura máxima

La Tabla 4.8 y anexo 2, muestran la ruptura o quiebre en las series históricas (1965-2008) de la temperatura máxima en estaciones representativas de Cusco y Apurímac al 90, 95 y 99% de significancia. Se observa que la temperatura máxima es la variable más sensible a rupturas en relación a la serie de precipitación, asimismo están asociadas a la fase fría y principalmente a la fase cálida de El Niño Oscilación del Sur (ENOS) como los ocurridos en 1975-76, 1977-78, 1979, 1982-83, 1986, 1994-95 y reflejan disminución (aumento) de la temperatura debajo (sobre) su valor normal.

Las localidades que muestran efectos de rupturas debido a teleconexiones de gran escala con el ENOS en el periodo anual y estacional, son sustancialmente Acomayo (1978), Sicuani (1977), Abancay (1994, 1995) y Curahuasi (1976, 1977).

Cabe resaltar, que la ruptura observada en 1976 en Curahuasi, Granja Kcayra y Sicuani da lugar a un cambio en el comportamiento de la serie temporal hacia un calentamiento que es real y consistente con lo presentado a nivel global.

#### 4.3.3 Temperatura mínima

La Tabla 4.9, muestra la ruptura o quiebre en las series históricas (1965-2008), de la temperatura mínima en estaciones representativas de Cusco y Apurímac al 90, 95 y 99% de significancia. Se observa, que la temperatura mínima es la variable más sensible a rupturas en relación a las series de temperatura máxima y precipitación; asimismo, están asociadas principalmente a la fase cálida de El Niño Oscilación del Sur (ENOS) como los ocurridos en 1969-70, 1976, 1979, 1982-84, 1986-87, 1988-89, 1993-94, 1997, 1999, 2001 y reflejan una disminución (aumento) de la temperatura debajo (sobre) de su valor normal, ver anexo 2.

Las localidades que muestran efectos de rupturas debido a teleconexiones de gran escala con el ENOS, son sustancialmente Urubamba (1994, 2001), Abancay (1993, 1994, 1995), Ccatcca (2000) y Acomayo (1994), Sicuani (1987), ver tabla y anexo.

De otro lado, las rupturas o quiebre son observadas en la escala de verano e invierno principalmente. Cabe resaltar, que la ruptura observada en 1976 en Curahuasi, Urubamba y Sicuani da lugar a un cambio en el comportamiento de la serie temporal hacia el calentamiento, que es real y consistente con lo observado a nivel global.

Tabla 4.8 Análisis de ruptura o quiebre en la serie de temperatura máxima (1965-2008)

	REGIONES	ESTACION METEOROLOGICA	TEST DE CUSUM			TEST DE DESVIACION ACUMULATIVA			VEROSIMILITUD DE WORSLEY		
			90% 0.10	95% 0.05	99% 0.01	90% 0.10	95% 0.05	99% 0.01	90% 0.10	95% 0.05	99% 0.01
ANUAL	CUSCO	Granja Kcayra				1975	1975	1975	1975	1975	1975
		Ccattcca									
Sicuani		1977	1977	1977	1977	1977	1977	1977	1977	1977	
Urubamba					1979	1979					
		Acomayo	1978	1978		1978	1978		1978	1978	
	APURIMAC	Abancay				1995	1995	1995	1995	1995	
		Curahuasi	1976	1976	1976	1976	1976	1976	1976	1976	
		Chalhuanca									
DEF	CUSCO	Granja Kcayra				1976	1976	1976	1976	1976	
		Ccattcca									
Sicuani					1976	1976	1976	1976	1976		
Urubamba					1982						
		Acomayo				1976	1976	1976	1976		
	APURIMAC	Abancay	1994	1994	1994	1994	1994	1994	1994	1994	
		Curahuasi	1977	1977	1977	1977	1977	1977	1977	1977	
		Chalhuanca									
MAM	CUSCO	Granja Kcayra				1978	1978	1978	1978	1978	
		Ccattcca									
Sicuani					1978	1978		1978			
Urubamba											
		Acomayo									
	APURIMAC	Abancay				1994	1994	1994	1994	1994	
		Curahuasi	1977	1977	1977	1977	1977	1977	1977	1977	
		Chalhuanca									
JJA	CUSCO	Granja Kcayra				1976	1976	1976	1976	1976	
		Ccattcca									
Sicuani					1977	1977		1977	1977		
Urubamba											
		Acomayo									
	APURIMAC	Abancay				1995	1995	1995	1995	1995	
		Curahuasi	1977	1977	1977	1977	1977	1977	1976	1976	
		Chalhuanca									
SON	CUSCO	Granja Kcayra				1985	1985	1985	1968	1968	
		Ccattcca									
Sicuani											
Urubamba											
		Acomayo				1983	1983	1983			
	APURIMAC	Abancay	1995	1995	1995	1995	1995	1995	1995	1995	
		Curahuasi	1976	1976	1976	1976	1976	1976	1976	1976	
		Chalhuanca	1994	1994							

Tabla 4.9: Análisis de ruptura o quiebre en la serie de temperatura mínima (1965-2008)

	REGIONES	ESTACION METEOROLOGICA	TEST DE CUSUM			TEST DE DESVIACION ACUMULATIVA			VEROSIMILITUD DE WORSLEY		
			90% 0.10	95% 0.05	99% 0.01	90% 0.10	95% 0.05	99% 0.01	90% 0.10	95% 0.05	99% 0.01
ANUAL	CUSCO	Granja Kcayra Ccattcca Sicuani Urubamba Acomayo	2001	2001	2001	1999 1989	1989	1989	2001 1989		
	APURIMAC	Abancay Curahuasi Chalhuanca				1993 1974 1990	1993 1974 1990	1993 1974 1990	1993 1974 1990	1993 1974 1990	1993 1974
DEF	CUSCO	Granja Kcayra Ccattcca Sicuani Urubamba Acomayo	2000	2000	2000	1993 2000 1989 1976 1994	1989 1976 1994	1994	2000 1989 1994	2000 1994	1994
	APURIMAC	Abancay Curahuasi Chalhuanca				1993 1969	1993 1969	1993 1970	1993 1970 1969	1993 1969	1993
MAM	CUSCO	Granja Kcayra Ccattcca Sicuani Urubamba Acomayo	1997	1997	1997	1982 1997	1982 1997		1997 1997	1997	
	APURIMAC	Abancay Curahuasi Chalhuanca				1994 1974 1989	1994 1974	1994 1974	1994 1994	1994 1994	1994
JJA	CUSCO	Granja Kcayra Ccattcca Sicuani Urubamba Acomayo				1988 1986 1987 1994 1994	1988 1986 1987 1994 1994	1986 1987 1994	1986 1987 1994 1994	1986 1987 1994 1994	1987 1994
	APURIMAC	Abancay Curahuasi Chalhuanca				1993 1976 1984	1993 1976 1984	1993 1984	1993 1984 1984	1993 1984	1993
SON	CUSCO	Granja Kcayra Ccattcca Sicuani Urubamba Acomayo				1986 1977 1986 1992	1986 1977 1986 1992		1977		
	APURIMAC	Abancay Curahuasi Chalhuanca	1992	1992		1992 1995	1992 1995	1992 1995	1995 1995	1995 1995	1995

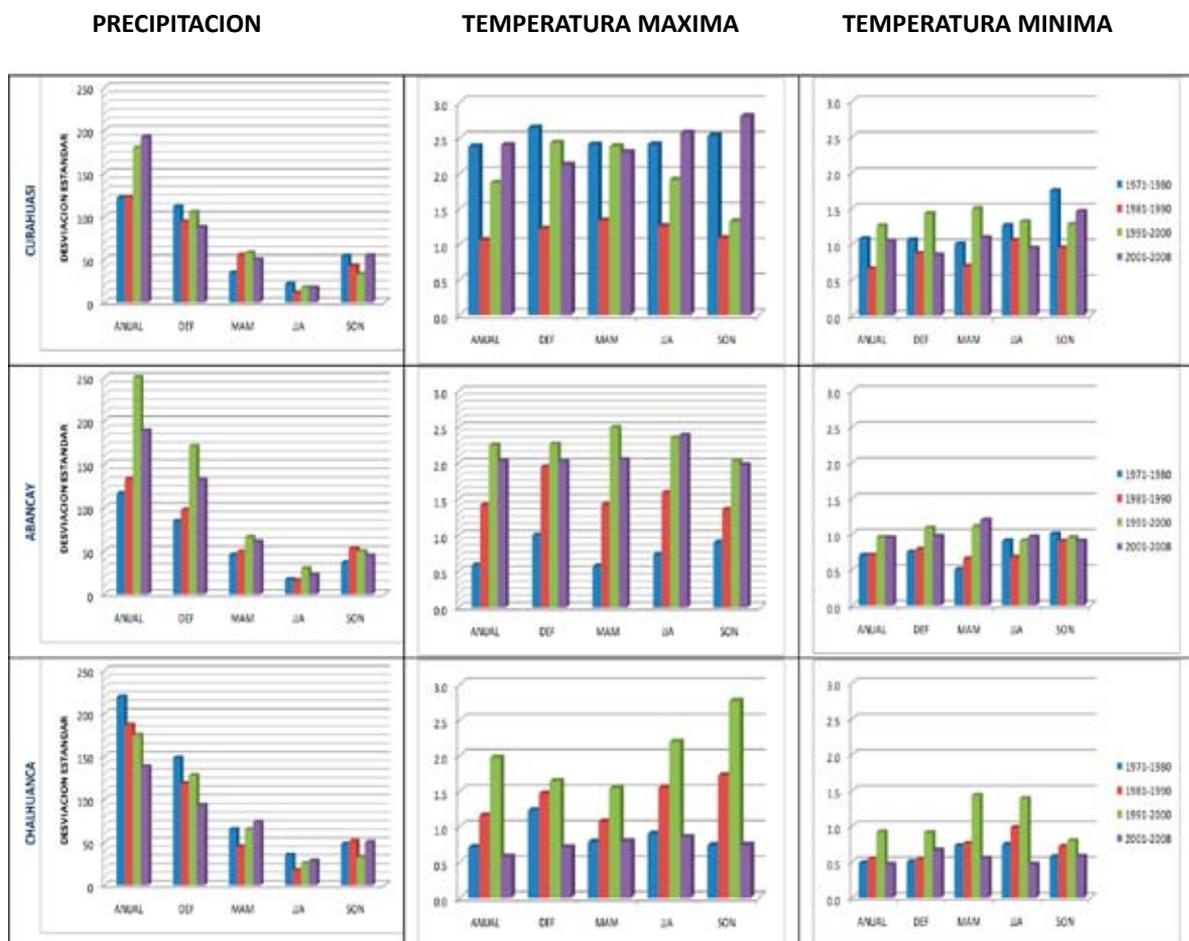
#### 4.4 Variabilidad climática

Las figuras 4.1a y 4.1b muestran la desviación estándar de la precipitación, temperatura máxima y mínima en los periodos: 1971-1980, 1981-1990, 1991-2000 y 2001-2008, en la escala anual y estacional para estaciones meteorológicas representativas de Cusco y Apurímac.

En Apurímac, se observa la mayor desviación de la precipitación respecto a su media en la escala anual y

de verano, principalmente en la década 1991-2000, en las estaciones de Abancay, Curahuasi (Sierra norte), llegando a presentar una desviación de 250 mm respecto a su valor climatológico. Este comportamiento estaría asociado a eventos extremos de precipitación ocurrida en El Niño 1997-98, La Niña 1999-2001. En tanto, en Chalhuanca (Sierra sur) las precipitaciones decadales se alejan de su normal de forma menos marcada y más aleatoria (ver 4.1a). Sin embargo; en la década reciente la desviación estándar tiene una tendencia hacia la disminución en el periodo anual y en el trimestre de máximas lluvias DEF (verano).

En lo que respecta a la temperatura máxima y mínima del aire, la máxima en todas las escalas de tiempo se aleja más de su valor climatológico, hasta en 2.5°C en las dos últimas décadas, en Abancay y Curahuasi, y hasta en 2.7°C en Chalhuanca, durante la década de 1991-2000. Mientras, que la mínima presenta un desvío de 1.5°C respecto a su media climatológica. Las desviaciones observadas en las series de temperaturas en las dos últimas décadas, coinciden con el periodo de máximo calentamiento ocurrido 1995-2006, de todo el periodo industrial que comenzó en 1850 (Marengo, J. 2007), asimismo estarían asociados a eventos extremos como la fase cálida y fría del Niño Oscilación del sur, olas de frío como las ocurridas en el 2004.

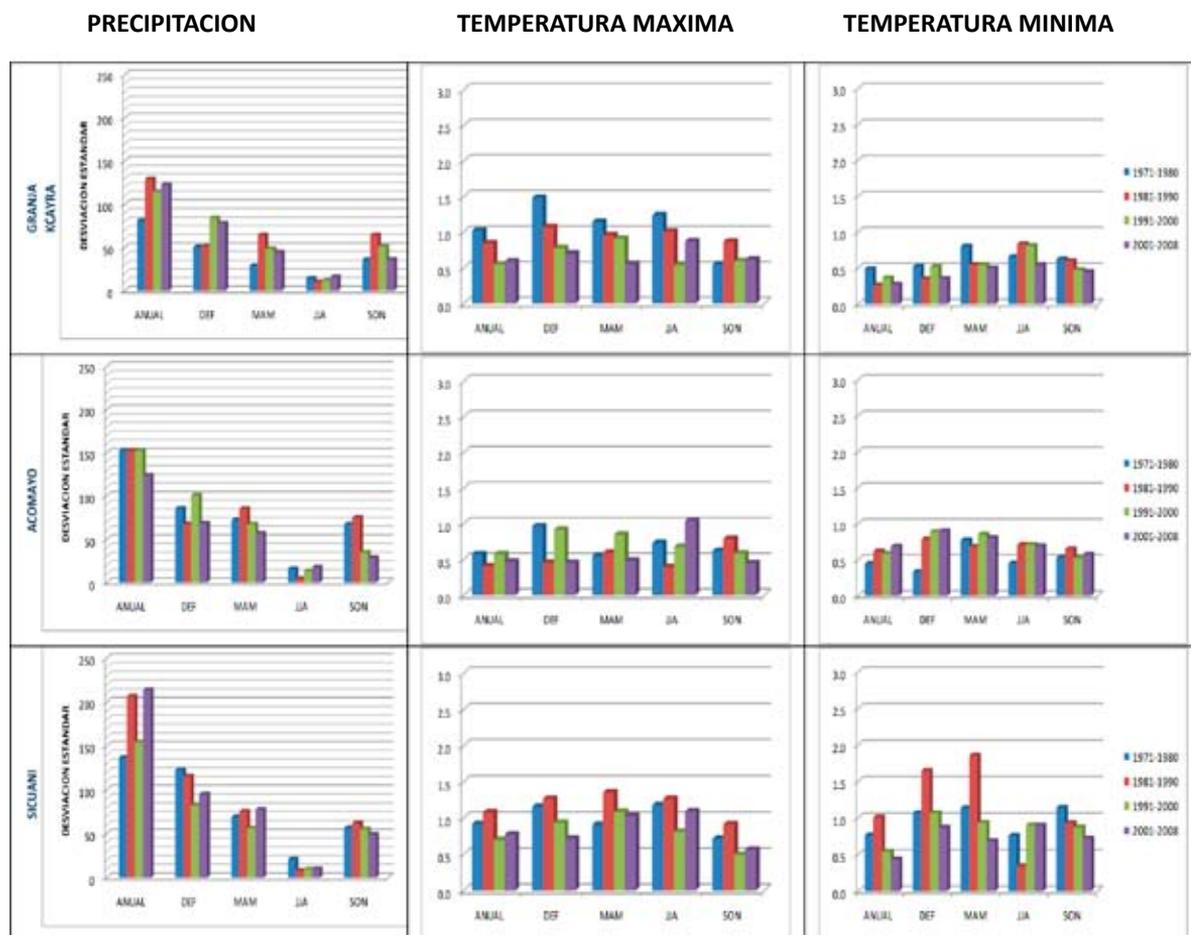


**Figura 4.1a: Desviación estándar en la serie histórica (1965-2008) de la Precipitación, Temperatura máxima y mínima, respecto al clima base (1971-2000) en estaciones de Apurímac**

En Cusco, las series de precipitación y temperaturas máximas y mínima del aire no se desvían significativamente

de sus valores normales (200 mm, 1.5°C y 1°C, respectivamente), en relación a lo presentado en Apurímac. En general, las estaciones meteorológicas de Cusco no presentan variabilidad marcada de una década a otra (ver 4.1b).

En Cusco, solamente Granja Kcayra y Acomayo muestran una tendencia a la disminución de la desviación estándar en las tres variables meteorológicas estudiadas, especialmente las que corresponden a los trimestres DEF y MAM (verano y otoño). En las demás figuras (ver 4.1b), no se aprecia una tendencia permanente de aumento o disminución de la variabilidad.



**Figura 4.1b:** Desviación estándar en la serie histórica (1965-2008) de la Precipitación, Temperatura máxima y mínima, respecto al clima base (1971-2000) en estaciones de Cusco

## 4.5 Tendencias de los Índices Climáticos

Actualmente se incrementa la preocupación que eventos extremos puedan estar cambiando en frecuencia e intensidad como consecuencia de la influencia del hombre sobre el clima. El cambio climático puede ser percibido o sentido de mejor manera a través de la incidencia de estos impactos extremos (IPCC, 2007).

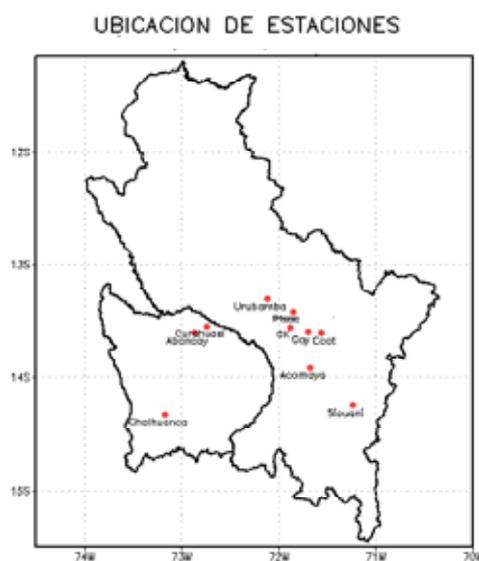
Este interés por el análisis de extremos climáticos se ha visto incrementado exponencialmente por las grandes pérdidas económicas relacionadas al clima y a los extremos meteorológicos, y al aparente incremento

de muertes atribuidos a estos eventos, sugiriendo que los tomadores de decisión necesitan una mejor comprensión del uso potencial de la información climática (Karl and Easterling, 1999). El análisis de extremos climáticos permite definir con cuanta frecuencia se dan, donde se producen y con qué magnitud impactan.

La evaluación de eventos extremos en esta sección, está basada en el análisis de series largas y continuas de observación de precipitación, temperaturas máximas y mínimas, ya que el objetivo del análisis de índices climáticos derivados desde información diaria es importante en estudios regionales y de esa manera se obtienen los impactos por efectos del cambio climático. Sin embargo, la falta de continuidad y calidad de datos restringe la estimación de índices de extremos climáticos que pueden y permitir una mejor evaluación. Otra dificultad en el análisis de extremos climáticos es la ubicación de las zonas a evaluar, así tenemos que las localidades representativas se ubican por encima de los 2500 m.s.n.m con topografía compleja, estas características son más sensibles y vulnerables a cambios climáticos que otras regiones en las mismas latitudes. Así se puede decir que la detección del cambio climático debería ser mas observable a través de sus tendencias y extremos climáticos en regiones montañosas (Messerli e Ives, 1997 – citado por Liu. X. 2006), también Díaz et al. (2003) reconoce la complejidad en los estudios climáticos en regiones montañosas.

