



---

## 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

WALDO SVEN LAVADO CASIMIRO<sup>1,\*</sup>, ELIZABETH SILVESTRE<sup>1</sup> & WILMER PULACHE<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología, SENAMHI, Casilla 1308, Lima 11, Perú.

\*[wlavado@senamhi.gob.pe](mailto:wlavado@senamhi.gob.pe)

---

#### RESUMEN

Las lluvias que se han producido en Cusco a comienzo del año 2010 han dejado pérdidas de más de 700 millones de soles. En este estudio se analizaron las series de datos diarios de lluvias de cinco estaciones meteorológicas localizadas cerca a la ciudad del Cusco (Granja Kcayra, Acomayo, Pisac, Urubamba y Sicuani), del período 1964-2009. El objetivo fue evaluar los índices extremos de precipitación para analizar la variabilidad climática, para lo cual se evaluó tres índices de frecuencia: días al año con lluvias mayor de 10 mm (R10), días al año con lluvias mayor de 20 mm (R20), días máximos consecutivos de días con lluvia mayor a 1 mm (CDW) y tres índices de intensidad: Percentil al 95% de datos diarios por año (R95), Percentil al 99% de datos diarios por año (R99) y datos diarios máximos por año (RX1). Los resultados obtenidos muestran que la estación con más (menos) frecuencia e intensidad de lluvias diarias es la estación de Acomayo (Urubamba). La relación de estos índices de extremos con los recientes eventos extremos ocurridos en la región Cusco (enero y febrero del 2010), muestra que las intensidades de precipitación diaria no han alcanzado sus máximos históricos de precipitación durante el periodo 1964-2009, pero el resultado más importante es el cambio en la frecuencia de lluvia (CWD) en la estación Urubamba pasando de 14 días como máximo durante 1964-2009 a 24 días el año 2010.

**Palabras claves:** Cusco inundaciones 2010; extremos de lluvias; tendencias; Andes; Perú.

#### ABSTRACT

Rainfalls that occurred in Cusco at the beginning of 2010 have caused losses of over 700 million soles. In this study, rainfall daily data series from five meteorological stations located near the city of Cusco, are analyzed (Granja Kcayra, Acomayo, Pisac, Urubamba and Sicuani) for the period 1964-2009. The objective was to evaluate the extreme precipitation indices to analyze climate variability, for which reason, three levels of frequency were evaluated: rainy days per year with a rainfall greater than 10 mm (R10), rainy days per year with a rainfall greater than 20 mm (R20), maximum consecutive rainy days with rainfall greater than 1 mm (CDW) and three levels of intensity: 95% percentile of daily data per year (R95), 99% percentile of daily data per year (R99) and maximum daily data per year (RX1). The results showed that the station with more (less) frequency and intensity of daily rainfall is Acomayo station (Urubamba). The relationship of these extreme indices with the recent extreme events occurred in Cusco (January and February 2010), showed that daily precipitation rates have not reached its historical maximum value during the period 1964-2009, but the most important result was the change in the frequency of rainfall (CWD) in the Urubamba station, it went from a maximum of 14 days during 1964-2009 to 24 days in 2010.

**Keywords:** Floods in Cusco 2010, extreme rainfall, trends, Andes, Peru.

## INTRODUCCIÓN

El Cusco está localizado en la parte suroriental de los Andes peruanos (Ver Fig. 2). Según el Centro Guamán Poma de Ayala (2005), las lluvias en la cuenca del río Vilcanota (donde está localizado nuestro análisis) presentan estrecha relación con la altitud (a más altitud más lluvia). Asimismo, los regímenes de lluvia en esta región tienen una característica Sur tropical con una larga estación seca de mayo a septiembre y con un ciclo anual comenzando en agosto y un período lluvioso de diciembre a marzo (Espinoza et al., 2009). También, la variabilidad multianual de la precipitación está relacionada directamente al gradiente del Océano Atlántico (Norte menos Sur) e inversamente con el Índice de oscilación del sur (IOS) del Océano Pacífico (Lavado, 2010). Es decir generalmente (no exhaustivo), durante los eventos El Niño (La Niña) se observan sequías (fuertes lluvias) en esta región.

