

PACC - Serie de investigación regional 19

Análisis de eventos extremos seleccionados  
y su relación con aspectos climáticos en las  
regiones de 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 la **Universidad de Zürich (UZH)** y el **Centro de Estudios y Prevención de Desastres (PREDES)**, titulado “Análisis de eventos extremos seleccionados y su relación con aspectos climáticos en las regiones Apurímac y Cusco, Perú”.

[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

Elaborado por:

Annik Raissig, Christian Huggel (Universidad de Zürich, Suiza); Gilberto Romero Zeballos, Alfonso Díaz Calero (PREDES).

Corrección de estilos y diseño gráfico:

Yadira Hermoza Ricalde

Primera Edición.

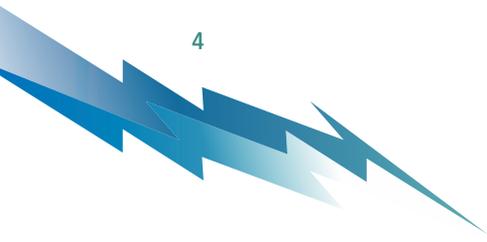
Reproducción autorizada si se cita la fuente. Este libro deberá ser citado de la siguiente manera: Raissig, A.; Huggel, Ch.; Romero, G.; Díaz, A. 2012. “Análisis de eventos extremos seleccionados y su relación con aspectos climáticos en las regiones Apurímac y Cusco”. Serie de investigación regional # 19. Programa de Adaptación al Cambio Climático PACC - Perú.

# Análisis de eventos extremos seleccionados y su relación con aspectos climáticos en las regiones de Apurímac y Cusco

PACC - Serie de investigación regional 19

2012





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.

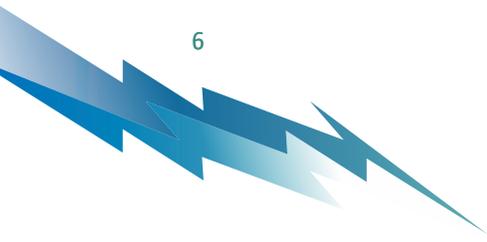
Este documento es el informe final de investigación del ***Estudio de Análisis de eventos extremos seleccionados y su relación con aspectos climáticos en las regiones Apurímac y Cusco***, elaborado el 2011 por la universidad de Zürich-UZH y el Centro de Estudios y Prevención de Desastres-PREDES, y forma 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 UZ-PREDES y PACC, los resultados, las conclusiones e interpretaciones presentes en este documento, son de estricta responsabilidad de UZH y PREDES.

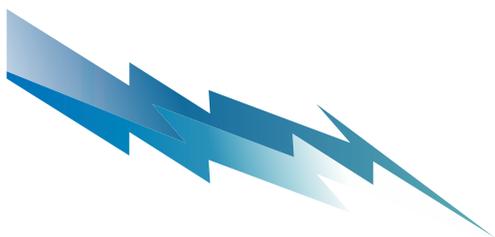
Este estudio constituye una primera aproximación en la identificación de los procesos y fenómenos climáticos e hidro-climáticos mayores que desencadenan en desastres en las regiones Apurímac y Cusco, en su relación con aspectos climáticos o hidro-climáticos, así como, identificar e interpretar las características, condiciones e importancia de los procesos climáticos que desencadenan en desastres.

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 problemática del análisis de los fenómenos climáticos e hidro-climáticos extremos que desencadenan en desastres 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**



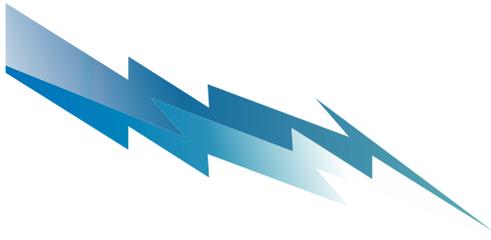


## CONTENIDO

1	Objetivos y antecedentes del informe	9
2	Regiones de estudio	10
	2.1 La región Apurímac	10
	2.2 La región Cusco	11
3	Datos	12
	3.1 DesInventar	12
	3.2 INDECI (SINPAD) .	13
	3.3 Estaciones climáticas .	13
	3.4 Datos del TRMM	16
	3.5 Datos de la población.	17
	3.6 Datos hermenéuticos	17
	3.7 Datos topográficos y cartográficos	17
4	Metodología	18
	4.1 Procesos estudiados	18
	4.1.1 Sequía.	18
	4.1.2 Helada	19
	4.1.3 Movimientos en masa	22
	4.1.4 Precipitaciones	24
	4.2 Análisis de datos climáticos para eventos extremos	25
	4.2.1 Sequía	26
	4.2.2 Helada	26
	4.2.3 Huayco .	27
	4.2.4 Lluvia.	28
	4.2.5 Comparación con los datos hermenéuticos .	28
5	Resultados	29
	5.1 Sequía 1982/1983 en las regiones de Cusco y Apurímac	29
	5.2 Helada 2008 en la región Cusco	32
	5.3 Helada 2009 en la región Apurímac	38



5.4	Huayco Salkantay 27/2/1998 .	42
5.5	Huayco Aguas Calientes 10/4/2004 .	46
5.6	Lluvias torrenciales e inundaciones Cusco, enero 2010	49
6	Conclusiones	54
6.1	Datos.	54
6.2	Eventos extremos seleccionados	55
6.2.1	Sequía.	55
6.2.2	Helada	56
6.2.3	Movimientos en masa	57
6.2.4	Precipitaciones	58
7	Recomendaciones .	60
8	Literatura	63



# 1 OBJETIVOS Y ANTECEDENTES DEL INFORME

Este estudio se ha realizado dentro del programa PACC: Programa de Adaptación al Cambio Climático. PACC es una iniciativa de cooperación bilateral entre el Ministerio del Ambiente del Perú y la Agencia Suiza para la Cooperación y el Desarrollo - COSUDE, que tiene como objetivo específico, lograr que poblaciones e instituciones públicas y privadas de las regiones de Cusco y Apurímac, implementen medidas de adaptación al cambio climático, y capitalicen aprendizajes e incidan en las políticas públicas a nivel nacional.

Dentro del PACC se viene realizando varios estudios en diferentes campos y disciplinas científicas que deberían aportar a mejor conocer las vulnerabilidades de las regiones de Apurímac y Cusco frente al cambio climático, así como contribuir a la evaluación e implementación de medidas de adaptación específicas.

PACC tiene tres grandes líneas de áreas temáticas que son: recursos hídricos, seguridad alimentaria y desastres. El presente estudio se ubica en el marco del área de desastres y reducción de riesgos de desastres (RRD). En las diferentes áreas temáticas se ha trabajado tanto a un nivel local de microcuencas, como a nivel regional de las dos regiones. Este estudio pertenece a los estudios de nivel regional.

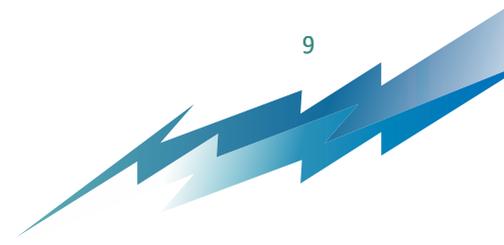
Como antecedentes y estudios complementarios tenemos los siguientes documentos que fueron elaborados por PREDES con el apoyo de la Universidad de Zurich (UZH), que pertenece a, y lidera las Entidades Científicas Suizas (ECS):

- Cronología y análisis histórico de eventos climáticos extremos en la región Apurímac
- Cronología y análisis histórico de eventos climáticos extremos en la región Cusco
- Estudio de amenazas ante eventos de movimientos en masa e inundaciones, áreas críticas y medidas de mitigación en la región Cusco.
- Estudio de amenazas ante eventos de movimientos en masa e inundaciones, áreas críticas y medidas de mitigación en la región Cusco.

Este estudio además está precedido por otro estudio de la UZH sobre el análisis espacio-temporal de desastres en las regiones de Apurímac y Cusco entre 1970 y 2010. Mientras este estudio se dedica a un análisis comprensivo de todos los desastres documentados en las regiones, en base a las dos fuentes e inventarios DesInventar y SINPAD, el presente estudio analiza eventos extremos y desastres específicos y seleccionados, y su relación con las características climáticas. En buena parte el presente estudio se basa en la tesis de maestría de Annik Raissig, la cual fue aceptada por UZH en Febrero del 2011.

Los objetivos de este estudio son los siguientes:

- Demostrar los procesos y fenómenos climáticos e hidro-climáticos mayores que resultan en desastres en las regiones de Apurímac y Cusco.
- Analizar eventos y desastres específicos y seleccionados y su relación con aspectos climáticos o hidro-climáticos.
- Mejor entender las características, condiciones y la importancia de procesos climáticos que llevan a desastres.



## 2 REGIONES DE ESTUDIO

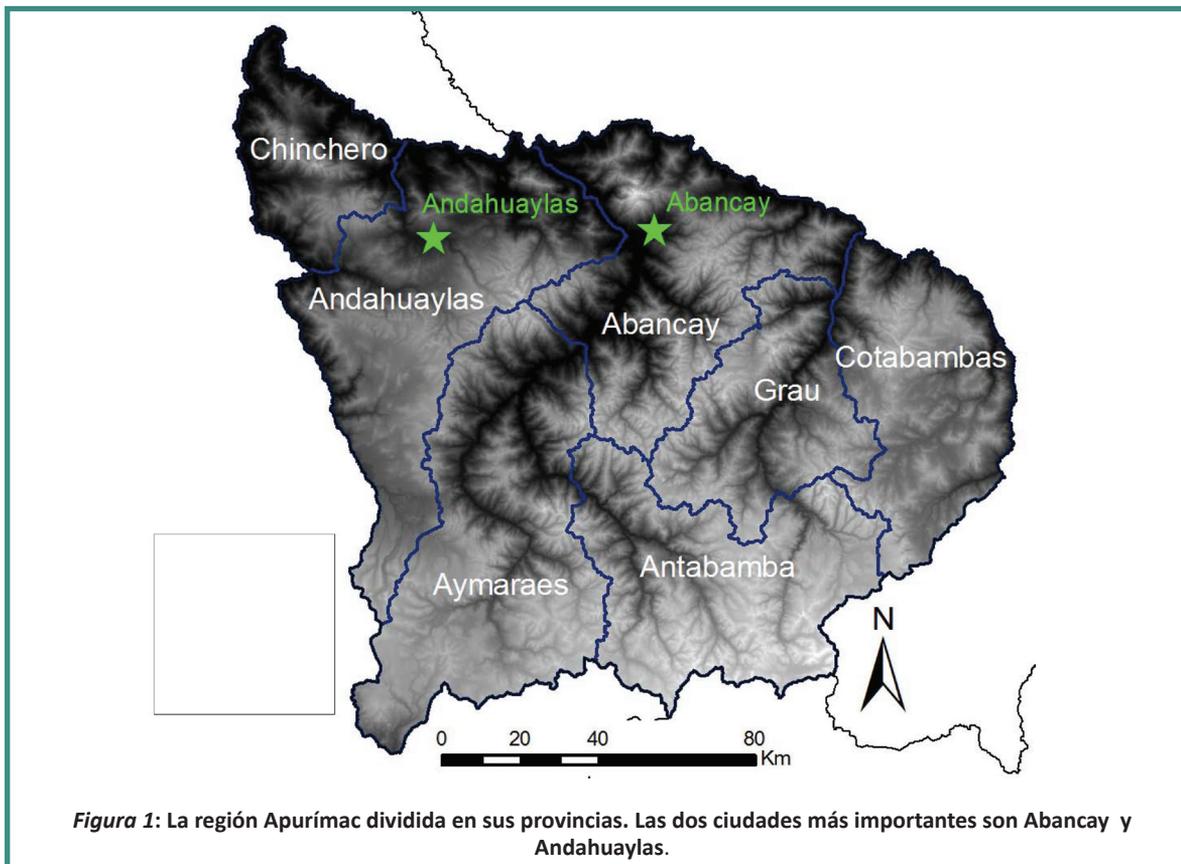
El área de investigación se ubica en el sur de Perú, específicamente en las regiones de Apurímac y Cusco. Característica de esta área es la topografía múltiple. Las altitudes varían entre apenas 300 msnm y 6300 msnm. El área es marcada además de la geografía, de climas y microclimas distintos. La gente que vive en estas zonas altoandinas forma parte de la población más pobre de Perú. En muchos casos las condiciones de vida son adversas; la infraestructura que está a disposición de la población es en la mayoría de los casos por abajo del promedio, y la población está luchando por la supervivencia.

### 2.1 La región Apurímac

La región Apurímac (figura 1) tiene un área de 21'000km<sup>2</sup> y está caracterizada por su topografía variada, por los contrafuertes de la cordillera de los Andes y sus valles interandinos pronunciados (alturas entre 1000 y 5000 msnm). Una gran parte del territorio se ubica por encima de los 3000 msnm. En consecuencia, la zona altoandina tiene la mayor extensión en la región. Los pisos ecológicos Suni, Puna y Janca predominan.

Comprende el piso ecológico quechua, entre los 2000 y 4000 msnm con presencia de vertientes pronunciadas y el drenaje de los ríos en su recorrido de Sur a Norte. Suelos y climas son favorables para una mayor diversidad de cultivos y crianzas y la concentración urbana de la población.

La zona inferior andina es la franja del territorio con un clima tropical, ubicada entre los 1000 y 2000 msnm pero de menor extensión en la región; a esta zona se le conoce como Yunga, la que cuenta con importantes ventajas para una mayor diversidad de cultivos. La red hidrológica es dominada por el río Apurímac y sus afluentes principales (Vilcabamba, Chalhuanca, Chumbao y Pampas) (Bretscher, 2009).

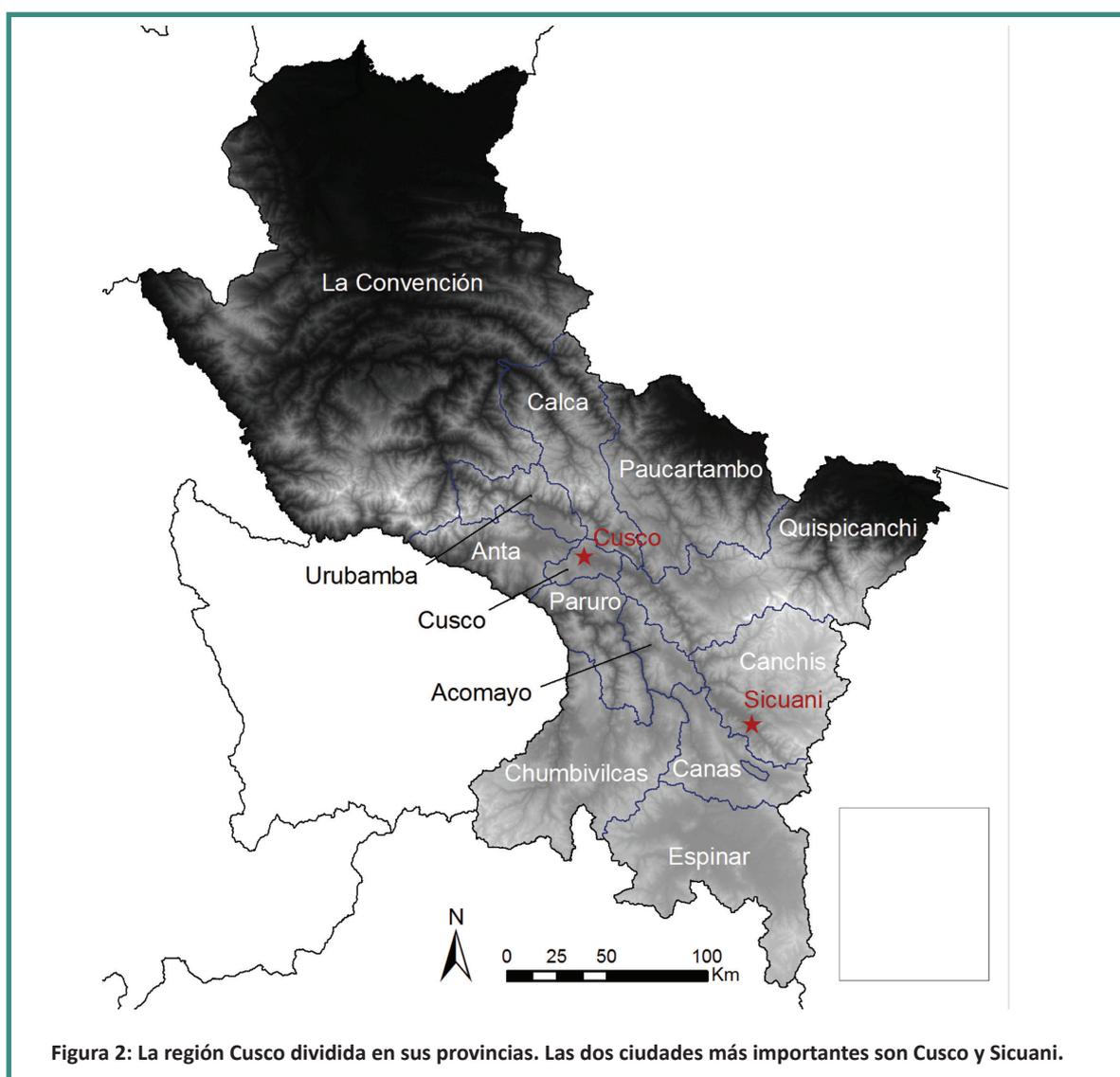


## 2.2 La región Cusco

El territorio de la región Cusco abarca 71'987 km<sup>2</sup> (INEI, 2007). El departamento de Cusco posee un paisaje de marcados contrastes, donde se combinan elevados alineamientos de montañas, con altiplanos dilatados y mesetas de relieve suave, así como profundos valles y cañones (**figura 2**). Debido a la gran diversidad de pisos altitudinales, la región tiene una gran variedad de climas y paisajes fitogeográficos, lo que influye de manera importante en la agricultura y la distribución de la población.

La heterogeneidad de la región se expresa en diferentes ámbitos, como geográfico, ambiental, biológico, productivo, tecnológico y socio cultural.

El potencial hídrico de la región de Cusco es importante debido al gran volumen de aguas que discurren a lo largo y ancho de su territorio. Se distinguen tres grandes unidades hidrográficas, conocidas como cuencas: la cuenca del Vilcanota- Urubamba, Apurímac y Madre de Dios. En general, el régimen de los ríos está fuertemente ajustado a la distribución estacional de las precipitaciones y los deshielos provenientes de los principales glaciares (Bretscher, 2009).



Este informe se basa de un lado en dos bases de datos de eventos registrados y de otro lado en datos climatológicos. Además se utilizó otras fuentes de datos para fines del análisis.

- Las dos bases de datos DesInventar e INDECI disponen de una composición de cuarenta y diez años respectivamente, de información de eventos climáticos. Todos los análisis de los fenómenos descritos se basan en estas dos bases de datos.
- El portal de datos climatológicos ha sido desarrollado por Meteodat, miembro de las Entidades Científicas Suizas (ECS), en colaboración con el SENAMHI en el marco del proyecto del PACC. El portal dispone de datos climatológicos de 176 estaciones que están distribuidas en las dos regiones investigadas y sus regiones vecinas. Las series temporales de los datos de las estaciones climatológicas distintas varían entre algunos meses y cuarenta años.
- Los datos de la población de las dos regiones investigadas están disponibles en el Instituto de Estadística e Informática (INEI).
- Información adicional a los eventos investigados provienen de los periódicos “El Comercio” y “El Diario del Cusco”.
- Como base espacial se utilizó en este trabajo datos topográficos y cartográficos que están disponibles en el proyecto del PACC.

### 3.1 DesInventar

Hasta mediados de la década de 1990, en América Latina y en la sub región andina no se disponía de información sistemática sobre la ocurrencia de desastres cotidianos de pequeño y mediano impacto. A partir de 1994 se empezó a construir un marco conceptual y metodológico común por parte de grupos de investigadores, académicos y actores institucionales, agrupados en la Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina (LA RED), quienes concibieron un sistema de adquisición, consulta y despliegue de información sobre desastres de pequeños, medianos y grandes impactos, con base en datos pre existentes, fuentes hemerográficas y reportes de instituciones en nueve países de América Latina. Esta concepción, metodología y herramienta de software desarrolladas se denominan Sistema de Inventario de Desastres - DesInventar (DesInventar, 2010).

El desarrollo de DesInventar con una concepción que permite ver a los desastres desde una escala espacial local (municipio o equivalente), facilita diálogos para gestión de riesgos entre actores e instituciones y sectores, y con gobiernos provinciales y nacionales (DesInventar, 2010).

DesInventar es un desarrollo conceptual y metodológico sobre los desastres de todas las magnitudes y sobre diversidad de entornos: locales, nacionales y regionales. Conceptual, porque no parte de los eventos de alto impacto sobre regiones o países, sino de los efectos esparcidos de este tipo de eventos sobre comunidades vulnerables a escala de sus localidades, porque también considera como desastres todas aquellas pérdidas por

impactos de fenómenos de origen natural, tecnológico o antrópico de frecuente ocurrencia en esas mismas comunidades. (DesInventar, 2009).

Es un sistema de inventarios de desastres, una metodología de registro de información sobre características y efectos de diversos tipos de desastres, con especial interés en los desastres de escalas regionales o nacionales y que a su vez permite mirar acumulados de este tipo de desastres locales desde perspectivas nacionales y regionales (DesInventar, 2009).

En el caso de Perú abarca la base de datos del DesInventar, datos de eventos desde 1970 hasta 2009. Tanto las informaciones históricas como las informaciones recientes de los datos de los eventos provienen del diario nacional peruano “El Comercio”.

El contenido de información de las distintas documentaciones de eventos varía de manera bastante fuerte. En muchos casos faltan informaciones espaciales precisas de los eventos registrados. Por lo que una localización exacta no es posible. Además no es raro que la base de datos solo informe que hubo un evento, pero las informaciones detalladas de las consecuencias y los impactos a la población o su ambiente son difusos.

En causa de su serie temporal relativamente larga, esta base de datos constituyó una base importante para el análisis de la incidencia.

### **3.2 INDECI (SINPAD)**

El Instituto Nacional de Defensa Civil, organismo central, rector y conductor del Sistema Nacional de Defensa Civil (SINADECI), hace público los principios fundamentales que inspiran el ejercicio de la Defensa Civil en el Perú (Casaverde Río et al., 2009).

Una tarea importante del INDECI es la gestión de una estadística de emergencia. La base de datos que está actualizada constantemente (SINPAD – Sistema Nacional de Información para la Prevención de Desastres) permite una introducción a los eventos registrados entre los años 2001 y 2010. Es posible elegir los eventos según sus regiones, provincias y distritos, o según el lugar o el período del evento.

Por cada evento está guardada la información del número de afectados, heridos, fallecidos y daños de infraestructura. Además INDECI publicó resúmenes anuales de todos los eventos registrados en el Perú entre los años 1995 y 2008.

La serie temporal de esta base de datos es más corta que aquella del DesInventar. Sin embargo la localización de los eventos registrados aquí es mejor. Las informaciones de las consecuencias de los eventos y de la consternación de la población, también son mucho más detalladas. Esta base de datos fue usada especialmente por el análisis de la incidencia de los eventos de la última década.

### **3.3 Estaciones climatológicas**

El SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú) conduce las actividades meteorológicas y ambientales del país. Desde 1969 el SENAMHI brinda servicios públicos, asesoría, estudios e investigaciones

científicas en las áreas de Meteorología, Hidrología, Agrometeorología y asuntos ambientales en beneficio del país. Se inició como un Organismo Público Descentralizado del sector de Defensa. Desde 2008 el SENAMHI es una institución pública, parte del Ministerio de Ambiente (MINAM). El SENAMHI dispone de una red nacional de estaciones de observación de 836 estaciones, de la cuales 756 son meteorológicas y 80 hidrológicas (SENAMHI, s.a).

En el marco del proyecto PACC Meteodat GmbH de Zurich se hizo una asesoría importante en la parte de comprobación de calidad de los datos básicos. Meteodat construyó un portal de datos que ahora está a disposición de todos los participantes del proyecto PACC (Meteodat, 2009, Schwarb et al., 2011). Los datos climáticos usados en este reporte también provienen de este portal de datos (figura 3 y tabla 1). La base del portal de datos son 176 estaciones en las dos regiones Apurímac y Cusco, como también en sus regiones vecinas.

En Apurímac se han instalado 20 estaciones, mientras que en Cusco existen datos en total de 49 estaciones. Todas las estaciones tienen un nombre, coordenadas geográficas, así como la altura sobre el nivel del mar correspondiente. Además es conocido en cuál período funcionó la estación. A causa de la topografía las estaciones se encuentran en muchos casos cerca de urbanizaciones y en el fondo de los valles. Esto también explica la irregularidad espacial de la distribución de las estaciones climáticas.

La densidad de las estaciones generalmente es mayor en la región Cusco que en la región Apurímac. Además, en muchos casos no existen estaciones en áreas muy remotas, en lugares con un acceso muy difícil las estaciones se encuentran en altitudes entre 540 y 4680 msnm. Generalmente los datos son colectados por personas de la población local que viven cerca de las estaciones, seguidamente son transmitidas al SENAMHI en Lima.

#### Estaciones climáticas - Región Cusco

No. estación	Latitud	Longitud	Altura (msnm)	Estación climática	Año (inic.)	Mes (inic.)	Año (fin)	Mes (fin)	Provincia	Distrito
1	-13.6100	-71.5603	3729	CCATCCA	1965	1	2010	2	QUISPICANCHI	CCATCA
2	-13.3633	-71.6733	3729	COLQUEPATA	1965	1	2010	2	PAUCARTAMBO	COLQUEPATA
3	-13.5569	-71.8753	3219	GRANJA_KCAYRA	1965	1	2010	2	CUSCO	SAN JERONIMO
4	-13.1669	-72.5458	2563	MACHU_PICCHU	1965	1	2010	2	URUBAMBA	MACHU_PICCHU
5	-13.3244	-71.5906	3042	PAUCARTAMBO	1965	1	2010	2	PAUCARTAMBO	PAUCARTAMBO
6	-13.4161	-71.8497	2950	PISAC	1965	1	2010	2	CALCA	PISAC
7	-14.0281	-71.5728	3200	POMACANCHI	1985	1	2010	2	ACOMAYO	POMACANCHI
8	-12.6836	-72.2836	1200	QUEBRADA_YANATILE	1999	4	2010	2	CALCA	YANATILE
9	-14.3994	-72.0886	3253	SANTO_TOMAS	1965	1	2010	2	CHUMBIVILCAS	LLUSCO
10	-13.3106	-72.1239	2863	URUBAMBA	1965	1	2010	2	URUBAMBA	MARAS
11	-14.8169	-71.4169	3927	YAUURI	1965	1	2010	2	ESPINAR	ESPINAR

#### Klimastationen - Region Apurímac

No. estación	Latitud	Longitud	Altura (msnm)	Estación climática	Año (inic.)	Mes (inic.)	Año (fin)	Mes (fin)	Provincia	Distrito
12	-13.6083	-72.8706	2750	ABANCAY	1965	1	2009	11	ABANCAY	TAMBURCO
13	-13.6569	-73.3708	2866	ANDAHUAYLAS	1965	1	2010	2	ANDAHUAYLAS	ANDAHUAYLAS
14	-14.3928	-73.1792	3358	CHALHUANCA	1999	11	2009	12	AYMARAE	COTARUSE
15	-13.5525	-72.7350	2763	CURAHUASI	1965	1	2010	2	ABANCAY	CURAHUASI

#### Klimastationen - in den Nachbarregionen von Cusco und Apurímac

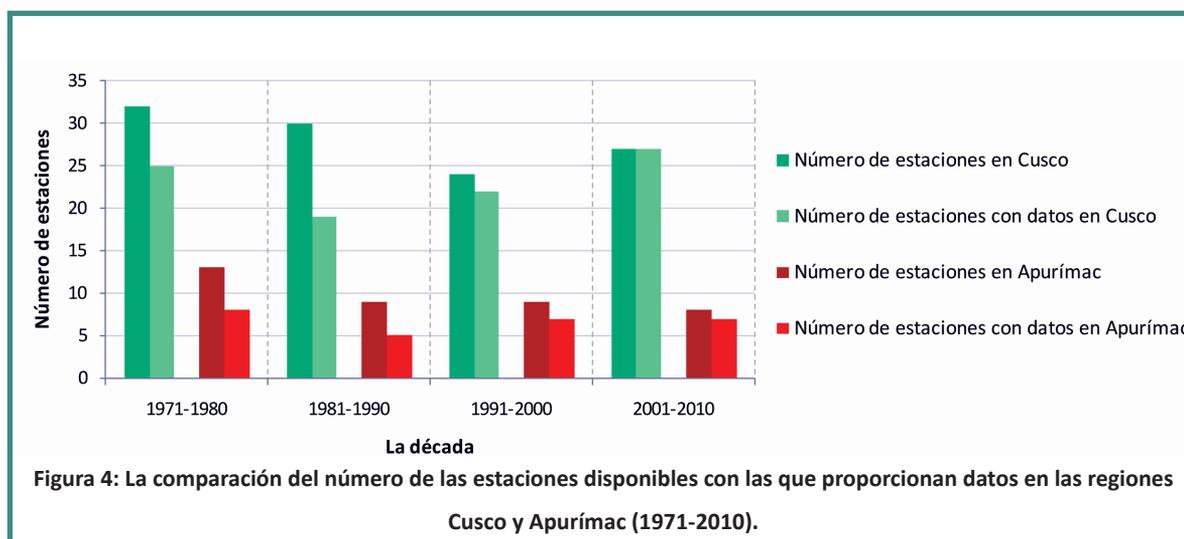
No. estación	Latitud	Longitud	Altura (msnm)	Estación climática	Año (inic.)	Mes (inic.)	Año (fin)	Mes (fin)	Región
16	-14.8811	-70.5928	3920	AYAVIRI	1965	1	2010	2	Puno
17	-15.1797	-71.6494	4150	LA_ANGOSTURA	1965	1	2010	2	Arequipa
18	-15.0336	-70.3728	3910	PUCARA_1	1965	1	2010	2	Puno
19	-15.1503	-72.7669	3455	PULLHUAY	1965	1	2010	2	Arequipa
20	-15.3503	-71.4503	4175	TISCO	1965	1	2010	2	Arequipa

**Tabla 1: Todas las estaciones climáticas en las regiones Cusco y Apurímac, así como algunas estaciones de las regiones vecinas Arequipa y Puno. (N°. estación en esta tabla corresponde al número de la correspondiente estación en el mapa en figura 3).**

El portal de datos dispone de parámetros climáticos distintos, como por ejemplo las temperaturas mínima y máxima del día, los valores del punto de rocío y de la humedad relativa a diferentes horas, además los valores de la precipitación, el medio de la temperatura y de la humedad, como también la presión atmosférica, velocidad y dirección del viento; pero no todas las estaciones están equipadas con los instrumentos necesarios que faciliten todas las medidas mencionadas.