La identificación de cambios en los extremos climáticos dependerá de la técnica de análisis empleada (Zhang et al., 2004; Trömel y Schönwiese, 2005). Para evitar las limitaciones de excesivas estadísticas, los análisis de tendencia de extremos, tradicionalmente se han enfocado en la estadística estándar y robusta que describe acontecimientos moderadamente extremos.

Entre muchos métodos estadísticos usados para el diagnostico de eventos extremos tanto de precipitación como de temperaturas, se tiene el que se basa en los “índices extremos”, a través del análisis de tendencias y niveles de significancia, propuesto por Frich et al. (2002) y es ampliamente usado en estudios a nivel mundial y que también ha sido adoptado como salida estándar de datos para el 4to Reporte de Evaluación del IPCC (Kamiguchi et al., 2006). Para el análisis de estos indicadores en las regiones Cusco y Apurímac se ha utilizado información diaria de precipitación y temperatura para el periodo entre 1965 al 2008 en estaciones meteorológicas representativas (ver 4.2 a), considerando las tendencias con nivel de significancia  $p < 0.01$



**Figura 4.2 a:** Ubicación de las estaciones meteorológicas utilizadas para la evaluación de índices de extremos climáticos

El presente análisis se ha realizado haciendo uso del programa RCLimDex, cuya finalidad es monitorear la evolución en los valores extremos de las variables precipitación y temperatura. La metodología fue ideada y puesta en operatividad por el Expert Team on Climate Change Detection, Monitoring and Indices (ETCCDMI), cuyos índices son útiles para la comparación regional y global. Estos indicadores fueron puestos en el programa denominado RCLimDex por el área de Investigación Climática del Servicio Meteorológico de Canadá.

Estos índices no representan extremos considerados como raros, los cuales podrían afectar el tratamiento estadístico y la significancia de las tendencias debido al pequeño número de eventos registrados en el record histórico. Algunos de estos índices están basados en un valor de umbral fijo, facilitando un fácil entendimiento de sus impactos. Otros índices están basados en percentiles, lo cual permite comparaciones entre estaciones.

#### 4.5.1 Índices de Extremos Climáticos de Precipitación

El IPCC en 1996 ha demostrado que la precipitación tiene generalmente incrementos a través de latitudes medias a altas durante el siglo pasado. Existen muchos estudios a nivel mundial que apuntan hacia un incremento de las precipitaciones extremas, así tenemos Karl and Knight (1998) encontraron un significativo incremento en los eventos extremos de precipitación durante el siglo XX en USA, este incremento ha ocurrido tanto a nivel de incrementos en frecuencia de precipitaciones muy fuertes, así como en incrementos en intensidad. Iwashima and Yamomota (1993) también encontraron un incremento en la probabilidad de eventos de precipitación extrema en recientes décadas en Japón (Karl and Easterling, 1999).

En el presente análisis, seis índices fueron calculados y son enumerados en la Tabla 4.10. Muchos de estos índices relacionan la precipitación extrema, aunque dos son más indicativos de cambios en la distribución total de la precipitación: Precipitación Total Anual en los días húmedos (PRCPTO) y el Índice de intensidad diaria de precipitación en días húmedos (SDII). Un día húmedo se refiere a un día con al menos 1 mm de precipitación.

Las tendencias analizadas fueron calculadas a un nivel de significancia estadística de  $p < 0.01$ . El periodo de análisis es desde 1965 al 2008.

Tabla 4.10: Índices de precipitación con su definición y unidades. Todos los índices son calculados anualmente de Enero a Diciembre.

Indicador	Nombre del Indicador	Definición	Unidades
PRCPTOT	Precipitación en días húmedos	Precipitación Total Anual en los días húmedos (RR $\geq$ 1mm)	mm
SDII	Índice de intensidad diaria de precipitación	Precipitación total anual dividida por el número de días húmedos en un año	mm día <sup>-1</sup>
CDD	Días secos consecutivos	Número máximo de días consecutivos con RR<1mm	días
CWD	Días húmedos consecutivos	Número máximo de días consecutivos con RR $\geq$ 1mm	días
R95p	Días muy húmedos	Precipitación total anual en que RR>95 percentil	mm
R99p	Días extremadamente húmedos	Precipitación total anual en que RR>99 percentil	mm

Los resultados para todas las estaciones en la región Cusco-Apurímac, se muestran a continuación:

Tabla 4.11: Tendencia positiva sin significancia (+), Tendencia positiva con significancia (+), Tendencia negativa sin significancia (O), Tendencia negativa con significancia (O).

REGION	ESTACIONES	SIERRA	SDII	CDD	CWD	R95p	R99p	PRCPTOT
CUSCO	Urubamba	Norte	O	O	+	+	+	+
	Pisac	Centro	O	+	+	O	O	O
	Cay Cay		+	O	+	+	+	+
	Granja Kcayra		+	O	+	+	+	+
	Ccatcca		+	O	O	+	+	+
	Acomayo		+	+	O	+	+	O
	Sicuani	Sur	O	O	+	+	+	+
APURIMAC	Curahuasi	Norte	O	O	+	+	O	+
	Abancay		+	O	+	+	+	+
	Chalhuanca	Sur	+	+	+	+	+	+

En los últimos 44 años en toda la región Cusco-Apurímac (ver **Figura 4.2**) la tendencia del índice de precipitación acumulada en un año (PRCPTO) se ha incrementado en una tasa promedio de 3.3 mm/día/año, excepto en las estaciones de Pisac y Acomayo en Cusco, donde la tasa de decremento es de 1.9 mm/día/año.

La distribución de la tendencia del índice de intensidad diaria de precipitación anual (SDII) es mostrado en la **Tabla 4.11 y Figura 4.2 b**. Este índice indica la intensidad promedio diaria de la precipitación ocurrida durante un año y su tendencia representa la posible variación de largo plazo (SENAMHI, SCNCC 2009). En la región Cusco-Apurímac este índice en general es positivo y estadísticamente significativo en las estaciones de Cay-Cay y Granja Kcayra en Cusco, así como en las estaciones de Abancay y Chalhuanca en Apurímac, en estas localidades el valor de estas tendencias son muy bajas, reflejando un aumento de 1mm en la intensidad de las precipitaciones ocurridas en los últimos 44 años, mientras que los valores negativos de este índice se presentan en la zona norte (Urubamba, Pisac) y sur (Sicuani) en Cusco, así como en la estación de Curahuasi en Apurímac, presentando un mayor valor de tendencia y estadísticamente significativo en Pisac, con una disminución de 2 mm en la intensidad de la precipitación en esta localidad.

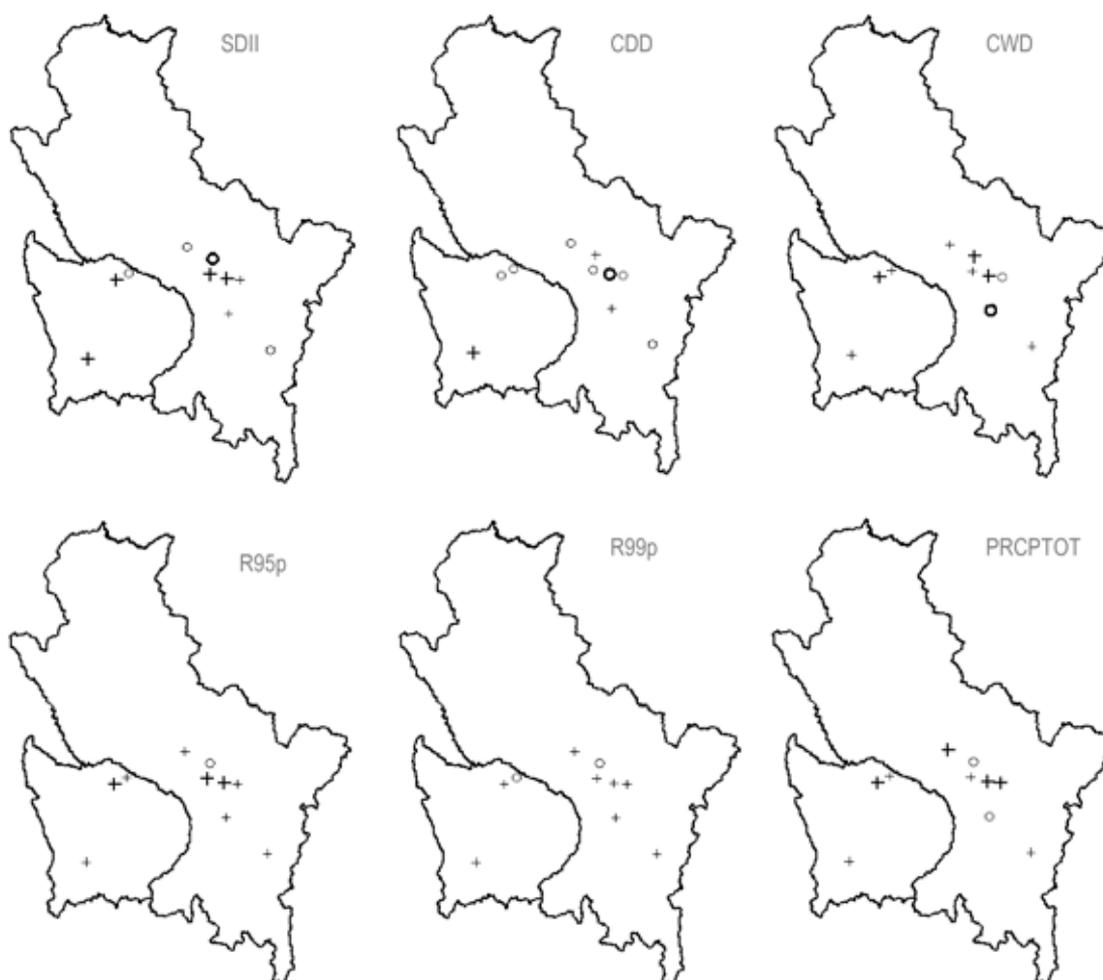


Figura 4.2 b: Señal de tendencia en indicadores de precipitación. El incremento es mostrado por el símbolo cruz y el decrecimiento por un círculo. Valores en negrita indican significancia en  $p < 0.01$ .

Las tendencias de los índices de máximo número de días consecutivos secos (CDD) y días consecutivos con precipitación (CDW), mostrados en la **Figura 4.2**, pueden ser interpretados como indicadores de sequías e inundaciones, respectivamente (SENAMHI, SCNCC 2009). Así se tiene, que en general en toda la región Cusco-Apurímac predomina una relación inversa entre estos índices, es decir, existe una reducción de los días secos consecutivos (tendencia negativa de CDD), que es coherente con el incremento de los días con lluvia (tendencia positiva de CDW), siendo estadísticamente significativa principalmente en la estación de Cay Cay, en promedio la tendencia negativa de CDD es menor a 0.2 días/año (una disminución de 9 días sin lluvia en 44 años) y la tendencia de CWD en la región presenta una tasa de 0.04 días/año (representa un aumento de 2 días con lluvia), si bien en los últimos 44 años han aumentado los días con lluvia, este aumento aun es deficiente en comparación a la disminución de los días sin lluvia. Lo que se interpretaría que en las últimas 4 décadas se han presentado con mayor frecuencia la presencia de episodios lluviosos, siendo estos intensos y de corta duración. Este cambio en la ocurrencia de los periodos secos y húmedos es manifestado en la percepción de los pobladores como: “Las precipitaciones no caen en su debido tiempo”, “sequias intercaladas con lluvias torrenciales” (Flores, A. y Valdivia, G. 2009).

La relación existente entre los índices CDD y SDII en toda la región central de Cusco, así como en la estación de Abancay en la región de Apurímac, es inversa, cuando CDD es negativo, el índice SDII es positivo, así se tiene

que si bien el número de días sin lluvia (periodo seco) está disminuyendo, la intensidad diaria de precipitación anual se está incrementando, lo que concuerda con la percepción de los pobladores, que manifiestan que las lluvias están siendo más intensas y en periodos cortos (Flores, A y Valdivia, G 2009), siendo estadísticamente significativa en la estación de Cay Cay. En las estaciones de la región norte y sur de Cusco-Apurímac (Urubamba y Sicuani, así como Curahuasi y Chalhuanca, respectivamente) existe una relación directa, la que indica que cuanto mayor es el CDD, el SDII es mayor y viceversa, es decir, cuando el periodo seco está aumentando en estas localidades se tiene también un incremento en la intensidad de las precipitaciones y viceversa.

Las tendencias del número de días muy lluviosos (R95p) y días extremadamente lluviosos (R99p) son graficados en la **Figura 4.2**, donde se tiene que la distribución de tendencias en ambos índices en las regiones analizadas es similar, ya que ambas presentan un incremento en sus tendencias en los 44 años de evaluación, este comportamiento mantiene una relación directa con el índice de precipitación acumulada anual (PRCPTO), excepto en la estación de Pisac en Cusco, donde se presenta una disminución de los días lluviosos y extremadamente lluviosos, así como de la precipitación anual. Al analizar las tasas de incremento de ambos índices, se tiene que la tasa de incremento de los días muy lluviosos es mayor y con un nivel de significancia alto, en comparación a la tasa de incremento de los días extremadamente lluviosos en 26 días/año, es decir, se han incrementado la frecuencia de ocurrencia de los días muy lluviosos en comparación con el incremento en la frecuencia de ocurrencia de los días extremadamente lluviosos en los últimos 44 años.

#### 4.5.2 Índices de Extremos Climáticos de Temperatura:

Existe una clara evidencia que la temperatura media global observada se ha incrementado aproximadamente en 0.5°C desde inicios del siglo XX. Claramente, si hay grandes cambios en la media, también existirá la probabilidad de cambios en las temperaturas extremas (IPCC 1996). Un reciente análisis realizado por Easterling et al (1997) muestra de hecho, que tanto la temperatura máxima y mínima media diaria esta incrementándose, pero es la tasa de incremento de la temperatura mínima la que se incrementa en dos veces en comparación a la máxima media diaria (Karl and Easterling, 1999). Este incremento de la temperatura mínima afecta la longitud del periodo de heladas (FD0), así como al rango diurno de temperatura (DTR). Por otro lado, también se tiene que incrementos en la temperatura media, se espera que vengan acompañados por incremento en la frecuencia de días y noches cálidas (Liu, X. et al. 2006).

El comportamiento de las tendencias y su nivel de significancia de diez índices de temperaturas extremas seleccionados para este estudio son definidos en la **Tabla 4.12**. Estos índices se basan en el análisis de la temperatura diaria tanto máxima como mínima, así como también de la relación entre ambas. La selección de los índices fue calculada en una base mensual y/o anual, a partir de datos diarios. Ellos describen temperaturas extremas cálidas y frías. Algunas están basadas en un umbral fijo (ej., días con heladas) y su impacto es fácil de entender y evaluar. Otros son basados en umbrales definidos como percentiles (ej. días cálidos, noches frías) y estos son usados para facilitar la comparación entre estaciones. Otros índices son calculados desde la combinación de ambas temperaturas para proporcionar una medida de la variabilidad de temperaturas extremas.

Los índices de temperaturas basados en percentiles son calculados como porcentajes de días (en un mes o año) por encima o por debajo de 90th o 10th percentil. En el presente estudio las tendencias de los índices extremos fueron calculadas para el periodo 1965-2008, solo si menos del 15% de los valores estaban faltantes.

La significancia estadística de las tendencias fue evaluada al 1% de nivel de confianza.

Tabla 4.12: Índices de temperatura con su definición y unidades. Todos los índices son calculados anualmente de Enero a Diciembre.

Indicador	Nombre del Indicador	Definición	Unidades
FDO	Días de Heladas	Número de días en un año cuando Tn (mínimo diario) < 0°C	días
Txx	Temperatura Máxima Máxima	Valor mensual máximo de temperatura máxima diaria	°C
Txn	Temperatura Máxima Mínima	Valor mensual mínimo de temperatura máxima diaria	°C
Tnx	Temperatura Mínima Máxima	Valor mensual máximo de temperatura mínima diaria	°C
Tnn	Temperatura Mínima Mínima	Valor mensual mínimo de temperatura mínima diaria	°C
DTR	Rango diario de temperatura	Diferencia media mensual entre Tx y Tn	°C
Tx10p	Días fríos	Porcentaje de días cuando Tx < 10th percentil	días
Tx90p	Días calientes	Porcentaje de días cuando Tx > 90th percentil	días
Tn10p	Noches frías	Porcentaje de días cuando Tn < 10th percentil	días
Tn90p	Noches calientes	Porcentaje de días cuando Tn > 90th percentil	días

Los resultados para todas las estaciones en la región Cusco-Apurímac, se muestran a continuación:

Tabla 4.13: Tendencia positiva sin significancia (+), Tendencia positiva con significancia (+), Tendencia negativa sin significancia (O), Tendencia negativa con significancia (O).

REGION	ESTACIONES	SIERRA	fdo	Txx	Tnn	dtr	Tx10p	Tx90p	Tn10p	Tn90p
CUSCO	Urubamba	Norte	O	+	+	O				
	Granja Kcayra	Centro	O	+	+	+	O	+	O	+
	Ccatcca		O	O	+	O	O	+	O	+
	Acomayo		O	+	+	O				
	Sicuani	Sur	+	+	O	+				
APURIMAC	Curahuasi	Norte		+	O	O				
	Abancay			O	O	O				
	Chalhuanca	Sur	+	O	O	O				

#### • Temperatura Máxima:

La **Figura 4.3** presenta un mapa de las tendencias para los índices de temperatura máxima (Txx), estos índices muestran una mezcla de tendencias estadísticamente significantes en la región. Se aprecia que algunas estaciones están en desacuerdo con estaciones a su alrededor, así tenemos en la región en estudio, donde la mayoría de estaciones manifiestan una tendencia positiva en la intensidad de la temperatura máxima diaria, es decir los días están tendiendo a ser más calientes, con excepción de Ccatcca (Cusco) y Abancay y Chalhuanca (Apurímac), donde existe un decremento en la intensidad de los días calurosos.



Figura 4.3: Señal de tendencia en indicadores de temperatura máxima. El incremento es mostrado por el símbolo cruz y el decrecimiento por un círculo. Valores en negrita indican significancia en  $p < 0.01$

El análisis de índices basados en percentiles, solo se han calculado en las estaciones Granja Kcayra y CCTacca en Cusco, donde la tendencia del índice que indica el número de días muy fríos (Tx10p) muestra predominancia de valores negativos, con valores estadísticamente significativos en Granja Kcayra, esto nos indica que en el periodo analizado se está apreciando una disminución del número de días con temperaturas máximas inferiores al percentil 10% y significa que durante las últimas cuatro décadas los días fríos están paulatinamente disminuyendo en las estaciones evaluadas. Por otro lado, tenemos que el patrón de tendencias de los días cálidos (TX90p) tiene un comportamiento inverso a los índices anteriormente analizados, ya que en este caso las tendencias son de aumento de los días cálidos en los últimos 44 años.