“Cambio climático se refiere al estado del clima que puede ser identificado por cambios en su variabilidad y que persiste por un extenso periodo (por decenios o más). Puede deberse a procesos naturales internos o a un forzamiento externo. Algunas influencias externas, tales como los cambios en la radiación solar y el vulcanismo, ocurren naturalmente y contribuyen a la variabilidad natural total del sistema climático. Otros cambios externos, tales como el cambio en la composición de la atmósfera que comenzó con la revolución industrial, son resultado de la actividad humana”. (IPCC, 2007).

Los Andes tropicales son declarados como una de las regiones más vulnerables al cambio climático global (IPCC, 2007), y los países andinos están enfrentando desafíos importantes en la adaptación a la variabilidad climática (Bradley et al., 2006). Se espera que los efectos nocivos del cambio climático afecten particularmente a poblaciones de menos recursos económicos debido a su alta vulnerabilidad y baja capacidad adaptativa. Además, los impactos del cambio de clima son múltiples y multidimensionales, y así, resulta complejo desarrollar la ejecución de medidas adecuadas para la adaptación (Salzmann et al., 2009).

Los cambios en la cantidad y la disponibilidad temporal del agua, por ejemplo, relacionada con el retroceso-desaparición de glaciares, sequías o precipitaciones intensas, tienen impactos potencialmente negativos en el abastecimiento de agua dulce, agricultura y producción de energía (Barnett et al., 2005; Vergara et al., 2007). Además, pueden dar lugar a desastres naturales como las inundaciones o huaicos. Es así que según el diario El Comercio de su edición del 08 de febrero del 2010 “las lluvias en el Cusco a inicios del año 2010 han dejado pérdidas por 739 millones de soles (~ 254 millones U.S. \$). Unas 5000 viviendas quedaron destruidas y se han perdido 16 281 hectáreas de cultivo. La vía férrea que conduce hacia Machu Picchu (principal atractivo turístico del Perú) fue dañada en un tramo de 6.15 km. En total 21 puentes carrozables quedaron inutilizables y otros 30 quedaron afectados. El desborde del río Vilcanota y sus afluentes en el Cusco y los daños registrados en distintas vías de acceso hacia la ciudadela de Machu Picchu—traducidos en más de 700 millones de soles en pérdidas—obligaron a que el principal atractivo turístico permanezca cerrado por varias semanas”. El río Vilcanota en la estación hidrométrica de Pisac experimentó un caudal máximo de 320 m<sup>3</sup>/s, el 25 de enero de 2010 (Ver Fig. 1), que como consecuencia de esta crecida la estación hidrológica automática y convencional Pisac fueron arrastradas.

La variabilidad del clima se refiere a variaciones en las condiciones climáticas medias y otras estadísticas del clima (como las desviaciones típicas, los fenómenos extremos, etc.), que pueden suceder en cualquier momento y en cualquier lugar del planeta. La variabilidad puede deberse a procesos naturales internos que ocurren dentro del sistema climático (variabilidad interna), o a variaciones en el forzamiento externo natural o antropógeno (variabilidad externa), mientras que el cambio climático es atribuible a la influencia de actividades humanas y con respuestas a largo plazo (años).