Las estaciones climáticas fueron instaladas del SENAMHI en el transcurso del tiempo. De vez en cuando se añadió nuevas estaciones climáticas en la red, mientras que otras, en cambio, dejaron de funcionar (figura 4). Las causas de estos hechos son parcialmente desconocidas. Colaboradores del SENAMHI reportaron sobre las estaciones fuera servicio o sobre casos en los cuales se había robado partes de las estaciones, la población local muestra desconfianza frente a las instalaciones como aquéllas (información oral de Irene Trebejo, SENAMHI, Lima, 2.8.2010). Que muchas estaciones muestren huecos en las series de datos en la década entre 1981 y 1990, podría ser relacionado a las inestabilidades políticas causadas por Sendero Luminoso (información oral del SENAMHI, verano 2010).

Los primeros datos provienen del año 1965; sin embargo en la región Apurímac solo existen dos estaciones climáticas que disponen de datos regulares entre los años 1965 y 2010, son las dos estaciones : Andahuaylas y Curahuasi. En la región Cusco por lo menos son 15 estaciones; sin embargo tampoco estas estaciones disponen de series temporales completas. Los huecos en los datos pueden ser explicados con valores de días faltantes o valores defectuosos que ya se eliminaron.



### 3.4 Datos del TRMM

TRMM - Tropical Rainfall Measurement Mission, es un programa espacial de la NASA, de la Agencia Espacial de los Estados Unidos, dedicado al monitoreo de precipitación, existen varios productos y formatos de datos en este programa. Para el presente estudio se utilizó el producto TMPA (TRMM Multi-Satellite Precipitation Analysis), llamado 3B42 V6 (Huffman et al., 2007). Estos datos vienen en una resolución de  $0.25^\circ \times 0.25^\circ$  (ca. 25 km), cada 3 horas, con la precipitación indicada en mm/h. Los datos tienen una cobertura global entre  $50^\circ\text{N}$  y  $50^\circ\text{S}$  y están disponibles desde 1998.

Es importante considerar que los datos TMPA están compuestos por varias fuentes de datos y sensores en satélites, incluyendo de micro-ondas, infra-rojo, radar y de estaciones pluviométricas de la tierra. En primer lugar se utiliza datos de cuatro sensores de micro-ondas pasivas, específicamente de TRMM Microwave Imager (TMI), Special Sensor Microwave/Imager (SSM/I), Advanced Microwave Scanning Radiometer-EOS (AMSR-E) y Advanced Microwave Sounding Unit-B (AMSU-B). Los datos son calibrados con el TRMM Precipitation Radar, y en lugares en que no hay datos de micro-ondas, se utilizan datos infra-rojos para complementar.

Existen pocos estudios que han aplicado TRMM/TMPA en regiones de montaña y especialmente de alta montaña. En el marco del PACC se ha realizado un estudio que evaluó estos datos de precipitación en la región Cusco altoandina (ver el artículo Scheel et al., 2010). En general se encontró que el terreno altoandino es un desafío para utilizar los datos TRMM/TMPA de una manera que permita una interpretación sólida de la precipitación. La calidad de datos depende mucho de la resolución temporal (o el periodo de observación) que se aplica; datos a una resolución de 3 horas son poco confiables. Mientras más grande el periodo, más confiable y adecuado son los datos, es decir, datos agregados a un periodo de 30 días son confiables, y el error aumenta si se utiliza un periodo de 15, 7 y 1 días. A pesar de los errores que tienen los datos a periodos cortos (1 día o menos), se considera TRMM/TMPA una fuente importante de información sobre la lluvia en regiones donde hay pocas estaciones pluviométricas, como es el caso en varias áreas del PACC.

### **3.5 Datos de la población**

El Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) es el órgano rector del Sistema Estadístico Nacional en el Perú. Norma, planea, dirige, coordina, evalúa y supervisa las actividades estadísticas oficiales del país. El censo y la coordinación y producción de las estadísticas referidas a los sistemas de cuentas nacionales y regionales, esquemas macro estadísticos, así como estadísticas demográficas e indicadores económicos y sociales son sólo algunas funciones del INEI (INEI, 2010).

### **3.6 Datos hermenéuticos**

El periódico nacional “El Comercio” fue fundado en el año 1839 por el chileno Manuel Amunátegui y el argentino Alejandro Villota en Lima. Ahora, Desde hace cuatro generaciones el periódico se encuentra en el patrimonio familiar de Miró Quesada. El periódico “El Comercio” está en venta en todo el país y es considerado como uno de los periódicos mayores del continente América del Sur (El Comercio, 04.05.2010).

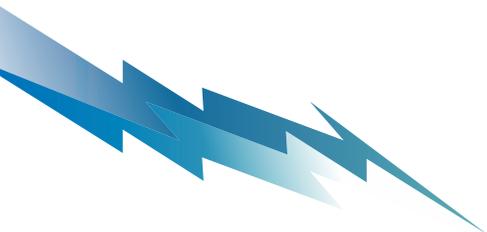
El periódico local “El Diario del Cusco” fue fundado en el año 1998 y está en venta principalmente en la región Cusco.

### **3.7 Datos topográficos y cartográficos**

En relación con el proyecto PACC se había compuesto distintos registros con datos topográficos y cartográficos. Estos fueron utilizados como datos de base por los análisis espaciales en este reporte. Se trata de datos del SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) con una resolución del suelo de 90m.

La misión se realizó en febrero del año 2000 con el objetivo de elaborar un modelo digital del terreno (de 60° norte hasta 56° sur). Los datos están disponibles gratis y se formaron dentro de un proyecto común de la NGA (National Geospatial-Intelligence Agency), de la NASA (National Aeronautics and Space Administration) y de las agencias espaciales de Italia y Alemania (Farr et al., 2007). Para este reporte se utilizaron partes del modelo digital del terreno, además fue posible usar shapefiles georeferenciadas con líneas fronterizas de los distritos y provincias de las dos regiones investigadas.

Se usó los shapefiles en el sistema georeferenciado de WGS 84 (World Geodetic System 1984).



## 4 METODOLOGÍA

La extensión espacial y la frecuencia de la presencia de los eventos se determinaron mediante los eventos registrados en las dos bases de datos del DesInventar e INDECI, en base a datos topográficos y cartográficos en el ArcSIG en forma de un inventario de incidentes. Cambios temporales durante las cuatro décadas, se habían ilustrado también mediante el ArcSIG, así como en forma de tablas. Estos resultados se compararon adicionalmente con los datos de la población de ambas regiones. Los resultados de esta parte del trabajo se encuentran en un reporte distinto: Análisis espacio-temporal de desastres en las regiones de Cusco y Apurímac 1970-2010.

En este reporte se representa el análisis de eventos extremos seleccionados y su relación con parámetros climatológicos.

### 4.1 Procesos estudiados

Las dos regiones; Apurímac y Cusco en la parte sur de los Andes peruanos son caracterizadas por condiciones climáticas extremas. El interés principal de las investigaciones en este trabajo se refiere a los siguientes fenómenos: Sequía, Helada, Huayco y Lluvias intensas.

#### 4.1.1 Sequía

La definición de la sequía parece a primera vista bien simple. En distintas referencias se describió la sequía como una “falta de precipitación durante un período relativamente largo” (Valiente, 2001).

Mirando de cerca, esta definición es mucho más complicada; La sequía es un fenómeno climático que se repite periódicamente y que puede suceder en todas las zonas climáticas del mundo, sin embargo las características varían de una región a la otra (NDMC, 2006). De vez en cuando el término de “sequía” es difícil definir, dado que se tiene sentidos diferentes en todas las regiones distintas del mundo. (Dracup et al., 1980). Hoy todavía existen inseguridades, imprecisiones y desafíos en el manejo con las sequías, aunque Palmer (1965) ya notó que la ciencia meteorológica no conoce todavía todas las características de la sequía y todavía no describieron el fenómeno adecuado. El primer paso fue la comprensión del fenómeno; es un camino largo hasta que un pronóstico o tal vez un control limitado lo haga posible. También Wilhite & Glantz (1985) dieron un paso en este camino; ellos hicieron una composición de más de 150 definiciones y formaron las categorías siguientes: sequía meteorológica, sequía hidrológica, sequía agronómica y sequía socioeconómica.

De una sequía agronómica se habla cuando la humedad del suelo no es suficiente para garantizar el desarrollo de una planta de cultivo determinado. La sequía hidrológica es marcada por un déficit en los cuerpos de agua cercana a la superficie y agua subterránea (ríos, nivel de aguas subterráneas, etc.).

Se habla de una sequía socioeconómica si la disponibilidad del agua disminuye y se originan daños económicos que afecta a un número de personas de la población (Valiente, 2001).

La sequía meteorológica es definida en base a la dimensión de la sequía y de la duración del período seco

continuo (NDMC, 2006). Basado en los datos climáticos es una expresión de la desviación de la cantidad de la precipitación del promedio durante un período definido. Estas definiciones por lo general son específicas de una región y se basan en la comprensión de la climatología regional (Ogallo, 1999, Valiente, 2001). En este trabajo la sequía meteorológica está en el centro de los análisis de los eventos extremos climáticos.

A la vista de la dificultad de fijar un período y una intensidad de la escasez de la precipitación, válido para territorios geográficos distintos, se empieza con algunas definiciones que no especifican un umbral y por lo tanto sólo son cualitativas (Valiente, 2001); definiciones conceptuales que son definidas en palabras generales, ayudan a la gente a entender el término de la sequía. Palmer (1965), por ejemplo definió la sequía meteorológica como: “Un período en la dimensión de meses hasta años, mientras el cual, el ingreso de humedad en un sitio definido desciende mucho debajo de la cantidad que se espera en vista de la climatología.” Russel et al. (1970) son más precisos: “Una escasez extensa en comparación al promedio”. La definición del NDMC (National Drought Mitigation Center) (2006) es: “Una sequía es un período de larga duración con una escasez de la precipitación que causa daños extensos en los cultivos y conduce a la pérdida de cosechas.” En otras palabras esta definición proviene de la UNCCD (United Nations Convention to Combat Desertification) (1994) que en su convenio del año 1994, expresa: “La sequía es el fenómeno que se repite naturalmente, que se origina cuando las cantidades de la precipitación descienden debajo de un nivel normal y se produce un desequilibrio hidrológico grave que influye negativamente, por otra parte, en el sistema de la producción de los recursos del país.”

La guía meteorológica del DesInventar (2009) utiliza la definición siguiente: “Temporada seca, sin lluvias, o con déficit de lluvias. En general se trata de períodos prolongados (meses, años, incluso decenios), que pueden ocurrir en áreas continentales restringidas o a escalas regionales.”

Para precisar las características de los eventos secos es necesario transformar las definiciones mencionadas en una forma numérica. ¿Qué elementos permiten definir una sequía? Definiciones que precisen los parámetros como el inicio y el fin o la intensidad, son parte de las definiciones operacionales (NDMC, 2006). Desde un punto de vista antropogénico, lo que va a decidir si se transforma una escasez de precipitación en un peligro natural. Burton et al. (1978) definió siete distintos parámetros con los cuales se caracterizó la sequía: la dimensión, el período, la frecuencia, la velocidad con que inicia, la ampliación, la distribución espacial y la dispersión (Valiente, 2001). Se compara en esto, normalmente, la situación actual con el promedio histórico, que es por lo general formado en un período de 30 años (NDMC, 2006). En la mayoría de los casos definen las sequías meteorológicas, informaciones específicas para una región determinada que varían a causa de las características del clima regional. Por esta razón no es posible transmitir una definición de una región específica en otra directamente (NDMC, 2006).

#### **4.1.2 Helada**

La helada es un fenómeno atmosférico que sucede cuando la temperatura del aire cercana a la superficie desciende debajo de cero grados. Por lo general esta situación sucede durante las noches o en la madrugada (Benavides Ferreyos et al., 2007; Huamani Cayhualla, 2005; Kalma et al., 1992); esta definición es muy común. Si se observa este fenómeno un poco más diferenciado se puede hacer una distinción entre dos tipos de heladas:

- La helada meteorológica sucede cuando la temperatura mínima diaria (medido en un altura de 1.5 m sobre el suelo) no sobrepasa 0°C.
- La definición de la helada agronómica es formulada de una manera más general; sucede, cuando la temperatura del aire desciende debajo de un nivel que es crítico para las plantas. Esto no necesariamente significa que la temperatura desciende debajo del punto de congelación.

Existen estudios numerosos que muestran las temperaturas críticas que causan daños en los cultivos. Los umbrales varían, dependiente del tipo de las plantas distintas (Snyder & Melo-Abreu, 2005). En el atlas de las heladas de Huamaní Cayhualla (2005), Monterubbianesi & Cendoya (2001) recomendaron emplear el límite de 3°C para la helada agronómica.

Hay varios factores que favorecen una helada, pueden ser por ejemplo vientos fríos, fuertes y continuos del sur del hemisferio sur (región polar) que dañan las plantas. Otra causa para la presencia de heladas, son noches despejadas, secas y sin viento. Si el tiempo está bien la temperatura sube durante el día encima del punto de congelación y calienta el suelo. Si la zona de altas presiones se queda durante la noche, el piso pierde, mediante emisiones en forma de ondas largas (ley de Stefan-Boltzmann), su energía de nuevo a la atmósfera. Esto resulta en una caída de las temperaturas dentro de las capas de aire cerca del piso y por lo tanto se da una inversión térmica (Huamaní Cahualla, 2005; Kalma et al., 1992; Young & León, 2010).

Además se puede hacer, a causa del grado de la humedad en las masas de aire, una distinción entre la helada negra y la helada blanca. Una helada negra ocurre si el grado de la humedad en la atmósfera es muy bajo y la emisión al mismo tiempo es intensiva. A causa de la escasez del agua no se puede formar una capa de hielo que podría proteger la planta, después de la cual, con frecuencia se mueren de frío. Las consecuencias de la helada negra son más graves que las de la helada blanca porque la temperatura desciende mucho más. La helada blanca sucede cuando un descenso de las temperaturas durante la noche causa una congelación del vapor de agua y se forma una capa de hielo fino en las plantas. La capa de hielo tiene una función de aislamiento y protege la planta de más frío, mientras del proceso de congelación del vapor de agua se libera energía termal latente. Esto causa que la temperatura alrededor no descienda tan fuerte como en el caso de la helada negra (AMS, s.a; Baeza Gala, 1993; Ruiz, 1995; Huamaní Cahualla, 2005).

Los sitios que son muy vulnerable por las heladas, son zonas muy altas (encima de 3000 msnm), así como valles y fondos de valles entre las montañas. El aire frío y denso baja a lo largo de las pendientes y se queda en el fondo del valle, y entre la capa de aire frío inferior y superior se desarrolla un cinturón termal con aire más caliente. Este efecto fue reconocido por los Incas. Se ampliaron el superficie de grafik\_senamhi cultivo en estas zonas de altura en forma de terrazas y disminuyeron así el riesgo del congelamiento de sus cultivos (figura 5) (Baker, 1969; Huamaní Cayhualla, 2005).

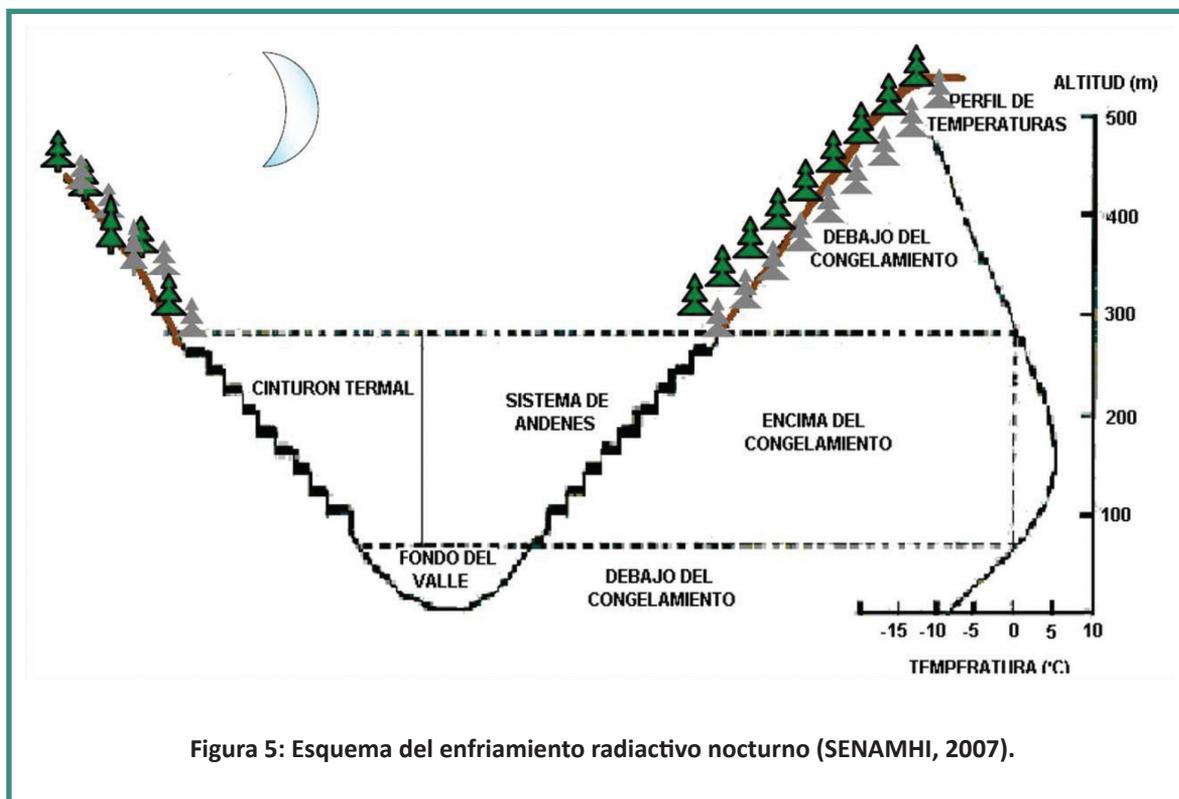


Figura 5: Esquema del enfriamiento radiactivo nocturno (SENAMHI, 2007).

Las dos regiones Cusco y Apurímac son parte de las regiones más afectadas por las heladas (Cepes, 2010). La frecuencia más alta de heladas se nota durante los meses de invierno en los Andes (junio hasta agosto), registrándose la más alta, por lo general en el mes de julio (figura 6). En esta temporada el cielo por lo general está despejado y el grado de humedad en el aire muy escaso (SENAMHI, 2007). Una investigación del SENAMHI (2007) en el valle Urubamba, en la región de Cusco, mostró mediante diferentes estaciones climáticas la frecuencia de las heladas durante un año. La dependencia de la helada de la altura es evidente. En estaciones encima de 3000 msnm se puede medir durante los meses del invierno austral en más que 20 días por mes; temperaturas debajo del punto de congelación. En estaciones que se encuentran entre 2600 y 3000 msnm se registra y pocas veces, sólo diez días con temperaturas debajo de 0°C. Durante el verano austral (diciembre hasta febrero) casi nunca se nota heladas porque predomina una capa de nubes pronunciada y el grado de humedad es alto. Por este motivo se llama este período, el período libre de heladas SENAMHI, 2007).

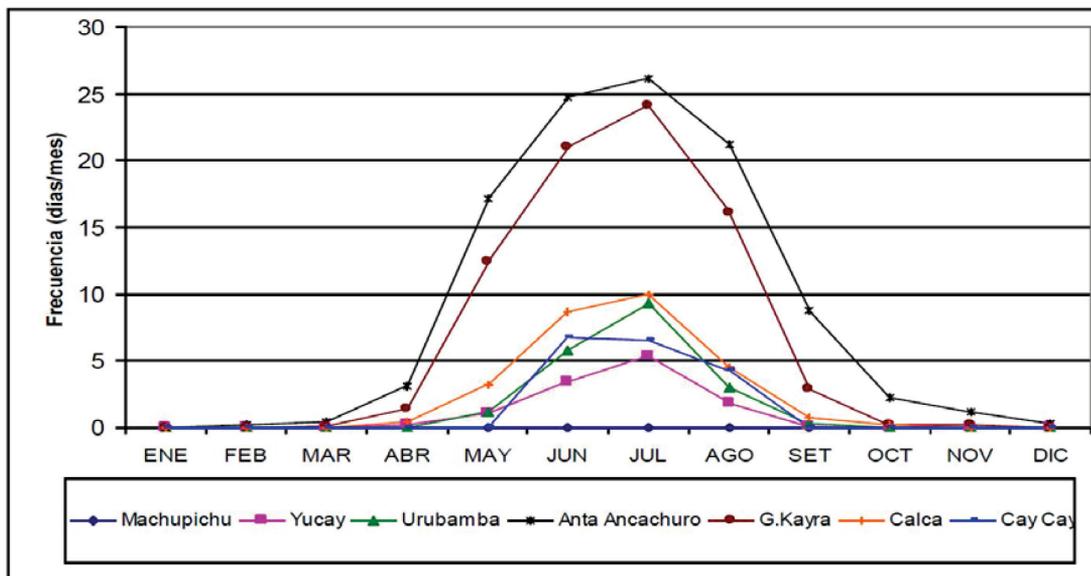


Figura 6: La frecuencia mensual de las heladas (día/mes) en diferentes estaciones climatológicas en la región Cusco (SENAMHI, 2007).

Los impactos de la helada dependen del valor mínimo a que llega la temperatura de aire y de la resistencia de las personas, animales y plantas.

#### 4.1.3 Movimientos en masa

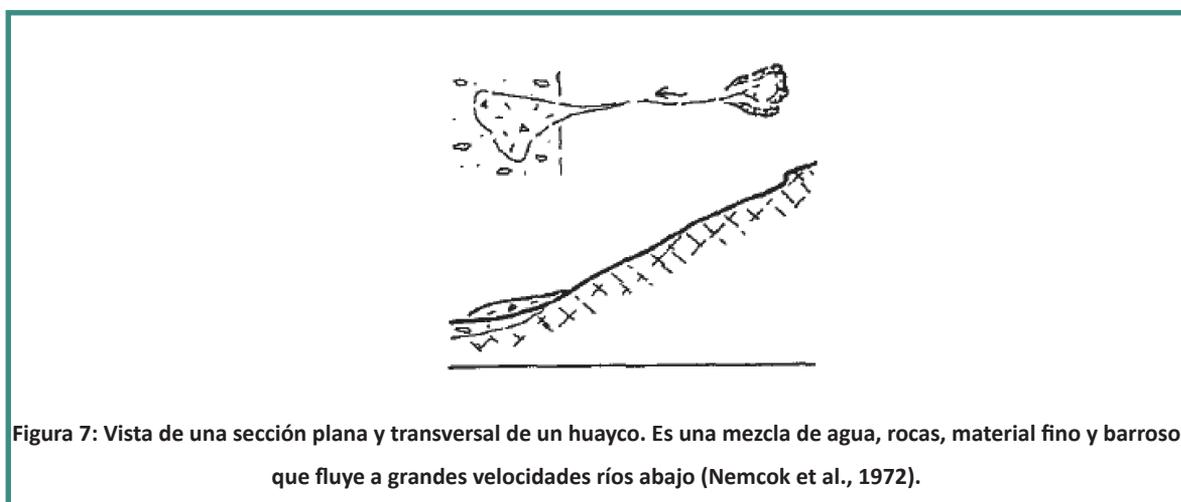
El término del movimiento en masa abarca todos los movimientos de una masa de roca, grava o material del suelo que baja a causa de la gravitación a largo de una pendiente (Cruden, 1991). Existen movimientos en masa que corren despacio y casi inadvertidos (por ejemplo reptación del suelo) y otros en cambio, desarrollan una velocidad enorme y son definidos claramente por su superficie de rotura (por ejemplo un deslizamiento) (Crozier & Glade, 1999 in Glade & Crozier, 2005). Nemcok et al. (1972) clasificaron los fenómenos a causa de sus características geomecánicas y sus velocidades de movimiento en los siguientes cuatro procesos: reptación, deslizamiento, flujo, caída.

En el inventario de incidentes se guardó todos los eventos registrados de movimientos en masa, de los aludes, aluviones, derrumbes, así como deslizamientos y huaycos. Por el análisis de los eventos extremos se seleccionó dos huaycos, también denominados llocllas extremas (término por el huayco en el idioma quechua).

Por los movimientos en masa que son caracterizados por fracciones de agua y sedimentos y ocurren en pendientes escarpadas en las regiones de las montañas, ya se aplicó en la literatura distintos términos: flujo de lodo, huayco, lahar, deslizamiento, avalancha de piedras etc. Los distintos trabajos de investigación indicaron que a veces es difícil hacer una distinción entre los fenómenos individuales.

No es raro que se usen para el mismo fenómeno distintos términos (Cousot & Meunier, 1996), por ejemplo, Johnson & Rodine (1984) escribieron que los eventos como debris slides, debris torrents, debris floods, mudflows, mudslides, mudspates, hyperconcentrated flows y lahars, todos también son usados bajo del término del debris flow. Hasta la fecha en la literatura no existe un acuerdo uniforme al respecto de la clasificación (Innes, 1983). Esta situación efectivamente puede dificultar el intercambio científico y hace más

lento el progreso en este terreno (Coussot & Meunier, 1996). Nemcok et al. (1972) clasificaron los debris flows (huaycos) bajo los procesos del flujo. Los huaycos son movimientos en masas inducidos por la gravitación; un fenómeno entre deslizamiento e inundación pero con características mecánicas que se distinguen de ambos de estos fenómenos (Johnson, 1970). Un huayco es una forma de un movimiento en masa corriente rápida. Su masa consiste en una mezcla de sustancia sólida, agua y aire (figura 7). Las características del flujo varían según el contenido de agua y de arcilla y dependen del tamaño del grano y de la clasificación (Varnes, 1978). Los Huaycos tienen la forma de un flujo muy rápido y efímero. Un huayco ocurre con frecuencia en empujones fuertes e individuales (Coussot & Meunier, 1996). El huayco se caracteriza por su frente pronunciado con el cual transporta las rocas más grandes, la parte detrás, en cambio, lleva más agua y material con tamaños del grano más pequeño (Takahashi, 1998).