- **Temperatura Mínima:**

En el análisis de los índices basados en las temperaturas mínimas diarias (Tnn), **ver Figura 4.4**, estas presenta un alto nivel de significancia ya sea positivo o negativo. En la región del Cusco predominan las tendencias positivas en la intensidad de la temperatura mínima diaria, es decir las noches frías están tendiendo a ser más calientes; se conoce que las islas de calor urbanas muchas veces tienden a manifestarse con más fuerza durante horas nocturnas (Landsberg, 1981, citado en Karl, et al. 1993) ; con excepción de Sicuani (Cusco) y toda las estaciones de Apurímac, donde existe un decremento significativo en la intensidad de este índice, por lo que en estas localidades las noches en los últimos 44 años son más frías.



Figura 4.4: Señal de tendencia en indicadores de temperatura mínima. El incremento es mostrado por el símbolo cruz y el decrecimiento por un círculo. Valores en negrita indican significancia en  $p < 0.01$

El análisis de percentiles (**Figura 4.4**), que representan ocurrencia de eventos más extremos, se realiza sobre las estaciones de Granja Kcayra y Ccatcca en Cusco, donde en ambas localidades el número de días con noches frías (Tn10p) están disminuyendo, lo que nos indica que las noches frías cada vez están tornándose más cálidas durante el periodo de estudio con alto nivel de significancia estadística. Observando el comportamiento del número de noches cálidas (Tn90p), se tiene que en las últimas 4 décadas sobre estas localidades existe un aumento en el número de días con noches cálidas. Estos resultados nos muestran un fuerte calentamiento observado en la temperatura del periodo nocturno.

Los resultados en las tendencias del índice que determina los días de heladas meteorológicas (fdo), muestra en general en toda la región Cusco una tendencia negativa (**ver Figura 4.5**), lo que parece indicar una disminución de los días con heladas meteorológicas en la mencionada región, siendo significativa estadísticamente en las estaciones de Granja Kcayra y Acomayo (Cusco); esto se encuentra en concordancia con los resultados observados de las temperaturas mínimas (Tnn), lo que demuestra que un aumento en las temperaturas mínimas afecta la longitud del periodo de heladas, lo cual tiene un potencial impacto en diferentes sectores, como el agrícola. Esta disminución en el número de heladas en el último siglo también se presenta en muchos lugares a nivel mundial como Australia y Nueva Zelanda (Karl and Easterling, 1999). Este comportamiento se exceptúa en las estaciones de la sierra sur en ambas regiones, representadas por la estación Sicuani (Cusco) y Chalhuanca (Apurímac), donde se tiene una tendencia positiva y con alto nivel de significancia estadística del 99%, aparentemente esta discrepancia podría deberse a efectos muy locales que podrían estar modulando la zona sur. El número de heladas meteorológicas que disminuyeron en los últimos 44 años fue a razón de 0.33 días/año (aproximadamente una disminución de 15 días), caso contrario tenemos en la sierra sur, donde la tasa de incremento de heladas meteorológicas fue mayor a razón de 1.19 días/año (aproximadamente un mes y medio) de aumento de los días con heladas en esta zona.



Figura 4.5: Señal de tendencia en indicador de heladas meteorológicas. El incremento es mostrado por el símbolo cruz y el decrecimiento por un círculo. Valores en negrita indican significancia en  $p < 0.01$

Muchas tendencias decrecientes son observados en el índice basado en la combinación de ambas variables, así se tiene el rango diurno de temperatura (dtr), que es la diferencia entre la temperatura máxima y mínima diaria (**ver Figura 4.6**), ha presentado en los últimos 44 años un decrecimiento promedio de  $1^{\circ}\text{C}$ . Este decrecimiento del rango diurno se estaría debiendo que en los últimos 44 años es la temperatura

nocturna la que se viene incrementando en mayor proporción que la temperatura diurna. Estos resultados son similares a los encontrados con otros estudios realizados por diferentes científicos que han notado que este calentamiento no es uniforme en todo el día, con menos calentamiento observado en las temperaturas máximas y sustancialmente más calentamiento en las temperaturas mínimas (Karl et al., 1993; Easterling et. Al., 1997-citado en Liu, et al. 2006). También se debe tener en cuenta que si efectos locales influyen significativamente en el decrecimiento del DTR, entonces al menos tres posibilidades necesitan ser analizadas, estas incluyen cambios en la urbanización, irrigación y desertificación de las regiones evaluadas.



**Figura 4.6:** Señal de tendencia en indicador de heladas meteorológicas. El incremento es mostrado por el símbolo cruz y el decrecimiento por un círculo. Valores en **negrita** indican significancia en  $p < 0.01$



## 5. EVENTOS CLIMATICOS EXTREMOS EN LAS REGIONES CUSCO Y APURIMAC: PERIODOS SECOS/HUMEDOS Y HELADAS

### 5.1. Periodos Secos y Húmedos

#### 5.1.1. Síntesis metodológica para análisis de la sequia

En el análisis de la sequía se ha utilizado el Índice de Precipitación Estandarizada - SPI (por sus siglas en inglés) porque facilita un valor para medir la intensidad, así como la probabilidad de ocurrencia para una escala de tiempo entre 3 a 48 meses.

El cálculo del SPI se basa en las precipitaciones mensuales de las estaciones meteorológicas ubicadas en las regiones de Cusco y Apurímac, para el periodo 1965-2008, tal como se muestra en el Tabla 5.1.

Tabla 5.1: Estaciones meteorológicas utilizadas para el cálculo del SPI

ESTACION	REGION	PROVINCIA	LONGITUD	LATITUD	ALTITUD	RECORD
<b>URUBAMBA</b>	Cusco	Urubamba	-72.12	-13.31	2863	1965-2008
<b>ANTA ANCACHURO</b>	Cusco	Anta	-72.22	-13.47	3340	1965-2008
<b>GRANJA KCAYRA</b>	Cusco	Cusco	-71.88	-13.56	3219	1965-2008
<b>CCATCCA</b>	Cusco	Quispicanchi	-71.56	-13.61	3729	1965-2008
<b>SICUANI</b>	Cusco	Canchis	-71.24	-14.25	3574	1965-2008
<b>CURAHUASI</b>	Apurimac	Abancay	-72.74	-13.55	2763	1965-2008
<b>ABANCAY</b>	Apurimac	Abancay	-72.87	-13.61	2750	1965-2008

Esta información mensual proveniente de las estaciones meteorológicas tuvo un control de calidad en una plataforma de datos, denominada Hydraces. Esta plataforma ha sido desarrollada por el Instituto de Investigación para el Desarrollo de Francia (IRD) y viene siendo muy utilizada por varios Servicios Meteorológicos de América Latina y África, para el tratamiento de calidad de datos especialmente de las precipitaciones y caudales. El Hydraces es gratuito y puede ser descargado de manera directa desde la web:

<http://www.mpl.ird.fr/hybam/outils/hydraccess.htm>

Las series mensuales de precipitaciones han sido analizadas y completadas en aquellos meses faltantes por medio del vector regional resultante de la regionalización de las series pluviométricas que permite zonificar el comportamiento pluviométrico de una zona. Este vector regional se basa en la teoría del vector de índices anuales de precipitaciones de Brunet-Moret (1979). Sólo se ha utilizado estaciones meteorológicas que han sido completados hasta un 15% de datos faltantes en forma discontinua, en promedio, cerca de 79 meses.

Los valores totales mensuales de precipitaciones de cada estación meteorológica fueron acumulados trimestralmente, semestralmente y anualmente, los que fueron ajustados a una distribución de probabilidad Gama, condición necesaria para la obtención del índice. Posteriormente, esta distribución es transformada en una distribución normal estándar, para que la media sea cero y la desviación estándar sea la unidad. Los valores del SPI corresponden así a la estandarización de los totales de las precipitaciones gama-transformados, por lo cual un índice igual a cero, indica que la precipitación no tiene desvíos respecto a su valor medio, si los valores del SPI son positivos, indican que las precipitaciones son superiores a su valor medio (excesos) y si son negativos, la precipitación es inferior a sus valores medios (sequías), tal como se indica en el Tabla 5.2.

Tabla 5.2: La intensidad de los eventos extremos secos y húmedos de acuerdo al valor del SPI

VALORES SPI	INTENSIDAD DE LOS EVENTOS EXTREMOS	PROBABILIDAD (%)
$\geq 2$	Húmedo extremo	2,3
1,50 a 1,99	Húmedo severo	4,4
1,0 a 1,49	Húmedo moderado	9,2
-0,99 a 0 a 0,99	Ligera –normal	68,2
-1.49 a -1	Sequía Moderada	9,2
-1,99 a -1,5	Sequía Severa	4,4
$\leq -2$	Sequía Extrema	2,3

La distribución gamma está ampliamente referenciada y explicada en la literatura (Wu et al., 2005) y está definida mediante la siguiente ecuación:

$$G(x) = \frac{1}{b \Gamma(a)} \int_0^x x^{a-1} e^{-x/b} dx$$

Donde:

G(x) – probabilidad acumulada

$\beta$  - parámetro de escala

$\alpha$  - parámetro de forma

x - variable aleatoria (precipitación mensual)

$\Gamma(\alpha)$  - función gama

Los parámetros  $\alpha$  y  $\beta$  son estimados por:  $a = \frac{1}{4A} \left( 1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right)$   $b = \frac{\bar{x}}{a}$  Donde

$$A = \ln(\bar{x}) - \frac{\sum (\ln(x))}{n}$$

siendo  $n$  el número de observaciones (Lloyd-Hughes e Saunders, 2002).

Después del cálculo de la probabilidad acumulada, G(x), siendo x la precipitación mensual, semestral y anual, se determinó el valor de Z (precipitación estandarizada) para la misma probabilidad, de este modo se obtiene el índice SPI.

Para ver las tendencias en las sequías se ha utilizado un software denominado TREND, (Trend/Change detection software) que facilita la pruebas estadísticas para la tendencia, cambio y aleatoriedad de las series de datos;

este software ha sido puesto a disposición por la WMO/UNESCO y está siendo utilizado en diversas partes del mundo y está disponible en: <http://www.toolkit.net.au/trend>

Este Software presenta 12 test, de los cuales para la tendencia utiliza dos test no paramétricos de Man -Kendall y Spearman's Rho y el test paramétrico de la regresión lineal, con sus niveles de significancia a 90, 95 y 99%.

### 5.1.2. Condiciones meteorológicas extremas: sequías y excesos de precipitación en Cusco y Apurímac

La sequía así como las lluvias en cantidades excesivas constituye extremos climáticos que tienen un impacto sobre la calidad de vida de la población, asociados a los impactos económicos, sociales y medioambientales que induce estos eventos. En este trabajo se analizará mayormente la sequía.

El término de sequía tiene diversas definiciones, todas ellas fueron asociadas en 6 categorías establecidas por Wilthite and Glantz, 1985: meteorológica, climatológica, atmosférica, agronómica, hidrológica y manejo del agua. Otros autores han revisado las definiciones y todos ellos están de acuerdo que "la sequía es una condición de insuficiente humedad causada por una deficiente precipitación sobre un periodo de tiempo", McKee, 1993.

La sequía es un evento extremo de la variabilidad climática, considerado como el fenómeno más complejo y menos entendido de los peligros naturales, que a comparación de otros peligros difieren en muchos aspectos: 1) es de inicio lento y su efecto se acumula en un periodo de tiempo e incluso mucho tiempo después que se haya terminado el evento seco. 2) el grado de severidad, es difícil cuantificarlo debido a que no se tiene una definición establecida. 3) los impactos que conlleva abarca un área geográfica mayor que otros peligros.

Actualmente, según el ámbito de impacto, las sequías se dan en 4 aspectos: Meteorológico, Hidrológico, agrícola y socioeconómico.

- a) Sequías meteorológicas: es definido en base al grado de deficiencia en comparación con la "normal" y la duración del periodo seco. Estas definiciones pueden variar de una reunión a otra ya que son dependientes de las condiciones atmosféricas que originan las deficiencias de lluvias. En general, este grado de comparación se da en diferentes escalas de tiempo, mensuales, estacionales o anuales.
- b) Sequías agrícolas: este tipo de sequía une varias características de la sequía meteorológica a los impactos en los cultivos, focalizando periodos cortos de lluvias, diferencias entre la evaporación actual y potencial, déficit de agua en el suelo, reducción de agua en el suelo, etc.
- c) Sequía hidrológica: se asocia a los efectos de periodos de déficits de las precipitaciones sobre el abastecimiento de agua superficial o subsuperficial (flujos de agua, niveles de reservorios, de lagos y de agua subterránea). Aunque todas las sequías se originan con una deficiencia de la precipitación, los hidrólogos se refieren más a cómo esta deficiencia juega un papel importante en el sistema hidrológico. Estas sequías siempre están fuera de fase o con retraso en los impactos ya que toma un tiempo largo que las deficiencias de lluvia muestren sus alteraciones en las componentes del sistema hidrológico tales como humedad del suelo, flujo y niveles de agua.

Hay diferentes índices para caracterizar las sequías como: el porcentaje respecto a su normal, el índice de precipitación estandarizada (SPI), el Índice de Severidad de palmer (PDSI) y los percentiles se usan para

cuantificar la sequía meteorológica mientras que el índice de sequías hidrológicas de Palmer (PHDI) cuantifica la sequía hidrológica, entre los principales. Cada uno de ellos tiene sus propias ventajas y desventajas. El porcentaje respecto a su normal, PSI, PDSI y percentiles se usan para cuantificar la sequía meteorológica mientras que PHDI cuantifica la sequía hidrológica.

Sobre la zona de estudio especialmente en Cusco, se ha realizado en el 2007, en el marco del Proyecto Regional Andino de Adaptación (PRAA), un análisis anual de las sequías por medio de los percentiles en la cuenca del río Urubamba, mostrando una mayor frecuencia de éstas entre los años 70's a 90's; más bien desde el año 2000 hasta el 2006, la cuenca no presenta sequías sino excesos de lluvias (SENAMHI, 2007).

### 5.1.3. Distribución anual de los extremos de precipitación

Para la obtención de los índices anuales se ha considerado el año con inicio en setiembre finalizando en agosto del siguiente año, periodo que es similar con el inicio y desarrollo de la temporada de lluvias en la zona. Para denominar las estaciones meteorológicas en las figuras se han utilizados las siguientes abreviaturas:

Estación	Abreviatura
Granja Kayra	GRAKY
Urubamba	URBMB
Anta	ANTA
Ccatcca	CCATC
Abancay	ABNCY
Curahuasi	CURSI
Sicuni	SICNI

#### • Distribución del SPI anual en la Región de Cusco

En la figura 5.1a se muestra la distribución temporal del SPI en forma anual, observándose en la zona de Cusco para las estaciones meteorológicas analizadas, las lluvias no presentaban frecuencia de extremos tan intensos antes del año 1979.

Posterior a esta fecha, se registraron las sequías más intensas (extremas) que se presentaron hasta 5 años consecutivos en Urubamba entre 1979/80 a 1983/84 y con 3 años consecutivos en Sicuni entre 1981/82 a 1983/84.

Asimismo se observa que las sequías y las deficiencias de lluvias en las estaciones meteorológicas ubicadas en Cusco se registraron en gran parte de los años Niño, como en 1968/69 en todas las estaciones meteorológicas a excepción de Anta, 1976/77 en Granja Kayra y Ccatcca, 1982/83 y 1986/87 se registraron sequías en toda la zona, en 1991/92 se presentó una sequía moderada en Anta y en las otras localidades deficiencias de lluvia como en Sicuni, asimismo en El Niño 1965/66 no se presentaron sequías pero si presentó deficiencia de lluvias con mayor notoriedad en Anta y Ccatcca. Salvo en El Niño 1997/98 que en zonas localizadas como Anta y Granja Kayra presentaron anomalías positivas (excesos ligeros) de lluvia y en las otras localidades sí presentaron deficiencias y sequías.

Por otro lado, también se han presentado sequías en años diferentes a El Niño como 1979/80 y 1989/90 en gran parte de sierra central y sur de Cusco. Finalmente, hay años que en algunas localidades presentan sequías y en otras localidades han presentado excesos de lluvia como en el año 1981/82, con sequías extremas en Urubamba y Sicuani y excesos extremos en Granja Kayra, similar situación se repitió en 1983/84 y 1984/85, lo cual podría indicar que el comportamiento en estos años está más asociada a condiciones regionales y/o locales más que a condiciones globales como durante El Niño.

Respecto a los extremos positivos, excesos de lluvia se han presentado con mayor frecuencia en comparación con las sequías desde la década de los 80's hasta la actualidad, merece una especial mención los tres años consecutivos de excesos de lluvia (precipitaciones severas y extremas) en toda la parte de la sierra sur y central de Cusco que se dió entre 2000/01 al 2002/03. Estos resultados son similares a los encontrados por medio de los percentiles en la misma zona (SENAMHI, 2007).

Para mayor información de los años que han presentado sequías y excesos de lluvia se presentan en las Tablas 5.3 y 5.4.

#### • Distribución del SPI anual en Apurímac

En la figura 5.1b se muestra la distribución temporal del SPI para Apurímac, con dos estaciones meteorológicas relativamente cercanas, Abancay y Curahuasi. Estas localidades corresponden a la sierra norte del departamento de Apurímac y podemos observar que no es tan notoria la relación de las sequías con los eventos El Niño.

Asimismo, se observa una presencia intercalada de eventos positivos y negativos hasta los 90's, a partir de esa fecha hasta el 2008 han predominado los eventos positivos, es decir de eventos de lluvia, esto es, presencia de excesos de lluvia con intensidad severa.

Las sequías de duración anual, se han presentado el año 1974/75 de intensidad extrema en Curahuasi y moderada en Abancay, asimismo durante 4 años consecutivos se presentaron sequías en ambas localidades entre 1988/1989 al año 1991/92 con intensidades de moderada y extrema, ver Tablas 5.3 y 5.4.

Los eventos de excesos de lluvia en ambas localidades se han presentado los años: 1966/67 con intensidad moderada, 1981/82 con intensidad extrema a moderada, asimismo en los años Niño del 1994/95 y 2002/03, los excesos fueron moderados a severos. En la localidad de Abancay se han presentado 3 años consecutivos de excesos de lluvia entre 1998/99 al 2000/01 con intensidad moderada.