Por los eventos mencionados anteriormente para tratar de entender si los eventos del 2010 son consecuencia del cambio o la variabilidad climática, el presente artículo tiene

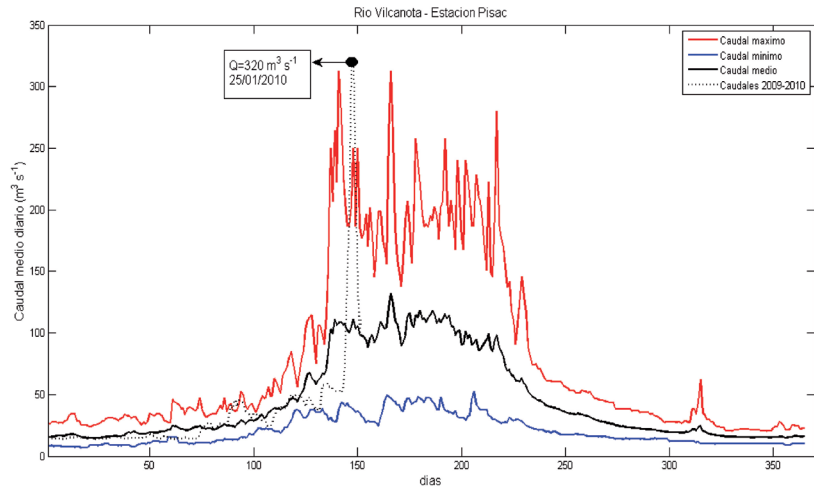


Fig. 1. Comportamiento de los caudales del río Vilcanota. Estación Pisac.

como objetivo identificar algunos patrones de cambios en los extremos de lluvias, para lo cual se han evaluado las intensidades y las frecuencias de las lluvias en estaciones localizadas en la región Cusco.

#### DATOS Y MÉTODOS

Para desarrollar el presente trabajo, se seleccionaron 5 estaciones meteorológicas de la red del SENAMHI ([www.senamhi.gob.pe](http://www.senamhi.gob.pe)) (Ver Tabla 1 y Fig. 2), por presentar series diarias largas de precipitación (1964-2009), requisito indispensable para el análisis de índices extremos climáticos. Estos datos diarios fueron evaluados utilizando un análisis visual y posterior validación con el uso de *boxplots* (diagrama de cajas) marcando como *outliers* los valores por encima de la media más 3 veces la desviación estándar de los valores diarios históricos por considerarlo sospechosos, fueron removidos menos del 0.5% del total de datos para cada estación.

Tabla 1. Relación de estaciones utilizadas

N°	Estación	Longitud	Latitud	Altitud (msnm)
1	Granja Kcayra	71°52'14"	13°36'30"	3219
2	Acomayo	71°41'1"	13°55'1"	3160
3	Pisac	71°50'29"	13°25'40"	2971
4	Urubamba	72°7'26"	13°18'38"	2863
5	Sicuani	71°14'14"	14°15'13"	3574

El análisis de los índices extremos de precipitación fueron determinados por el Programa Mundial de Investigación Climática en Variabilidad Climática y el Grupo de trabajo de Predicción y Detección del Cambio Climático (Peterson et al., 2002; Peterson, 2005; Haylock et al., 2006).

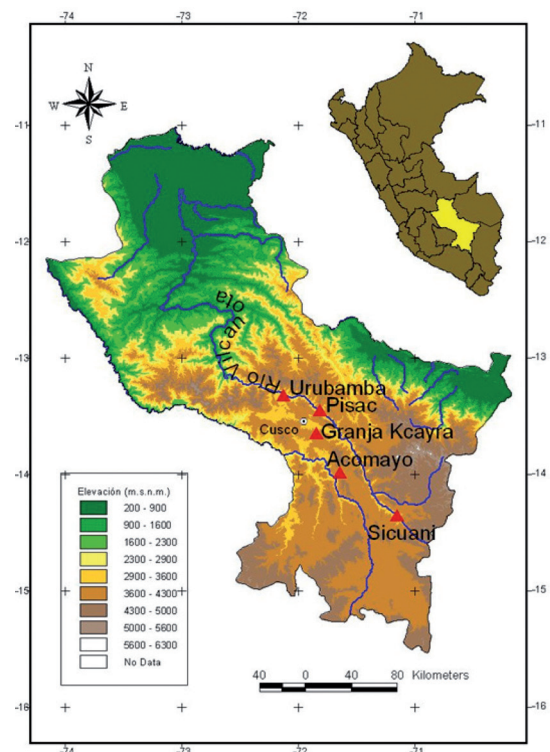


Fig. 2. Ubicación espacial de las estaciones utilizadas y el relieve de la región Cusco. Mapa de elevación sacado del SRTM (resolución de 90 m, [www2.jpl.nasa.gov/srtm/](http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/))