De la literatura se nota que existen principalmente dos diferentes procesos de iniciación de un huayco. Por una parte (Sheko, 1988) es la transformación paso a paso de un deslizamiento a un huayco; cuando se mueve el primero en una área más escarpada o recibe una traída de aguas, la energía del movimiento en masa aumenta. Por otra parte un huayco sucede a causa de erosión en un cauce. Este es el proceso de iniciación más frecuente, porque está conectado directamente con el sistema hidráulico, aunque la importancia de los diferentes procesos de iniciación puede variar entre diferentes regiones (Coussot & Meunier, 1996; Pierson & Scott, 1985).

Los flujos de lodo o detritos, más conocidos en el Perú como huaycos, son fenómenos muy frecuentes y se localizan en zonas intermedias y bajas de los Andes en ambas vertientes. Estos huaycos son una descarga relativamente violenta y torrenciosa de agua, sedimentos, rocas de diverso tamaño y en algunos casos, vegetación que se desplaza, sea a lo largo de una quebrada seca o en un río de pendiente pronunciada. Se inicia con intensas precipitaciones que llegan a saturar las partes altas o medias de una cuenca o vaso receptor.

El grado de peligrosidad de un huayco va a depender de la intensidad y duración de la precipitación pluvial, el volumen de material suelo acumulado o incorporado al sistema de drenaje de cauces secundarios y principal y finalmente la pendiente de la zona de transporte y descarga de esta cuenca.

En Cusco ocurren con mayor frecuencia, especialmente en la zona de Ceja de selva, (entre 800 y 2000 msnm), importantes huaycos con características destructivas, capaces de arrasar cualquier estructura en su recorrido. El daño que provoca es generalmente muy localizado, pero altamente devastador, especialmente si se da en áreas urbanas que han ocupado cauces o interrupción de vías de transporte como puentes, carreteras o canales de regadío, llegando a erosionar hasta desaparecer plataformas enteras en un mismo evento.

#### 4.1.4 Precipitaciones

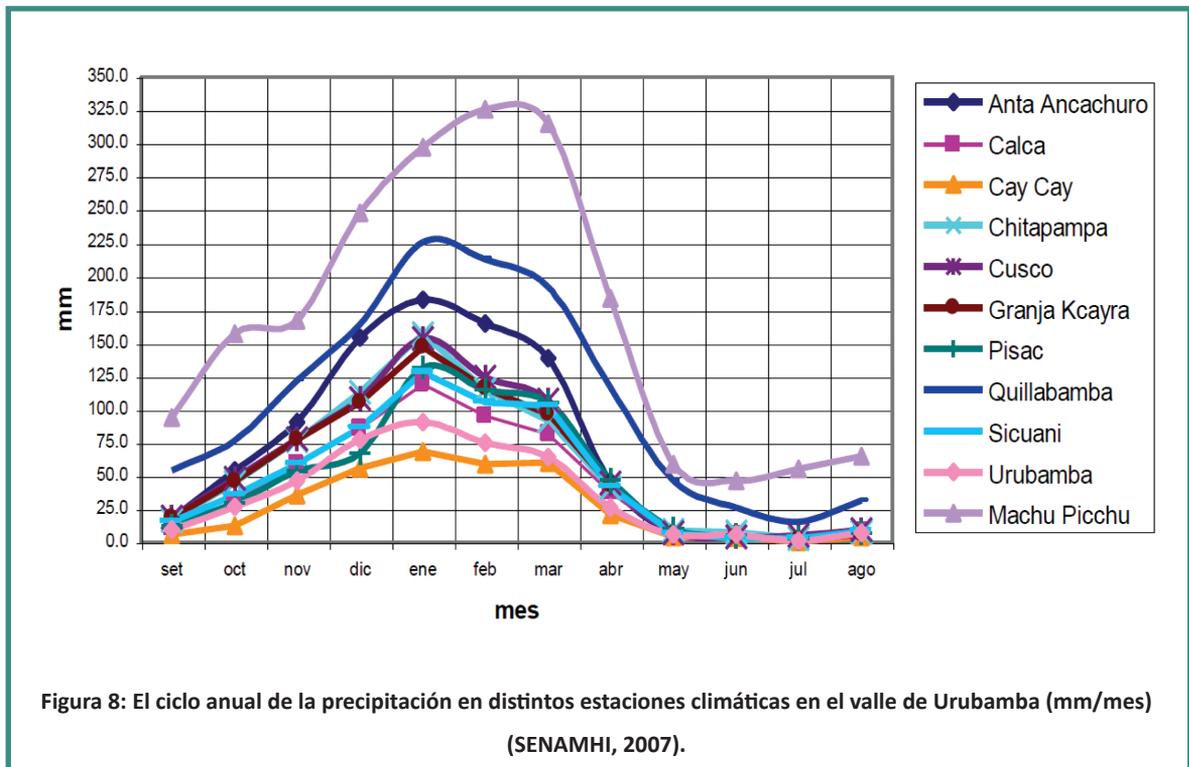
Parte de este grupo de procesos de precipitaciones, son tanto las formas sólidas como nieve y granizo, así también las formas líquidas como la lluvia. Añadido aquí, también van las inundaciones que son en la mayoría de los casos una consecuencia directa de precipitaciones extremas. Ambas formas sólidas de la precipitación y las inundaciones están documentadas en el inventario de incidentes, pero no parte del análisis de eventos extremos donde sólo las lluvias intensas están en el centro del interés.

Tanto Aguilar et al. (2005) como Minetti (1998) y Minetti et al. (2003) examinaron tendencias de la precipitación a largo plazo de estaciones climatológicas en América del Sur. Descubrieron que en el período de 1931 a 1999 en una gran área al oeste de los Andes, se observó un retroceso de las cantidades de precipitación anual, mientras que los valores de la precipitación en la cara oriental de los Andes anotaron un aumento. En otro trabajo Liebmann et al. (2004) identificaron una tendencia de temporada lineal creciente de la precipitación en el centro de América del Sur. Pero ni una de estas investigaciones hizo mención a los eventos extremos de la precipitación. Si bien es verdad que la investigación del cambio en los eventos extremos de la precipitación habría aumentado en los últimos años desde el segundo reporte del IPCC (Nicholls et al., 1996), pero los estudios se concentraron por lo general en países individuales, mientras que estudios transfronterizos todavía son raros (Haylock et al., 2006). Durante los años 1990 se desarrollaron en diferentes talleres internacionales, índices por la evaluación de extremos climáticos (Folland et al., 1999; Nicholls & Murray, 1999); el objetivo era encontrar un número de índices que sean aplicables a una multitud de zonas climáticas para hacer una comparación de las distintas regiones. Una perspectiva comprensiva de las últimas investigaciones mostrará el nuevo Reporte Especial del IPCC “Managing the Risk of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation”. Con este mismo interés se quiere hacer más análisis regionales, porque también se identificó, que es de gran importancia incluir resultados de regiones que hasta el presente siempre faltaron en los estudios. Especialmente de países en desarrollo faltan estos trabajos, que no se han realizado generalmente por falta de recursos. El acceso a datos de buena calidad es difícil, no existen muchas notas digitales y la calidad de los datos a menudo no es suficiente. Algunas de estas limitaciones también se aplican para Perú (Haylock et al., 2006).

La climatología de la precipitación en las zonas tropicales y subtropicales del América del Sur muestra un ciclo regular (Carvalho et al., 2002). Estas características de la precipitación corresponden también a las regiones Cusco y Apurímac. Es posible distinguir dos períodos definidos: por una parte un período húmedo y de abundantes precipitaciones que empieza en setiembre y siguen hasta abril del siguiente año y por la otra, un período de estiaje o el período del año con poca precipitación, entre mayo y agosto. El trimestre de diciembre – enero – febrero es el período más húmedo del año, mientras que en el mes de enero hay más lluvia (Carvalho et al., 2002; SENAMHI, 2007). Las investigaciones del SENAMHI (2007) demostraron que el ciclo anual de la precipitación muestra exactamente estas características (figura 8). Las cantidades de la precipitación varían considerablemente entre las estaciones individuales, de esta manera se mide en la estación climatológica de

Machupicchu, situada en una altura de 2563 msnm, en los meses de abundantes precipitaciones más que 300 mm de lluvia. Por otra parte la estación Cay Cay que está localizada en una altura de 3150 msnm, registra sólo 75 mm lluvia por mes.

Las estaciones que sólo registran poca precipitación durante los meses del verano austral, por lo general también son las estaciones que muestran una variabilidad entre las temporadas más evidentes, y estas estaciones registran en el semestre seco muy poca o ninguna precipitación (SENAMHI, 2007). De algunas de estas estaciones climatológicas también se utilizaron datos para los análisis de los eventos extremos en este trabajo.



Las diferencias fuertes de las cantidades de la precipitación entre las temporadas climáticas distintas provienen de las circunstancias geográficas, para lo cual el aspecto de la altura es muy importante. Las estaciones que están situadas en las zonas más abajo, son caracterizadas por las corrientes de aire húmedas que vienen del Este, de las regiones amazónicas. Si las corrientes de aire húmedo alcanzan al contrafuerte de los Andes, generan precipitaciones considerables (SENAMHI, 2007).

## 4.2 Análisis de datos climáticos para eventos extremos

En este trabajo se utilizaron los datos climáticos del SENAMHI por medio del portal de datos del PACC. Se comparó los eventos extremos que se seleccionó del inventario de eventos con distintas estaciones climatológicas. Principalmente la lluvia diaria [mm] o la temperatura mínima de día [°C]. sirvieron de parámetros climatológicos para el análisis de los eventos extremos.

Las series de datos de la precipitación respectivamente de la temperatura de las estaciones individuales no son completas. El objetivo de estos análisis fue de utilizar los datos de las estaciones climatológicas con las mejores

series temporales, aunque su distribución espacial a veces no fue óptima desde un punto de vista geográfica. Los siguientes fenómenos y eventos extremos seleccionados fueron analizados: Sequía, helada, huayco y lluvia.

Para el análisis de los fenómenos individuales se utilizaron, a causa de la dependencia de diferentes factores climáticos, distintos métodos.

#### **4.2.1 Sequía**

Para la calculación de la sequía, la precipitación es el factor principal y puede ser analizada en términos de índices. La precipitación es un elemento característico, robusto y disponible con frecuencia. Por eso la precipitación es apropiada para la identificación de eventos climáticos extremos en bajas latitudes (Hastenrath, 1976). Por este motivo la observación de la precipitación es el centro de todos los índices de la sequía. Los índices de la sequía integran miles de datos de lluvias, nieve y caudales en forma de una idea de fácil comprensión. Los índices de la sequía y de la precipitación representan finalmente un valor único, que es mucho más útil para tomar una decisión que los datos crudos originales. Existen muchos índices diferentes que miden en qué manera las cantidades de precipitación que se registraron durante un período determinado, divergen de una norma histórica (NDMC, 2006). Dentro de los estudios del PACC se hicieron estudios sobre el índice SPI (Standardized precipitation index) y su comparación con el método del percentil, pero en este reporte se enfoca a eventos extremos seleccionados:

- El interés principal es el evento extremo durante el cambio del año 1982/1983. Se construyó el promedio de los datos de la precipitación diaria de varias décadas de estaciones climatológicas escogidas y se los comparó con los valores de la precipitación del evento extremo. Se quería saber si las escaseces de la precipitación, o por lo demás una ausencia de la precipitación, son visibles en los valores registrados de las estaciones climatológicas. Además se hizo una comparación de la suma de la precipitación entre la mitad de noviembre y la mitad de febrero con el promedio de largo plazo.

#### **4.2.2 Helada**

En varios sitios en la zona altoandina se presentan durante los meses del verano austral una y otra vez temperaturas muy bajas. Basado en los inventarios de incidentes de las dos bases de datos DesInventar e INDECI se eligió distintos años, en los cuales había mucho más noticias de heladas y personas afectadas registradas que en otras.

- Si se pudo detectar, a causa de los eventos registrados, un año con una helada extrema, se eligió las estaciones climáticas en esta zona que midieron temperaturas debajo de cero grados (helada meteorológica) respectivamente debajo de tres grados (helada agronómica). Para las investigaciones de las heladas se recurrió a las temperaturas mínimas de distintas estaciones climatológicas que estaban registradas en portal de datos del PACC. Es de gran importancia utilizar los valores de las temperaturas mínimas para las investigaciones de las heladas extremas, puesto que las temperaturas medias pueden quedarse en el campo de valores positivos, mientras que la agricultura y la ganadería pueden sufrir daños, porque las temperaturas caen durante algunas horas por la noche debajo del punto de congelación. Por medio del ArcSIG se pudo realizar una comparación espacial de los eventos registrados con los resultados de las estaciones climáticas. Es un objetivo comprobar la coincidencia de los eventos registrados con los valores de las estaciones climáticas.

- Otro análisis se ha concentrado en las heladas registradas, que según la población fueron bastante graves y se quedarán en la memoria de la gente. Para las dos regiones se eligió por consiguiente una helada extrema en cada región (Cusco 2008 y Apurímac 2009). Para este análisis de los eventos extremos se seleccionó las zonas más afectadas de la helada de cada región. A continuación se eligió las estaciones climatológicas que estaban localizadas en la cercanía de las zonas indicadas y afectadas por la helada. Los inventarios de eventos extremos indicaron cuántas personas fueron afectadas por la helada. Además se elaboró una comparación de las curvas de temperatura de estaciones climatológicas seleccionadas con los datos de las afectadas registradas.
- Otro objetivo era el análisis de la dimensión de las heladas seleccionadas en comparación con el promedio a largo plazo. En este caso se eligió estaciones climatológicas con series de datos lo más largos posibles. Las estaciones favorecidas fueron aquí también las que tuvieron datos de gran valor informativo durante los años entre 1970 y 2010. Por cada día individual del año se calculó el promedio de la temperatura mínima diaria durante las cuatro décadas. Del promedio de la temperatura diaria se calculó asimismo, la desviación estándar positiva y negativa. Este análisis permitió comparar la curva de la temperatura de un evento extremo seleccionado con el promedio de los valores de las últimas cuatro décadas. Así es posible descubrir de qué dimensión fue la helada investigada. Además se analizó la temperatura más baja para cada día, que jamás se midió en la estación climática determinada. Es interesante observar en cuántos días la temperatura más baja que jamás se midió, fue registrada durante el período del evento extremo investigado. De esta manera es posible sacar conclusiones sobre la dimensión de la helada investigada. Otra comparación de los datos de temperatura con las personas afectadas registradas tendría que fundamentar la dimensión de la helada investigada.

#### 4.2.3 Huayco

En este trabajo solo se observó fenómenos con una relación con aspectos climáticos, por eso no se tomó en consideración los movimientos en masa a causa de una actividad sísmica. En diferentes estudios (Chleborad, 2004; Larsen & Simon, 1993; Jakob & Lambert, 2009; Pastuto & Silvano, 1998) en distintas áreas de investigación, se mostró que precipitaciones continuas y/o intensas son importantes para la detonación de movimientos en masas, como por ejemplo un huayco. Por este motivo había varios proyectos que persiguieron el objetivo de definir un umbral de precipitación que sea crítico para la detonación de un huayco. Estudios y modelos geo-mecánicos toman en cuenta los procesos de desestabilización, incluyendo características geológicas y geotécnicas de los materiales, así como la circunstancia hidráulica y morfológica de la pendiente. Sin embargo, para este tipo de análisis se necesita datos detallados sobre estos aspectos, y en muchos casos estos datos no están disponibles. Por eso, en muchos casos, se utiliza modelos estadísticos que relacionan la precipitación con los eventos observados para definir un umbral crítico. Estos umbrales también son muy importantes para sistemas de alerta temprana y otros aspectos de prevención y reducción de riesgos de desastres (Pasuto & Silvano, 1998; Huggel et al., 2010).

En las regiones Apurímac y Cusco hay muy pocos datos detallados de eventos de movimientos en masa y en muchos casos no existe una localización exacta de los eventos. Informaciones adicionales de las características de la precipitación y características geológicas y geotécnicas de las zonas afectadas faltan en la mayoría de los casos. Sin embargo, esta información sería importante para hacer un análisis más preciso de la frecuencia o un análisis de la incidencia.

- En este estudio se concentra al siguiente caso específico de un huayco bien documentado: el huayco del

10 de abril en el año 2004 en Aguas Calientes, cerca del lugar de las ruinas de Machupicchu en la región Cusco.

En el caso ideal se usaría los datos de la precipitación de una estación climatológica cerca del sitio del movimiento en masa; sin embargo en muy pocas ocasiones esto es realidad, por eso se tuvo que recurrir a los datos de las estaciones climatológicas lo más cerca posible. Se tiene que partir de la base de que los datos son representativos para las condiciones del sitio del evento (Chleborad, 2004). En el caso del evento investigado en este trabajo, se utilizaron los datos de la estación del SENAMHI más cerca posible. Se compara el promedio de los datos de la precipitación diaria durante los cuarenta años investigados con las cantidades de la precipitación diaria del evento seleccionado. Es interesante ver si se puede observar peculiaridades en las características de la precipitación en el tiempo antes del evento. Además se analiza la precipitación diaria acumulada antes del huayco.

#### **4.2.4 Lluvia**

La investigación de precipitaciones extremas al nivel regional es muy compleja (Carvalho et al., 2002). La topografía y la circulación local pueden intensificar la actividad de los sistemas de meso-escala y convectivo, los cuales a continuación pueden convertir condiciones favorables en precipitaciones fuertes y temporales dentro de pocas horas (Smith et al., 1996). Hasta ahora solo existen muy pocos trabajos de investigación de eventos de precipitaciones extremas en América del Sur (Haylock et al., 2006).

- El evento extremo de precipitación seleccionado en este trabajo son las lluvias torrenciales de inicios del año 2010 en la región de Cusco. En este caso se comparó los valores promedios de la lluvia diaria durante las cuatro décadas con las cantidades de la precipitación del evento extremo del inicio del año 2010.

#### **4.2.5 Comparación con los datos hermenéuticos**

Este método es considerado como un complemento a las investigaciones implementadas. No tiene que ser considerado como el centro del trabajo, sino como un insumo adicional a la idea general de la temática.

Este trabajo no incluye impresiones personales y experiencias de la población local en relación con los eventos climáticos (lo que se puede encontrar en otros estudios hechos dentro del PACC). Aquí se trató de relacionar dos eventos extremos, la sequía en los años 1982/1983 y las precipitaciones en el inicio del año 2010, en base a la información de un periódico nacional y un periódico local. Para la sequía del 1982/1983 se incluyó informaciones distintas del periódico nacional "El Comercio". Para las lluvias intensas del inicio del año 2010 se utilizó artículos del periódico regional "El Diario del Cusco".

La hemeroteca de la biblioteca nacional del Perú ubicada en Lima daba la oportunidad de una inspección de los informes del "El Comercio", mientras que se proporcionó los artículos de "El Diario del Cusco" directamente en el archivo de periódicos en Cusco.

## 5 RESULTADOS

En este capítulo se presenta e interpreta los resultados del análisis de los eventos extremos seleccionados. Se trata de una sequía, dos heladas, dos huaycos y un evento de lluvia extremas (tabla 2).

Fenómeno	Lugar del evento	Año del evento
Sequía	Regiones Apurímac y Cusco	1982/1983
Helada	Región Cusco	2008
Helada	Región Apurímac	2009
Huayco	Salcantay	27.02.1998
Huayco	Agguas Calientes (Region Cusco)	10.04.2004
Lluvia/inundaciones	Región Cusco	2010

**Tabla 2: Compilación de los eventos extremos seleccionados.**

### 5.1 Sequía 1982/1983 en las regiones de Cusco y Apurímac

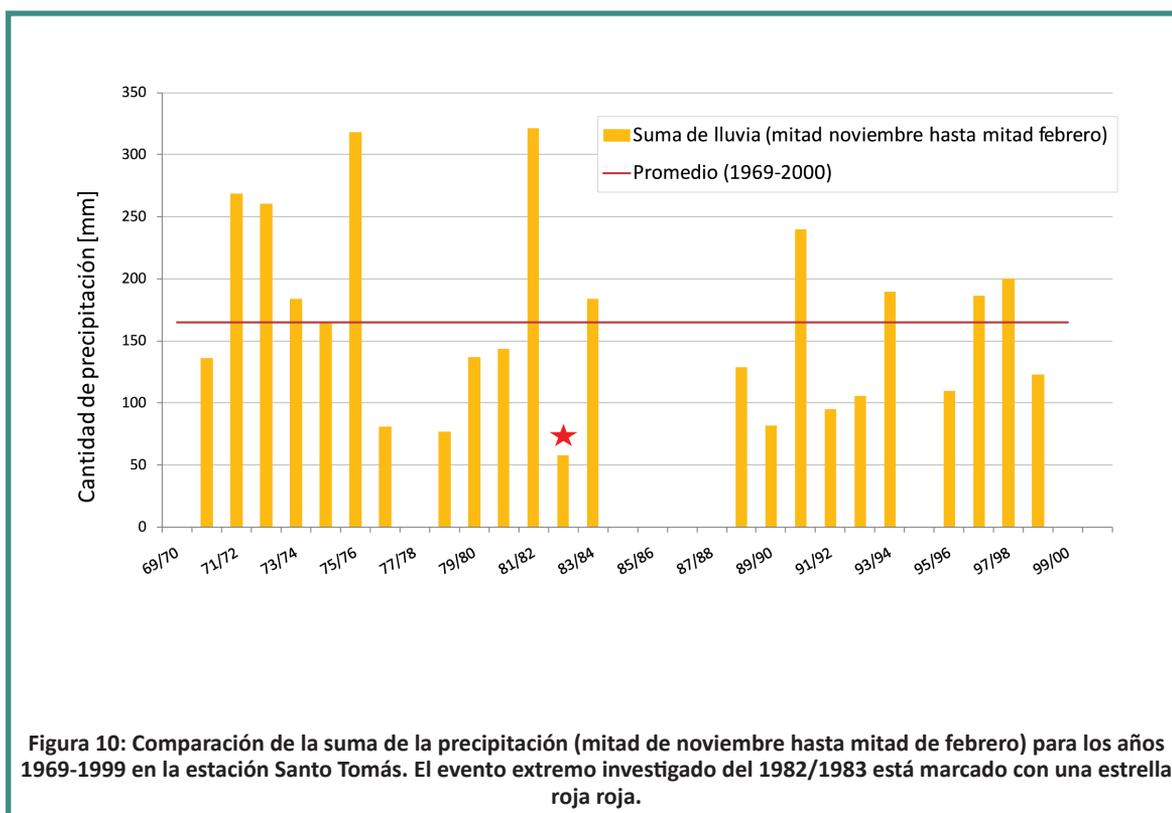
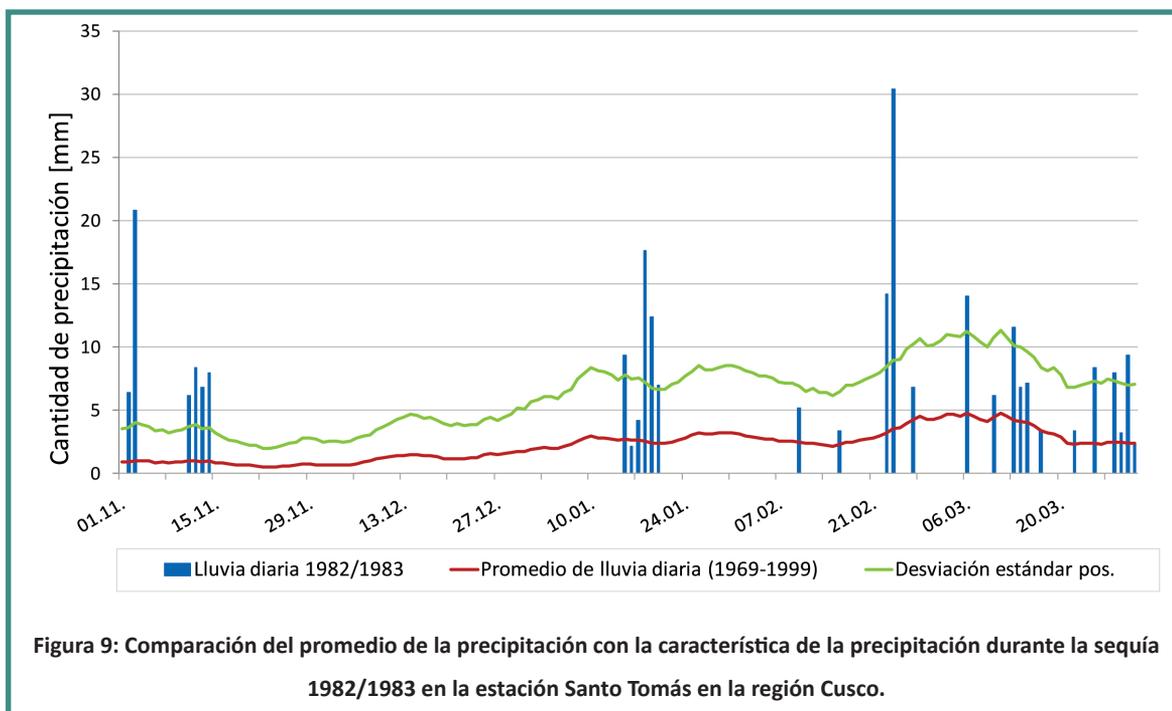
El Sur de Perú fue afectado por una sequía extraordinaria hacia el fin del año 1982 y el inicio del año 1983. Las regiones más afectadas fueron Cusco y Puno. Además sufrieron las zonas superiores de 3800 msnm por la falta de agua (Lovón Zavala, 1985).