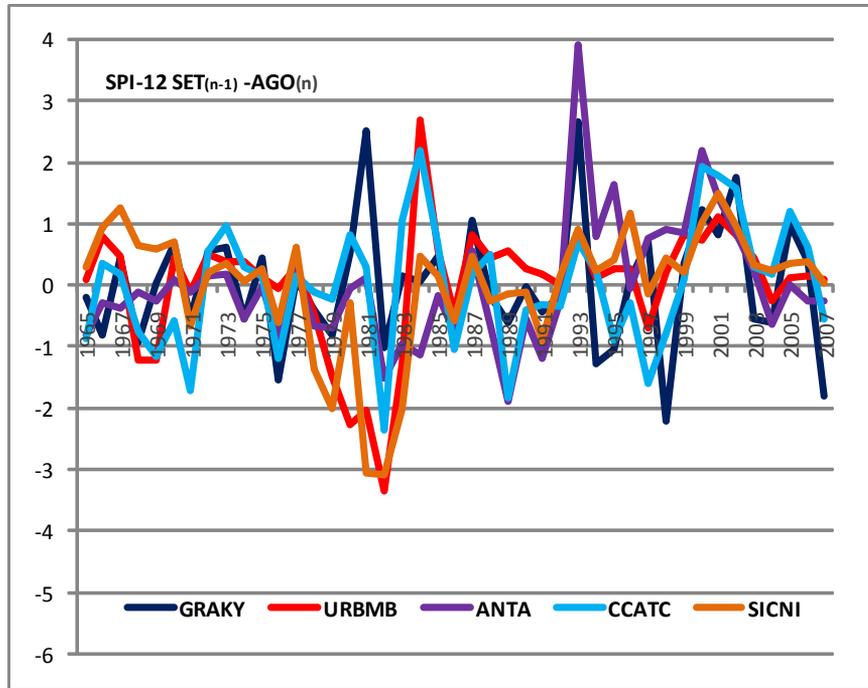


Figura 5.1a: Distribución temporal del SPI para las estaciones de Cusco

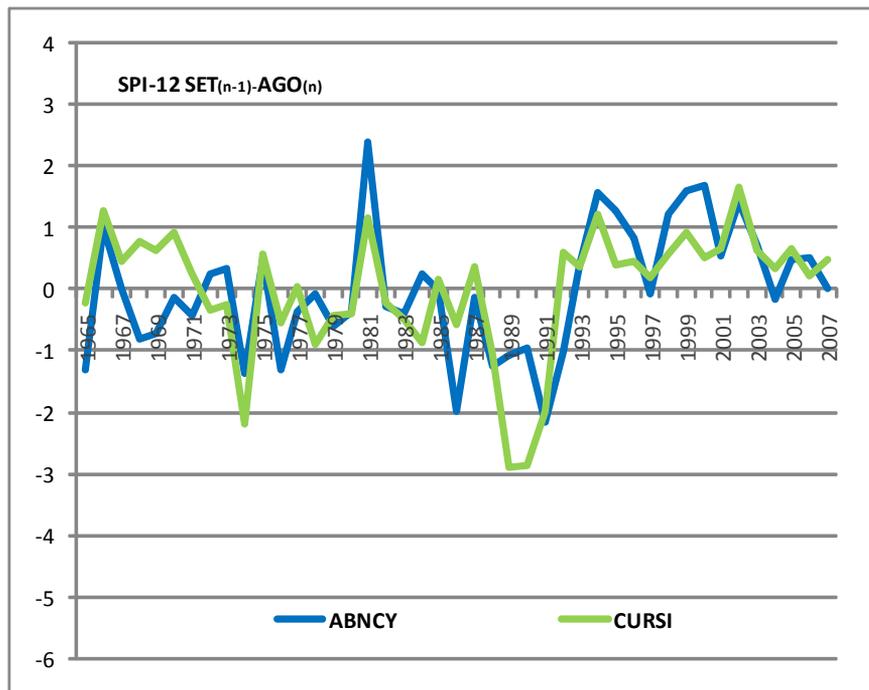


Figura 5.1b: Distribución temporal del SPI para estaciones de Apurímac

#### 5.1.4. Distribución semestral del SPI

En este periodo semestral se ha dividido al año en dos partes, el primero representa al periodo donde se concentra las lluvias, esto es entre Octubre a Marzo y el segundo periodo entre Abril a Setiembre que representa el periodo de mínimas lluvias o temporada de estiaje.

### • Distribución semestral del SPI en el Cusco

En la figura 5.2 a y b se muestra la distribución temporal del SPI para los dos periodos Oct-Mar y Abr- Set para las diferentes localidades del Cusco. En el periodo lluvioso de Octubre a Marzo, las sequías que se han presentado han sido las mismas que las obtenidas en el periodo anual, indicando que las deficiencias de lluvia mayormente se han presentado en este periodo de 6 meses, las cuales tienen mayor impacto ya que es una época de lluvias. Los años de estos eventos extremos, tanto negativos como positivos se muestran en el Tabla 4.3.

La localidad de Urubamba presentó sequías por dos años consecutivos durante el periodo lluvioso entre 1968/69 y 1969/70 con intensidad moderada a extrema respectivamente y por 5 años consecutivos entre 1979/80 al año 1983/84 con intensidades de moderadas a extremas. La localidad de Anta ha presentado 3 años consecutivos sequías de intensidad moderada a severa entre 1982/83 a 1984/85, posteriormente presentó en el año 1989/90 y 1991/92 sequías con intensidad severa y moderada respectivamente, posteriormente no ha presentado sequías en los siguientes años. Sicuani es otra localidad en donde las sequías se han presentado hasta por 3 años consecutivos con intensidad severa a extremas entre 1981/82 a 1983/84.

Asimismo se observa para este periodo de 6 meses que las sequías en forma regional, (evento extremo presente en la mayoría de las localidades), se han presentado hasta finalizar la década de los 80's, posteriormente a esta fecha, las sequías se están presentando en forma localizada especialmente en la localidad de Granja Kayra. Las sequías regionales que se pueden establecer se han dado en los años: 1976/77, 1982/83 y 1989/90. Mientras los excesos de lluvia en forma regional se han presentado en los años: 1993/94 y entre los años 2000/01 al 2002/03.

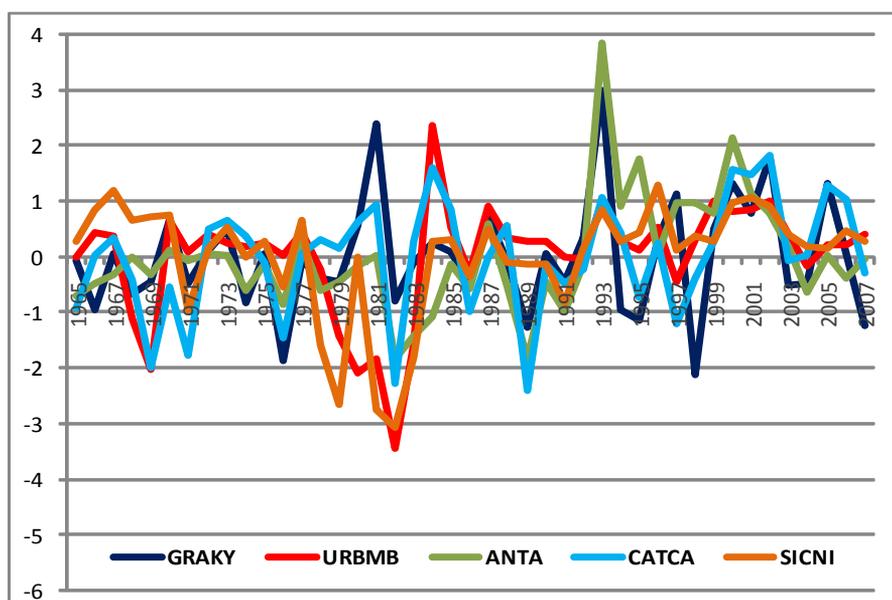


Figura 5.2a: Distribución temporal del SPI para 6 meses en Cusco periodo Oct-Mar

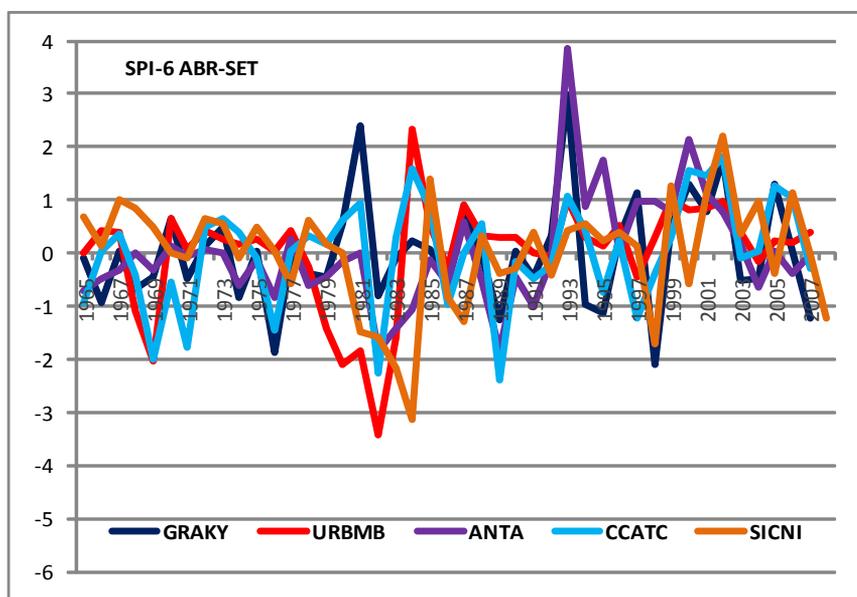


Figura 5.2b: Distribución temporal del SPI para 6 meses en Cusco para el periodo Abr- Set

En la Fig. 5.2 b se muestra la distribución del SPI para el periodo de Abril a Setiembre, observándose una mayor frecuencia de índices negativos en comparación con los positivos en todas las localidades del Cusco, indicándonos que han predominado las deficiencias ligeras hasta extremas de lluvias en este periodo. Las sequías regionales que se han presentado durante este periodo corresponden a los años: 1980, 1983, 1987, 1995, 1997, 1998 y 2008, mientras que los periodos húmedos regionales con excesos se han presentado en los años: 1970, 1974, 1985, 2001 y 2002.

• **Distribución semestral en Apurímac**

La figura. 5.3 a y b muestra las dos distribuciones del SPI para los periodos de Octubre a Marzo y para Abril a setiembre para esta zona. En la Fig. 5.3 a se observa un comportamiento similar al periodo anual, con sequías en el año 1974/75 de intensidad moderada a extrema, asimismo hay un periodo de 3 años consecutivos: entre 1989/90 al año 1991/92 en los cuales se presentaron sequías de intensidad extrema, Desde el año 1993, la sierra norte de Apurímac no ha presentado sequías y en reemplazo las lluvias se han presentado normales y con años de excesos como 1994/95, 1999/00 y 2002/03. Ver Tablas 5.3 y 5.4.

En la figura 5.3 b podemos observar que las lluvias en esta zona varían mayormente en su rango de variabilidad normal a excepción del año 1984 que presentó sequías severas a extremas, así como los años: 1991, 1994 y 1998 que presentaron sequías moderadas. Los periodos de lluvia con excesos se han presentado en forma localizada, siendo regionales en los años 2002 y 2004.

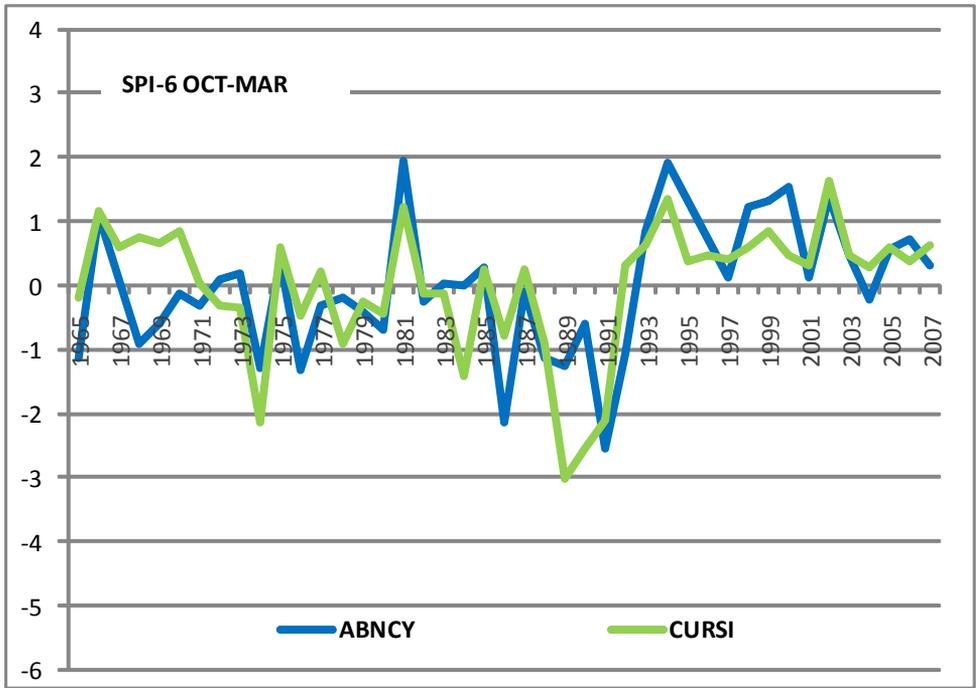


Figura 5.3a: Distribución temporal del SPI para 6 meses en Apurímac periodo Oct-Mar

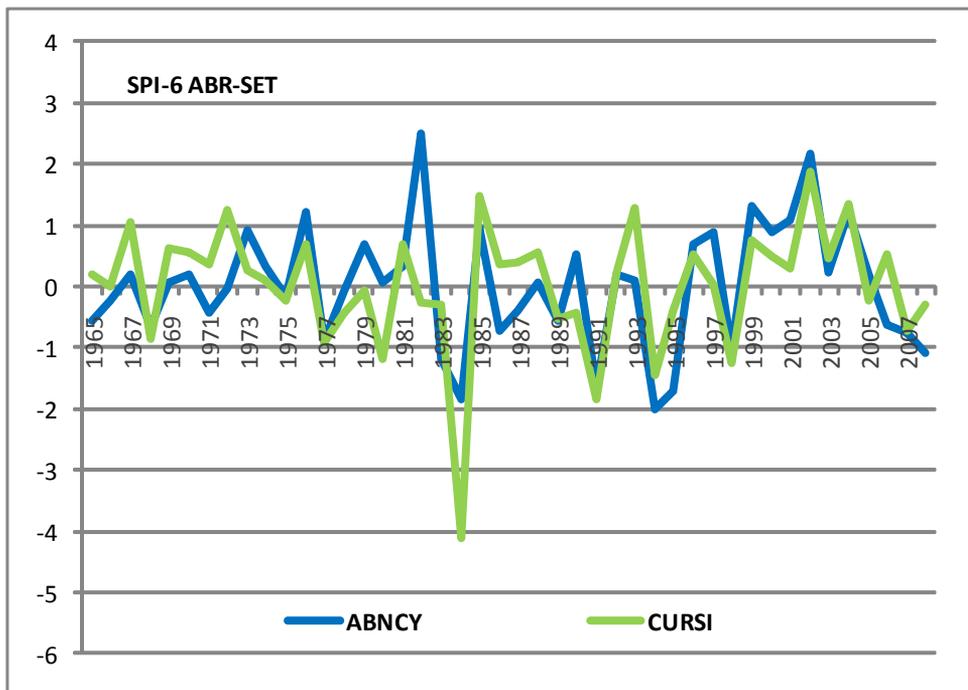
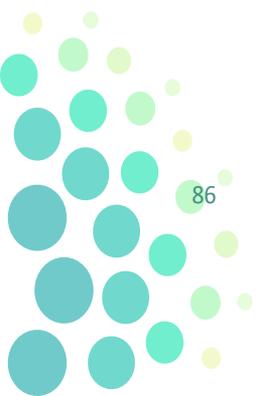


Figura 5.3b: Distribución temporal del SPI para 6 meses en Apurímac periodo Abr- Set



### 5.1.5. Distribución trimestral del SPI

El cálculo del SPI fue realizado para los 4 trimestres del año que corresponden a las cuatro estaciones astronómicas, estos fueron: primavera donde se inicia las lluvias en la zona; verano en donde se presentan las mayores cantidades de precipitaciones; otoño época de menor precipitación respecto al verano y de finalización de la temporada de lluvias y finalmente invierno periodo en donde las lluvias son muy escasas.

#### • Distribución trimestral en Cusco

La figura 5.4 muestra la distribución de los SPI para los cuatro trimestres del año, se observa que, en la primavera hay una mayor variabilidad local, esto es, las diferentes localidades presentaron diferentes comportamientos antes del año 1976, posteriormente todas las localidades tienen igual o semejante comportamiento, implicando con ello que hay una mayor regularidad en el comportamiento de las lluvias en un solo sentido. Durante la primavera de la década de los 70's e inicios de los 80's se presentaron sequías de intensidad extrema a moderada, asimismo los periodos de excesos de lluvia en forma localizada han sido de intensidad moderada. A partir de los 90's en la zona han predominado, los inicios de la temporada lluviosa en forma normal o con excesos de intensidad ligera. Las sequías regionales se dieron en los años: 1983, 1986 que corresponde al inicio de El Niño y el año 1988, mientras los periodos húmedos con excesos se han presentado en 1966, 2001, 2002 y 2008 ver tablas 5.3 y 5.4.

En el verano, se presenta menos variabilidad de los valores del SPI, presentado las sequías extremas en el año 1982/83, sequías severas a extremas en 1966/67, 1982/83. Los periodos húmedos se han presentado en 1993/94, 1999/00, 2000/01.

En el otoño, las lluvias muestran cambio en su variabilidad a partir de la década del 80, esto es, mayor intensidad de los periodos húmedos y secos. También puede observarse mayor asociación de las sequías con los Niños 1968/69, 1982/83, 1986/87, 1991/92, 1997/98. Los periodos húmedos regionales se han registrado en 1965, 1985, 1988, 2001 y 2002, ver Tablas 5.3 y 5.4.

En el invierno, se observa que los periodos de excesos de lluvia han sido de intensidad extrema que en varios años consecutivos se han presentado inviernos lluviosos; mientras las sequías han sido de menor intensidad y de menor duración. Los periodos muy secos a nivel regional en esta época de estiaje han sido: 1965, 1978, 1988 y 1994, mientras los periodos húmedos se han presentado en 1968, 1972, 1974, 1990, 1992, 2001, 2002 y 2004.

#### • Distribución trimestral en Apurímac

La figura 5.5 muestra las distribuciones del SPI en Apurímac para las cuatro estaciones astronómicas. Podemos observar que la primavera y el verano tienen semejante comportamiento, esto es, sequías severa a extremas en la década de los 80's y mediados de los 90's y la década siguiente, las lluvias se han presentado dentro de su variabilidad normal a excesos moderados. Los años de las sequías en el verano han sido en 1974/75, 1989/90, 1990/91 y 1991/92 y los excesos se han presentado en 1981/82, 1998/1999, 1999/00 y 2000/01 principalmente.

En otoño, la sierra norte de Apurímac es menos propensa a presentar este tipo de eventos extremos, sólo en el año 1984 se presentó una sequía extrema y en 1967 excesos extremos. En invierno, se observa que se han presentado mayores periodos húmedos de moderada a extrema intensidad, indicándonos que los inviernos han ido más lluviosos respecto a su normal, ver Tablas 5.3 y 5.4.

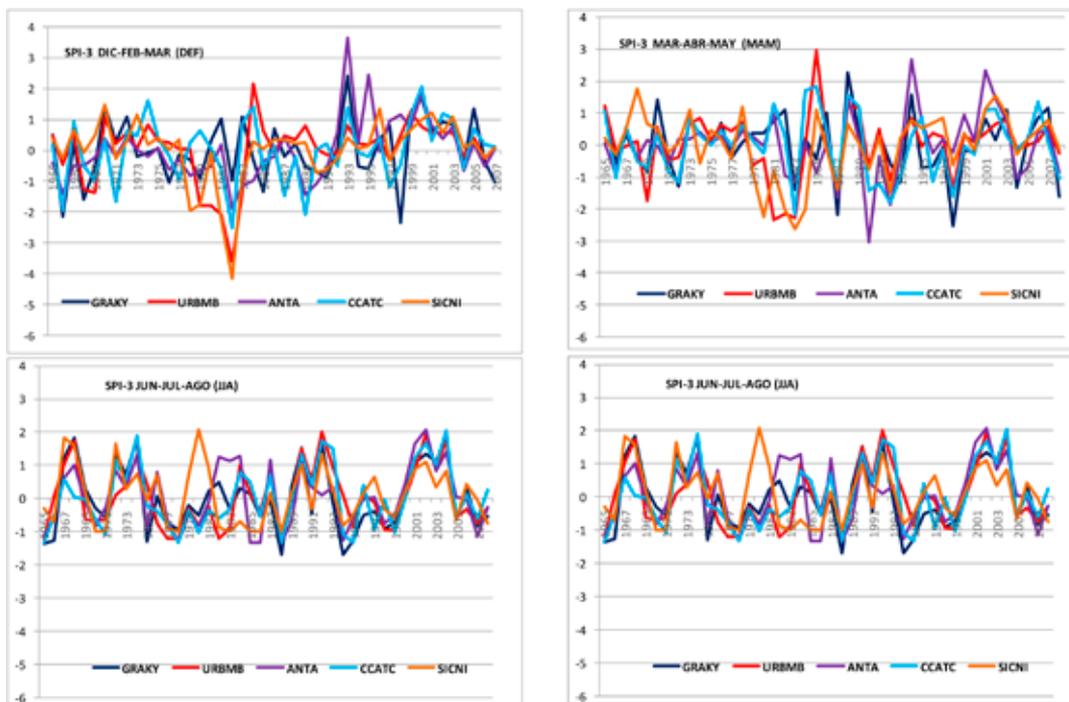


Figura 5.4: Distribución trimestral del SPI para Cusco

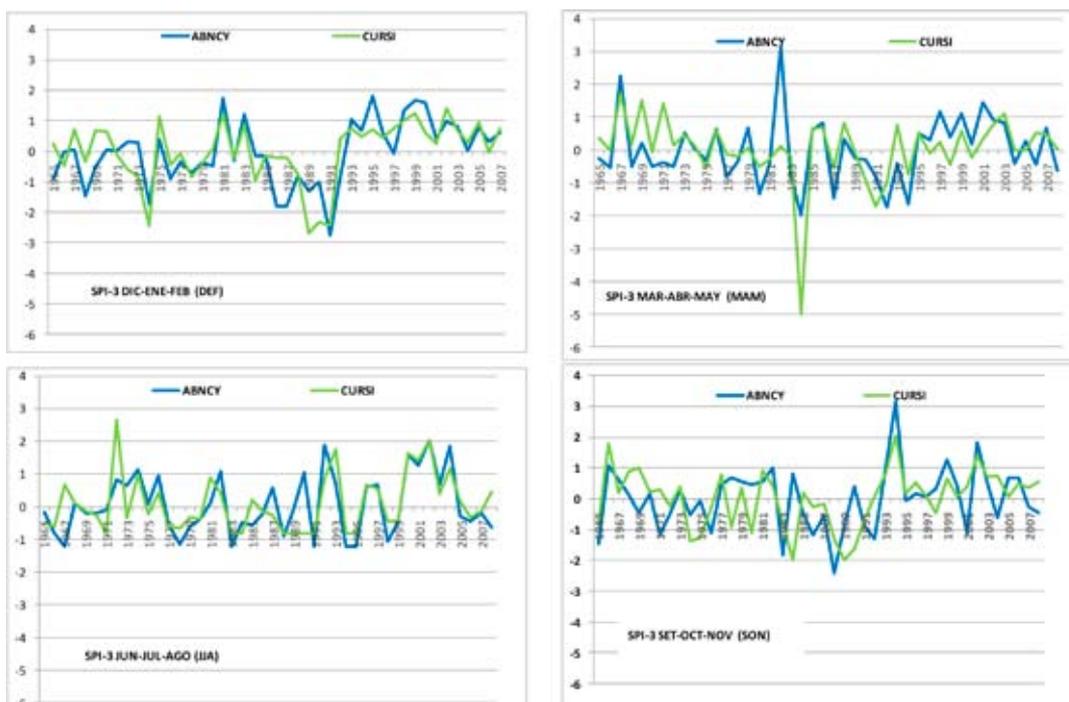


Figura 5.5: Distribución trimestral del SPI en Apurímac

Tabla 5.3: Años de sequías en diferentes periodos de análisis entre los años 1965 – 2008

	ANUAL	6 M	6M	3M	3M	3M	3M
	SET-AGO	OCT-MAR	AB-SET	SET-NOV	DIC-FEB	MAR-MAY	JUN-AGO
<b>URUBAMBA</b>	68/69, 69/70 79/80, 80/81, 81/82, 82/83, 83/84	68/69, 69/70 79/80, 80/81, 81/82, 82/83, 83/84	69, 71, 80, 82 83, 97, 98, 08	69, 80, 82, 83	68/69, 69/70 79/80, 80/81 81/82, 82/83 83/84	69, 81, 82, 83, 87, 92, 98	65, 77, 78, 82, 88
<b>ANTA</b>	82/83, 84/85 89/90, 91/92	82/83, 83/84, 84/85, 89/90, 91/92	71, 80, 87, 91, 92, 95 98, 08	74, 76, 83, 86, 88, 89, 92	66/67, 82/83 83/84, 89/90 90/91	83, 87, 90, 92, 04	65, 78, 85 86, 88, 94, 7
<b>G. KCAYRA</b>	76/77, 82/83 94/95, 95/96 98/99, 07/08	76/77, 89/90 95/96, 98/99 07-ago	71, 80, 83 87, 93, 95 98, 00, 05, 08	72, 83, 86, 88, 00, 03	66/67, 68/69 76/77, 85/86 98/99, 07/08	72, 83, 87 93, 98, 04, 08	65, 66, 75 88, 94, 95
<b>CCATCA</b>	69/70, 71/72 76/77, 82/83 86/87, 89/90 97/98	69/70, 71/72 76/77, 82/83 89/90, 97/98	71, 79, 83 97, 98	69, 74, 76, 83, 86, 03	66/67, 71/72 82/83, 87/88 89/90, 97/98	66, 72, 83, 87 90, 91, 92, 93 96, 98, 08	65, 71, 78 80, 88, 94 95, 99
<b>SICUANI</b>	78/79, 79/80 81/82, 83/84	78/79, 79/80 81/82, 82/83, 83/84	81, 82, 83 84, 87, 98, 08	71, 72, 79, 81, 83, 88	78/79, 79/80 81/82, 82/83	80, 82, 83, 84, 87, 92	70, 71, 78, 83, 85, 86, 88
<b>CURAHUASI</b>	74/75 88/89, 89/90, 90/91, 91/92	74/75, 84/85 89/90, 90/91, 91/92	80, 84, 91 94, 98	74, 75, 80, 84, 88, 89, 90	74/75, 89/90 90/91, 91/92	84, 91, 92	
<b>ABANCAI</b>	65/66, 74/75 76/77, 86/87 88/89, 89/90 91/92, 92/93	65/66, 74/75 76/77, 86/87 88/89, 89/90, 91/92, 92/93	83, 84, 91, 94, 95, 98, 08	65, 71, 76, 83, 86, 88, 92, 01	68/69, 74/75 86/87, 87/88 89/90, 90/91 91/92	80, 84, 87, 92, 94	67, 78, 83, 91, 94, 95, 98

Tabla 5.4: Años de excesos de lluvia para diferentes periodos de análisis entre los años 1965 – 2008

	ANUAL SET - AGO	6 M OCT-MAR	6M ABR-SET	3M SET-NOV	3M DIC-FEB	3M MAR-MAY	3M JUN-AGO
URUBAMBA	84/85 2001/2002	84/85,93/94 99/00	66,70,85,02	66,84,01,08	70/71,84/85 99/00	65,85,88,89	67,68,74,84, 90,92,02,04
ANTA	93/94 95/96, 00/01 a 01/02	93/94,95/96 00/01 , 01/02	74,81,84, 01,02,04	66,77,93, 94,99,01 02,08	93/94,95/96 98/99,00/01	88,94,01,02	68,74,82,83, 84,90,01,02,04
G. KCAYRA	81/82, 87/88, 93/94, 00/01, 02/03	81/82,93/94 97/98,02/03 05-06	65,70,73 75,81	68,81,84, 85,97,02	70/71,72/73 81/82,83/84 93/94,99/00 00/01,05/06	65,70,82, 88,94,07	67,68,72,74,90 92,01,02,03,04
CCATCA	83/84 a 84/85	84/85,93/94	70,74,84,	66,77,81,85,	74/75,84/85	65,81,84,85,	72,74,90,92,
	00/01 a 02/03	00/01,01/02	85,01,02,	01,02,04,06	93/94,99/00	88,89,01,02,	01,02,03,04
	05/06	02/03,05/06	4		02/03,03/04	6	
		06-07					
SICUANI	67/68,96/97 00/01 a 01/02	67/68,96/97 01-02	67,85,99 01,02,06	66,68,93	70/71,73/74 96/97,00/01 01/02,03/04	68,73,78, 85,01,02	67,68,72,80, 90,92,02
CURAHUASI	66/67,81/82 94/95,02/03	66/67,81/82 94/95,02/03	67,72,85, 93,02,04	66,69,94,02	75/76,81/82 98/99,99/00 02-03	67,69,71,03	72,93,00, 01,02,04
ABANCAY	66/67,81/82 94/95 a 95/96 98/99 a 00/01 02/03	66/67,81/82 94/95,95/96 98/99,99/00 00/01,02/03	76,82,99, 01,02,04	66,82,94, 99,02	81/82,83/84 93/94,95/96, 98/99, 99/00, 00/01	67,82,97,99,01	74,82,90,92, 00,01,02,04

### 5.1.6. Tendencias de los eventos extremos secos y húmedos

De las estaciones analizadas podemos observar en la tabla 5.5 las tendencias del índice SPI para los periodos anuales, semestrales y trimestrales.

En el **periodo anual** del SPI (Set-Ago), la mayoría de las estaciones en Cuzco tienen tendencias positivas muy ligeras, esto indica que cada año las lluvias tienden hacia un SPI positivo (excesos de lluvia por lo tanto menores eventos secos). De estas tendencias solo Anta tiene significancia estadística al 95%. Asimismo en la sierra norte de Apurímac la tendencia también es positiva con significancia estadística al 99% en Abancay.

En el **periodo de 6 meses (Oct-Mar)**, en donde se concentra las precipitaciones en la zona, las tendencias continúan siendo positivas con valores ligeros en gran parte de la zona de Cusco y Apurímac, con significancia estadística al 95% en Anta, Abancay y de 90% en Ccatcca. La localidad de Sicuani no presenta evidencia de tendencia temporal.

En el periodo de Abr- Set, la tendencia es negativa con valores muy ligeros en gran parte de las zonas de Cusco y Apurímac lo que indica que hay una mayor probabilidad de presentar periodos secos. La zona de Anta, Sicuani y Curahuasi presenta tendencias negativas con valores muy insignificantes indicando ausencia

de tendencias. En este periodo sólo la zona de Granja Kayra muestra significancia estadística al 90 y 95% de la tendencia de presentar periodos secos.

En los **periodos trimestrales**, las que guardan relación con las variaciones del clima estacional, existen diferencias en las tendencias de estos periodos húmedos o secos, así tenemos que en la primavera (SON), la zona de estudio tanto en Cusco como la sierra norte de Apurímac tiene tendencia positiva muy ligera y sólo Urubamba presenta significancia estadística al 90 y 95%. Sólo la zona de Granja Kayra presenta tendencia negativa sin significancia estadística. En el verano, la mayoría de las estaciones meteorológicas tienen tendencia positiva, con significancia estadística al 95% en Anta y Curahuasi y entre 95 y 99% en Abancay. El resto de las estaciones presenta valores positivos muy bajos como Urubamba y Sicuani indicando ausencia de tendencia. En otoño (MAM) todas las estaciones meteorológicas presentan tendencias positivas o negativas con valores muy insignificantes y sin significancia estadística, indicando ausencia de tendencias para este trimestre. En el invierno (JJA), la mayoría de las estaciones meteorológicas no presentan tendencias temporales, sólo las estaciones de Ccatcca y Abancay presentan tendencias positivas con valores ligeros y sin significancia estadística.

Tabla 5.5: Tendencias del SPI y significancia estadística para Cusco y Apurímac

ESTACIONES	ANUAL			6 MESES			6 MESES			3 M		3 M		3 M		3 M		
	SET-AGO			OCT-MAR			ABR-SET			SON		DEF		MAM		JJA		
URUBAMBA	0.0067			0.0100			-0.0137			S*		S						
										0.0235		0.0069		0.0039		0.0093		
ANTA	S*	S*	S*	S*	S*	S*						S*	S*	S*				
	0.0217			0.0220			-0.0062			0.0152		0.0254		0.0056		0.0086		
GRAJA KAYRA							S	S	S*									
	0.0063			0.0135			-0.0244			-0.0044		0.0133		-0.0041		0		
CCATCCA				S	S	S												
	0.0167			0.0245			-0.0108			0.0124		0.0136		-0.0012		0.0161		
SICUANI	0.006			0.0046			-0.0042			0.0136		0.0044		0.0082		0		
												S*	S*					
CURAHUASI	0.0108			0.0139			-0.0024			0.011		0.0232		-0.004		0.0076		
	S*	S**	S*	S*	S**	S*						S*	S**	S*				
ABANCAY	0.0293			0.0285			0.0075			0.0100		0.0300		0.0091		0.0100		

Test Mann Kendall	Test. Spearman's Rho	Test Regresión lineal
Valor de la Tendencia		

S = Significancia estadística al 90%

S\* = Significancia Estadística al 95%

S\*\* = Significancia estadística al 99%

## 5.2. Heladas

De los eventos térmicos extremos posibles, golpes de calor y heladas, las zonas de estudio son susceptibles a estas últimas. La helada meteorológica ocurre cuando el termómetro de mínima, colocado en el abrigo

meteorológico a 1,50 m sobre el suelo, indica una temperatura del aire menor o igual a 0°C (definición utilizada por la OMM - organización Meteorológica Mundial).

El presente capítulo presenta los valores mínimos de temperatura, frecuencia de heladas para el periodo climatológico 1971-2000, y para determinar la presencia de tendencias, se ha calculado una "anomalía" que compara el promedio de las intensidades de las heladas de la década 1999-2009 con el promedio referencial normal.

### 5.2.1. Síntesis metodológica para análisis de las heladas

A diferencia de los capítulos anteriores, para poder estimar las heladas que han ocurrido en la zona sur de Cusco microcuenca Huacrahuacho en Cusco, se han adicionado estaciones meteorológicas de las regiones Arequipa, Ayacucho y Puno. El Mapa 5.1 presenta la localización de las estaciones meteorológicas usadas en esta sección. El listado de las estaciones se encuentra en el Capítulo 2, Tabla 3.1

- **Intensidad y Frecuencia**

El cálculo de la intensidad de las heladas meteorológicas para cada mes, toma en cuenta el mínimo valor de la temperatura mínima. Estos valores mensuales son promediados dentro del periodo referencial 1971-2000. De manera similar, se calcula un valor promedio para el periodo 1999-2009. La frecuencia presentada es el número de días con heladas durante un mes específico; ésta es calculada tanto para el periodo referencial climatológico (1971-2000) como para la última década (1999-2009).

- **Anomalía**

A diferencia de muchas formas de presentar una anomalía meteorológica, para presentar la presencia de una tendencia o variación de la intensidad de las heladas, se presenta la anomalía de intensidad de las heladas tal como se define por la siguiente ecuación:

$$\text{Anomalía} = \text{Intensidad}_{1999-2009} - \text{Intensidad}_{1971-2000}$$

Estas anomalías permiten determinar la presencia de un cambio en la intensidad de las heladas.



- **Tendencias de las frecuencias de las heladas meteorológicas**

El cálculo de las tendencias de las temperaturas mínimas fue expuesto en el capítulo 4, lo cual es muy parecido a las tendencias de la intensidad de las heladas. Lo que dicho capítulo no presenta, es la frecuencia o número de días de ocurrencia de heladas en un mes. Las tendencias de la frecuencia de heladas fueron calculadas usando regresión lineal simple.

### 5.2.2. Temperaturas mínimas absolutas y fechas de ocurrencia

Para la zona de estudio, la menor temperatura registrada a lo largo del periodo analizado (1965-2009) fue en la estación de Yauri (Cusco) con  $-25^{\circ}\text{C}$  el día 09 de setiembre 2006. Para la región Apurímac, la temperatura mínima absoluta fue en la estación Andahuaylas con  $-8.4^{\circ}\text{C}$ , el día 24 de junio de 1994. Debemos considerar que por lo general, las estaciones que se encuentran a mayores altitudes son las que registran mayores intensidades como es el caso de la estación Imata (Arequipa) con una altitud de 4519 msnm, el cual registró  $-23.0^{\circ}\text{C}$ , el 24 de junio de 1977.

Para el periodo (1999-2009), las intensidades han sido intensas y han llegado casi a sus registros históricos más fuertes, sobre todo para la región Cusco y se han registrado en el año 2006 en algunas localidades como Sicuani y Yauri. (Ver Tablas 5.6 y 5.7)

CODIGO	ESTACION	DEPARTAMENTO	ALTITUD	TMIN ABS (°C)	FECHA DE OCURRENCIA
000759	Sicuani	Cusco	3574	-11.2	24 Jul 2006
000752	Santo Tomás	Cusco	3253	-8	30 Jun 1966
000757	Yauri	Cusco	3927	-25	09 Set 2006
000687	Acomayo	Cusco	3160	-8	13 Jun 1968
000690	Ccatcca	Cusco	3729	-13.2	21 Jul 1982
000607	Granja Kayra	Cusco	3219	-10	29 Jul 1974
000683	Urubamba	Cusco	2863	-5	04 Jun 1977
000747	Chalhuanca	Apurimac	2850	-5	18 Jul 1978
000669	Andahuaylas	Apurimac	2866	-8.4	24 Jun 1994
000736	Puquio	Ayacucho	3219	-9.8	09 May 1986
000753	Caylloma	Arequipa	4420	-17	30 Jun 1966
000754	La Angostura	Arequipa	4150	-20.8	23 Jul 1966
000765	Imata	Arequipa	4519	-23	24 Jun 1977
000764	Chuquibambilla	Puno	3950	-19.9	30 Jun 1966
000761	Llally	Puno	4190	-15.4	22 Jul 1978

Tabla 5.6: Temperaturas Mínimas absolutas y Fecha de Ocurrencia (Periodo 1965-2009)

CODIGO	ESTACION	DEPARTAMENTO	ALTITUD	TMIN ABS (°C)	FECHA DE OCURRENCIA
000759	Sicuni	Cusco	3574	-11.2	24 Jul 2006
000752	Santo Tomás	Cusco	3253	-7.9	30 Jun 2001
000757	Yauri	Cusco	3927	-25.0	09 Set 2006
000687	Acomayo	Cusco	3160	-4.0	27 Jun 2005
000690	Ccatcca	Cusco	3729	-9.4	21 Jul 2004
000607	Granja Kayra	Cusco	3219	-8.8	20 Jul 2006
000683	Urubamba	Cusco	2863	-4.2	21 Jul 2006
000747	Chalhuanca	Apurimac	2850	-3.4	02 Jun 2001
000669	Andahuaylas	Apurimac	2866	-3.4	29 Jun 1999
000736	Puquio	Ayacucho	3219	-4.8	04 Jul 1999
000753	Caylloma	Arequipa	4420	-14.0	14 Ago 2008
000754	La Angostura	Arequipa	4150	-14.8	23 Jul 2000
000765	Imata	Arequipa	4519	-19.8	24 Ago 2009
000764	Chuquibambilla	Puno	3950	-19.5	11 Jul 2000
000761	Llallay	Puno	4190	-13.2	11 Jul 2000

Tabla 5.7: Temperaturas Mínimas absolutas y Fecha de Ocurrencia (Periodo 1999-2009)

### 5.2.3. Distribución estacional de la frecuencia de heladas

La distribución estacional de la frecuencia de heladas es analizada en función de las distribuciones mensuales presentadas en los Mapas 5.2 al 5.13 del Anexo 5.