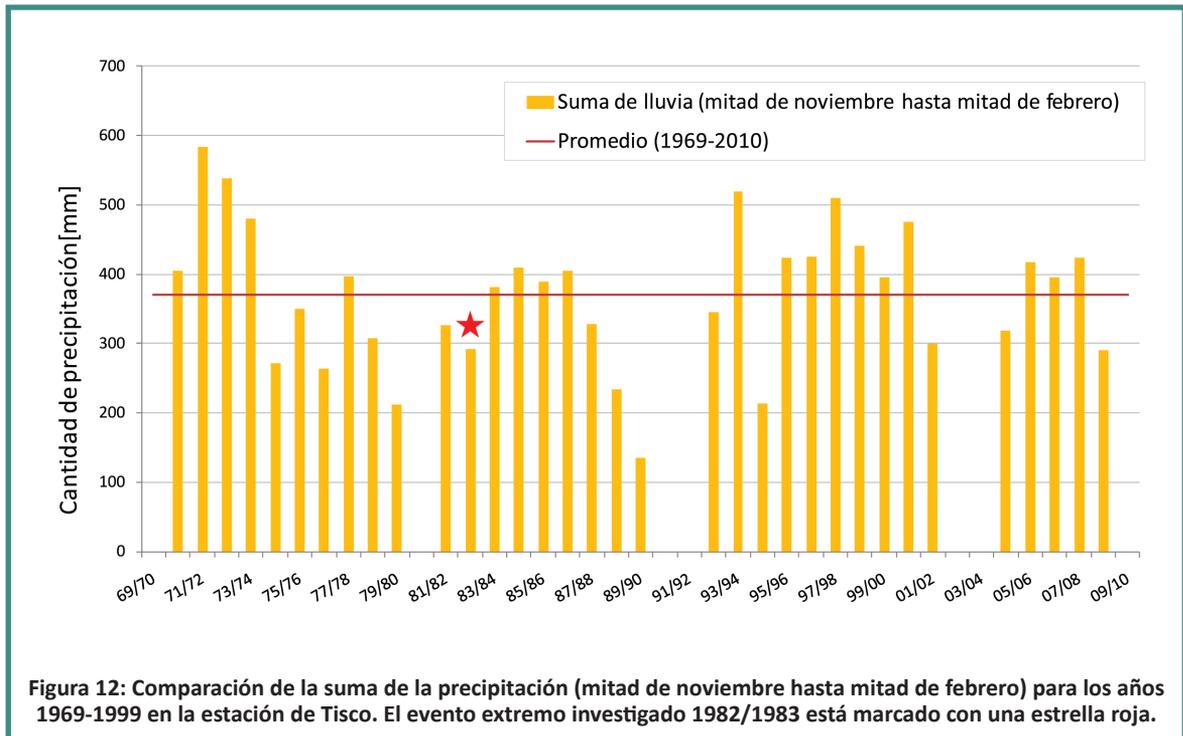
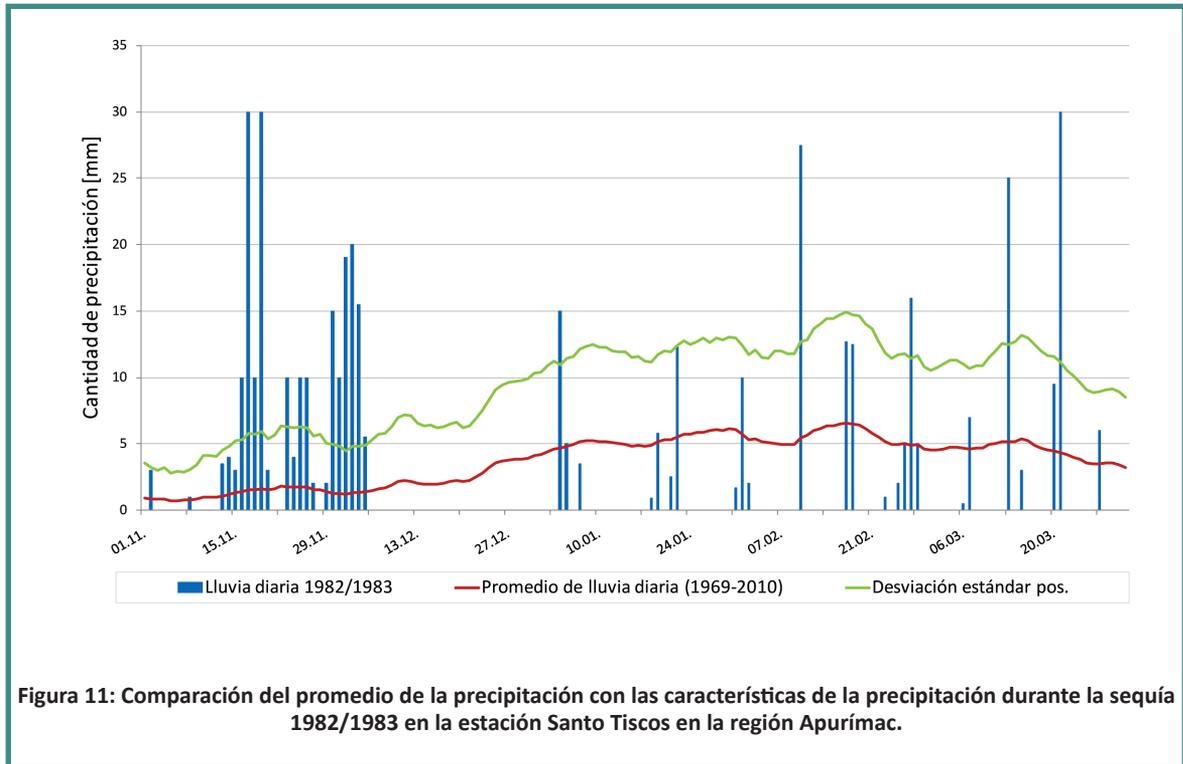
Solo pocas estaciones climatológicas disponen de datos de precipitaciones de manera regular. Además se encuentra apenas una de estas estaciones climatológicas en cada piso altitudinal. Puesto que la sequía seleccionada fue un evento extremo extenso, se recurrió la estación Santo Tomás en la provincia Chumbivilcas, adicionalmente a los datos de la estación Tisco en la región Apurímac. Esa estación se ubica cerca de la frontera a la región Cusco en una altura de 4175 msnm. Esta estación, por lo tanto, resultó óptima para documentar las características de la precipitación durante el evento seleccionado de 1982/1983. Entre otras cosas se pudo confirmar con el análisis del SPI (Standardized precipitation index) que en los últimos meses (desde octubre hasta noviembre) del año 1982 se había medido una cantidad extrema de precipitación. Para fines del año 1982 y por los primeros meses del año 1983, por el contrario resultó una sequía extrema. Estos conocimientos son confirmados por las investigaciones de Lovón Zavala (1985). En Cusco se notó para diciembre del año 1982 una reducción del 95% de la precipitación normal. También en los siguientes meses, febrero y marzo se registró la escasez de precipitación.

Para evaluar la dimensión de la sequía del 1982/1983 se observó los valores de la precipitación de los meses afectados (desde noviembre hasta marzo 1982/1983) mediante las dos estaciones climatológicas, Santo Tomás y Tisco en más detalle. Para ver éstos en relación con el promedio a largo plazo, se construyó el medio de las cantidades de precipitación diaria de los meses del evento de la sequía por todo el tiempo de investigación. La estación climática de Santo Tomás dispone de datos de precipitación entre los años 1969 y 1999 (figura 9), la

estación Tisco en cambio tiene datos entre 1969 y 2010 (figura 11). Además se calculó la desviación estándar positiva.

Para no combinar solamente los valores de los días individuales con el promedio a largo plazo, se sumó los valores de la precipitación desde la mitad de noviembre hasta la mitad de febrero y se lo comparó para todo el tiempo de investigación (Santo Tomás 1969-1999 y Tisco 1969-2010) (figuras 10 & 12).





Las dos estaciones muestran cantidades de precipitación por encima del promedio en el mes de noviembre. Seguidamente, por la mitad del mes noviembre e inicio del mes diciembre, no se registró más lluvias. Esto ocurrió por un período en el cual se esperará en consideración del promedio de largo plazo un aumento de la precipitación. Más tarde las cantidades de la precipitación se quedan por debajo del promedio hasta la mitad de febrero, con algunas pocas excepciones (figuras 9 & 11). La comparación de los valores de la precipitación

sumados de la estación Santo Tomás (figura 10), muestra que desde 1969 nunca fue más seco entre mitad de noviembre y mitad de febrero, que durante el período del evento extremo seleccionado del 1982/1983. En el caso de la estación Tisco (figura 12) los valores de las cantidades de precipitación medida se encuentran durante el evento extremo sin duda abajo del promedio, pero no equivalen al mínimo absoluto. Esto proviene probablemente de los días con abundante precipitación. Para los años sin indicaciones de la precipitación los datos fueron incompletos o inexistentes, por eso no fue posible tenerlos en cuenta.

La sequía 1982/1983 afectó la zona Sur andina muy fuerte y causó impactos socioeconómicos enormes. En este caso, ya que la agricultura emplea a la mayoría de la población en el área rural, las personas perdieron no sólo sus medios de subsistencia más importantes y los ingresos económicos, sino también su trabajo. Al lado del grado de afectación enorme en las zonas rurales, los impactos se extendían hasta las ciudades. En la lucha por la supervivencia muchas personas emigraron de la zona rural, y el éxodo del campo a la ciudad aumentó de manera drástica; como consecuencia, el abastecimiento con alimentos en las zonas urbanas recibió una dimensión enorme. Las condiciones ya estuvieron delicadas antes de la sequía, pero después de este evento extremo las condiciones de vida fueron dramáticas. Las reservas de los alimentos escasearon, muchas personas sufrieron de malnutrición, de parásitos y la mortalidad aumentó también. Existen casos conocidos donde familias rurales pusieron sus hijos a la venta, para asegurar la existencia de los otros miembros de la familia (Lovón Zavala, 1995).

#### **Reportaje periodístico del El Comercio**

La sequía 1982/1983 afectó las regiones en el sur del Perú, al mismo tiempo las regiones del norte fueron afectadas por las consecuencias del fenómeno El Niño. En qué medida la sequía extrema en el sur se relaciona con el fenómeno de El Niño, está bajo discusión (Rohrer, 2010).

Los artículos de “El Comercio” trataron las condiciones climáticas extremas con frecuencia, no obstante, ocasionó que se fijaran especialmente en las regiones del norte, así como en los litorales del Perú y con ellas en las zonas con una población más densa. Estas zonas fueron afectadas de lluvias muy fuertes, mientras que las regiones en el sur del país no registraron lluvias. El 20 febrero 1983 el periódico escribió sobre las pérdidas de las cosechas extremas en Cusco, Apurímac y otras regiones en el sur del Perú. Funcionarios del INDECI encomendaron a un ingeniero que tenía que estimar los daños y tenía que hacer recomendaciones para el tipo del apoyo necesario para la rehabilitación de la superficie de cultivo afectado. Se comunicó que las provisiones de alimentos de la población rural se acabaron. “Sería necesario empezar con un programa, para proporcionar a la población los alimentos más importantes” (El Comercio, 20.02.1983). Apenas un mes posterior se escribió de nuevo sobre la situación precaria en el sur del país. Se hizo un resumen que mostró las pérdidas dentro de provincias determinadas. La destrucción del 20% de la cosecha de las papas, (los cultivos más importantes de la región) a causa de la sequía continua, causó una pérdida estimada de 400 millones de soles. (El Comercio, 17.03.1983). A causa de estos artículos en el periódico y las descripciones de Lovón Zavala (1985) y Marengo Orsini (1987) se puede constatar que los problemas en la coherencia con la sequía en la zona altoandina en el sur del Perú solo recibió poco atención mediática.

## **5.2 Helada 2008 en la región Cusco**

En la región Cusco ocurrió una helada enorme durante los meses de mayo hasta agosto del año 2008. En este caso se utilizó los datos de la base de datos más detallado del INDECI.

### Comparación de los eventos extremos seleccionados con los datos de las estaciones climatológicas

Es muy interesante comparar las heladas extremas registradas con los valores mínimos de la temperatura de diferentes estaciones climáticas. Los distritos en los cuales había una noticia de heladas meteorológicas o heladas agronómicas en el año 2008, se indican, usando colores, en la base de datos (figura 13). Las tonalidades diferentes de los distritos indican a los distintos números de eventos registrados. Además se nota los puntos en los mapas que indican a las estaciones climatológicas del SENAMHI que funcionaron durante el año 2008.

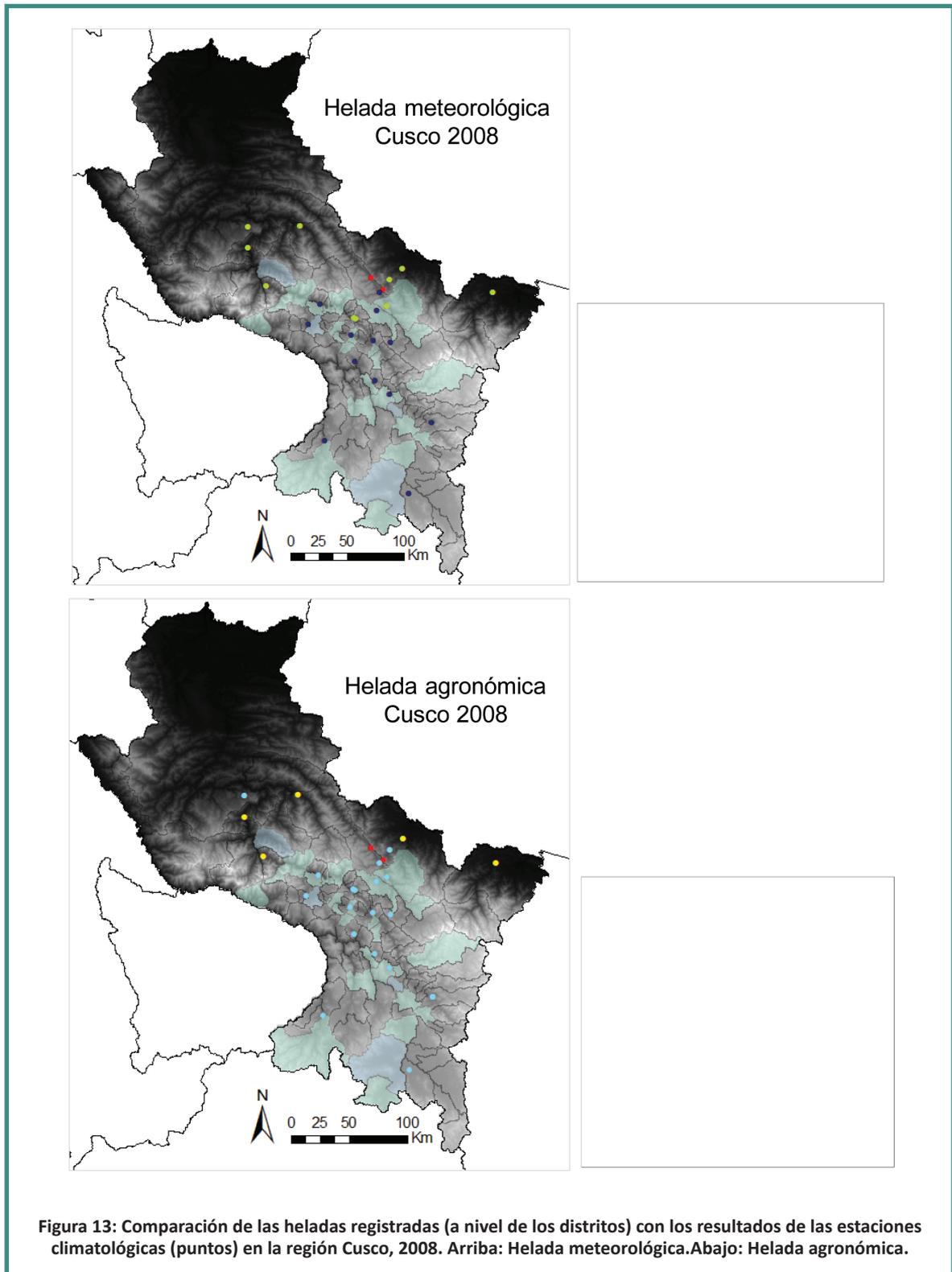
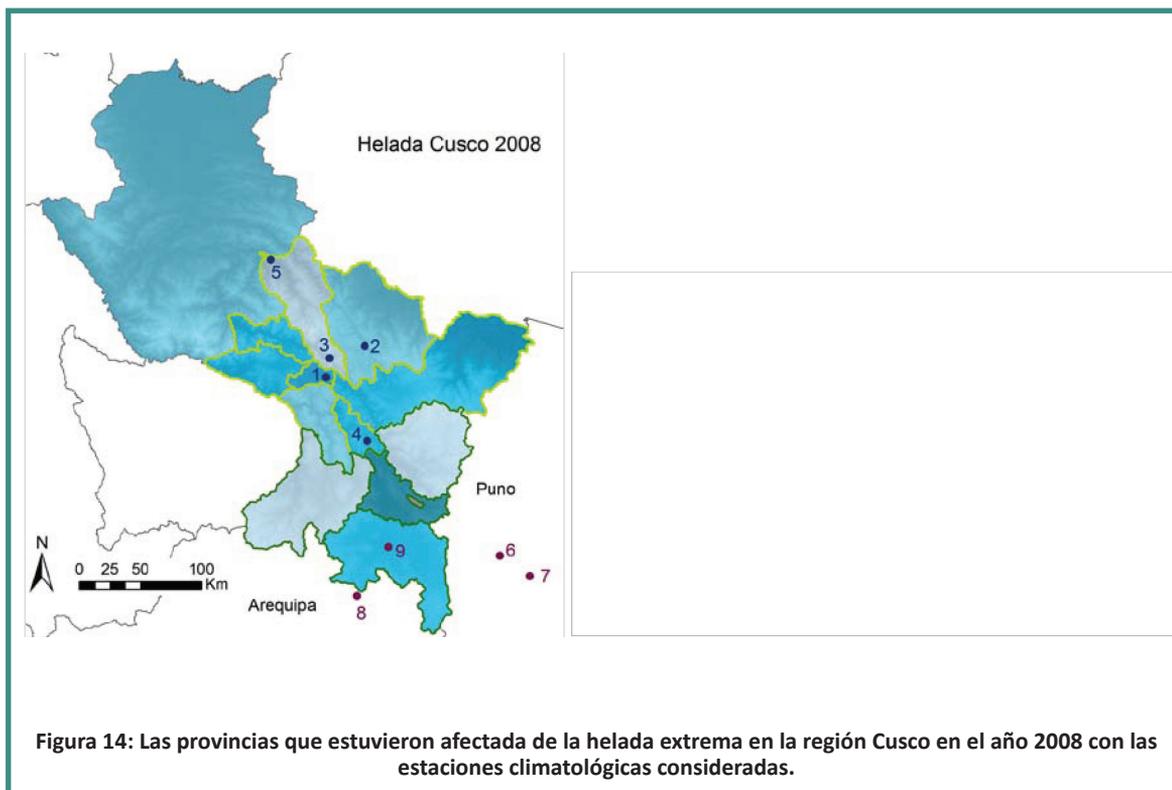


Figura 13: Comparación de las heladas registradas (a nivel de los distritos) con los resultados de las estaciones climatológicas (puntos) en la región Cusco, 2008. Arriba: Helada meteorológica. Abajo: Helada agronómica.

Se nota que no en todos los distritos hubieron noticias de una helada, aunque las estaciones climáticas que estuvieron ubicadas allí midieron temperaturas negativas o temperaturas abajo de 3°C. Sin embargo, la coincidencia general es bien reconocible; si se compara la helada meteorológica con la helada agronómica, se manifiesta que en la segunda, casi todas las estaciones climáticas efectivamente no indican temperaturas negativas, sino valores abajo de 3°C. Se sabe que estos valores de la helada agronómica ya son críticos por la agricultura.

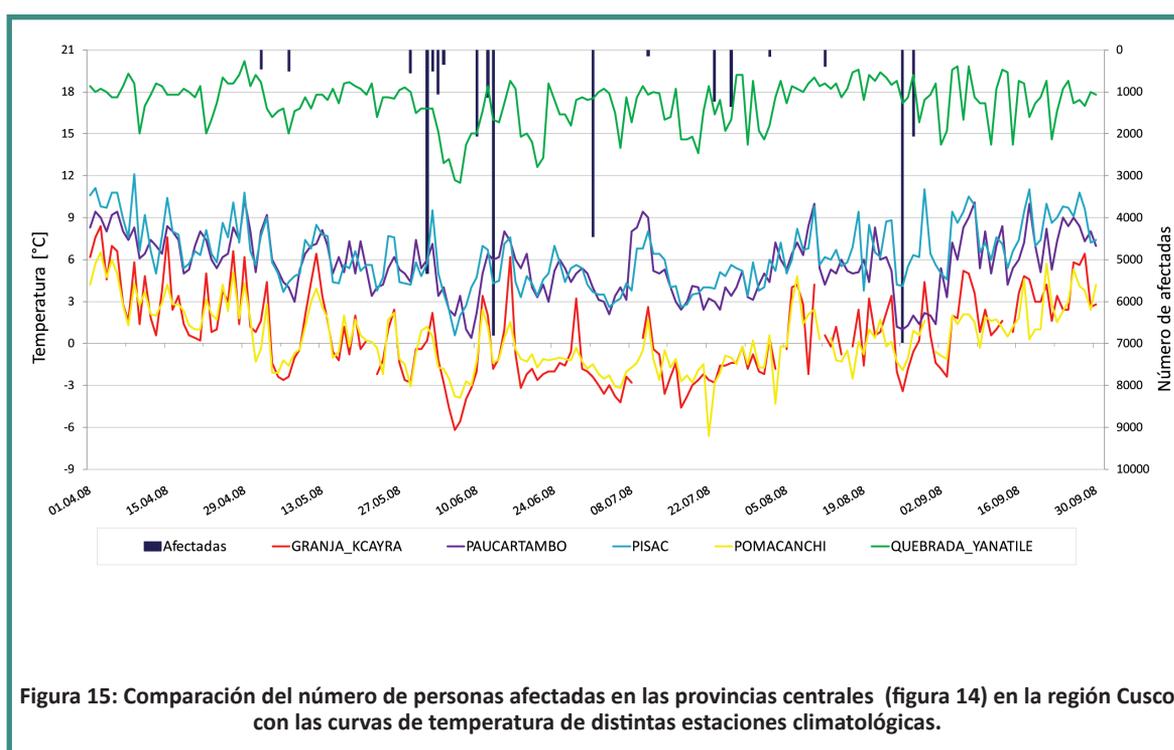
### Comparación del número de los afectados con las características de temperatura

La próxima presentación muestra las heladas registradas a nivel de las provincias (figura 14). En el siguiente análisis se agrupó el número de personas afectadas, registradas en la región Cusco de distintas provincias, en dos zonas. En la zona de las provincias centrales se encuentran las provincias Cusco, Anta, Urubamba, Calca, Paucartambo, Quispicanchi y Paruro. A la vez, las provincias Chumbivilcas, Espinar, Canas y Canchis, forman parte de la zona de las provincias del sur.



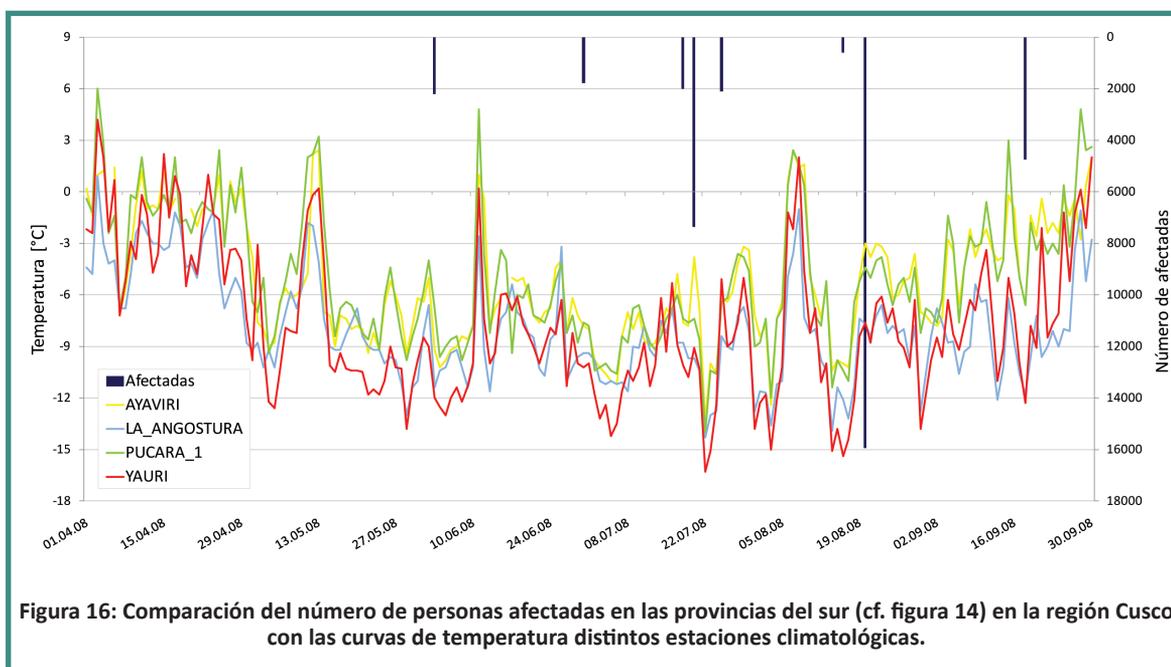
Se presenta una comparación de las zonas afectadas registradas en las zonas definidas con las curvas de temperatura de las estaciones climatológicas seleccionadas. El objetivo fue elegir estaciones con las mejores posibles series de datos, al mismo tiempo las estaciones tenían que ser ubicadas en las zonas investigadas o en su cercanía. Se debían hacer compromisos. En esto, la serie de datos posiblemente completa de una estación fue más importante que su posición geográfica, por este motivo se utilizó tres estaciones climatológicas en las regiones vecinas de Cusco (en Arequipa y Puno). El período investigado fue entre los meses de abril y septiembre del año 2008. Se representó las curvas de temperatura de las estaciones climatológicas en las provincias centrales y las curvas de temperatura de las estaciones climatológicas en el sur y en las regiones vecinas de Arequipa y Puno (figuras 15 y 16).

En la contemplación de las provincias centrales (figura 15) se nota que las formas de las curvas de temperatura se parecen, pero corren en niveles de la temperatura muy distintos. Mientras que la temperatura en la estación Quebrada Yanatile nunca cae abajo de 10°C, las dos estaciones Granja K'ayra y Pomacanchi miden temperaturas negativas en varios días. Estas diferencias provienen de las alturas distintas en las cuales se encuentran las estaciones climatológicas. La estación Quebrada Yanatile se encuentra en una altura de 1200 msnm en una zona entre de los Andes y la tierra baja. Las estaciones Granja K'ayra (3219 msnm) y Pomacanchi (3200 msnm) en cambio están en medio de los Andes y por consiguiente mucho más altas. Las estaciones Paucartambo y Pisac se encuentran en medio, en una altura de aproximadamente 3000 msnm. Aunque si solo las estaciones más altas muestran valores de la temperatura bajo del punto de congelación, también son reconocibles las desviaciones de las curvas de temperatura por abajo de las otras estaciones. Dos ejemplos son los días, alrededor del 6 de junio y 26 de agosto. Se refiere más adelante, en este informe a las barras azules en el gráfico que indican el número de las personas afectadas.



Las curvas de temperatura de las estaciones climáticas de las provincias del sur corren todas en un campo de valores parecidos. Ésto está en relación con la altura parecida (cerca de 4000 msnm) en la cual se encuentran las cuatro estaciones climatológicas. La gran altura de las estaciones es al mismo tiempo la causa por la cual las curvas de la temperatura caen tanto debajo del punto de congelación.

Todas las estaciones caen repetidas veces debajo de -12°C. La estación climática mide también temperaturas debajo de -15°C al mismo tiempo se nota que las temperaturas mínimas de todas las estaciones observadas sólo suben en raras veces, en el campo de valores positivos durante la mitad del mes mayo y el fin de setiembre.



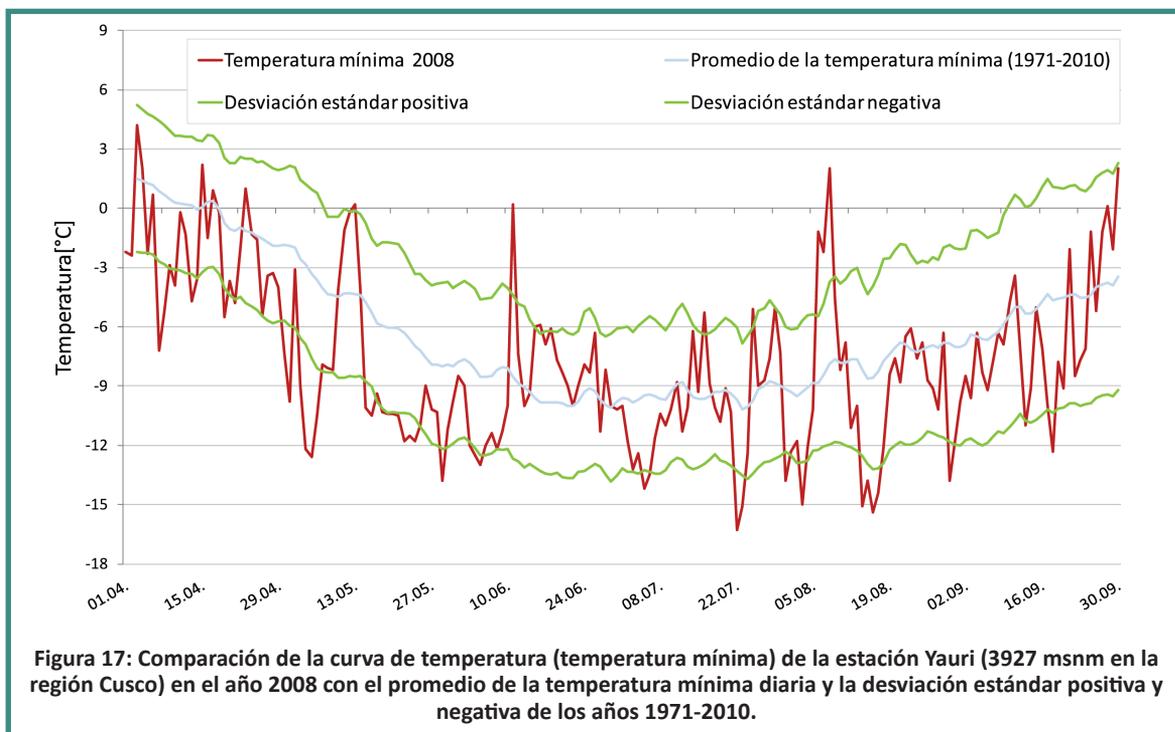
La comparación de la barras de las personas afectadas (figuras 15 y 16) con las curvas de la temperatura muestra parcialmente una coincidencia. En distintos días se nota una coherencia de la desviación de la curva de temperatura hacia abajo (temperaturas bajas) con las noticias de las personas afectadas registradas. Se nota que en algunos casos las barras, que muestran el número de afectados, siguen un poco atrasadas a la caída de la temperatura. Esto se debe a las consecuencias de las temperaturas muy bajas, como por ejemplo, pérdidas de las cosechas o enfermedades de las vías respiratorias de niños, son consecuencias que se presentan después de cierto de tiempo. También es probable que las noticias del número de afectados lleguen un poco atrasadas al INDECI y por eso muestran un retraso en frente de las curvas de la temperatura.