#### • Verano

En estos meses el comportamiento normal que suele presentarse los días con heladas es de 0 a 5 días para la parte norte y central de la región Cusco; en cambio para la zona sur del Cusco es de 5-10 días (Estación Yauri) durante el mes. Para la microcuenca de Huacrahuacho el comportamiento es de 2-5 días por mes.

En la región Apurímac, los días con presencia de heladas es de 0-5 días/mes y para el caso de la Microcuenca Mollebamba, es de 0-2 días/mes. En estos meses de verano la ocurrencia de heladas es casi nula, son sólo algunos días que se presenta en el mes de marzo.

#### • Otoño

Climatológicamente los meses de esta estación son los meses donde se presentan las heladas con mayor frecuencia. El mes de Mayo es el mes de inicio en el que se presentan las heladas en muchas estaciones meteorológicas, sobre todo en aquellas zonas donde las altitudes superan los 3000 m.s.n.m.

En el Cusco, para el mes de **abril**, el norte y centro, la frecuencia de heladas es baja, mientras que al sur del Cusco esta se incrementa hasta de 15-20 días/mes. Para la microcuenca de Huacrahuacho la frecuencia es de 10-15 días/mes.

En el caso del Apurímac, en el mes de abril la ocurrencia es de 0-5 días/mes, incluido la microcuenca de Mollebamba.

Para el mes de **mayo**, Cusco presenta hasta 10 días con heladas en la parte central oeste, mientras que al sur occidental llega a ocurrir 31 días con heladas. La microcuenca Huacrahuacho presenta hasta 25 días /mes.

En la región Apurímac la ocurrencia que suele darse es hasta 10 días con heladas; y también para la microcuenca del Mollebamba.

**Junio;** mes donde se incrementa la frecuencia de heladas; suelen tener un comportamiento normal de 30 días con heladas en el Cusco excepto en la zona norte. Para la Microcuenca de Huacrahuacho suele ocurrir entre 25-30 días con heladas. En Apurímac, este mes suele presentar hasta 15 días con heladas y para la Microcuenca de Mollebamba, 10 días/mes.

- **Invierno**

En **Julio**, la ocurrencia de heladas es de 31 días/mes, sobre todo al sur de la región, incluso para la Microcuenca de Huacrahuacho (hasta 30 días).

Para la región Apurímac, el comportamiento normal es de hasta 15 días con heladas incluyendo la Microcuenca de Mollebamba.

**Agosto**, un mes frío en los últimos años; los días con heladas pueden darse durante todos los días del mes (31 días) sobre todo al sur del Cusco, mientras que para la Microcuenca de Huacrahuacho suele presentarse hasta 25 días.

Apurímac suele presentarse hasta 10 días con heladas e incluso para la microcuenca del Mollebamba.

Generalmente el mes de **Setiembre**, suele disminuir (con respecto a agosto) la frecuencia de heladas meteorológicas. En este mes, Cusco presenta hasta 25 días con heladas y la Microcuenca de Huacrahuacho hasta 20 días.

Para la región Apurímac se espera hasta 10 días de heladas; en cambio para la microcuenca de Mollebamba la frecuencia es de 5 días durante el mes.

- **Primavera**

Este es un trimestre en los que hay un descenso paulatino de la frecuencia de heladas. Para la región Cusco (sur), **Octubre**; suele presentar hasta 20 días de heladas, y para la microcuenca de Huacrahuacho hasta 15 días.

Apurímac, presenta hasta 5 días con heladas, incluso para la microcuenca de Mollebamba.

En **Noviembre**, se presentan hasta 15 días de heladas y para la microcuenca Huacrahuacho, hasta 10 días.

Apurímac, su comportamiento normal que suele presentarse los días con heladas es hasta 5 días incluyendo la microcuenca de Mollebamba.

En cuanto al mes **diciembre**, el comportamiento normal de la frecuencia de heladas es de hasta 15 días con presencia de heladas meteorológicas y en cuanto a la microcuenca de Huacrahuacho hasta 10 días durante este mes.

Para el Apurímac, los días con heladas que se espera tener es de hasta 5 días durante el mes; asimismo para la microcuenca del Mollebamba.

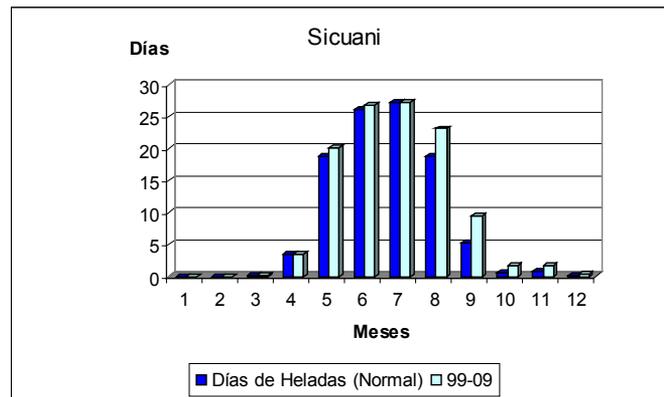
#### 5.2.4. Cambio del Régimen de Heladas de los últimos Diez años (1999 -2009)

En este acápite se presentan tanto una comparación de las frecuencias de heladas (última década vs. Normal), la intensidad normal, y el cambio de la intensidad (anomalía) de la última década con respecto al valor normal.

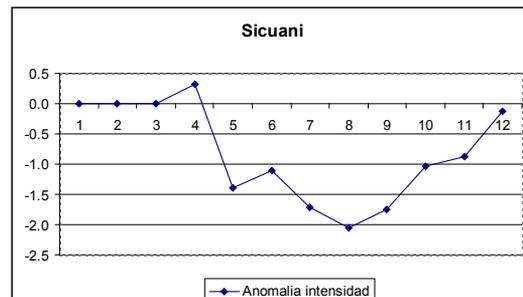
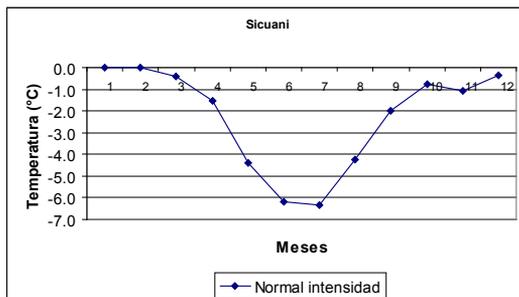
- **Cambios observados en Cusco**

A continuación se presenta un análisis en las estaciones consideradas para el presente capítulo distribuidas sobre la región Cusco.

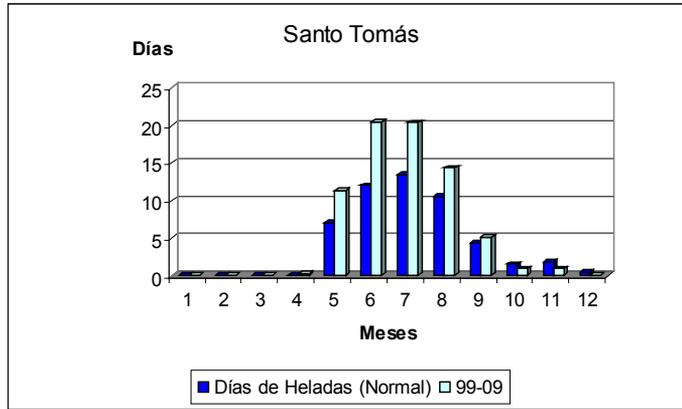
a. **Sicuni.-** La frecuencia de heladas en esta década de 1999-2009 durante los meses de abril a julio han sido muy similares a su frecuencia normal, mientras que ha presentando mayor frecuencia en los meses de agosto hasta noviembre.



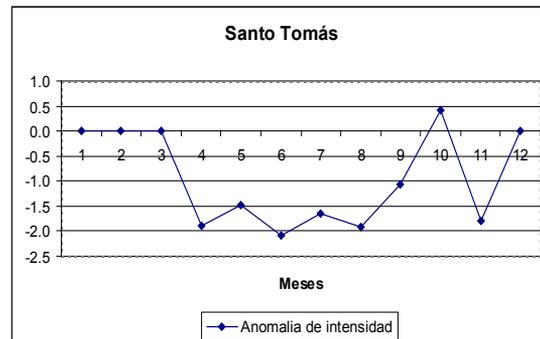
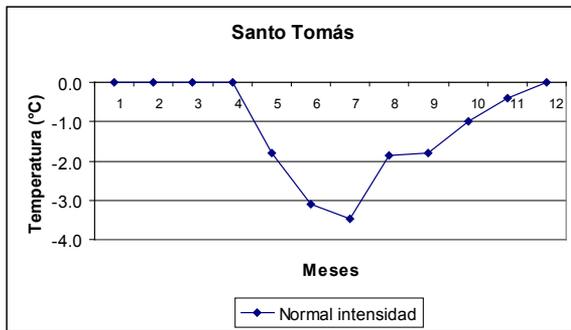
En cuanto a sus intensidades, éstas se están intensificando hasta en  $-2^{\circ}\text{C}$  con respecto a su patrón climatológico; siendo más intensas para el mes de agosto.



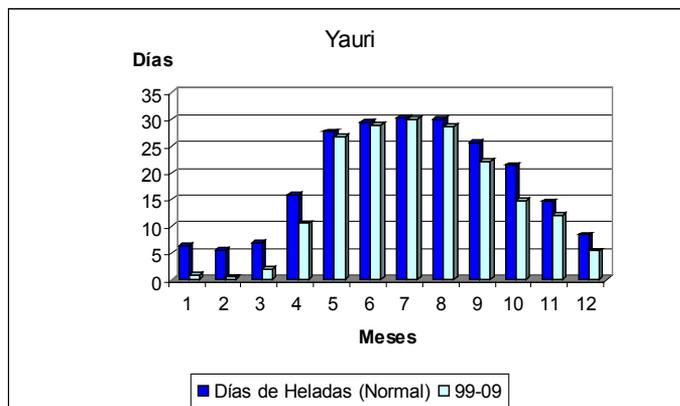
b. **Santo Tomás.-** La frecuencia de heladas en esta última década ha sido mayor respecto a su normal, comenzando en el mes de mayo hasta el mes de setiembre.



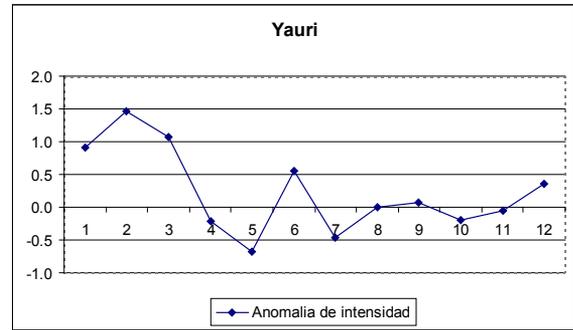
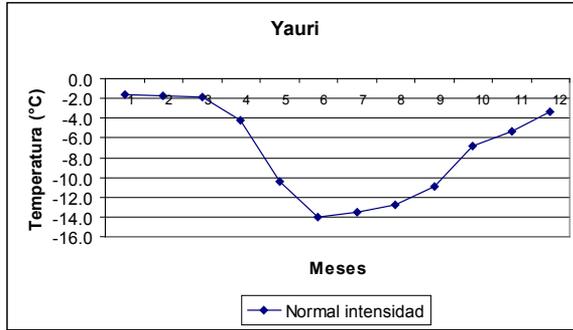
En cuanto a sus intensidades, éstas se están intensificando hasta en  $-2^{\circ}\text{C}$  con respecto a su patrón climatológico; comenzando el mes de abril hasta agosto; e incluso el mes de noviembre, esto significa que en noviembre a pesar de tener menos días con heladas, las pocas que se han presentado han sido de mayor intensidad.



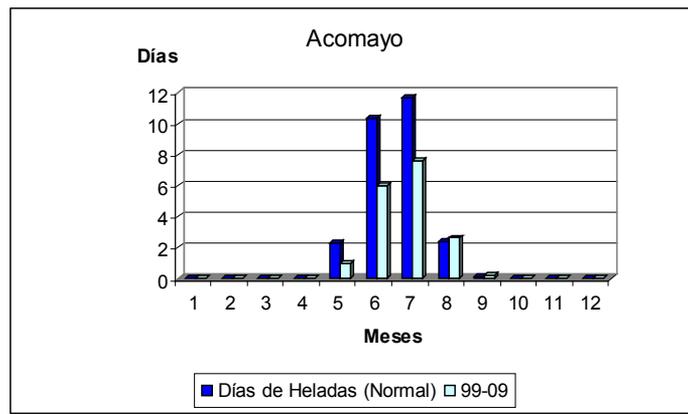
c. **Yauri.**- En esta zona la frecuencia de heladas es menor sustancialmente en los meses de verano hasta abril y desde setiembre a diciembre. En los otros meses la frecuencia es muy similar a su periodo normal.



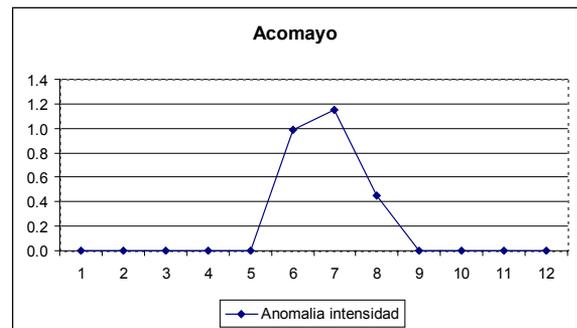
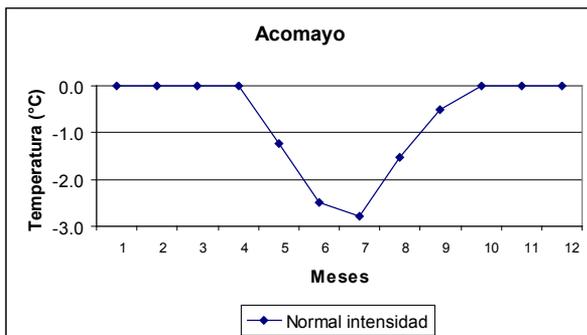
En cuanto a sus intensidades, éstas son menos intensas en los meses de verano; hasta en  $+1.5^{\circ}\text{C}$  y para junio con  $+0.5^{\circ}\text{C}$  respecto a su patrón climatológico; esto indica que para esta zona las temperaturas mínimas se han incrementado, por lo cual la presencia de heladas meteorológicas ha disminuido en estos últimos años para esta zona. Pero debemos resaltar que el mes de mayo las intensidades sí se han intensificado en  $-0.5^{\circ}\text{C}$  con respecto a su patrón climatológico



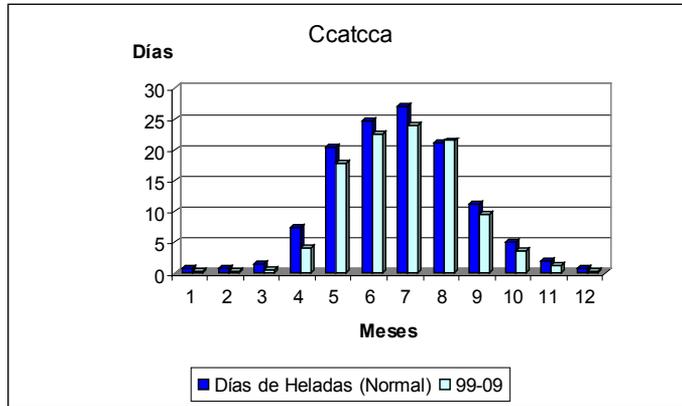
d. **Acomayo.-** La frecuencia de heladas ha disminuido especialmente en los meses de mayo, junio y julio. Agosto se ha mantenido similar frecuencia.



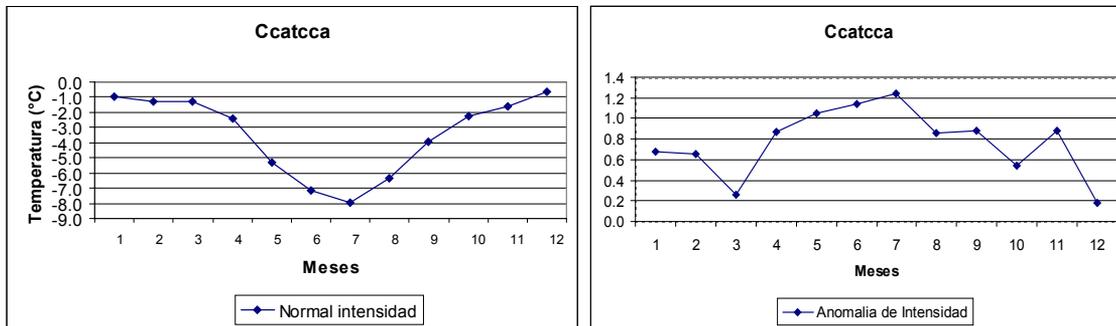
En cuanto a sus intensidades, éstas están disminuyendo a partir de los meses de mayo a setiembre; hasta en +1.2°C (julio) respecto a su patrón climatológico; esto indica que para esta zona las temperaturas mínimas se han incrementado, por lo cual la presencia de heladas meteorológicas han disminuido en estos últimos años.



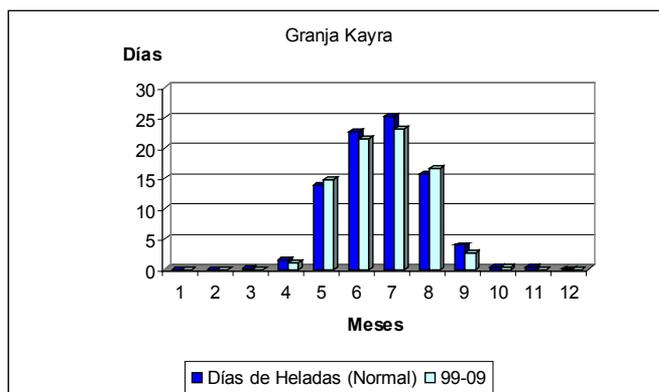
e. **Catcca.-** La frecuencia de heladas ha sido menor en esta última década para todos los meses excepto para el mes de agosto.



En cuanto a sus intensidades, éstas están disminuyendo durante el año; hasta en  $+1.2^{\circ}\text{C}$  (julio) respecto a su patrón climatológico; esto indica que para esta zona las temperaturas mínimas se han incrementado, por lo cual la presencia de heladas meteorológicas han disminuido en estos últimos años.

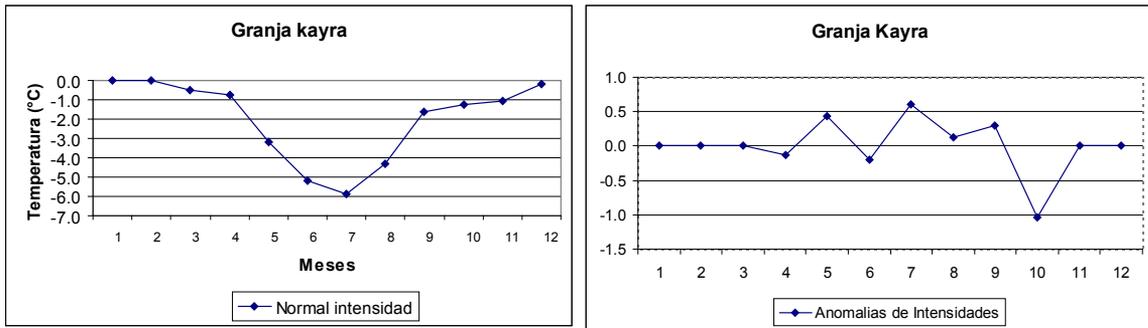


f. **Granja Kcayra.**- La frecuencia de heladas también a decrecido respecto a su normal en todos meses excepto para el mes de mayo y agosto

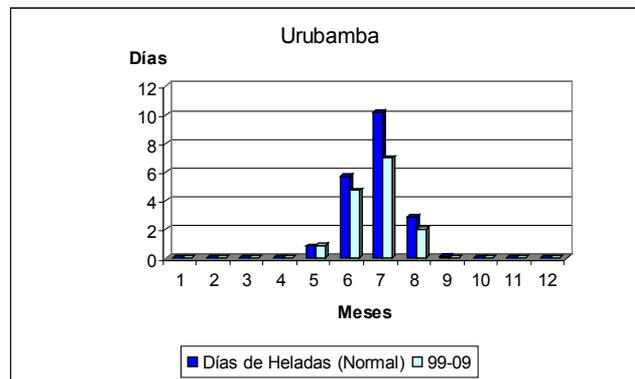


En cuanto a sus intensidades, éstas están disminuyendo durante el año; presentando anomalías positivas hasta en  $+0.5^{\circ}\text{C}$  (julio) respecto a su patrón climatológico; esto indica que para esta zona las temperaturas

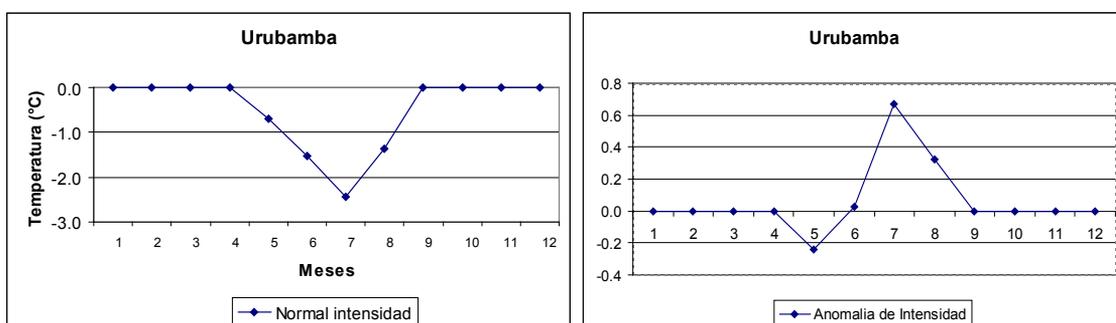
mínimas se han incrementado, por lo cual la presencia de heladas meteorológicas han disminuido en estos últimos años; excepto en el mes de octubre donde tenemos una anomalía negativa de  $-1.0^{\circ}\text{C}$ .



**g. Urubamba.-** La frecuencia de heladas en Urubamba ha sido menor respecto a su normal para estos últimos años.



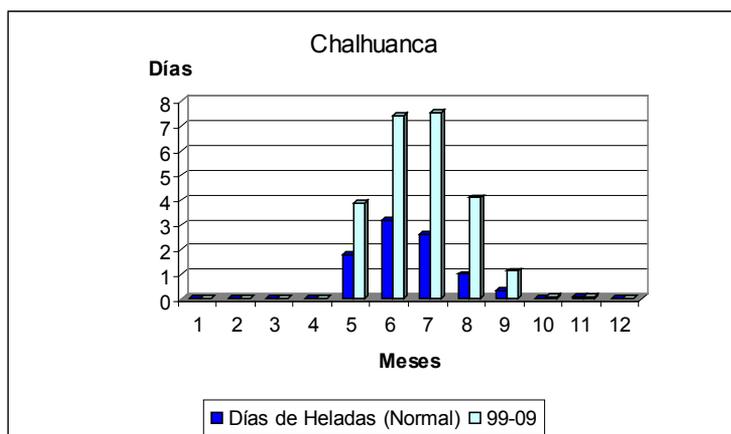
En cuanto a sus intensidades, éstas están disminuyendo durante el año; presentando anomalías positivas hasta en  $+0.6^{\circ}\text{C}$  (julio) respecto a su patrón climatológico; esto indica que para esta zona las temperaturas mínimas se han incrementado, por lo cual la presencia de heladas meteorológicas han disminuido en estos últimos años; excepto en el mes de mayo donde tenemos una anomalía negativa de  $-0.2^{\circ}\text{C}$ .



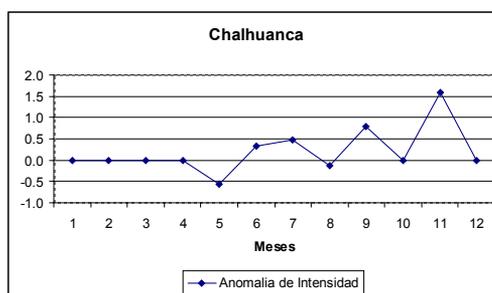
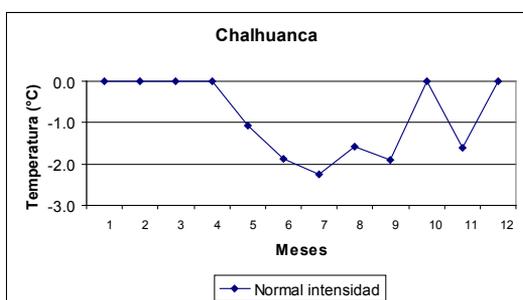
• **Cambios observados en Apurímac**

A continuación se presenta un análisis en las estaciones consideradas para el presente capítulo distribuidas sobre la región Cusco.

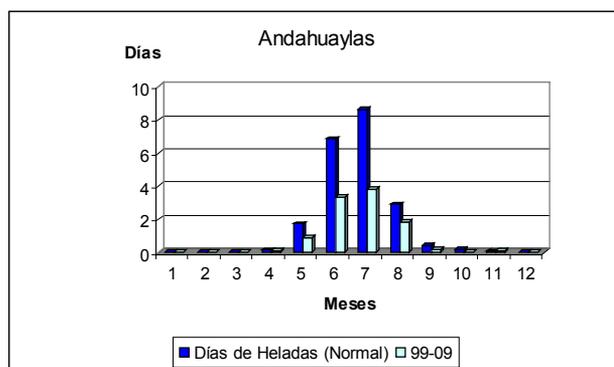
- a. **Chalhuanca.-** La frecuencia de heladas ha incrementado especialmente en los meses de junio, julio y agosto.



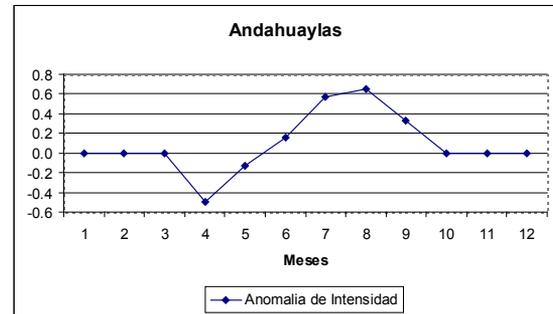
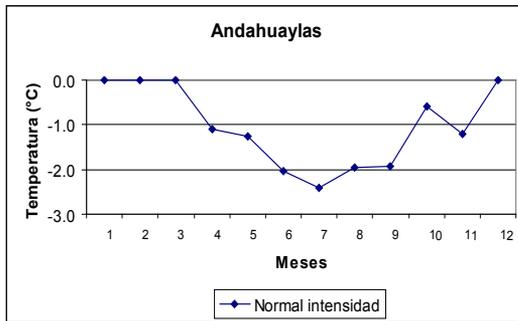
En cuanto a sus intensidades, aumenta en  $-0.5^{\circ}\text{C}$  con respecto a su patrón climatológico en mayo, mientras que en la segunda mitad del año tiende a aumentar.



- b. **Andahuaylas.-** La frecuencia de heladas ha sido menor para estos últimos años; sobre todo en los meses de junio y julio.



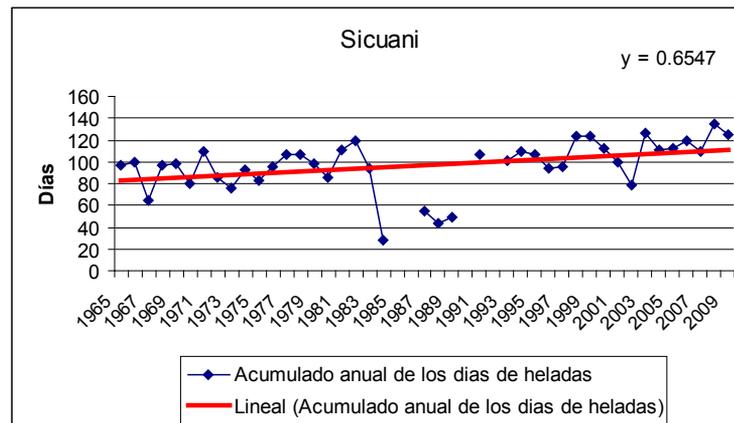
En cuanto a sus intensidades, están disminuyendo durante el año; presentando anomalías positivas hasta en +0.6°C (julio - agosto) respecto a su patrón climatológico; esto indica que para esta zona las temperaturas mínimas se han incrementado, por lo cual la presencia de heladas meteorológicas han disminuido en estos últimos años. En mayo a pesar de tener menor frecuencia de heladas, éstas se han presentado con mayor intensidad donde tenemos una anomalía negativa de -0.2°C.



### 5.2.5. Tendencias de la frecuencia mensual de heladas meteorológicas

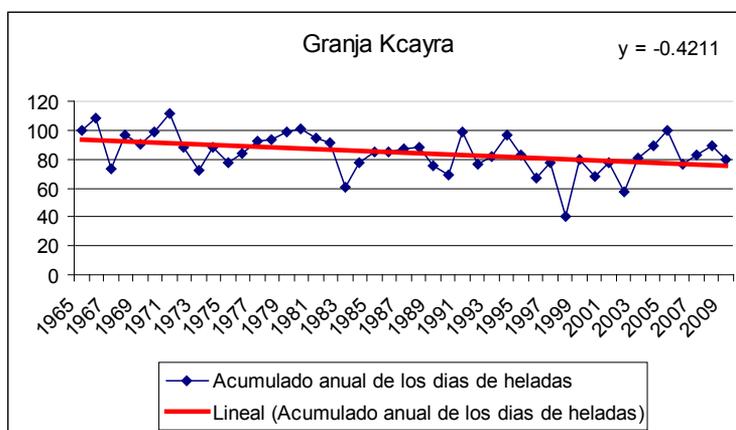
- **Cusco Sur:**

Para esta zona, lugar que se encuentra ubicado la Microcuenca de Huacrahuacho, la estación representativa ha sido Sicuani, en el cual observamos que las tendencias son positivas (+0,6547 días/año), lo cual indicarían que tendríamos un incremento en la frecuencia de días con heladas.



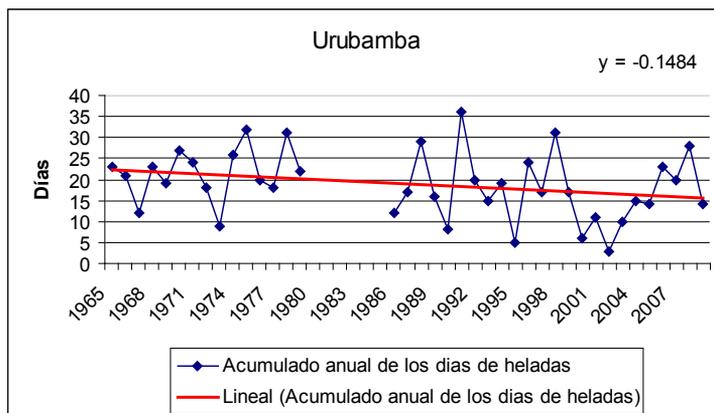
• **Cusco Centro:**

La estación representativa ha sido Granja Kcayra, en la cual observamos que la tendencia es negativa, lo cual indicarían que tendríamos una menor frecuencia de días con heladas meteorológicas. La tendencia es de -0,4211 días/año.



• **Cusco Norte:**

La estación representativa ha sido Urubamba, en la cual observamos que la tendencias es negativa (-0,1484 días/año).



## 6. CONCLUSIONES

### 6.1. Caracterización Climática de las Regiones Cusco y Apurímac:

#### Temperatura Máxima:

- Cusco a diferencia de Apurímac, posee los valores mayores de temperatura máxima con un amplio rango de gradiente térmico, de norte a sur, rangos mínimos de 8 a 12 °C sobre las zonas más altas de la cordillera típicos del clima frígido semiseco hasta rangos máximos que varían de 24 a 32 °C, sobre la región de selva alta y baja el cual se caracteriza por un tipo de clima cálido húmedo a muy húmedo.
- En Apurímac, caracterizado por un entorno geográfico más andino, la temperatura máxima alcanza rangos máximos de 20 y 28°C y mínimos de 8 y 12 °C.
- Otoño y primavera son las estaciones con mayores valores y distribución espacial de temperatura máxima en ambas regiones. Siendo la primavera más cálida en Cusco que en Apurímac.
- Invierno es la estación en la que los valores de la temperatura máxima disminuyen con respecto a otoño.
- En verano los valores de temperatura máxima disminuyen de manera más acentuada en forma general con respecto a los demás trimestres; esto es más notorio sobre la zona de selva no sobrepasando valores de 32°C, debido a la presencia de cobertura nubosa, mayor humedad asociada a la actividad convectiva.

#### Temperatura Mínima:

- La distribución de temperaturas mínimas multianual es similar a las máximas observadas en Cusco y Apurímac, igualmente los mayores rangos se encuentran sobre la región Cusco específicamente sobre la zona de selva alcanzando valores de entre 20 y 24°C y de 16° a 20°C en Apurímac sobre los valles interandino y el mínimo rango está entre -8 y -4 °C en las zonas más altas de Cusco y Apurímac.
- Verano es la estación con valores de temperaturas mínimas más altas con un rango máximo de 20 y 24°C y un mínimo entre -4 y 0°C, debido a la mayor presencia de mayor cobertura nubosa que evita la pérdida de calor ganado durante el periodo diurno.
- Otoño es la estación donde las temperaturas mínimas inician su decrecimiento, llegando a valores entre -8 y -4°C en Cusco.
- Invierno es la estación más fría en estas regiones, los valores de temperatura mínima registran valores entre -12 y -8°C, al contrario de lo que ocurre en verano, durante este periodo la escasa cobertura de nubes y cielos despejados, baja humedad, favorece la pérdida de calor almacenado durante el periodo diurno, produciéndose incluso periodos de heladas ( $T \leq 0^{\circ}\text{C}$ ) en las zonas más altas por encima de los 2,500 msnm.
- La primavera es la estación de transición que da inicio al incremento en el valor de las temperaturas mínimas en ambas regiones hasta alcanzar los máximos valores durante el verano.

#### Precipitación:

- La precipitación espacial multianual presenta una distribución diferenciada entre ambas regiones. Mientras que en Cusco la precipitación disminuye de noroeste a sureste, en Apurímac presenta una distribución espacial irregular asociada a sus características geográficas accidentadas.
- Los mayores valores de precipitación multianual (5000-8000 mm) se ubican en la Selva de Cusco principalmente en la parte central (este) donde existe un gradiente intenso de precipitación en la localidad de Quincemil, que coincide con las máximas precipitaciones, caracterizando esta zona con climas de húmedos a muy húmedos gracias al aporte de humedad de la región Amazónica.
- Sobre la región andina de Cusco y Apurímac se presentan menores valores de precipitación de 200 a 1000 mm. Formándose inclusive núcleos de bajas precipitaciones sobre la sierra central occidental de Cusco, como en Cay Cay (200-500 mm) debido a la presencia de la Cordillera Vilcanota y Paucartambo que impiden el paso del aire cálido y húmedo del este que proviene de la Amazonía, las cuales descargan la humedad hacia la zona este de ambas cordilleras y disminuyen de manera muy marcada las precipitaciones hacia la zona oeste.
- Verano es la estación más lluviosa del año tanto en Cusco y Apurímac, las precipitaciones alcanzan valores de hasta los 2000-3000 mm en Cusco y 700-1000 mm en Apurímac.
- Otoño es la estación de transición al periodo de bajas precipitaciones, los valores más altos llegan entre 1000-1500 mm en la selva de Cusco y en la parte altoandina de Apurímac y Cusco de 200 a 500 mm.
- Invierno es la estación más seca del año en ambas regiones, climáticamente se asocia a cambios en el patrón de circulación y la migración hacia latitudes menores de la Zona de Convergencia Intertropical que se ve reflejado en los cambios en la distribución espacial y escasa lluvia en ambas regiones principalmente, alcanzando valores entre 1000-1500 mm en la selva de Cusco y entre 0 y 50 mm en la parte andina de Apurímac y Cusco;
- La primavera coincide con el inicio del periodo de lluvias, donde se produce un aumento general de las precipitaciones respecto a la estación de invierno.
- La precipitación en Cusco y Apurímac, en general muestra claramente dos periodos estacionales bien marcados: el periodo lluvioso (verano) y seco o de bajas precipitaciones (invierno).
- La relación entre la precipitación y la altitud no es determinante en las regiones de estudio, las lluvias están afectadas por mecanismos físicos y dinámicos de gran escala, efectos locales, cuerpos de agua, evapotranspiración, entre otros. Sin embargo en la zona de selva alta y baja en Cusco existe una relación inversa entre la precipitación y la altitud, es decir a menor altitud mayor precipitación.

#### **El Niño 1997-1998 y La Niña 1999-2001**

- Los eventos El Niño y La Niña analizados muestran un marcado impacto sobre las regiones Cusco y Apurímac en relación a los incrementos o disminución de sus temperaturas extremas y la afectación en las cantidades de lluvias totalizadas.
- El evento El Niño 1997-1998 ocasionó el incremento de la temperatura máxima (hasta en 2°C en verano) y mínima (hasta en 3°C en verano) multianual en general, principalmente en la zona sur este de Cusco y Apurímac, paralelamente las zonas con rangos mínimos de temperatura disminuyen su ámbito en relación a su patrón climático. las precipitaciones disminuyeron en forma general, tanto en Cusco como en Apurímac. Con respecto a las lluvias, se observó el aumento de la distribución espacial de isoyetas de 500 a 700 mm y la desaparición del núcleo de mayores valores de 1000-1500 en la zona oeste de Apurímac, respecto a su patrón climático. En Cusco se dio una disminución de

la cobertura de precipitación de isoyetas de 2000 y 3000 mm con respecto a su patrón climático, asociado a un menor ingreso de aire cálido y húmedo desde la zona oriental.

- La Niña 1999-2001, afectó en forma general con el descenso de la temperatura máxima y mínima, principalmente en la zona sureste de Cusco y Apurímac, aumentando la distribución espacial de las isotermas de temperatura máxima entre 8 y 12°C y -8 y -4°C para la temperatura mínima, respecto a su patrón climático. Con respecto a las lluvias, se observó un marcado incremento principalmente en la región andina de Cusco y Apurímac, respecto a su patrón climático. A nivel espacial, la distribución de las isoyetas de 700-1000 mm fue mayor, abarcando gran parte de Apurímac y la zona sur de Cusco, debido a la mayor actividad convectiva existente por el ingreso de humedad y viento cálido desde la zona este.