Muchas curvas de la temperatura muestran temperaturas debajo del punto de congelación, y también están conformadas por el número de las personas afectadas registradas, pero también es importante comparar las barras de las zonas afectadas con las curvas de temperatura que nunca midieron temperaturas negativas (por ejemplo, la estación Andahuaylas). Esto significa que no sólo se registraron afectados en el caso de temperaturas negativas, sino también cuando las temperaturas son debajo de 3°C, lo que confirma que las temperaturas dentro de la helada agronómica pueden dañar a la población considerablemente. Estos conocimientos también se mostrarían en los análisis en la región Apurímac (capítulo 5.3).

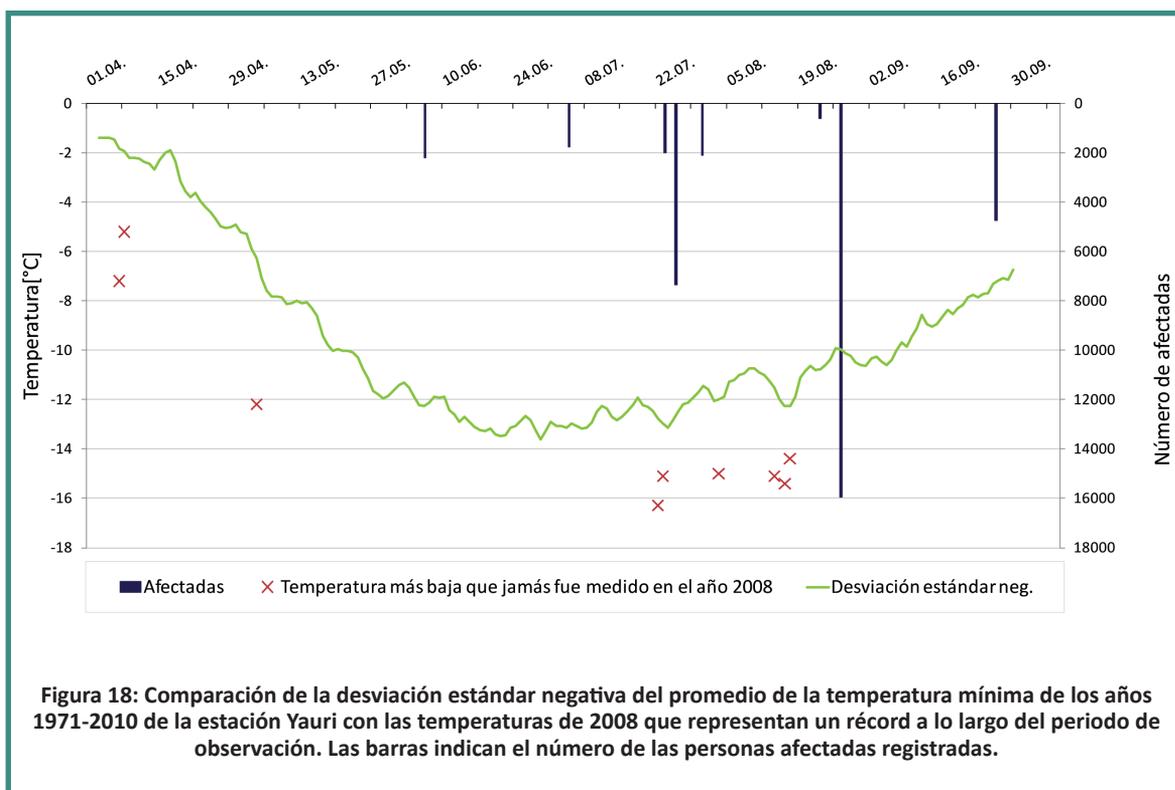
#### La helada en la región Cusco 2008 en la comparación con el promedio de largo plazo

Para llegar a conclusiones más claras sobre la magnitud de la helada 2008 en Cusco, en comparación con temperaturas medidas en tiempos pasados, es importante tomar en consideración series de datos de la temperatura de largo plazo.

En el siguiente gráfico la temperatura de la estación Yauri, (3927 msnm) en la provincia Espinar, en la región Cusco, está en el centro de la investigación (figura 17). Es evidente la curva original, pues las temperaturas diarias que se registraron en el año 2008 a frecuencia, cae debajo de la marca de la desviación estándar negativa, esto significa que durante la helada investigada, las temperaturas mostraron frecuentemente valores mucho más debajo de lo que es normalmente el caso.



La próxima gráfica puede reforzar los conocimientos de la dimensión de la helada 2008 en la región Cusco, adicionalmente (figura 18) se extrajeron las temperaturas mínimas, que jamás se han medido durante los últimos cuarenta años en la estación Yauri. Los que se registraron en el año 2008 están representados al lado de la desviación estándar negativa, en forma de cruces rojas. Es evidente que especialmente a fines del mes de julio, así como la primera parte del mes de agosto fueron afectados por temperaturas muy bajas.



El análisis presentado permite confirmar que la región Cusco fue afectada en el año 2008 por una helada extrema. Varias veces se registraron en el año 2008 temperaturas que están entre las más bajas durante todo el periodo de observación (1971-2010).

### 5.3 Helada 2009 en la región Apurímac

En la región Apurímac ocurrió una helada extrema durante los meses de junio hasta agosto en el año 2009. Igual que en el caso del análisis, en la región Cusco se utilizaron también los datos de la base de datos más detallado del INDECI.

#### Comparación de los eventos extremos seleccionados con los datos de las estaciones climatológicas

Para la región Apurímac se presentó también en cuáles estaciones climatológicas se registraron, por lo menos durante un día, temperaturas debajo del punto de congelación respectivamente de 3°C. Asimismo las estaciones climatológicas mostraron valores de temperatura en cima de 3°C, o estuvieron fuera de servicio (figura 19).



Figura 19: Comparación de las heladas registradas (a nivel de los distritos) con los resultados de las estaciones climatológicas (puntos) en la región Apurímac, 2009. Arriba: Helada meteorológica. Abajo: Helada agronómica.

La coincidencia de los eventos registrados (las áreas coloradas) con los resultados de las estaciones climatológicas (puntos colorados) es en el caso de la región Apurímac, escaso. Se nota que se encuentran tres estaciones climatológicas que nunca registraron temperaturas negativas en distritos de cuales INDECI recibió por lo menos una noticia de una helada. Identificar la razón de esto es difícil.

Por lo general llama la atención que en toda la región Apurímac haya sólo cinco estaciones que disponen de valores registrados. Por toda el área este número de estaciones es más bien poco, además se ubican sólo dos estaciones encima de 3000 msnm, pues a menudo especialmente estas áreas encima de aquel límite están afectadas considerablemente por el fenómeno de la helada (Huamaní Cayhualla, 2005). Además existe la posibilidad que una noticia de una helada que llegó a la base de datos del INDECI provino de otra parte del distrito que se encontró a cierta distancia de la estación climatológica. A causa de la topografía un lago de aire frío en un fondo de valle está en condiciones de hacer daños, mientras que a una distancia relativamente corta, en el sitio de la estación climatológica, no se registraron tales signos.

#### **Comparación del número de afectadas con las características de la temperatura**

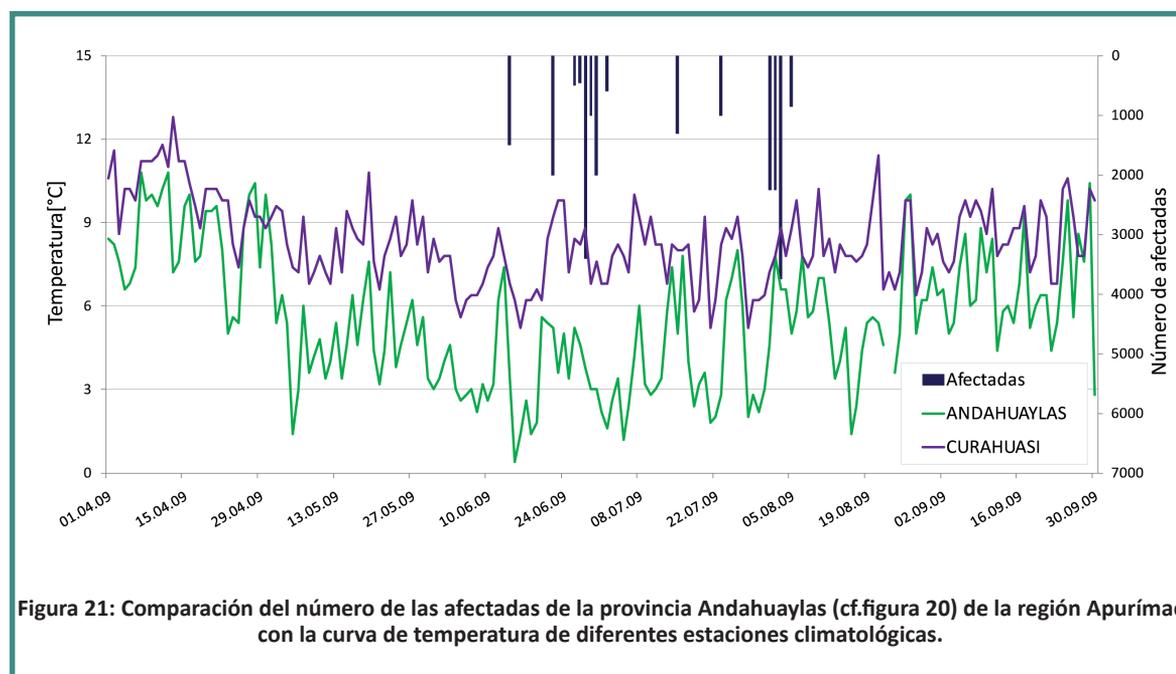
Así como para la región de Cusco, también para la región de Apurímac se representó las heladas registradas a nivel de las provincias (figura 20). Para este análisis se concentró en las provincias Andahuaylas y Aymaraes.



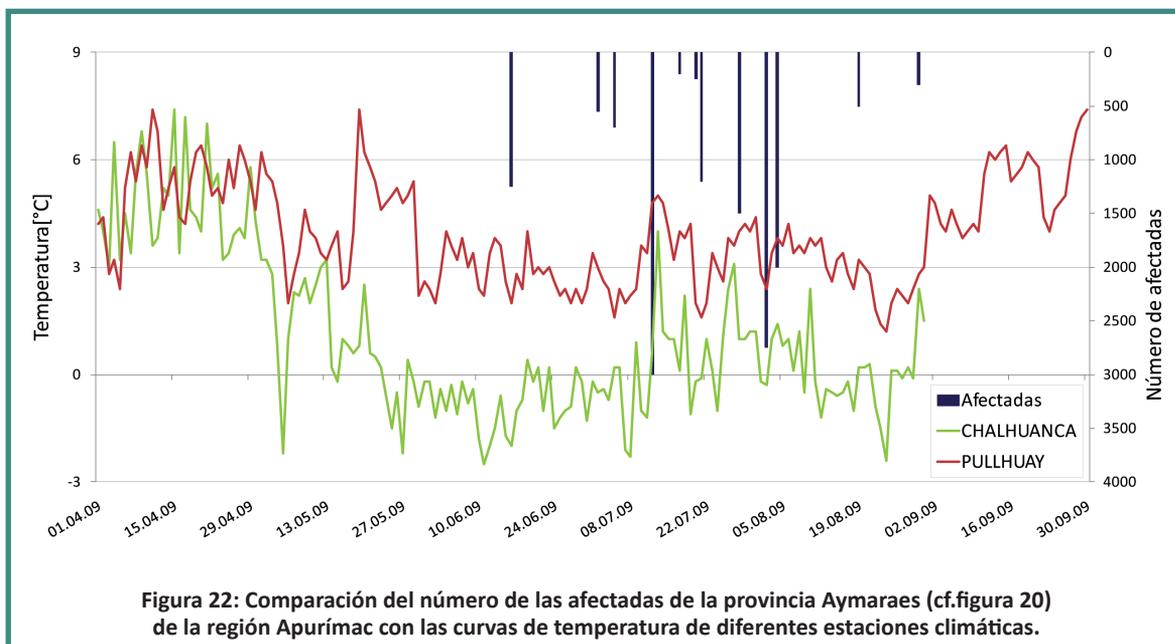
**Figura 20: Las provincias que estuvieron afectadas por la helada extrema en la región de Apurímac en el año 2009 con las estaciones climatológicas utilizadas.**

Se presenta ahora una comparación de las personas afectadas, registradas en las dos provincias; Andahuaylas y Aymaraes con las curvas de temperatura de las estaciones climatológicas seleccionadas. En este caso la serie de datos larga, de nuevo son de mayor interés. La calidad de la serie de datos es más importante que el sitio de la estación climática, por eso también se utilizaron datos de una estación fuera de la región investigada de la región Arequipa.

Para el análisis del evento de la helada extrema en la región de Apurímac se analizaron los meses de abril hasta setiembre del año 2009. Se compararon las personas afectadas registradas de la provincia de Andahuaylas con la curva de temperatura de la estación climatológica del mismo nombre, con aquella de la estación Curahuasi (figura 21). Ambas estaciones se encuentran por debajo de 3000 msnm, lo que es por otra parte una explicación del porqué las temperaturas nunca cayeran debajo del punto de congelación.



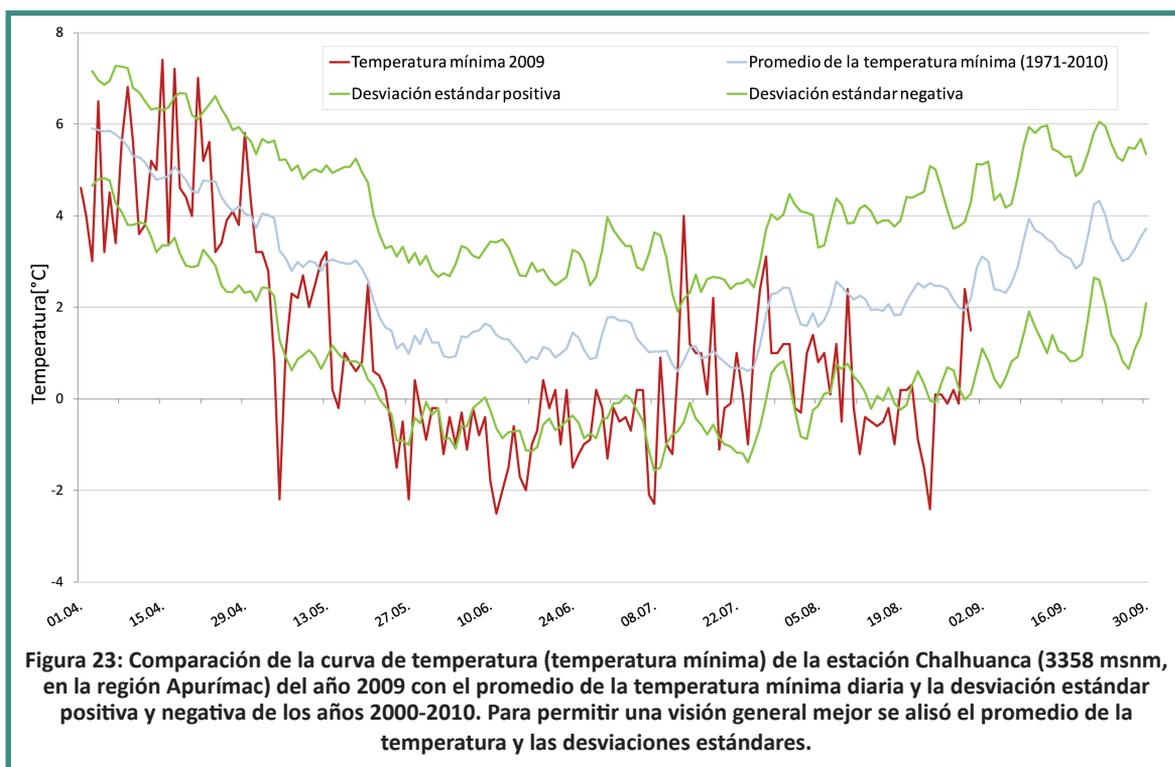
Para la comparación de las personas afectadas registradas de la provincia Aymaraes con el clima del ambiente, se eligió las estaciones Chalhuanca y Pullhuay (figura 22). Ambas estaciones se encuentran encima de 3000 msnm. Sin embargo sólo la estación Chalhuanca midió temperaturas negativas. No obstante, la helada agronómica varias veces fue registrada también en la estación Pullhuay. Cabe mencionar que para la estación Chalhuanca faltan datos para el mes setiembre.



### La helada en la región Apurímac 2008 en la comparación con el promedio de largo plazo

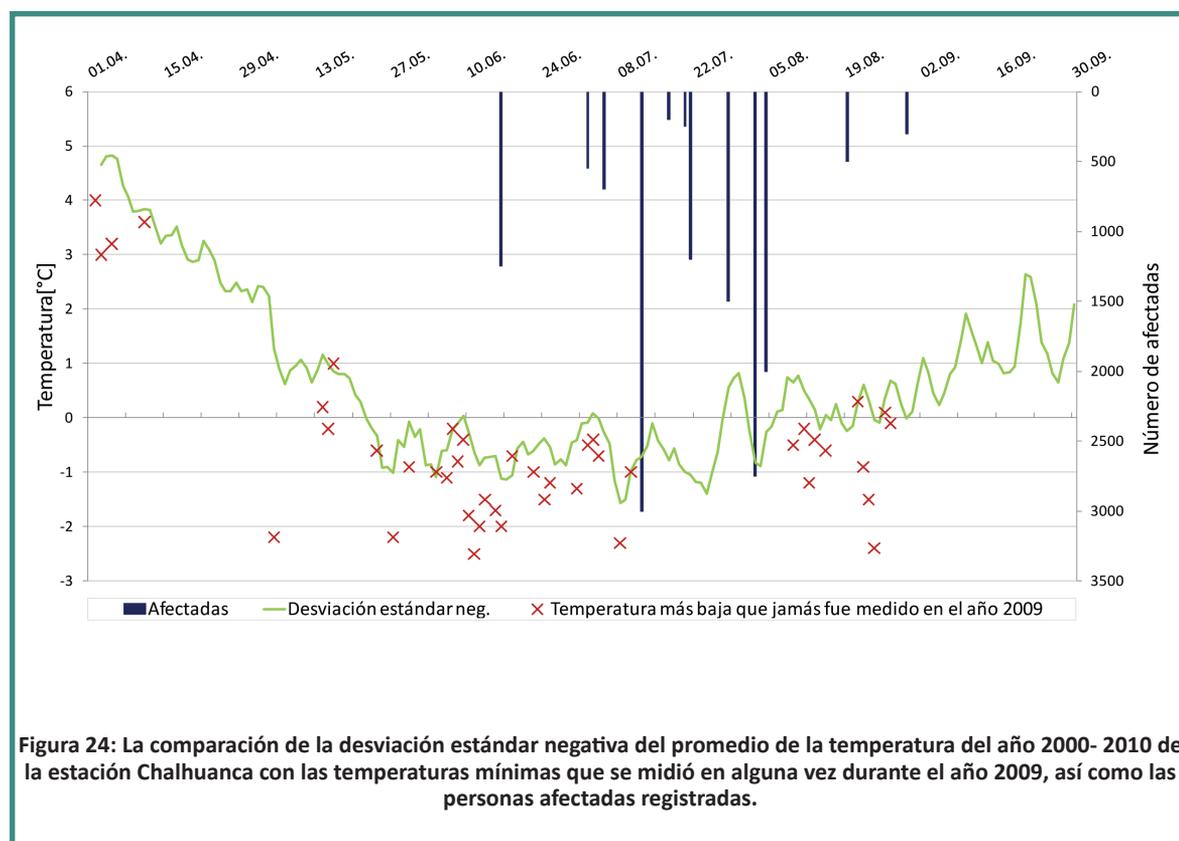
Para analizar la dimensión de la helada investigada en la región Apurímac del año 2009 en comparación con temperaturas medidas en tiempos pasados es importante tomar en consideración series de datos de temperatura de largo plazo.

En la región Apurímac la temperatura de la estación climática Chalhuanca (3358 msnm) está en el centro del interés en este análisis, en la provincia Aymaraes (figura 23). A causa de los datos limitados sólo se pudo formar el promedio de los últimos diez años. Pero también en este caso se reconoce cuántas veces la temperatura medida en el año 2009 cayó debajo de la desviación estándar negativa.



Los resultados del método de la temperatura mínima que jamás midió ya se determinaron más arriba para la estación Yauri y aquí también se representa para la estación Chalhuanca (figura 24). Se nota enseguida que muchas cruces rojas están anotadas y por consiguiente también en muchos días se registró las temperaturas más bajas que jamás se midió. Se indica asimismo un año con una helada extrema, no obstante, se tiene que tomar en consideración que en este caso solo se utilizó los datos de la temperatura de los últimos diez años y no como en el ejemplo de la estación Yauri (figura 18) los datos de las cuatro décadas pasadas.

Estos resultados también muestran que la región Apurímac fue afectada fuertemente por la helada en el año 2009. En varios días se midió las temperaturas más bajas de todo el periodo de observación. Diferentes informaciones confirmaron estas manifestaciones; según un informe del Sistema de Naciones Unidas (SNU) del agosto 2009 el gobierno del Perú proclamó, a causa de las temperaturas muy bajas, el 5 de junio 2009, el estado de emergencia para distintas regiones incluyendo las regiones Cusco y Apurímac. Se reportaron muchos daños en la agricultura, y también la ganadería fue afectada fuertemente por las temperaturas muy bajas. Al lado de muchos camélidos que viven por lo general encima de 3500 msnm, también murieron muchos vacunos y ovejas en zonas no tan altas. El ministerio de Salud apuntó que la mortalidad infantil aumentó a causa de la helada (SNU, 2009).



#### 5.4 Huayco Salcantay 27/2/1998

Uno de los eventos de movimientos en masa más grandes y con mayor impacto de las últimas décadas en la región Cusco fue el aluvión o huayco del Salcantay y Machu Picchu del 27 de Febrero del 1998. El evento tuvo su origen al pie de las paredes nortes del Salcantay (figura 25).



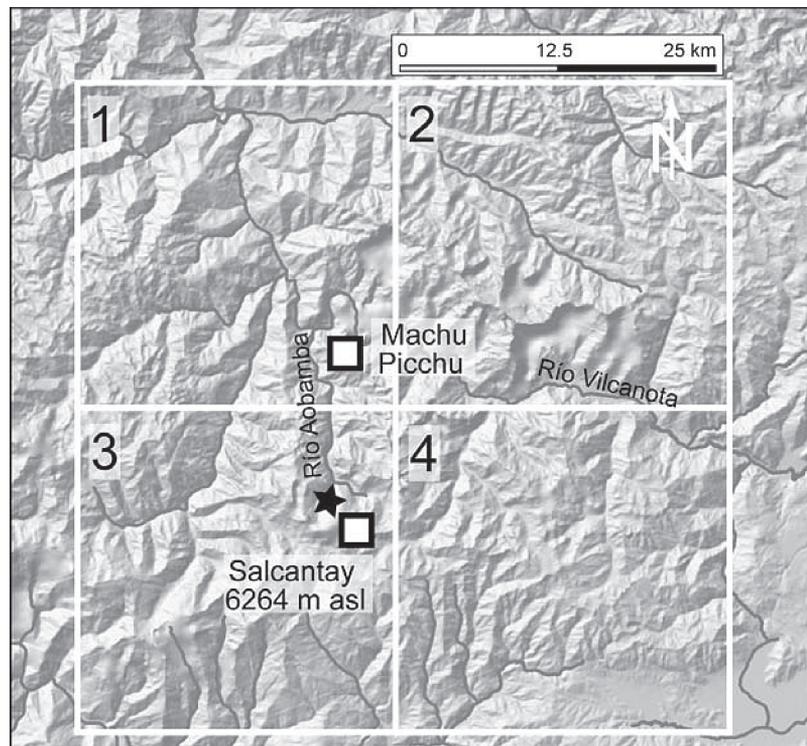
Esta es una zona extensiva de desglaciación. Faltan estudios detallados de glaciología pero se puede estimar que la zona ya fue desglaciada antes de la pequeña edad de hielo del siglo 19. Si bien la zona de iniciación del evento tenía una capa de vegetación a la superficie, el total del material de sedimento suelto es enorme. Este cuerpo tan grande de sedimento (morrenas) se ha movilizó al final de febrero de 1998. Cabe mencionar que esta área no contenía permafrost (suelo permanentemente congelado).

El evento comenzó como un deslizamiento, y el área de erosión es de 1 km a 1 km y se encuentra entre 3950 y 4200 msnm. Este deslizamiento se transformó rápidamente en un flujo de escombros o aluvión, o huayco por su término peruano. El volumen del flujo fue estimado a 25 millones m<sup>3</sup>, y con esto es uno de los eventos más grandes de este tipo que han ocurrido al nivel global en las últimas décadas. Es pertinente indicar que la mayoría de los huaycos que ocurren en quebradas locales y que siempre pueden causar daños importantes, incluso muertos, son ca. 2 órdenes de magnitud más pequeño que el del Salkantay (es decir algunas decenas de miles de m<sup>3</sup>). Esto para enfatizar la dimensión tan enorme de este evento y ponerlo en relación. El flujo, en su trayecto hacia ríos abajo a través del valle del Aobamba, alcanzó hasta 60 m verticales en los dos lados del cauce, y erosionó hasta 30 m de profundidad del lecho del río. Cuando llegó al río Vilcanota, el flujo lo barrió hasta una altura de 70 m, por este proceso, y como efecto secundario, se inundó gran parte de la central hidroeléctrica de Machupicchu, en particular toda la casa de máquina; los daños en la central hidroeléctrica eran muy graves y llegaron a ca. 100 millones USD.



**Figura 26:** La central hidroeléctrica de Machu Picchu inundada por el río Vilcanota a causa del aluvión del 27 de febrero que barrió el Vilcanota ríos debajo de la central.

Para entender mejor la relación del evento del Salkantay/Machupicchu, con parámetros del clima se ha recopilado y analizado datos de lluvias generadas por vía satélite de TRMM. Los datos vienen en cuadros o celdas que cubren una superficie de 25 x 25 km. La zona de iniciación del huayco está cubierta por una celda pero se ha considerado también otras 3 celdas de datos de lluvia (figura 26). Además se han analizado los datos de lluvia y temperatura de la estación climatológica disponible más cerca, que es Curahuasi en Apurímac a una altura de 2763 msnm. Se puede ver que efectivamente la precipitación era alta durante los 30-40 días antes del evento, llegando a 170 mm acumulada. La temperatura a 4000 msnm también era alta lo que implicaba que la precipitación llegó a grandes alturas en forma líquida y además pudo haber mucha fusión de hielo glacial y nieve, lo que contribuyó a la infiltración de agua al suelo. Es probable entonces que los sedimentos estuvieran en un estado saturado al día del evento. La saturación debe haber sido un factor importante para la ocurrencia del aluvión.