## 6.2. Tendencias, variabilidad e índices climáticos

### 6.2.1 Tendencias lineales

#### Precipitación

- La tendencia de la precipitación en los últimos cuarenta y cuatro años, viene siendo positiva (aumento) con valores del orden de 0.75 a 6.32 mm/año, en la región Apurímac (Curahuasi y Abancay), y del orden de 0.22 a 2.20 mm/año, en la región Cusco (Urubamba y Cay Cay).
- En el verano (estación más lluviosa del año) las tendencias son positivas, con valores del orden de 1.41 a 4.47 mm/año en Apurímac (Curahuasi y Abancay) y de 0.85 a 1.76 mm/año en Cusco (Urubamba, Pisac, Cay Cay y Ccatcca).
- En el otoño a pesar de no contar con altos niveles de significancia (menores al 97%), las tendencias de la precipitación son de ligeramente negativas a positivas, a razón de -0.31 a -0.05 mm/año en Curahuasi y Chalhuanca y de -0.98 a -0.10 mm/año en Pisac, Granja Kcayra, Ccattca y Acomayo. En tanto, tendencias positivas se presentan en Abancay (1.06 mm/año), Urubamba (0.03 mm/año), Cay Cay (0.43 mm/año) y Sicuani (0.73 mm/año).
- En el invierno (estación seca del año), en Cay Cay (Cusco) la tendencia de la precipitación es marcadamente positiva de 0.10 mm/año. En el resto de localidades analizadas pesar de no contar con altos niveles de significancia (menores al 81%) las tendencias son positivas y oscilan entre 0.10 y 0.22 mm/año en Cusco y de 0.002 a 0.22mm/año en Apurímac. A excepción de Sicuani (-0.004 mm/año) y Acomayo (-0.02 mm/año) que presentan tendencia negativa.
- En la primavera, las tendencias de la precipitación son marcadamente positivas en la en Cusco (Urubamba, Cay Cay, Ccatcca, Sicuani) a razón de 0.35 a 1.02 mm/año. En el resto de localidades a pesar de no contar con altos niveles de significancia (menores al 92 %); como Pisac y en localidades de Apurímac (Curahuasi y Abancay) las tendencias son positivas a razón de 0.72 -1.01 mm/año. Mientras que tendencias negativas se presentan en Chalhuanca (-0.86 mm/año), Granja Kcayra (-0.15 mm/año) y Acomayo (0.84 mm/año).

### Temperatura máxima

- La tendencia lineal de la temperatura máxima, en los últimos cuarenta y cuatro años en el periodo anual y las estaciones de otoño y primavera, es positiva o de calentamiento, aunque con valores pequeños variando entre 0.007 y 0.05 °C/año, en Curahuasi, Urubamba, Acomayo, Sicuani, siendo marcadamente significativa en Granja Kcayra,. Mientras que tendencias negativas o de enfriamiento, pero con valores muy pequeños del orden de -0.07 a -0.0002 °C/año se presentan que en Ccatcca, Chalhuanca, siendo significativa en Abancay.
- En el verano e invierno, las tendencias de la temperatura máxima son positivas (calentamiento) en gran parte de la región andina de Cusco y Apurímac; presentando valores pequeños del orden de 0.0039 a 0.06 °C/año. Siendo significativo en Granja Kcayra. Mientras que, en Abancay se observa significativo enfriamiento a razón de -0.06°C/año.
- En el periodo anual y estacional, la localidad de Granja Kcayra presenta significativo aumento de la temperatura (0.05°C/año), mientras que Abancay presente disminución marcada (-0.06°C/año).

### Temperatura mínima

- La tendencia lineal de la temperatura mínima en los últimos cuarenta y cuatro años en la escala temporal anual y estacional es positiva (calentamiento) en Cusco (Urubamba, Granja Kcayra y Acomayo) con valores del orden de 0.003 a 0.04 °C/año, a excepción de Sicuani (-0.04°C/año). En la región Apurímac (Abancay y Chalhuanca), presenta tendencia negativa (enfriamiento) del orden de -0.06 a -0.01 °C/año, siendo significativa en Abancay.
- Un cambio relativamente abrupto fue observado a mediados de la década de 1970, dando lugar a calentamiento de las temperaturas máximas y mínimas del aire en las regiones Cusco y Apurímac.

## 6.2.2 Análisis de Ruptura o quiebre

### Precipitación

- Las rupturas o quiebre en las series de precipitación observadas en la escala anual, primavera (inicio del periodo lluvioso) y verano (periodo de máxima lluvias), están asociadas con la etapa de inicio y desarrollo del ENOS, respectivamente.

### Temperatura máxima

- La temperatura máxima en las regiones de estudio, fue una variable más sensible a rupturas en relación a las series de precipitación, estas rupturas están asociadas a la fase fría y principalmente a la fase cálida de El Niño Oscilación del Sur (ENOS) como los ocurridos en 1975-76, 1977-78, 1979, 1982-83, 1986, 1994-95 y reflejan aumento (disminución) de la temperatura respecto a su valor normal.
- Las rupturas o quiebre en las series de temperaturas observadas en 1976 en Curahuasi, Granja Kcayra y Sicuani dieron lugar hacia un abrupto calentamiento en el comportamiento de la serie temporal que es real y consistente con lo presentado a nivel global.

### Temperatura mínima

- Se determinó que la temperatura mínima del aire es la variable más sensible a rupturas en relación a las series de temperatura máxima y precipitación, rupturas que están asociadas a la fase fría y principalmente a la fase cálida de El Niño Oscilación del Sur (ENOS) como los ocurridos en 1969-70, 1976, 1979, 1982-84, 1986-87, 1988-89, 1993-94, 1997, 1999, 2001 y reflejan disminución (aumento) de la temperatura respecto a su valor normal.

### 6.2.3. Variabilidad climática

- En general, en Apurímac y Cusco, no existe un patrón sostenido de aumento o disminución de la variabilidad de la precipitación, temperatura máxima y mínima del aire a nivel decadal, pero existe clara influencia interanual, fundamentada en periodos El Niño, La Niña, reflejado con mayor desviación respecto a la media (1971-2000) en los periodos 1971-1980, 1981-1990, 1991-2000, en las regiones de estudio.

### 6.2.4. Tendencias de los indicadores Climáticos

- En los últimos 44 años en casi toda la región Cusco-Apurímac la tendencia del índice de precipitación acumulada en un año se ha incrementado en una tasa promedio de 3.3 mm/día/año.
- La intensidad diaria de precipitación anual en casi toda la región Cusco-Apurímac presenta un aumento de 1mm en el periodo de 1965-2008, así como una mayor frecuencia en la ocurrencia de episodios lluviosos de corta duración.
- En la mayoría de estaciones de la región Cusco-Apurímac, se observa una tendencia positiva en la intensidad de la temperatura máxima extrema diaria, es decir los días están siendo más calientes.
- Predominan las tendencias positivas en la intensidad de la temperatura mínima diaria, es decir las noches frías están tendiendo a ser más calientes; con excepción de Sicuani (Cusco) y toda las estaciones de Apurímac, donde existe un decremento significativo en la intensidad de este índice, por lo que en estas localidades las noches en los últimos 44 años son cada año más frías.
- El número de heladas meteorológicas que disminuyeron en los últimos 44 años fue a razón de 0.33 días/año (aproximadamente una disminución de 15 días), caso contrario tenemos en la sierra sur de las regiones, donde la tasa de incremento de heladas meteorológicas fue mayor a razón de 1.19 días/año (aproximadamente un mes y medio) de aumento de los días con heladas en esta zona.
- El calentamiento de la temperatura mínima diaria es más fuerte que el de la temperatura máxima, dando como resultado que el rango diurno de temperatura sufra un decrecimiento de hasta 1°C en la región en los últimos 44 años.

## 6.3. Sequías y heladas

- En el análisis anual, en la zona de Cusco, las precipitaciones presentaron un cambio en la variabilidad a partir del año 1979, con presencia de sequías extremas y eventos húmedos de intensidad moderada a extrema de mayor frecuencia en la última década.
- Sobre el norte del departamento de Apurímac, el comportamiento anual es diferente comparado al

Cusco, a partir del año 1993 la zona no ha presentado sequías y las lluvias han sido normales o con eventos húmedos moderados.

- Las sequías en el departamento de Cusco están más relacionadas con los Eventos El Niño, a diferencia de la zona de Apurímac.
- Las sequías más intensas y en forma regional en el Cusco se dieron en el Niño 1982/83 y en el año 1989/90, mientras los periodos húmedos se han caracterizado por ser de larga duración (3 años) entre los años 2000/01 al 2002/03.
- En el norte de Apurímac, las sequías se han dado en los años: 1974/75 y en un periodo de 4 años consecutivos entre 1988/89 al 1991/92, mientras los periodo húmedos se han presentado en 1966/67, 1981/82, 1994/95 y 2002/03.
- Las tendencias anuales de estos eventos extremos en ambas zonas muestran tendencias positivas, esto es a presentar cada vez menos eventos de sequías, pero no tienen significancia estadística a excepción de Anta y de Abancay con significancia estadística del 95 al 99% en tres test de tendencias. En resumen, no muestran tendencias hacia la presencia de sequías.
- Las tendencias en los periodos temporales de 6 meses, muestran que en el periodo de lluvias (Oct-mar) las tendencias son positivas con significancia estadística en Anta, Ccatcca y Abancay, mientras en el periodo de estiaje hay una predominancia de tendencias negativas con significancia estadística sólo en Granja Kayra, significando que cada año hay una menor cantidad de lluvias entre Abr- Set.
- Mientras en el periodo de 3 meses, en Urubamba las primaveras cada año son más lluviosas, mientras que en Anta en los veranos las lluvias son más cuantiosas. Asimismo en la zona norte de la región Apurímac: Curahuasi y Abancay los veranos son cada vez más lluviosos.
- Durante los últimos diez años (1999-2009) en áreas representativas de la zona sur de Cusco (Santo Tomas y Sicuani), las intensidades de la heladas han sido altas (anomalía de hasta  $-2.5^{\circ}\text{C}$  con respecto a su patrón climatológico), es decir existe un descenso significativo de la temperatura mínima para esta zona, en cuanto a los días con heladas, existe mayor frecuencia de presencia de heladas meteorológicas en esa zona observándose incrementos de 0 a 4 días en los últimos diez años. Asimismo se ha incrementado estas heladas hasta el mes de noviembre.
- Para el resto del departamento de Cusco (centro y norte), éstas intensidades han disminuido y se ha generado anomalías positivas hasta de  $+1.2^{\circ}\text{C}$  para los meses de junio y julio (Caso Acomayo- Ccatcca) no han sido muy intensas, con respecto a su patrón normal.; esto indica que hay un efecto en las temperaturas que han hecho que sufran un aumento para estos últimos años. Asimismo en el resto del departamento de Cusco (centro y norte), los días con heladas meteorológicas han disminuido.
- De manera similar en la zona sur de Apurímac, las intensidades de las heladas meteorológicas han sido más intensas para el mes de mayo (en base al análisis de Challhuanca y Andahuaylas) pero menores a las observadas en el entorno de Huacrahuacho (anomalías de hasta  $-0.5^{\circ}\text{C}$  con respecto a su patrón climatológico), asimismo existe mayor frecuencia de heladas meteorológicas, incrementándose hasta en 4 días los eventos de heladas.
- Para Cusco centro (Granja Kayra) y Norte (Urubamba) la tendencia de frecuencia de heladas es decreciente, lo cual significa que habrá una disminución de días con heladas meteorológicas.



## 7. BIBLIOGRAFIA

- AVALOS, G. (2005). Validación del Pronóstico de precipitación del modelo regional Eta/SENAMHI, durante periodos secos y lluviosos. Tesis para optar el título de Ingeniero Meteorólogo pág. 98.
- Brunet-Moret Y. (1979). Homogénéisation des précipitations. Cah. ORSTOM, sér. Hyd. 16(3-4), 147-170.
- Chiew, F. et al. (2005) User guide. Trend/change detection software.
- Diaz, H. F., M. Grosjean, and L. Graumlich (2003) Climate variability and changes in high elevation regions: Past, present and future, *Clim. Change*, 59, 1-4.
- Espinoza, J. et al. (2009) Evolución regional de Caudales en el conjunto de la cuenca del Amazonas para el periodo 1974-2004 y su relación con factores climáticos. *Revista peruana de Geo-Atmosférica*. Año 2008-Edición N°1-Lima Perú.
- Fernández Long, M.E., Bernatán, I., Spescha, L., Hurtado, R. y Murphy, G. 2006. Caracterización de las heladas en la región pampeana y su variabilidad en los últimos 10 años. Acceso a Internet
- Flores, A y Valdivia, G. (2010) Impactos de la Variabilidad y Cambio Climático en los sistemas productivos rurales y en las condiciones de vida y desarrollo campesinos – una visión desde la población rural de Cusco y Apurímac (CBC), informe final microcuenca Mollebamba, Cusco Perú.
- Frich P, Alexander L, Della-Marta P, Gleason B, Haylock M, Klein A, y Peterson T (2002) Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century. *Clim. Res.*, 19, 193-212.
- Gobierno regional del Cusco, 2008. Plan de Participación Ciudadana al 2021, Cusco, Perú.
- Gómez, D. (1978) “Análisis Físicos de la Distribución de la Precipitación sobre Sudamérica”. Tesis para optar el título de Ingeniero Meteorólogo. Universidad Nacional Agraria La Molina UNALM. Lima-Perú 1978 pág 73.
- Gutierrez Elorza, M. 2001: Geomorfología Climática
- Guttman, N.B., 1998 “Comparing the Palmer Drought Index and the Standardized Precipitation Index.” *Journal of the American Water Resources Association* 34(1):113–21.
- Haylock M, y Coautores (2006) Trends in total and extreme South America rainfall in 1960-2000 and links with sea surface temperature. *J. Climate*, 19, 1490-1512.
- Informe Campo del Estudio “Caracterización Climática y Escenarios de Cambio Climático en las regiones de Apurímac y Cusco”, Microcuencas Mollebamba y Huacrahuacho.
- Informe Campo del Estudio “Evaluación de la disponibilidad actual y futura de los recursos hídricos

superficiales en las regiones de Cusco y Apurímac.”

- Instituto Geográfico Nacional, (1989). Atlas del Perú. Lima, Perú.
- IPCC. 2007. Climate Change 2007, Working Group I Contribution to the Fourth Assessment report of the IPCC Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press: Cambridge, New York.
- Kamiguchi K, Kitoh A, Uchiyama T, Mizuta R, y Noda A (2006) Changes in Precipitation-based Extremes Indices due to Global Warming Projected by a Global 20-Km-mesh Atmospheric Model. SOLA, 2, 64-67.
- Karl,T.R., et. Al. (1993) A new perspective on recent global warming: Asymmetric trends of Daily Maximum and Minimum Temperature. Bull. Am. Meteorol. Soc., 74, 1007-1023.
- Karl,T.R., Easterling,D.R. (1999) Climate extremes: selected review and future research directions. Climatic Change, 42, 309-325.
- Liu, X., Z.-Y. Yin, X. Shao, and N. Qin (2006). Temporal trends and variability of daily maximum and minimum, extreme temperature events, and growing season length over the eastern and central Tibetan Plateau during 1961-2003. J. Geophys. Res., 111, D19109, doi: 10.1029/2005JD006915.
- Lloyd-Hughes, B., and Saunders, M., 2002: A Drought Climatology for Europe Europe, Int.J-Climatol. 22, 1571- 1592
- Maldonado, I.: Heladas Agronômicas o Meteorológicas. INTA Concórdia . Internet
- Mancini, M., Corone, A., Sacchi, O., Costanzo, M.: Las heladas en Zavalla: ¿Sufrieron modificaciones en los últimos años? Facultad de Ciencias Agrarias- Universidad Nacional de Rosario. Argentina.
- Matías Ramirez, G; Fuentes Mariles, O; Gracia Jiménez,F(2001) : Heladas. Centro Nacional de Prevención de desastres CENAPRED. Primera edición, México,D.F.
- Monterubbiansi,M.G. y Cendoya M.G. ; (2001) : Caracterización del Régimen de Heladas Meteorológicas y Agrometeorológicas en Balcarce ( Argentina) en el período 1970 – 1999. Rev. Facultad de Agronomía,21 (1) : pág.69-78
- McKee,T.B.;Doesken, N.J. and Keist,J. 1993. The relationship of drought frequency and duration to times scale. In: Eighth Conference on Applied Climatology, California. American Meteorological Society:PREPRINTS,1993.p.179-184
- Oncken, O., Chong, G., Franz, G., Guiese, P., Jürgen Götze, H., Ramos, V., Striker, M., Vigger, P. 2006: The Andes.
- Peña, C.,1986: Gran Geografía Del Perú,
- PREDES (2009): Análisis Histórico de eventos climáticos extremos y sus Impactos en Apurímac y Cusco y Caracterización y evaluación De riesgos de desastres ocasionados por peligros climáticos y de remoción en masa en la microcuenca Huacrahuacho. Programa de Adaptación al Cambio Climático - PACC.
- PREDES (2009): Análisis Histórico de eventos climáticos extremos y sus Impactos en Apurímac y Cusco y Caracterización y evaluación De riesgos de desastres ocasionados por peligros climáticos y de remoción en masa en la microcuenca Mollebamba. Programa de Adaptación al Cambio Climático - PACC.
- SENAMHI, 2007: Escenarios de cambio climático en la cuenca de los ríos Mantaro y Urubamba para el año 2100; Proyecto Regional Andino de Adaptación – PRAA. Autores: Rosas G., Avalos G., Díaz A., Oria C., Acuña D., Metzger L., Rosas G. y Miguel R. Eds. SENAMHI – MINAM, Perú, 124 pp.
- SENAMHI- Ministerio de Agricultura MINAG: Atlas de Heladas. Lima-Perú, 2005.

- SENAMHI, (2009): Resumen Ejecutivo: Escenarios Climáticos en el Perú para el año 2030. Autores: Obregón, G., Díaz, A., Rosas, G., Avalos, G., Oria, C., Acuña, D., Llacza, A., Richard, M. Proyecto SCNCC, Segunda Comunicación de Cambio Climático en Perú. Editor Ministerio del Ambiente.
- Suarez, W. (2010) Clima presente y futuro, impacto en cultivos prioritarios y en la disponibilidad hídrica. Componente Hidrológica del PACC. Informe técnico número 2.
- Suarez, W. (2010) Clima presente y futuro, impacto en cultivos prioritarios y en la disponibilidad hídrica. Componente Hidrológica del PACC. Informe técnico número 1.
- Uchiyama T, Mizuta R, Kamiguchi K, Kitoh A, Noda A (2006) Changes in Temperature-based Extremes Indices due to Global Warming Projected by a Global 20-Km-mesh Atmospheric Model. SOLA, 2, 68-71.
- Veblen, T., Young, K., Orme, A., 2007, the Physical Geography of South America.
- Vincent L, y Coautores (2005) Observed Trends in Indices of daily Temperature Extremes in South America 1960-2000. J. Climate, 18, 5011-5023.
- Wilhite, D.A., and M.H. Glantz, 1985: Understanding the drought phenomenon: The role of definitions. Water International, 10,11-120
- Wu, H., Hayes, M, Wilhite, D., and Svoboda M.,2005: Th effect of the length of record on the standardized precipitation index calculation, Int. J. Climatol. 25, 505-520.
- Zhang K.and et al. (2004) Global warming and coastal erosion. Climate Change 64, 41-58.

Enlaces de interes:

- [http://www.conama.cl/portal/1301/articles-39442\\_pdf\\_Estudio\\_texto.pdf](http://www.conama.cl/portal/1301/articles-39442_pdf_Estudio_texto.pdf)
- <http://www.waterencyclopedia.com/Da-En/Drought-Management.html>
- <http://www.drought.unl.edu/whatis/concept.htm>