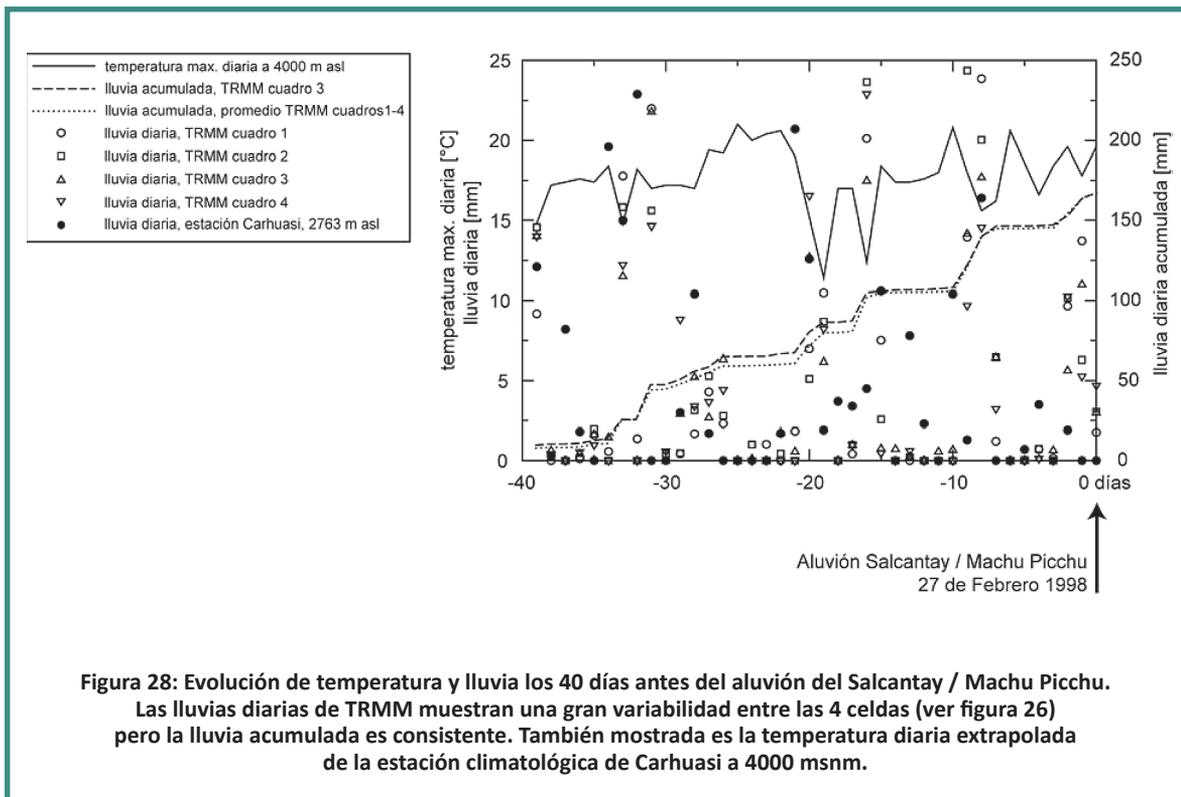
**Figura 27: Mapa de localización del área del Salcantay y Machu Picchu donde ocurrió el aluvión del 27 de Febrero de 1998. La estrella indica la zona de iniciación del evento a ca. 4000 msnm. Los cuadros 1 – 4 se refieren a los celdas de datos de TRMM (ver figura 27).**

Cabe mencionar que en la figura 28, los valores de lluvia diaria del TRMM pueden tener un rango de error significativo, como han mostrado otros estudios hechos en el PACC (Scheel et al., 2010); sin embargo este error disminuye si se calcula el acumulado de la lluvia, tal como está indicado por la línea de lluvia acumulada.

En conclusión el aluvión o huayco del Salkantay / Machupicchu muestra los siguientes puntos importantes relacionados a efectos del cambio climático:

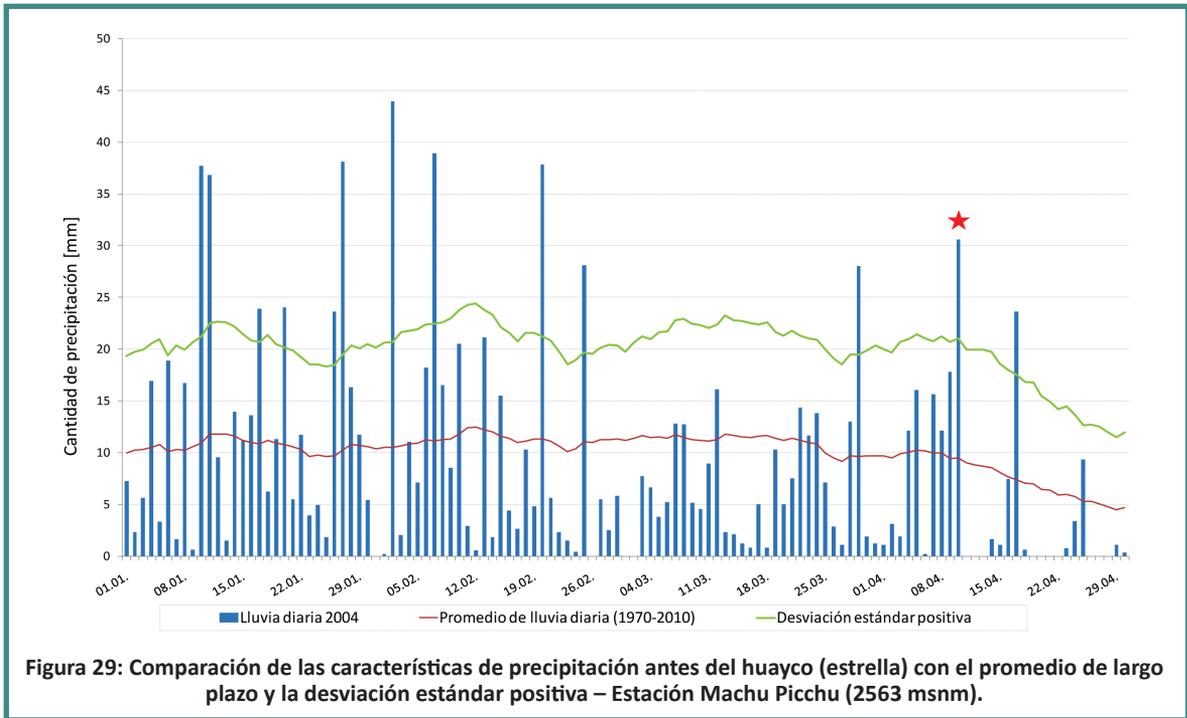
- En muchos lugares el retroceso glaciar deja atrás cantidades de sedimentos que luego están sujetos a la erosión y pueden ser movilizados en caso de lluvias fuertes o también desborde de lagunas.
- Si en la alta montaña se combinan precipitaciones fuertes con temperaturas altas, pueden resultar situaciones críticas porque la precipitación cae como agua líquida hasta grandes alturas y luego incrementa más la escorrentía, y además las altas temperaturas producen más fusión de hielo glaciar y nieve. Todo junto incrementa la saturación de suelo, que está entonces pre condicionado a la erosión.
- Eventos tan grandes como el aluvión del 1998 son extremos pero son reales y pueden ocurrir en cualquier momento si las condiciones climáticas y de la cuenca lo permiten. Cabe mencionar que en el caso del Salcantay y del río Aobamba aún se encuentran enormes cantidades de sedimento sujeto a la erosión. Un monitoreo es altamente recomendable.
- Desastres, en muchos casos, ocurren por la combinación de diferentes procesos. Así también fue en el caso del aluvión de Machupicchu. Lluvias intensas y temperaturas elevadas causaron el evento. El daño económico más grande resultó por el embalse del río Vilcanota por la cantidad enorme de sedimento que el aluvión dejó en la confluencia de los dos ríos.

- Infraestructura crítica como la central hidroeléctrica es vulnerable a procesos geodinámicos, por esto, un monitoreo de las zonas que pueden amenazar la infraestructura es muy recomendable.

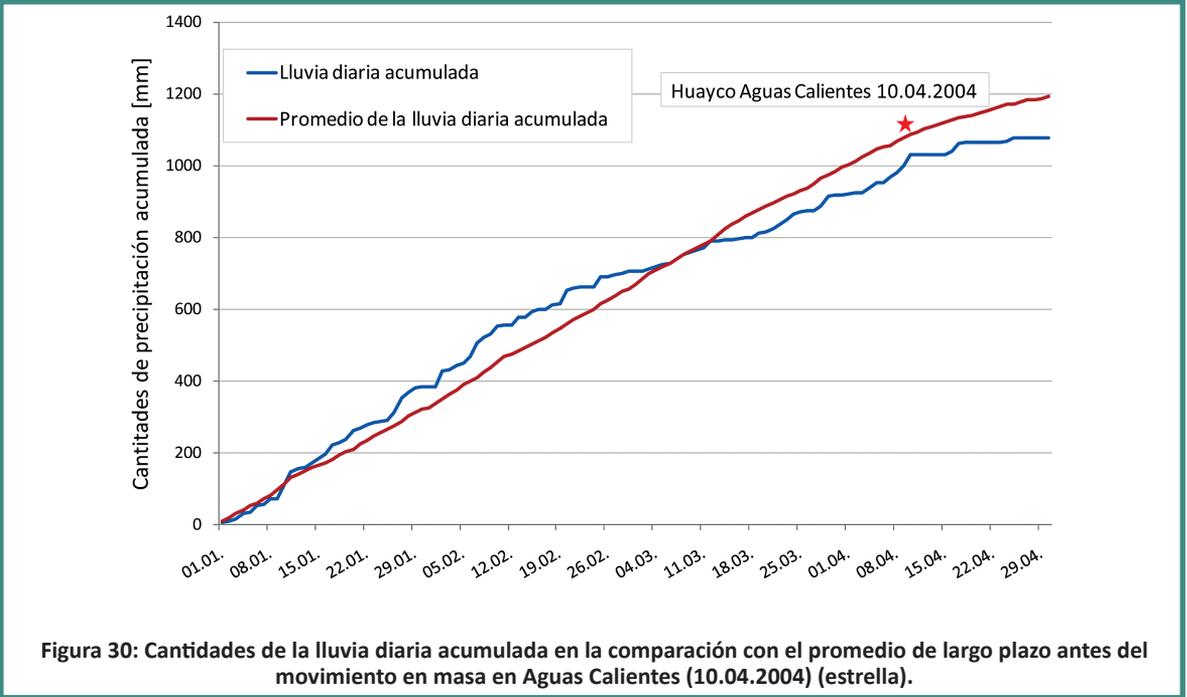


## 5.5 Huayco Aguas Calientes 10/4/2004

La estación climatológica Machu Picchu que se utilizó para el análisis del huayco en Aguas Calientes se encuentra cerca (~3km) del sitio del evento. En la estación climatológica utilizada se midieron cantidades de precipitación por encima del promedio de largo plazo durante seis de los siete días antes del evento (figura 25). En el día del evento se midieron más de 30 milímetros de lluvia, en consecuencia el huayco fue el resultado de una fase de abundantes precipitaciones (10.01.-26.02.2004), así como de un período de lluvia fuerte (04.04.-09.04.2004) y de un día con precipitaciones enormes (10.04.2004). Carreño y Kalafatovich (2006) reportaron el aumento enorme de la intensidad de la lluvia entre el 9 y el 10 de abril. Ellos supusieron que éste fuera el factor detonante directo del huayco fatal el 10 de abril 2004. Es interesante ver que hubo seis días durante los meses enero y febrero en los cuales se registró más lluvia que en el día del evento, pero en ninguno de estos días ocurrió un huayco. Obtener la causa exacta de este hecho, sólo de los datos de la precipitación es bien difícil. Si se compara los picos con sus siete días anteriores, se manifiesta que en todos los casos, fuera de aquel al cual siguió el evento, existían varios días de bajas precipitaciones. Podría ser que se redujo un poco la situación tirante en esta fase de pocas lluvias; sin embargo la fase de pocas lluvias frente al evento en Aguas Calientes (26.02.-27.03.2004) no pudo evitar el huayco. Sería interesante analizar en este caso los datos de la precipitación horaria; mediante los cuales probablemente sería posible ver las diferencias en los cambios de las intensidades de la lluvia en el momento de los picos. Pues tales datos en este caso no están a disposición. Aunque los datos secundarios faltan y la serie de datos de la estación climática de Machupicchu contienen huecos plurianuales, se pudo generar una vista general de la situación antes del evento.



Que las cantidades de la precipitación en la estación de Machu Picchu antes del huayco 2004 en Aguas Calientes, fueron mayores que en otros lugares en la región Cusco, es normal, desde un punto de vista climatológico. La estación climatológica se encuentra en una zona donde los Andes descienden paulatinamente a la dirección de la tierra baja. El clima ya es caracterizado por las corrientes de aire húmedas de la región amazónica. Se nota un aumento inmenso en la curva de la lluvia diaria acumulada en los días antes del evento (estrella) (figura 26). Este aumento corresponde a los días de abundantes precipitaciones antes del evento. Sin embargo las mediciones de la precipitación en la estación de Machupicchu fueron más escasas de lo que muestra el promedio de largo plazo. Esta representación indica la gran importancia de informaciones adicionales. Datos secundarios son imprescindibles para hacer posible un mejor entendimiento de procesos.

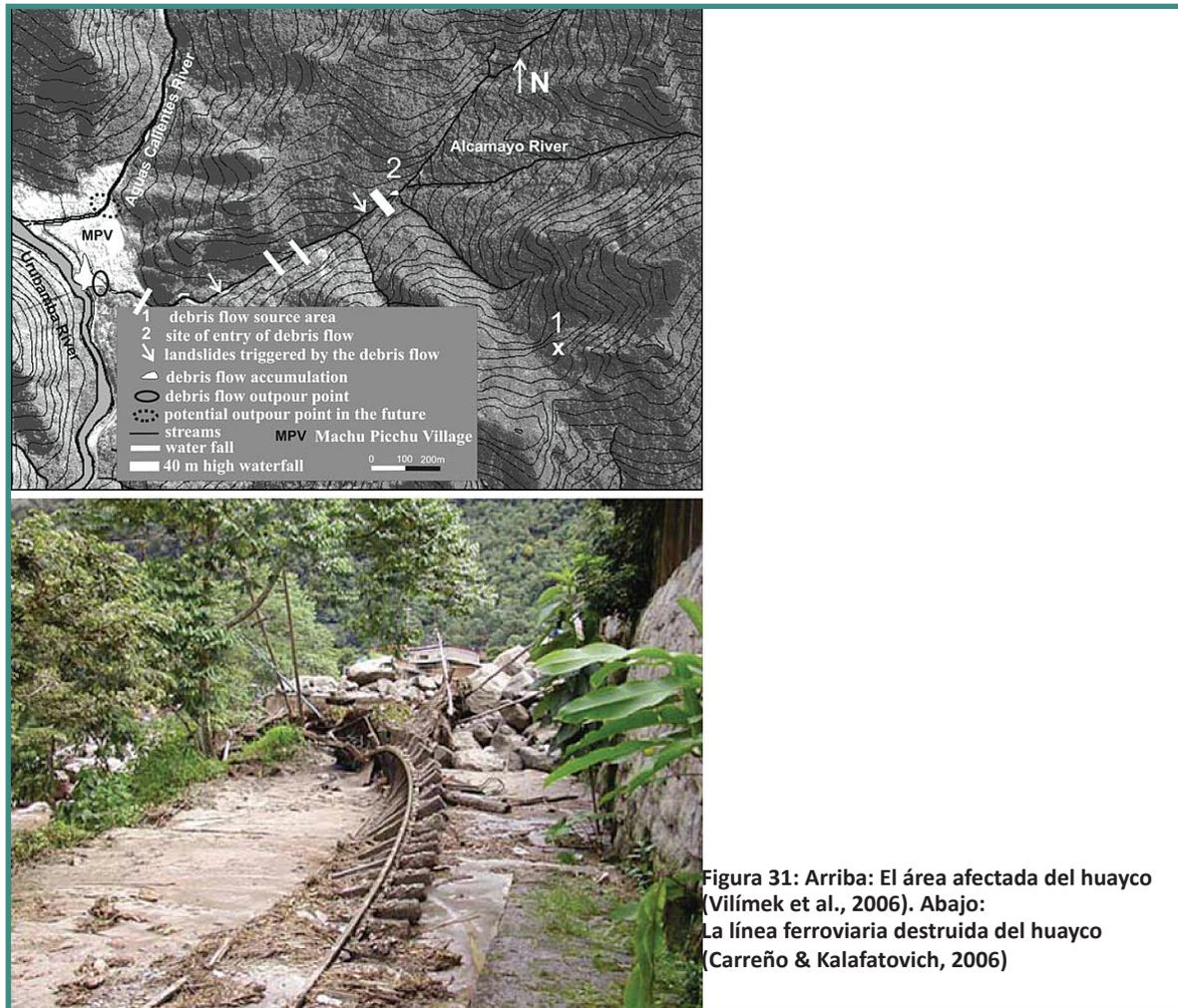


Carreño & Kalafatovich (2006) notaron que las investigaciones del huayco 2004 de Aguas Calientes fueron muy difíciles; no pudieron hacer investigaciones detalladas en la zona de arranque del huayco porque las pendientes son muy escarpadas y la zona está cubierta de un bosque muy denso; por lo tanto el acceso a la zona es muy difícil, si no imposible.

El área alrededor de Machupicchu fue afectada por los movimientos en masa con frecuencia, pero hasta el año 2004 nunca se registraron daños comparables. El ambiente del pueblo Aguas Calientes, que es conocido especialmente por su importancia para el turismo de Machupicchu, es caracterizado por pendientes escarpadas e inestables, así como de largas precipitaciones. El pueblo se encuentra encima de un cono aluviónico formado por los dos ríos Aguas Calientes y Alcamayo. El pueblo Aguas Calientes ha crecido mucho en los últimos veinte años y ha avanzado cada vez más a la zona de alto riesgo, a las pendientes escarpadas e inestables o incluso al cauce activo.

El crecimiento del turismo en la segunda parte del siglo veinte causó un aumento enorme y caótico de Aguas Calientes (Bulmer & Farquhar, 2010, Bustamante, 1998). La población se triplicó en los últimos 25 años, a la cual no se aplicó una planificación y ordenamiento territorial adecuado (Carreño & Kalafatovich, 2006).

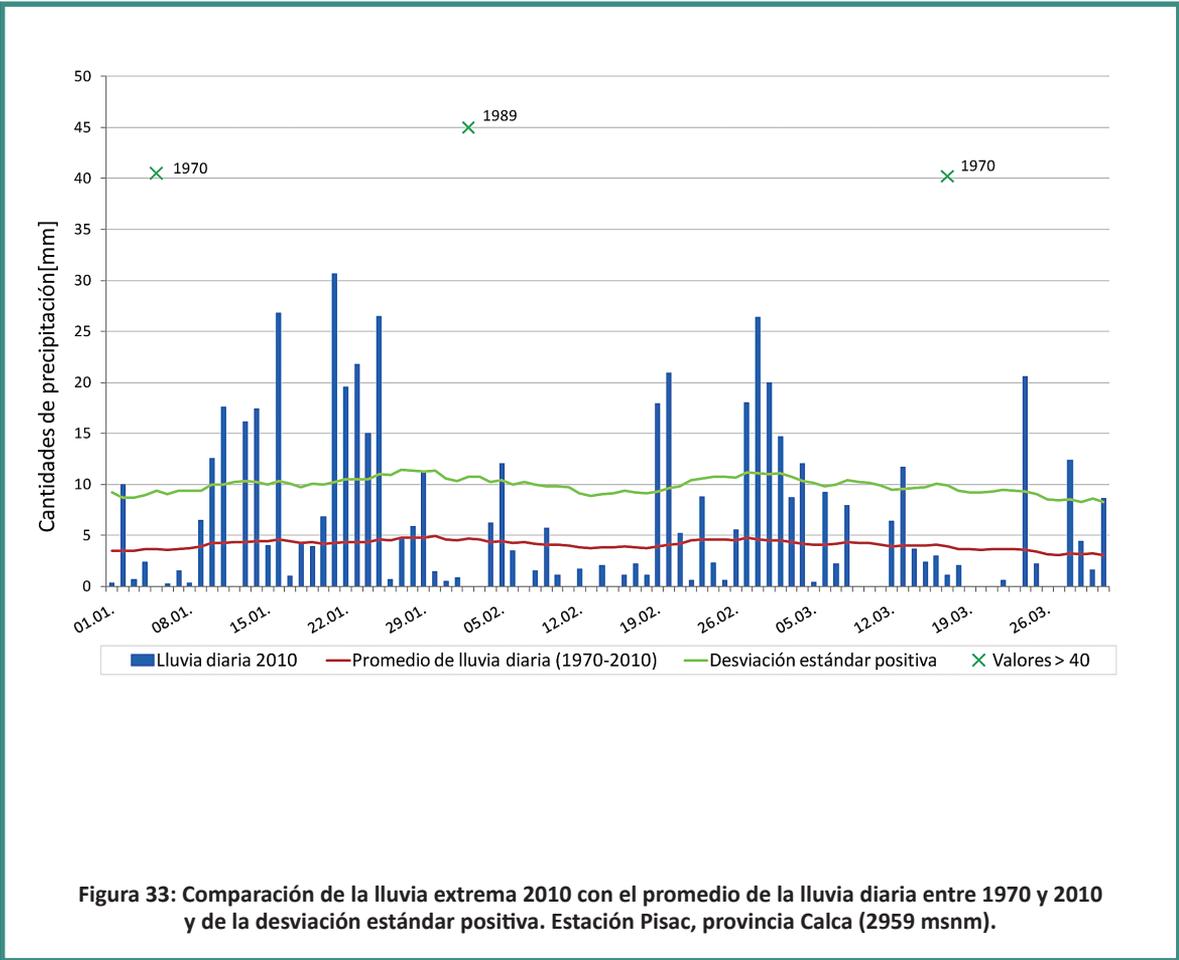
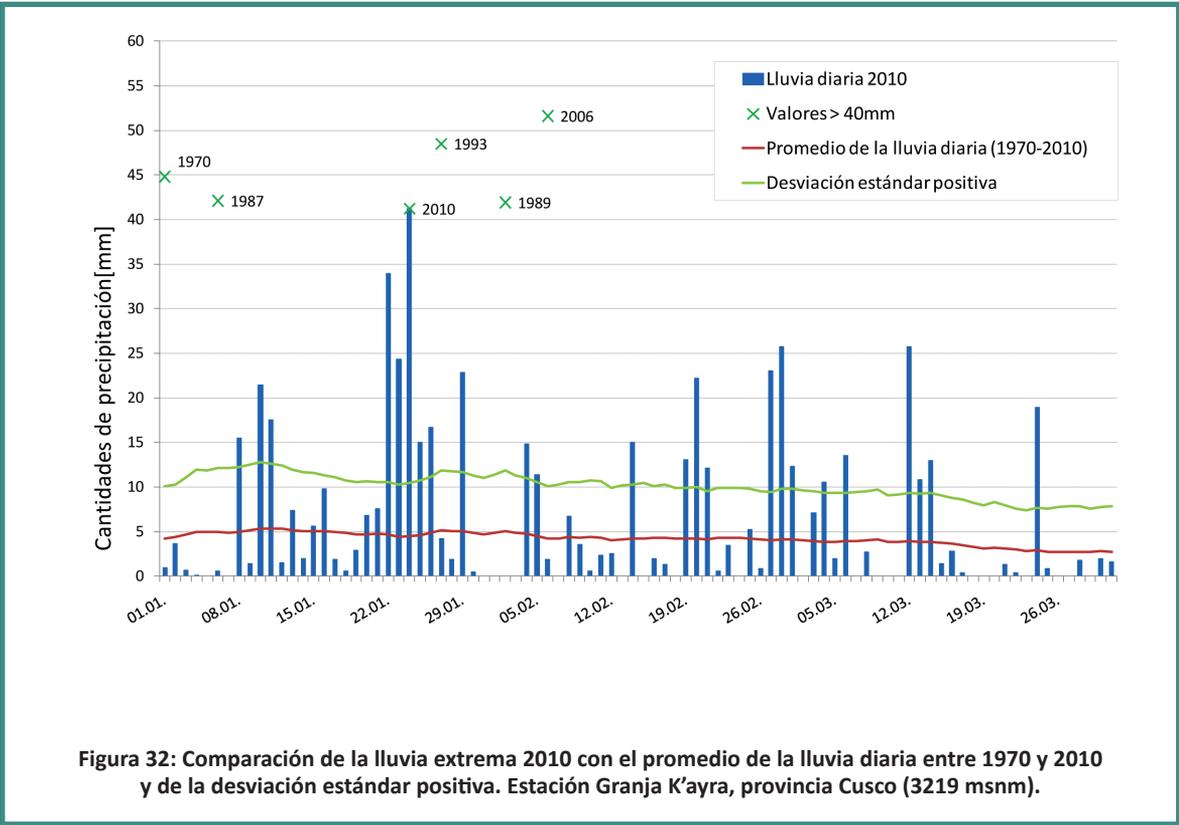
Este ejemplo indica cómo esta región es vulnerable; mediante al área afectada (6176 m<sup>2</sup>) se calculó, con la ayuda del volumen del huayco (5273 m<sup>3</sup>) el caudal máximo (107 m<sup>3</sup>/s), a continuación se utilizó estas características para ordenar el huayco 2004 en Aguas Calientes en el esquema de clasificación de Jakob (2005). Los valores de la clasificación de los huaycos se encuentran entre 1 y 10. El huayco del 10 de abril en Aguas Calientes es parte de la clase No.3. Este ejemplo muestra que asimismo un evento relativamente pequeño puede causar daños enormes y pérdidas de vidas, si sucede en un área con una gran densidad de la población y con un ordenamiento territorial inadecuado (figura 27). Un bloque de un volumen de 4000 m<sup>3</sup> en el centro del valle, que provino probablemente de un huayco antiguo, indica que la cuenca del Alcamayo, en su totalidad podría ser amenazada por un huayco mayor (Vilímek et al., 2006).

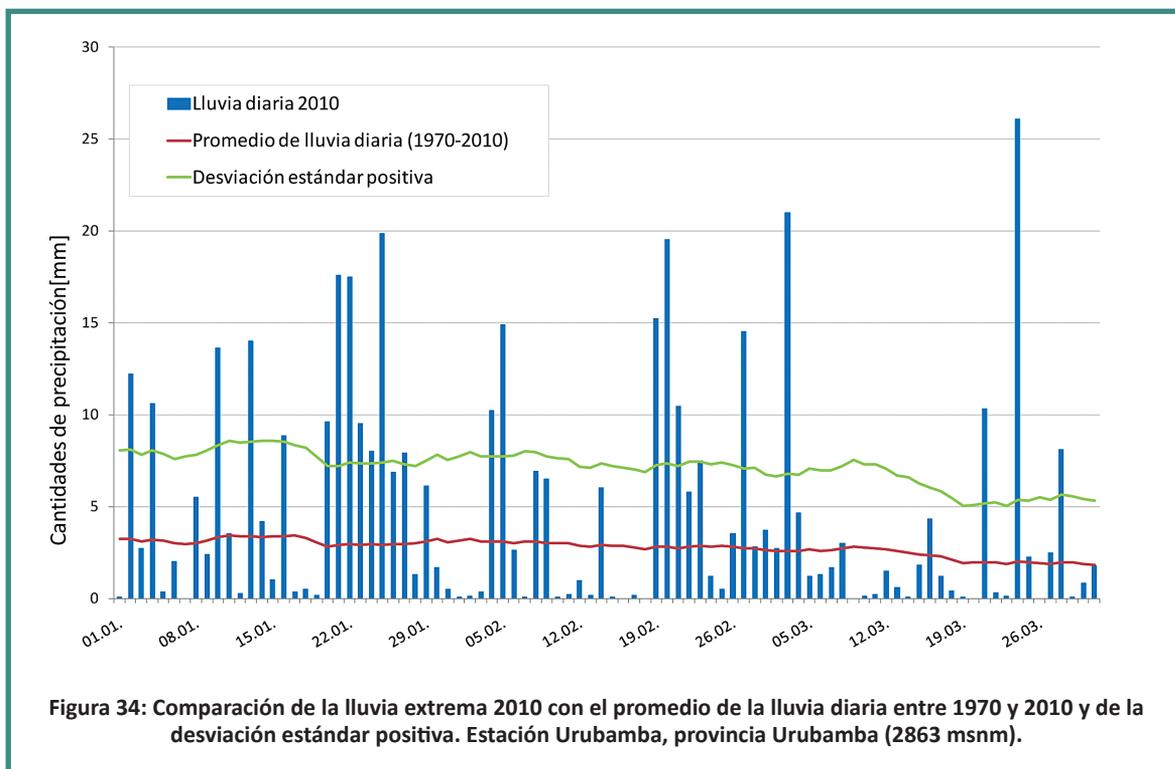


## 5.6 Lluvias torrenciales e inundaciones Cusco Enero 2010

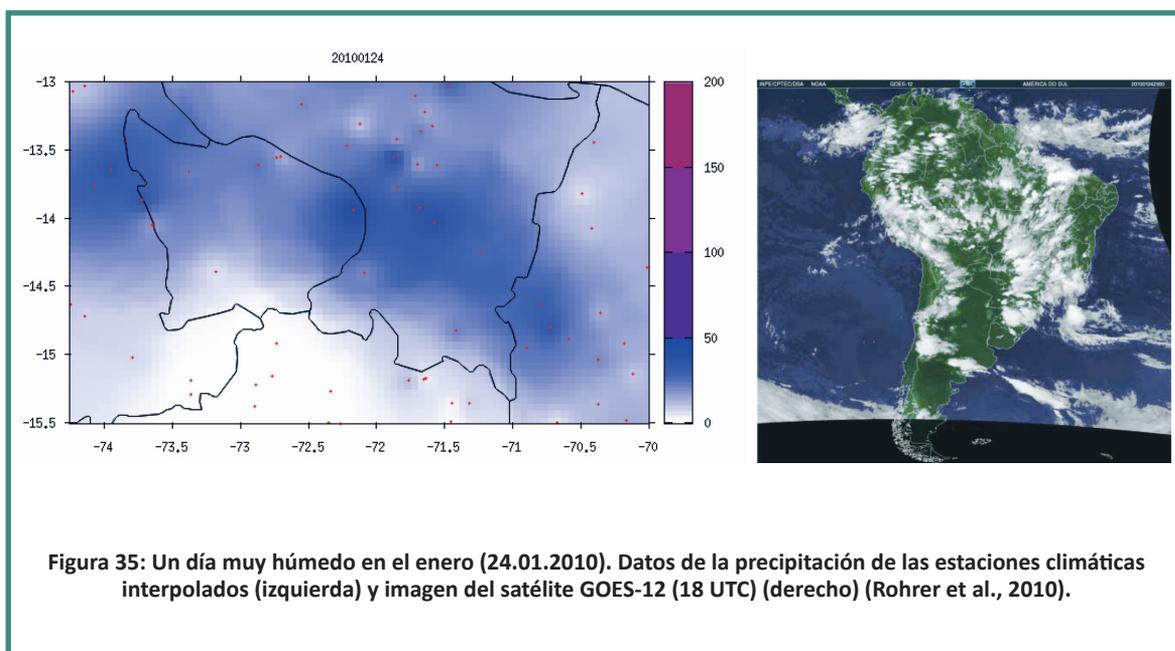
Al inicio del año 2010 se registraron en la provincia de Cusco y zonas alrededores precipitaciones enormes. Para mostrar de qué intensidad fue este evento en el enero 2010, en comparación con los eventos anteriores en la región investigada, se realizaron algunos análisis; se utilizó el promedio de la cantidad de la lluvia diaria y la desviación estándar positiva, además se representaron las cantidades de la lluvia diaria de las estaciones correspondientes durante los meses enero hasta marzo 2010. Asimismo sea marcaron los días en los cuales se registró más precipitación que jamás se ha medido y que al mismo tiempo fue de más de 40 mm lluvia por día (figuras 28-30). Por este análisis se eligieron los datos de tres distintas estaciones climatológicas que se encontraron en el centro de la zona de las lluvias intensas. Son las estaciones Granja K'ayra en la provincia de Cusco, así como las estaciones Pisac (provincia Calca) y Urubamba (provincia Urubamba).

Las tres estaciones muestran cuál fue la cantidad de las lluvias para el fin del mes enero. En distintos días se midieron valores máximos. En el 24 de enero 2010 la estación Granja K'ayra registró más de 40 mm de precipitación. Esa es la cantidad de precipitación sexta más alta que se midió en los últimos cuarenta años. Según Lavado Casimiro et al. (2010) las lluvias en Cusco al inicio del año 2010 dejaron pérdidas de 739 millones de soles (~254 millones U.S. \$). Es interesante ver que las cantidades de las precipitaciones varían el mismo día considerablemente entre las diferentes estaciones. Aunque todas las estaciones no están más lejanas que 30 km, se supone que este hecho depende de la gran diferencia en la topografía de esta zona (Lavado Casimiro et al., 2010).

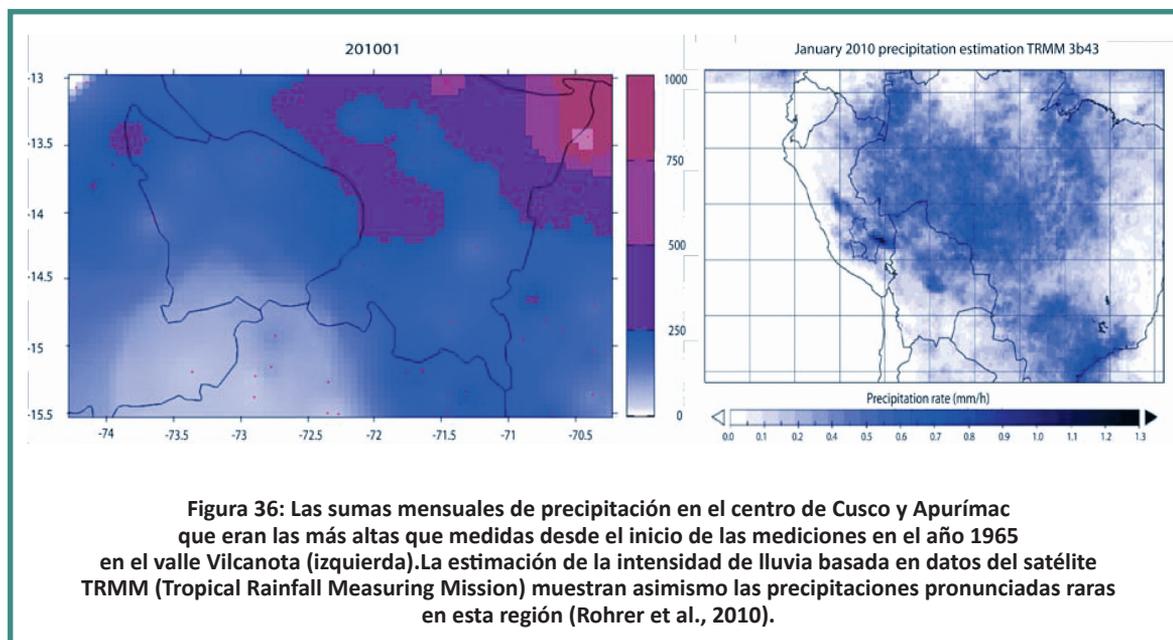




Hasta este punto todos los análisis de las lluvias pronunciados del inicio del año 2010 en este trabajo fueron puntuales mediante los datos de la precipitación de estaciones climatológicas individuales. Una perspectiva espacial de las precipitaciones enormes muestran las ilustraciones que representan la interpolación de los valores de la precipitación de diferentes estaciones (figura 31 izquierda). La consideración de la imagen del satélite GOES-12 del 24 de enero 2010 (uno de los días más húmedos del mes) muestra la capa de nubes enormes por encima del sur del Perú. El aire húmedo fue transportado por vientos del Este, desde la región amazónica en la dirección de los Andes centrales (figura 31 derecho). Este aire húmedo causó las lluvias extremas en la región Cusco (Rohrer et al., 2010).



El mes de enero del año 2010 fue el mes más húmedo para el centro de la región Cusco, registrado desde el inicio de las mediciones en el año 1965 (figura 51 izquierda). Sin embargo, como es visible en la imagen del TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission), no sólo fue muy húmedo en el mes de enero en el sur del Perú, sino también en áreas extensas en la parte oriental de los Andes (figura 32 derecho) (Rohrer et al., 2010).



#### Reportaje periodístico del El Diario del Cusco

No es sorpresa que las lluvias extremas del inicio del año 2010 en Cusco y en las provincias vecinas estuvieran en el centro del interés en el periódico local El Diario del Cusco entre la mitad del mes enero y la mitad del mes marzo. Cada día salieron noticias que informaron sobre las áreas afectadas y las consecuencias relacionadas. A causa de la gran cantidad de datos no es posible considerar todos los informes, puesto que el objetivo es presentar una vista general, lo mejor posible, mediante artículos seleccionados.

Todas las informaciones provienen, si no está escrito de otra manera, del periódico El Diario del Cusco.

En la ciudad de Cusco se reportó ya en la mitad del enero sobre las personas afectadas numerosas. Varias casas fueron inundadas y en algunas pendientes en la periferia se produjeron deslizamientos a causa de las lluvias abundantes. Los habitantes de las casas afectadas perdieron la mayor parte de su mobiliario. A causa de los muros de adobe calados, muchas casas estuvieron en peligro de derrumbarse (19.01.2010). El presidente del distrito Ocobamba informó sobre casi 30 personas afectadas y ocho casas derrumbadas, así como sobre un área agrícola de 40 hectáreas inundadas. El distrito sufría de la ausencia de agua potable, porque el sistema de suministro fue destruido por un deslizamiento. Lo mismo era válido para la instalación de irrigación. La cosecha de las papas estaba destruida, no había nada para vender; la población dependía del apoyo de los campesinos vecinos (24.01.2010a).

Otro artículo describió las tareas del INDECI, se indicaron que en muchas zonas afectadas nadie del INDECI o del gobierno pasó para hacerse una idea de la situación precaria (24.01.2010b). En una reunión extraordinaria del gobierno de Cusco se proclamó, a causa de las lluvias intensas, el estado de emergencia. “Los temporales ya mataron tres personas y destruyeron docenas de casas”. Las provincias Canchis, Quispicanchi, Paucartambo,

Calca, Urubamba, Anta y Cusco, todas informaron sobre las situaciones de emergencia. En los últimos 20 años nunca se registraron lluvias torrenciales como éstas. Además tendrían más problemas porque el SENAMHI no pronosticaba una mejoría del tiempo para los próximos días (Ibid).

Víctimas, personas desaparecidas, casas destruidas, docenas de casas que estaban en peligro de derrumbarse, cientos de hectáreas de área agrícola inundada, calles destruidas del norte hasta el sur, asimismo una línea ferrocarril interrumpida entre Cusco y Machupicchu – el balance actual de los daños que fueron causados por las lluvias continuas. Una recopilación de los daños en las provincias individuales fue publicada, en la mayoría de los casos fueron noticias de casas y áreas agrícolas inundadas. En varios distritos el río Vilcanota y otros ríos se desbordaron o estaban próximos a desbordar. Además muchas calles y redes de comunicación estaban cortadas. Otras partes de la región Cusco estaban incomunicadas a causa de que muchos puentes estaban destruidos. Se necesitaba de manera muy urgente el apoyo de máquinas pesadas para evitar problemas mayores (25.01.2010b).

El número de los afectados y la dimensión de la destrucción se agravaron de un día para otro. En muchos distritos en toda la región Cusco faltaron las cosas más importantes para sobrevivir. La policía distribuyó los alimentos básicos más importantes como agua, azúcar, leche, cereales, asimismo frazadas y ropa a las personas que perdieron todos los bienes. Ellas no sólo perdieron sus casas, sino también todas sus cosechas, como por ejemplo el maíz que ya estaba maduro (27.01.2010). En todos los lugares se necesitaba ayuda, pero muchas organizaciones ya estaban al límite de su trabajo. La solidaridad con las personas que fueron afectadas por las fuerzas naturales es grande dijo el presidente del gobierno regional de Cusco (28.01.2010). Después de que se reportaran deslizamientos en diferentes lugares, entonces también ocurrió un huayco buen grande en la ciudad de Zurite; las masas de lodo llegaron al centro de la ciudad y dejaron una gran devastación. Milagrosamente no hubo personas sepultadas. Por recomendación de la autoridad provincial se evacuó las personas en las zonas de mayor peligro. (29.01.2010a).

Las líneas ferrocarriles más importantes del Perú y la comunicación de Cusco con la ciudad antigua de los incas de Machupicchu, fueron cortadas a causa de las consecuencias de las lluvias torrenciales, puesto que se llega Machupicchu se llega sólo por tren, se perdió el acceso al mismo. Cientos de turistas en Aguas Calientes fueron aislados del mundo exterior, la empresa del tren les dio su alimentación y se hicieron evacuaciones por aire (29.01.2010b). Ingenieros de la empresa del tren identificaron ocho sitios críticos en la ruta entre Cusco y Machupicchu. El río Vilcanota (que fluye paralelo a los carriles en el fondo del valle) llegó a un nivel nunca antes registrado. El caudal calculado fue 1100 m<sup>3</sup>/s, el más alto si recordamos que el máximo caudal histórico hasta identificado en la zona fue 850 m<sup>3</sup>/s. Se constató que se necesita por lo menos siete semanas hasta que los próximos turistas puedan viajar a Aguas Calientes para visitar Machupicchu; este sería el caso más optimista. Si las lluvias torrenciales durarían no sería posible empezar con las reconstrucciones. En cualquier caso la región Cusco tendría que prepararse para un tiempo duro y tendría que esperar hasta fines de marzo para que se reanimara la industria turística (29.01.2010c).



**Figura 37: Río Vilcanota en Aguascalientes en el enero 2010 (El Comercio, 29.01.2010). Inundación del Río Vilcanota junto a Andahuaylillas (Foto: Christian Huggel, 14.02.2010).**

## 6 CONCLUSIONES

### 6.1 Datos

En muchos países la evaluación de los impactos climáticos está confrontada con bases de datos insuficientes. Este hecho es especialmente una realidad en zonas de montaña donde una topografía compleja causa condiciones heterogéneas, locales y microclimáticas, así como en muchos países en desarrollo. Además las mediciones son muy difíciles por el difícil acceso y mantenimiento de las estaciones. Salzmann et al. (2009) indicaron los desafíos que existen para el trabajo con datos climatológicos en tales zonas geográficas. En el caso de este estudio aplican los mismos desafíos en cuanto a los datos de las estaciones climatológicas, las cuales formaron la base de las investigaciones en este trabajo.

La distribución espacial de las estaciones climatológicas no es de forma regular en las regiones de Apurímac y Cusco, sólo algunas estaciones individuales disponen de series de datos a largo plazo; además sólo existen pocas estaciones que disponen de series temporales casi completas, mientras que la gran mayoría se caracteriza por huecos de datos recurrentes y de distinta duración. La situación de los datos causó, que en muchos casos, durante el análisis de los eventos extremos y de la selección de las estaciones usadas, se tuviera que hacer un compromiso entre la distribución espacial de las estaciones climatológicas y de la calidad de sus series de datos. Es evidente que la incertidumbre de los datos aumenta referente a un evento específico, si la estación climatológica se encuentra en gran distancia al sitio del evento; especialmente eventos locales y de corta duración como por ejemplo una lluvia intensa o un movimiento en masa están afectados por este problema. Este efecto es más grande en zonas muy montañosas dado que la topografía muestra una diversidad enorme.

Una combinación directa de las dos bases de datos del DesInventar y del INDECI casi no fue posible. Si bien las dos bases de datos se dedican a la misma temática y siguen en los mismos intereses, tienen muchas diferencias; éstas empiezan en la recopilación de los datos, mientras que la base de datos de Defensa Civil recopila los datos del INDECI, la base de datos del DesInventar se deriva del contenido de noticias del periódico nacional “El Comercio”, sin embargo este periódico se ocupa principalmente de temas de la capital (Lima) y su vecindad. 20% de todos los eventos registrados en el Perú, que están guardados en la base de datos del DesInventar, provienen de Lima (DesInventar, 2010). Como una consecuencia, los eventos de las zonas rurales y altoandinas reciben menos atención, con información superficial y muchas veces inexacta. Una razón es que en la capital vive el tercio de la población peruana, por otra parte, la organización centralista del país explica porqué la distribución de los eventos registrados es tan desigual. En cambio, en el caso del INDECI la recopilación de datos es hasta cierto grado subjetiva y puede afectar la consistencia de los datos tanto al nivel espacial como temporal. Se dice que en muchos casos los datos detallados de los eventos en el INDECI están computados aproximadamente; si por ejemplo hay cinco casas afectadas de un evento determinado, se estima automáticamente que había 25 personas afectadas. Especialmente en información detallada se esconden grandes incertidumbres en ambas bases de datos.

Otra dificultad evidente es el uso de las nomenclaturas, que aplica especialmente a los fenómenos de los movimientos en masa, aún así, la diferencia más evidente entre las dos bases de datos es el período de investigación. Mientras que DesInventar ha registrado datos durante los últimos cuarenta años (desde 1970), el INDECI sólo dispone una colección de datos de los últimos diez años (2001-2010).

En conclusión, sobre el buen uso de los datos hay que mencionar, primero que es muy bueno que existan bases de datos de eventos de desastres como el DesInventar y la del INDECI; no todos los países disponen de este tipo de base de datos. Como hemos visto en los estudios de riesgo y desastres que se han hecho dentro del PACC, estos datos pueden ser una fuente importante para entender mejor las características de los desastres para luego poder diseñar y plantear medidas de reducción de riesgo. Al mismo tiempo hemos visto que para cualquier investigación basada en estos datos se tiene que aplicar mucho cuidado en el análisis e interpretación adecuada. Los limitantes mencionados arriba son importantes y tienen que ser considerados, y adecuadamente tratados.

## **6.2 Eventos extremos seleccionados**

### **6.2.1 Sequía**

Las diferencias delicadas entre las definiciones de la sequía son un importante punto de partida para cada investigación en este tema (ver capítulo 4.1.1 y 4.2.1).

El manejo óptimo de los datos climatológicos y el uso del método adecuado es un gran desafío. Durante la apreciación de la dimensión de la sequía extrema de 1982/1983 y especialmente durante el análisis de sus consecuencias a la población se pudo hacer observaciones importantes; no sólo es importante tener en cuenta el período de la sequía, sino también incluir el momento en que ocurrió. Si no hay mucha lluvia en el borde de la estación seca en el verano austral, es mucho menos grave, que si no hay lluvia en la temporada de lluvia en la cual se esperará el máximo de precipitación, como por ejemplo en el mes de enero. El *Solanum tuberosum*, tipo de papa que se cultiva con más frecuencia en los Andes, sirve de ejemplo para algunas ilustraciones. La

papa es relativamente sensible al déficit hídrico en el suelo. Para maximizar la cosecha no se debería consumir más que 30 a 50% del agua que está disponible en el suelo, si menos agua está disponible, se tiene que contar con pérdidas en las cosechas. Si el déficit hídrico sucede durante la fase de crecimiento, causa consecuencias negativas más grandes. La fase de la maduración así como la primera fase vegetativa son menos sensibles a la escasez de agua; en el caso del maíz, por otra parte, se tiene que contar con disminuciones de la cosecha si las plantas sufren de la escasez de agua durante la fase de floración (FAO, 2010).

En el caso de la sequía de 1982/1983, este hecho se mostró de manera impresionante en los meses octubre y noviembre; en el período de la siembra de las papas y del maíz (MINAG, 2010) se registró mucha lluvia, pero durante el período en el cual las plantas reaccionan más sensibles a la escasez de agua no había más lluvia (figuras 9 & 11) (Farfán, 1998). La sequía de 1982/1983 no sólo fue catastrófica para el sur del Perú por su intensidad, sino también por el momento de la ocurrencia del evento con relación al calendario agrícola regional (Lovón Zavala, 1985).

Cada evento climático que es muy intenso y ocurre en las cercanías de la población, causa daños materiales y en muchos casos también pérdidas de la vida; sin embargo, los impactos siempre están relacionados a distintos factores. La población en esta región es muy pobre y por eso mucho más sensible a los fenómenos naturales como la sequía de 1982/1983. En muchos casos hace falta cualquier tipo de medio económico, material, así como organizativo, para reaccionar de manera rápida y eficiente a una situación excepcional. La sequía de 1982/1983 ocurre en una fase en la cual la región ya luchó contra problemas políticos y económicos grandes. La población afectada estaba conformada sobre todo por familias de campesinos, cuya vida dependía casi exclusivamente de la agricultura y de la ganadería. Partes de la agricultura fueron sobrecultivadas y las cosechas disminuyeron permanentemente. Ya antes de la sequía, el sector de la agricultura y el mercado regional fueron arruinados y tendieron a estar parados, al lado de todos estos problemas la región no recibió tampoco apoyo del gobierno regional (Lovón Zavala, 1995).

### **6.2.2 Helada**

Como hemos visto, se habla de una helada meteorológica cuando la temperatura baja a 0°C, mientras que ya se habla de una helada agronómica cuando la temperatura es debajo de 3°C (Monterubbiansesi & Cendoya, 2001; Kalma et al., 1992). Sólo estas definiciones ya muestran que es difícil fijar un umbral uniforme para las heladas. Dependiendo de los objetos observados, distintos valores térmicos y características de temperatura causan daños o pérdidas. Los impactos de una helada pueden ser muy extensos y las consecuencias graves se deben en muchos casos a la vulnerabilidad muy alta de la población. Para avisar a la dificultad en el manejo con una definición inequívoca de una helada, se muestran aquí algunos ejemplos.

En las regiones Cusco y Apurímac se cultiva en la mayoría de los casos papa, alfalfa, maíz, trigo y cebada (Bretscher, 2009). Estos cultivos sufren daños causados por heladas de diferentes temperaturas (Snyder & Melo-Abreu, 2005). La temperatura que causa daños ocasionados por heladas depende del tipo de la planta y de su clase. El *Solanum tuberosum*, el tipo de papa que se cultiva con más frecuencia en los Andes, no sufre del frío en temperaturas por encima de -2°C (Hijmans et al., 2003). El trigo al otro lado no puede sobrevivir temperaturas tan bajas (Snyder & Melo-Abreu, 2005). Además es relevante para las plantas, el cambio de temperatura.

En el caso de una caída de la temperatura corta (2-24 horas) observó Levitt (1980) que la duración durante la cual las plantas están expuestas a temperaturas bajas es menos importante que cuando la temperatura baja por más tiempo.

Otra cosa que no tendría que ser subestimada son las fases fenológicas; el crecimiento y el desarrollo de una planta están influidos considerablemente por la circunstancia climática (Seiz & Foppa, 2007). Por otro lado la mayoría de las plantas son relativamente tolerantes al frío durante la germinación, mientras que son muy sensibles a temperaturas bajas durante el período del florecimiento y mientras de la fructificación (Snyder & Melo-Abreu, 2005).

En cambio para los humanos características distintas de la temperatura pueden ser cruciales. La mayoría de la población altoandina vive de la subsistencia, de los productos que producen en las chacras (Bretscher, 2009). Incluso niños pequeños están participando en las actividades económicas de las familias, ayudan en las chacras, conducen mulos o llevan la leña y en muchos casos están confrontados con esfuerzos físicos excesivos. Un número considerable de los niños sufren de malnutrición y muchas familias pobres no tienen los recursos económicos para abrigar a los niños adecuadamente. Estos son problemas socioeconómicos, que especialmente en el caso de un evento extremo, como una helada, expone la gran vulnerabilidad de los niños con toda claridad (Aliaga & Durand, 2008; Bambaren Alatrística & Alatrística Gutiérrez, 2007). Si las temperaturas bajan más de lo normal, el número de las infecciones respiratorias registradas aumenta mucho, así como el número de los muertos a causa de la neumonía sube (MINSA, 2010). También este ejemplo muestra que es muy difícil dar una definición uniforme de una helada de graves consecuencias, por ejemplo, no está claro si los niños sufren más de las enfermedades mencionadas después de que la temperatura descendió o después de que estuvieron expuestos por un período más largo a una temperatura cerca del punto de congelación.

Es difícil determinar la razón por el aumento del número de las heladas registradas en las dos bases de datos durante los últimos años. En un análisis de la tendencia de la temperatura mínima de la estación climatológica de la Granja Kcayra, en la región Cusco no se reconoció una tendencia evidente durante el período 1965-2009 (Schwarb et al., 2011). Si el aumento en el número de los eventos se debe a la recopilación de los datos, o si las heladas se acumularon verdaderamente no está claro hasta la fecha; sin embargo es evidente la importancia de observar las temperaturas mínimas en adelante.

También existe la observación de que la población registró más heladas desde que las casas son inmediatamente cubiertas de chapas onduladas en lugar de paja. Si bien es cierto que estos techos nuevos de proyectos de ayuda humanitaria son resistentes al agua y más durables, es cierto también que la capacidad del aislamiento es muy disminuida y causa un efecto de refrigeración de las casas que no cuentan con calefacción (información oral de D. Bretscher, 08.07.2010).

### **6.2.3 Movimientos en masa**

Durante el análisis de los eventos de los movimientos en masa se presentaron varios desafíos; por ejemplo la caracterización inequívoca y la denominación de un evento específico son aspectos importantes. En el inglés, las opiniones varían sobre la denominación correcta de los eventos de los movimientos en masa (capítulo 4.1.3). En el español parece que se usa los términos aún más irregular.

Para aclarar esta problemática, se explica algunos ejemplos con respecto al fenómeno de huayco: Luque Pinto y Alva Hurtado (1999) utilizan para un huayco el término “flujo de escombros”, en el INDECI (2003) por el contrario se describió el huayco con el término de un “pequeño aluvión” y los miembros del PMA (2007) clasificaron el huayco en la clase de los “flujo de detritos”. En varios casos no se aplica una distinción clara entre un huayco y un deslizamiento. Puesto que ya existe en la comunidad científica una gran confusión acerca de la separación de los términos, no es una sorpresa que en otros ámbitos a menudo se mezcle los términos, de esta manera el periódico “El Diario del Cusco” especifica por ejemplo el evento en el mes de enero del 2010 en Zurite, en el mismo artículo, una vez con el término del huayco y en el siguiente párrafo con el término del deslizamiento (El Diario del Cusco, 29.01.2010a).

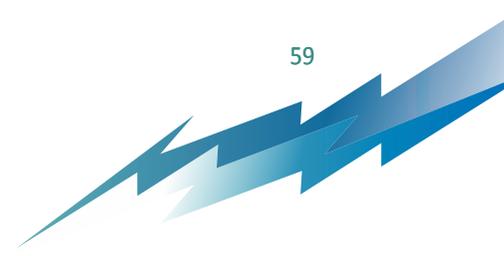
Durante los análisis en este trabajo se mostró esta problemática en diferentes casos de manera muy obvia y dificultó un análisis detallado, pues incluso durante la comparación de las dos bases de datos DesInventar e INDECI se pudo distinguir varios casos en los cuales se trató evidentemente del mismo evento, pero lo llamaron de forma distinta. El INDECI especificó el huayco del 10 de abril 2004 en Aguas Calientes por ejemplo como un deslizamiento. La situación es aún más difícil cuando no se utiliza una nomenclatura uniforme dentro de una misma base de datos. Si se clasifica un evento como un huayco, pero en los datos detallados del mismo evento se habla de un deslizamiento o de un aluvión, el análisis de las tendencias presenta grandes incertidumbres. El hecho que se registraron en la base de datos del DesInventar durante las tres décadas (1971-2000) regularmente noticias de aluviones pero nunca de huaycos y en la última década la situación fue justo lo contrario, tiene que ser observado con precaución. Que no habían ocurrido huaycos en tiempos pasados y hoy no ocurren más aluviones deja una impresión dudosa. Hay que suponer que se trata había un cambio en la nomenclatura del fenómeno durante el periodo de observación.

Aparte de las grandes incertidumbres acerca de la denominación correcta de un movimiento en masa, se identificó otra dificultad en el análisis de estos fenómenos. Mediante los análisis en el caso del huayco del 10 de abril de 2004 en Aguas Calientes, Vilímek et al. (2006) se manifiesta que no fue posible hacer un análisis estadístico detallado con los datos de la lluvia diaria acerca de eventos de movimientos en masa, se registró sólo un número limitado de huaycos bien documentados durante el período en el cual se midió los datos de la precipitación diariamente. La densidad de la documentación de estos eventos es muy baja, esto dificulta mucho un análisis detallado. Brunetti et al. (2010) crearon un catálogo extenso de eventos de la precipitación en Italia que provocaron un deslizamiento. Para cada evento se registraron el sitio exacto y el momento o el período de detonación del movimiento en masa, en unión con informaciones de la duración de la precipitación y el promedio de la intensidad de la precipitación. La gran importancia del catálogo era evidente, así como la dificultad de encontrar informaciones de la precipitación y de los movimientos en masa suficientemente exactas y de confianza para crear un umbral fiable y creíble. De que existiría un catálogo parecido para las regiones Cusco y Apurímac, no se tiene conocimiento, pero si hay información de que el huayco de Aguas Calientes en el año 2004 recibió, a causa del importante sitio turístico, mucha atención.

#### **6.2.4 Precipitaciones**

Si se observa la curva del SPI sobre las cuatro décadas de investigación (1970-2010) no fue posible distinguir una tendencia evidente de la característica de la precipitación. En todas las series de datos de la precipitación de las estaciones climáticas investigadas se alternaron los períodos secos y húmedos.

Es de gran importancia observar este desarrollo en el futuro, pues investigaciones y modelos de Haylock et al. (2006) y Urrutia & Vuille (2009) indican que la precipitación disminuirá en las regiones del sur del Perú. En este trabajo se utilizó únicamente datos de la precipitación de estaciones climáticas. Las estaciones están distribuidas puntualmente a través del área de investigación y por lo tanto no forman una información de la precipitación que fuera consistente al nivel espacial. Para el análisis de un evento de la precipitación que se extiende sobre una área extensa, el uso de las estaciones climatológicas locales es limitado. Al mismo tiempo la disponibilidad de las estaciones climatológicas en las zonas de alta montaña es escasa (Fashé Raymundo et al., s.a). Esto causa una escasez de datos climatológicos en estas zonas, que por otra parte es una desventaja para la apreciación del cambio climático y cuyas consecuencias. Datos de alta resolución espacial son, a causa de un acceso difícil o una limitación política y económica, a menudo escasos. Se ve que los sensores de satélites son una posibilidad prometedora para cerrar los vacíos de datos con ayuda de su presencia global y su resolución espacio-temporal creciente. El International Global Precipitation Measurement Program (GPM) está fomentando este objetivo (por ej. TRMM - Tropical Rainfall Measuring Mission). A causa del desarrollo de nuevas tecnologías se ofrece la posibilidad de comparar mediciones de diferentes sensores de satélites (microondas, infrarroja y radar) con los datos de las estaciones climatológicas. De esta manera se ofrece una deducción de la estimación de la precipitación de una alta calidad. Este nuevo método presenta la oportunidad importante de reducir la escasez de datos en las zonas altas en las montañas (Scheel et al., 2010).



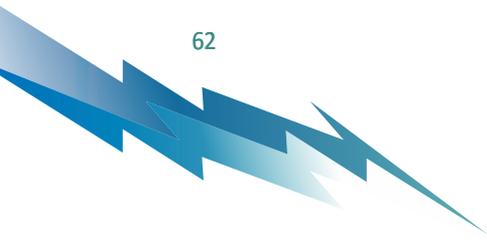
## 7 RECOMENDACIONES

El presente estudio permite hacer las siguientes recomendaciones:

- Vulnerabilidades, reducción de riesgo (medidas), entendimiento de procesos y vuln.
- En el informe del PACC 'Análisis espacio-temporal de desastres en las regiones de Cusco y Apurímac 1970-2010' se demuestra tanto el potencial como los desafíos relacionados a las documentaciones y base de datos de desastres que existen para las regiones del PACC. Se recomienda aplicar un análisis tomando en cuenta las limitaciones y características de estas bases de datos referente al nivel de documentación a través del tiempo. Sino, pueden resultar conclusiones inadecuadas que luego pueden llevar a una mal-adaptación.
- En el presente informe se ha visto además en más detalle de qué derivan las diferencias en la nomenclatura de eventos extremos climáticos y desastres, y cuáles pueden ser las consecuencias del uso inconsistente de la terminología de los fenómenos. Ya en el informe sobre el análisis espacio-temporal de los desastres se ha visto que las bases de datos no siempre aplican una terminología consistente a través del periodo documentado, lo que puede resultar en aberraciones de la estadística. Cabe mencionar que la inconsistencia en esta terminología no es algo único a las regiones de Cusco y Apurímac, ni al Perú, sino es un problema que se presenta también nivel internacional. No obstante, es pertinente hacer la recomendación que es importante definir y luego mantener una terminología consistente, por lo menos en las mismas bases de datos e inventarios. Un cambio de terminología durante el periodo de observación y recopilación de datos y desastres puede resultar en conclusiones erróneas que no reflejan la realidad, e igual pueden llevar a una mal-adaptación.
- Mientras el informe del PACC 'Análisis espacio-temporal de desastres en las regiones de Cusco y Apurímac 1970-2010' analiza la distribución de desastres en las dos regiones a través del tiempo y los distritos y provincias, el presente informe se concentra en pocos eventos pero los analiza en más detalle. El análisis tenía en primer lugar el objetivo de mejor entender como los factores climáticos contribuyen a desastres. Es importante mencionar que un evento extremo climático como una sequía o lluvias intensas no representan un desastre per se sino combinan con las diferentes vulnerabilidades para resultar en un desastre. Es crucial entender las vulnerabilidades básicas de las comunidades, ciudades o del sistema social en general para poder analizar qué factores contribuyen al desastre. En varios ejemplos y casos de estudios el presente informe ha tratado de revelar estos factores. Para cualquier medida de adaptación y reducción de riesgos de desastres es importante conocer cómo los eventos extremos climáticos combinan con las vulnerabilidades sociales, económicas y físicas.
- En varios análisis presentados se puede apreciar la interacción entre el fenómeno climático y el impacto a la población. Por ejemplo en el caso de heladas, en muchos casos el reporte de personas afectadas no corresponde al primer momento cuando baja la temperatura. Más bien, personas afectadas fueron reportadas varios días después de que ha bajado la temperatura a condiciones críticas, como se puede apreciar en varias gráficas de este informe. Detrás de este fenómeno se 'esconden' los procesos del impacto de la helada en función de la vulnerabilidad de la comunidad y del sistema agropecuario. Para diseñar e implementar las medidas de adaptación se debe conocer en la medida posible tanto los

procesos climáticos como los procesos de impacto y las vulnerabilidades. Es obvio que sólo estudios y esfuerzos interdisciplinarios pueden lograr estas metas.

- Los dos informes presentados, tal como otros estudios dentro del PACC, como los del SENAMHI, no pueden dar evidencia clara sobre efectos del cambio climático al nivel de eventos extremos climáticos y sus impactos en las últimas cuatro décadas. Sin embargo, este informe claramente muestra que tan afectadas están las comunidades de las regiones de Apurímac y Cusco por eventos extremos climáticos. Por lo tanto se considera indispensable y urgente diseñar e implementar medidas de adaptación y reducción de este tipo de desastres en base de los estudios del PACC. Para el nivel concreto de la adaptación es recomendable profundizar ciertos aspectos de estos informes para tener una mejor base de decisión.



- Aguilar, E., Peterson, T. C., Ramírez Obando, P., Frutos, R., Retana, J. A., Solera, M., Soley, J., González García, I., Araujo, R. M., Rosa Santos, A., Valle, V. E., Brunet, M., Aguilar, L., Álvarez, L., Bautista, M., Castañón, C., Herrera, L., Ruano, E., Sinay, J. J., Sánchez, E., Hernández Oviedo, G. I., Obed, F., Salgado, J. E., Vázquez, J. L., Baca, M., Gutiérrez, M., Centella, C., Espinosa, J., Martínez, D., Olmedo, B., Ojeda Espinoza, C. E., Núñez, R., Haylock, M., Benavides, H. & Mayorga, R. (2005): Changes in precipitation and temperature extremes in Central America and northern South America, 1961-2003. *Journal of Geophysical Research*, 110,1-15.
- Aliaga, G. & Durand, M. (2008): Diagnóstico de la situación de salud en las comunidades alto andinas del departamento de Áncash-Perú. *Revista Peruana de Epidemiología*, 12 (1), 1-7.
- AMS (American Meteorological Society) (o. J.): Glossary of meteorology. <<http://amsglossary.allenpress.com/glossary>> (Último acceso: 12.01.2011).
- Baeza Gala, F. (1993): Las heladas y su incidencia económica en la agricultura de Murcia. *Papeles de Geographía*, 19, 37-51.
- Baker, P. T. (1969): Human adaptation to high altitude. Biocultural mechanisms of adaptation are explored in a population native to the high Andes. *Science*, 163 (3872), 1149-1156.
- Bambaren Alatriza, C. V. & Alatriza Gutiérrez, M. (2007): Estimación del impacto económico en el sector público de salud de las emergencias que podrían registrarse en un periodo de cinco años en el Perú. *Revista Medicina Heredina*, 18 (2), 85-91.
- Benavides Ferreyros, I., Beltran Bravo, R., Tapia Muñoz, S. M. & Sosa Valenzuela, A. (2007): ¿Cómo defendernos contra las heladas? ¿Imyanataq chirimanta amachakunsun? Ministerio de Agricultura Perú (MINAG) & Programa Nacional de Manejo de Cuencas Hidrográficas y Conservación de Suelos (PRONAMACHCS), Perú.
- Bretschler, D. (2009): Agricultura, seguridad alimentaria y cambio climático en los departamentos de Apurímac y Cusco. *Agroscope Reckenholz-Tänikon Research Station ART, Zürich*.
- Brunetti, M. T., Peruccacci, S., Rossi, M., Luciani, S., Valigi, D. & Guzzetti, F. (2010): Rainfall thresholds for the possible occurrence of landslides in Italy. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 10 (3), 447-458.
- Bulmer, M. H. & Farquhar, T. (2010): Design and installation of a prototype geohazard monitoring system near Machu Picchu, Perú. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 10 (9), 2031-2038.
- Burton, I., Kates, R. W. & White, G. F. (1978): *The environment as hazard*. Oxford University Press, New York, 240.
- Bustamante, J. G. (1998): Proyecto para el control de aluviones en el área de influencia directa al poblado de Aguas Calientes. PNUD – Programa Machu Picchu, Cusco, Perú.
- Carreño, R. & Kalafatovich, S. (2006): The Alcamayo and Cedrobamba catastrophic debris flow (January, March and April 2004) in Machu Picchu area – Peru. *Landslides*, 3 (1), 79-83.
- Carvalho, L. M. V., Jones, C. & Liebmann, B. (2002): Extreme precipitation events in southeastern South America and large-scale convective patterns in the South Atlantic Convergence Zone. *American Meteorological Society*, 15 (17), 2377-2394.
- Casaverde Río, M., Ráez Mendiola, E., Giraldo Limo, M., Jáuregui Laveriano, F. & Cabanillas Sagástegui, H.

- (2009): Doctrina de Defensa Civil. Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI), Lima, Perú, 28.
- Cepes (Centro peruano de estudios sociales) (2010): El friaje y la helada de cada día. *La Revista Agraria*, 121, 4-6.
- Chleborad, A. F. (2004): Preliminary evaluation of a precipitation threshold for anticipating the occurrence of landslides in the Seattle, Washington, area. *USGS science for a changing world. U.S. Geological Survey Open-File Report*, 3 (463).
- Cousot, P. & Meunier, M. (1996): Recognition, classification and mechanical description of debris flows. *Earth-Science Reviews*, 40 (3-4), 209-227.
- Crozier, M. J. & Glade, T. (1999): Frequency and magnitude of landsliding: Fundamental research issues. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 115, 141-155.
- Cruden, D. M. & Varnes, D. J. (1996): Landslide types and processes. In: Turner, A. K. & Schuster, R. L. (Hrsg.): *Landslides investigation and mitigation. Special Report 247. Transportation Research Board. National Research Council. National Academy Press, Washington D.C.*, 36-75.
- Cruden, D. M. (1991): A simple definition of a landslide. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, 43 (1), 27-29.
- DesInventar (Disaster Inventory System) (2010): DesInventar online. Inventory system of the effects of disasters. <<http://online.desinventar.org>> (Último acceso: 08.11.2010).
- DesInventar (Disaster Inventory System) (2009): Methodological guide, version 8.1.9. <<http://www.desinventar.org/en/methodology>> (Último acceso: 07.01.2011).
- Dracup, J. A., Seong Lee, K. & Paulson, E. G. (1980): On the definition of droughts. *Water resources research*, 16 (2), 297-302.
- El Nuevo Diario (2010): Deslaves dejan 28 muertos en Perú. (Zugriff: 13.12.2010). <<http://www.elnuevodiario.com.ni/internacionales/71484>>
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) (2010): Crop water information. <[www.fao.org/nr/water/cropinfo.html](http://www.fao.org/nr/water/cropinfo.html)> (Último acceso: 10.12.2010).
- Farfán, A. (1998): Comparativo ecofisiológico preliminar de oca, ulluco y ñuño en diferentes altitudes de la C.C. Pícol, Taray, Calca. Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Perú, 172.
- Farr, T. G., Rosen, P. A., Caro, E., Crippen, R., Duren, R., Hensley, S., Kobrick, M., Paller, M., Rodriguez, E., Roth, L., Seal, D., Shaffer, S., Shimada, J., Umland, J., Werner, M., Oskin, M., Burbank, D. & Alsdorf, D. (2007): The Shuttle Radar Topography Mission. *Reviews of Geophysics*, 45, 1-33.
- Fashé Raymundo, O., Rojas Acuña, J., Eche Llenque, C. (o. J.): Estimación de la cantidad de lluvia utilizando imágenes digitales del satélite geostacionario GOES-8 sobre Perú en abril del 2002. <<http://www.selper.org/selper2002/selper/articulos/T156.pdf>> (Último acceso: 07.01.2011).
- Folland, C. K., Miller, C., Bader, D., Crowe, M., Jones, P., Plummer, N., Richman, M., Parker, D. E., Rogers, J. & Scholefield, P. (1999): Workshop on indices and indicators for climate extremes: Asheville, NC, USA, 3-6 June 1997 – Breakout Group C: Temperature indices for climate extremes. *Climate Change*, 42 (1), 31-43.
- Glade, T. & Crozier, M. J. (2005): The nature of landslide and hazard impact. In: Glade, T., Anderson, M. & Crozier, M. J. (Hrsg.) (2005): *Landslide hazard and risk. John Wiley & Sons Ltd, The Atrium, Southern Gate, Chichester*, 43-75.
- Hastenrath, S. (1976): Variations in low-latitude circulation and extreme climatic events in the tropical Americas. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 33 (2), 202-215.
- Haylock, M. R., Peterson, T. C., Alves, L. M., Ambrizzi, T., Anunciação, Y. M. T., Baez, J., Barros, V. R., Berlato, M. A., Bidegain, M., Coronel, G., Corradi, V., Garcia, V. J., Grimm, A. M.,

Karoly, D., Marengo, J. A., Marino, M. B., Moncunill, D. F., Nechet, D., Quintana, J., Rebello, E., Rusticucci, M., Santos, J. L., Trebejo, I. & Vincent, L. A. (2006): Trends in total and extreme South American rainfall in 1960-2000 and links with sea surface temperature. *Journal of Climate*, 19 (8), 1490-1512.

Hijmans, R. J., Condori, B., Carrillo, R. & Kropff, M. J. (2003): A quantitative and constraint-specific method to assess the potential impact of new agricultural technology: The case of frost resistant potato for the Altiplano (Peru and Bolivia). *Agricultural Systems*, 76 (3), 895-911.

Huamani Cayhualla, J. C. (2005): Atlas de heladas. Convenio de cooperación técnica interinstitucional SENAMHI-MINAG información agroclimática oportuna. Ministerio de Agricultura (MINAG) & Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología, Lima, Perú, 141.

Huffman, G.J., Adler, R.F., Bolvin, D.T., Gu, G., Nelkin, E.J., Bowman, K.P., Hong, Y., Stocker, E.F. and Wolff, D.B. (2007): The TRMM Multi-satellite Precipitation Analysis (TMPA): Quasi-global, multiyear, combined sensor precipitation estimates at fine scales, *Journal of Hydrometeorology*, 8(1), 38-55.

Huggel, C., Khabarov, N., Obersteiner, M. and Ramírez, J.M. (2010): Implementation and integrated numerical modeling of a landslide early warning system: a pilot study in Colombia. *Natural Hazards*, 52, 501-518.

INDECI (Instituto Nacional de Defensa Civil) (2003): Terminología empleada en la prevención y atención de desastres – Glosario básico de términos. In: Mussio Pinto, A. (Hg.) (2003): Atlas de peligros naturales del Perú. Instituto Nacional de Defensa Civil, Lima, Perú.

INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informática) (2010): ¿Quiénes somos? <http://www.inei.gob.pe/>. (Último acceso: 14.12.2010).

INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informática) (2007): Instituto Nacional de Estadística; Dirección nacional de cuentas nacionales, Lima, Perú.

INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informática) (1994): III Censo nacional agropecuario, 1994, Lima, Perú. <<http://www.inei.gob.pe/>> (Zugriff: 10.01.2011).

Innes, J. L. (1983): Debris flows. *Progress in Physical Geography*, 7 (4), 469-501. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2007): Climate change 2007: Impacts, adaptation and vulnerability. In: Parry, M. L., Canziani, O. F., Palutikof, J. P., van der Linden, P. J. & Hanson, C. E. (Hrsg.) (2007): Contribution of Working Group II to the 4th. assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 976.

Jakob, M. & Lambert, S. (2009): Climate change effects on landslides along the southwest coast of British Columbia. *Geomorphology*, 107 (3-4), 275-284.

Jakob, M. (2005): A size of classification for debris flows. *Engineering Geology*, 79 (3-4), 151-161.

Johnson, A. M. & Rodine, J. R. (1984): Debris flow. In: Brunsden, D. & Prior, D. B., (Hrsg.) (1984): Slope instability. John Wiley & Son Ltd, Chichester, New York, Brisbane, Toronto, Singapore, 257-361.

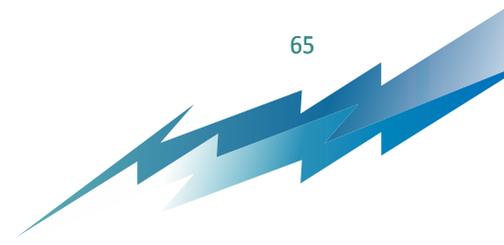
Johnson, A. M. (1970): Physical processes in geology. Freeman, Cooper & Company, San Francisco, 577.

Kalma, J. D., Laughlin, G. P., Caprio, J. M. & Hamer, P. J. C. (1992): The bioclimatology of frost: Its occurrence, impact and protection. *Advances in bioclimatology*, 2. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, 144.

Larsen, M. C. & Simon, A. (1993): A rainfall intensity-duration threshold for landslides in a humid-tropical environment, Puerto Rico. *Geografiska Annaler. Series A, Physical Geography*, 75 (1-2), 13-23.

Lavado Casimiro, W. S., Silvestre, E. & Pulache, W. (2010): Tendencias en los extremos de lluvias cerca a la ciudad del Cusco y su relación con las inundaciones de Enero del 2010. Extreme rainfall trends around Cusco and its relationship with the floods in January 2010. SENAMHI, Lima, Perú.

Levitt, J. (1980): Responses of plants to environmental stresses. Academic Press, New York, 497. Liebmann,



- B., Kiladis, G. N., Vera, C. S., Celeste Saulo, A. & Carvalho, L. M. V. (2004): Subseasonal variations of rainfall in South America in the vicinity of the low-level jet east of the Andes and comparison to those in the South Atlantic Convergence Zone. *Journal of Climate*, 17 (19), 3829-3842.
- Lovón Zavala, G. (1985): El Sur Andino Peruano y la coyuntura de sequía: 1982-1983. Buenos Aires, Argentina.
- Luque Pinto, R. C. & Alva Hurtado, J. E. (1999): Estimación y evaluación de flujo de escombros. In: XII Congreso Nacional de Ingeniería Civil, Huánuco, Perú.
- Marengo Orsini, J. (1987): Impacto de la sequía de los años 1982-1983 en la agricultura del Altiplano Peruano. Estudios agroclimatológicos. In: Memorias del 1er simposium nacional de prevención y mitigación de desastres naturales. 1.-3. Junio, 1987, Perú.
- Meteodat GmbH (2009): Newsletter 1/09. Proyecto de Adaptación al Cambio Climático (PACC), Zürich. <[http://www.meteodat.ch/pdf/1\\_2009.pdf](http://www.meteodat.ch/pdf/1_2009.pdf)> (Último acceso: 10.12.2010).
- MINAG (Ministerio de Agricultura Perú) (2010): Calendario agrícola. <<http://www.minag.gob.pe/agricola/calendario-agricola.html>> (Último acceso: 10.12.2010).
- Minetti, J. L., Vargas, W. M., Poblete, A. G., Acuña, L. R. & Casagrande, G. (2003): Non-linear trends and low frequency oscillations in annual precipitation over Argentina and Chile. *Atmósfera*, 16 (2), 119-135.
- Minetti, J. L. & Vargas, W. (1998): Trends and jumps in the annual precipitation in South America, south of the 15 degrees South. *Atmósfera*, 11 (4), 205-221.
- MINSA (Ministerio de Salud del Perú) (2010): Abrígalo con amor. ¡Evita la neumonía! <<http://www.minsa.gob.pe/portada/ESPECIALES/2010/iras/preguntas.asp>> (Último acceso: 03.12. 2010).
- Monterubbianesi, M. G. & Cendoya, M. G. (2001): Caracterización del régimen de heladas meteorológicas y agrometeorológicas en Balcarce (Argentina) en el período 1970-1999. *Revista Facultad de Agronomía*, 21 (1), 69-78.
- NDMC (National Drought Mitigation Center) (2006): What is drought? <<http://www.drought.unl.edu/whatis/Indices.pdf>> (Último acceso: 01.11.2010).
- Nemcok, A., Pašek, J. & Rybár, J. (1972): Classification of landslides and other mass movements. *Rock Mechanics*, 4 (2), 71-78.
- Nicholls, N. & Murray, W. (1999): Workshop on indices and indicators for climate extremes: Asheville, NC, USA, 3-6 June 1997 – Breakout Group B: Precipitation. *Climate Change*, 42 (1), 23-29.
- Nicholls, N., Gruza, G. V., Jouzel, J., Karl, T. R., Ogallo, L. A. & Parker, D. E. (1996): Observed climate variability and change. Cambridge University Press, New York NY (USA), 133-192.
- Ogallo L. A. (1999): Drought monitoring and prediction for disaster preparedness. Department of meteorology, University of Nairobi. In: WMO (World Meteorological Organisation) & UNESCO (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organisation) (1999): Proceedings of the WMO/ UNESCO sub-forum on science and technology in support of natural disaster reduction. 6.-8. Juli, 1999, Genf, 43-53.
- Palmer, W. C. (1965): Meteorological drought. Research paper, 45. U.S. Department of Commerce Weather Bureau, Washington D.C.
- Pasuto, A. & Silvano, S. (1998): Rainfall as a trigger of shallow mass movements. A case study in the Dolomites, Italy. *Environmental Geology*, 35 (2-3), 184-189.
- Pierson, T. C. & Scott, K. M. (1985): Downstreaming dilution of a lahar: Transition from debris flow to hyperconcentrated streamflow. *Water Resources Research*, 21 (10), 1511-1524.
- Rohrer, M., Acuña, D., Calanca, P., Huggel, C., Konzelmann, T., Salzmann, N., Schwarb, M. & Silvestre, E. (2010): Dependence of wet season precipitation in the Central Andes on Pacific-SST anomaly patterns, tropospheric

temperature, pressure and humidity fields: Poster presented during the American Geophysical Union Meeting of the Americas. 8.-12. August, 2010, Foz de Iguassu, Brasil.

Ruiz, E. T. (1995): *Prácticas de agrometeorología*. Trillas, México, 154.

Russel, C. S., Arey, D. G. & Kates, R. W. (1970): Drought and water supply. Implications of the Massachusetts experience for municipal planning. The Johns Hopkins University Press, Baltimore, London, 232.

Salzmann, N., Huggel, C., Calanca, P., Díaz, A., Jonas, T., Jurt, C., Konzelmann, T., Lagos, P., Rohrer, M., Silverio, W. & Zappa, M. (2009): Integrated assessment and adaptation to climate change impacts in the Peruvian Andes. *Advances in Geosciences*, 22, 35-39.

Scheel, M. L. M., Rohrer, M., Huggel, C., Santos Villar, D., Silvestre, E. & Huffman, G. J. (2010): Evaluation of TRMM Multi-satellite Precipitation Analysis (TMPA) performance in the Central Andes region and its dependency on spatial and temporal resolution. *Hydrology and Earth System Sciences Discussion*, 7 (5), 8545-8586.

Schwarb, M., Acuña, D., Konzelmann, T., Rohrer, M., Salzmann, N., Serpa Lopez, B. & Silvestre, E. (2011): A data portal for regional climatic trend analysis in a Peruvian High Andes region. *Advances in Science and Research*, submitted.

Seiz, G. & Foppa, N. (2007): *Phänologie*. Nationales Klima-Beobachtungssystem (GCOS Schweiz). Publikation des Bundesamtes für Meteorologie und Klimatologie, MeteoSchweiz und ProClim, 92.

SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología) (2007): Escenarios de cambio climático en la cuenca del río Urubamba para el año 2100. SENAMHI, Lima, Perú.

SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología) (o. J.): Quiénes somos. <<http://www.senamhi.gob.pe/?p=1101>> (Último acceso: 08.11.2010).

Sheko, A. I. (1988): Mudflows. In: Kozlovskij, E. A. (Hg.): *Landslides and mudflows*. UNESCO, UNEP, Moscow, Russia, 54-74.

Smith, J. A., Baeck, M. L., Steiner, M. & Miller, A. J. (1996): Catastrophic rainfall from an upslope thunderstorm in the central Appalachians: The Rapidan Storm of June 27, 1995. *Water Resources Research*, 32 (10), 3099-3113.

SNU (Sistema de Naciones Unidas) (2009): Perú – Emergencias por bajas temperaturas, reporte de situación Nr. 1. Lima, Perú.

Snyder, R. L. & Melo-Abreu, J. P. (2005): Frost protection: fundamentals, practice and economics, 1. In: FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) (2005): *Environment and natural resources series. Geo-spatial and information environmental management [assessment and monitoring] global environmental change*, 10. FAO, Rome, Italy.

Takahashi, T. (1981): Debris Flow. *Annual Review of Fluid Mechanics*, 13, 57-77.

UNCCD (United Nations Convention to Combat Desertification) (1994): General assembly. Elaboration of an international convention to combat desertification in countries experiencing serious drought and/or desertification, particularly in Africa. UNCCD, Paris, France.

Urrutia, R. & Vuille, M. (2009): Climate change projections for the tropical Andes using a regional climate model: Temperature and precipitation simulations for the end of the 21st century. *Journal of Geophysical Research*, 114, 1-15.

Valiente, O. M. (2001): Sequía: Definiciones, tipologías y métodos de cuantificación. *Investigaciones Geográficas*, 26, 59-80.

Varnes, D. J. (1978): Slope movement types and processes. In: Schuster, R. L. & Krizek, R. J. (Hrsg.) (1978): *Landslides: Analysis and control*. Special Report, 176. Transportation Research Board. National Academy of

Sciences, Washington D.C., 11-33.

Vilímek, V., Klimeš, J., Vlcko, J. & Carreño, R. (2006): Catastrophic debris flows near Machu Picchu village (Aguas Calientes), Perú. *Environmental Geology*, 50 (7), 1041-1052.

Wilhite, D. A. & Glantz, M. H. (1985): Understanding the drought phenomenon: the role of definitions. *Water International*, 10 (3), 111-120.

Young, K. R. & León, B. (2010): Natural hazards in Perú: Causation and vulnerability. In: Latrubesse, E. M. (Hg.) (2010): *Natural hazards and human-exacerbated disasters in Latin America. Special volumes of geomorphology. Developments in Earth Surface Processes*, 13. Elsevier, Amsterdam, Oxford, 165-180.

#### 8.1 Reportaje periodístico El Diario del Cusco

(19.01.2010): Lluvias provocan emergencias diversas en la Ciudad Imperial. Varias viviendas están en grave riesgo. SENAMHI pronostica intensas lluvias hasta el jueves.

(24.01.2010a): Comunidad de Ocobamba Norte sufre inundaciones de viviendas y zonas agrícolas. Checacupe solicita apoyo.

(24.01.2010b): SOS Defensa Civil ¿existe? Autoridades políticas no asumen su rol fundamental para con la sociedad.

(25.01.2010a): Hoy se declara estado de emergencia regional. Se reúne el consejo regional.

(25.01.2010b): Lluvias provocan graves daños en toda la región. Desde Canchis hasta la Convención Todas las provincias de Cusco están afectadas.

(27.01.2010): Ayuda efectiva para cientos de damnificados en Valle Sur. Población aún no esta atendida por el Estado.

(28.01.2010): Ayuda empieza a llegar a damnificados por lluvias. Tras exigencia formulada ayer por El Diario. Se requiere movilización total para atender a diversas poblaciones.

(29.01.2010a): Decenas de viviendas destruidas al deslizarse cerro Ronco en Zurite. Extraño fenómeno formó gigantesca masa de lodo y piedras. Huayco causó daños inclusive en local municipalidad y templo principal.

(29.01.2010b): Ayer fueron evacuados 1402 turistas de Aguas Calientes. Buen clima permitió labor intensa. A la fecha suman 2480 los evacuados desde inicio de emergencia.

(29.01.2010c): Machu Picchu estará cerrado por lo menos siete semanas. Cusco se queda sin principal actividad económica. Las Lluvias continúan en forma intensa el plazo será mayor.

#### El Comercio

(04.05.2010): Editorial: El Comercio cumple 171 años sirviendo al lector.

(17.03.1983): Daños incalculables en agricultura como en vías están causando al país las lluvias torrenciales.

(20.02.1983): Se pierde el 75% de cultivos de maíz y frijol en Apurímac