**Tabla 2.** Índices Climáticos utilizados. ID: Índices; PRCP: lluvias.

ID	Nombre del Indicador	Definición	UNIDAD
R10	(Número de días con precipitación intensa)	Número de días en un año en que PRCP>=10mm	Días
R20	(Número de días con precipitación muy intensa)	Número de días en un año en que PRCP>=20mm	Días
CWD	(Días húmedos consecutivos)	Número máximo de días consecutivos con PRCP>=1mm en un año	Días
R95	(Días muy húmedos)	Precipitación anual al 95% percentil	mm
R99	(Días extremadamente húmedos)	Precipitación anual al 99% percentil	mm
RX1	(Cantidad Máxima de precipitación en un día)	Máximo anual de precipitación en 1 día	mm

Algunos de estos índices (Tabla 2) han sido previamente utilizados en el análisis de tendencias en regiones globales y regionales (Bardossy & Hundedcha, 2003; Alexander et al., 2006 y otros). Estos índices extremos fueron calculados para los valores anuales (1964-2009) de cada una de las estaciones seleccionadas. El análisis de los extremos se basa sobre todo en analizar los períodos húmedos, así se utilizaron tres índices para las frecuencias (R10, R20 y CWD) y tres para las intensidades (R95, R99 y RX1) (Ver Tabla 2).

Adicionalmente, se calcularon las tendencias de cada uno de estos valores estimados para una significancia de 95% (Wilks, 1995; Onoz & Bayazit, 2003; Yan, 2008). Dado que existe la posibilidad de encontrar *outliers* en los índices climáticos obtenidos, el método no paramétrico de Mann-Kendall (Mann, 1945 y Kendall, 1975) es bastante utilizado para estos casos, debido a que sus estadísticas están basadas en el signo de las diferencias y no directamente en los valores. La hipótesis de no correlación (independencia) es calculada con el coeficiente de rangos  $\tau_a$  o  $\tau_b$  ( $\tau_b$  cuando existen empates) en las bases de sumas de Kendall S. Cada par  $(x_i, y_i)$  es comparado con cada otro par  $(x_j, y_j)$  ( $i, j=1, 2, \dots, n$ ). La suma de Kendall es calculada como

$S = P - M$ , donde P es el número de casos donde  $y_i > y_j$  ( $i > j$ ), y M es el número de casos donde  $y_i < y_j$  ( $i > j$ ). El estadístico  $\tau_a$  es estimado como:

$$\tau_a = \frac{S}{n(n-1)/2} \quad (1)$$

Si:  $n_x$  conjunto de empates en los x rangos y el  $i_{th}$  conjunto de  $t_i$  observaciones, ( $i = 1, 2, \dots, n_x$ ) y,  $n_y$  conjunto de empates en los y rangos y el  $i_{th}$  conjunto de las observaciones, ( $i = 1, 2, \dots, n_y$ ); el estadístico  $\tau_b$  es estimado como:

$$\tau_b = \frac{2S}{\sqrt{\{n(n-1) - \sum_{i=1}^{n_x} t_i(t_i-1)\} \{n(n-1) - \sum_{i=1}^{n_y} s_i(s_i-1)\}}} \quad (2)$$

Así como el coeficiente r,  $\tau_a$  y  $\tau_b$  puede tomar valores entre -1 y 1, donde el signo indica la pendiente de relación entre las variables, y el valor absoluto indica la fuerza de la correlación. Para períodos largos de n, el test utiliza el estadístico de normal aproximación:

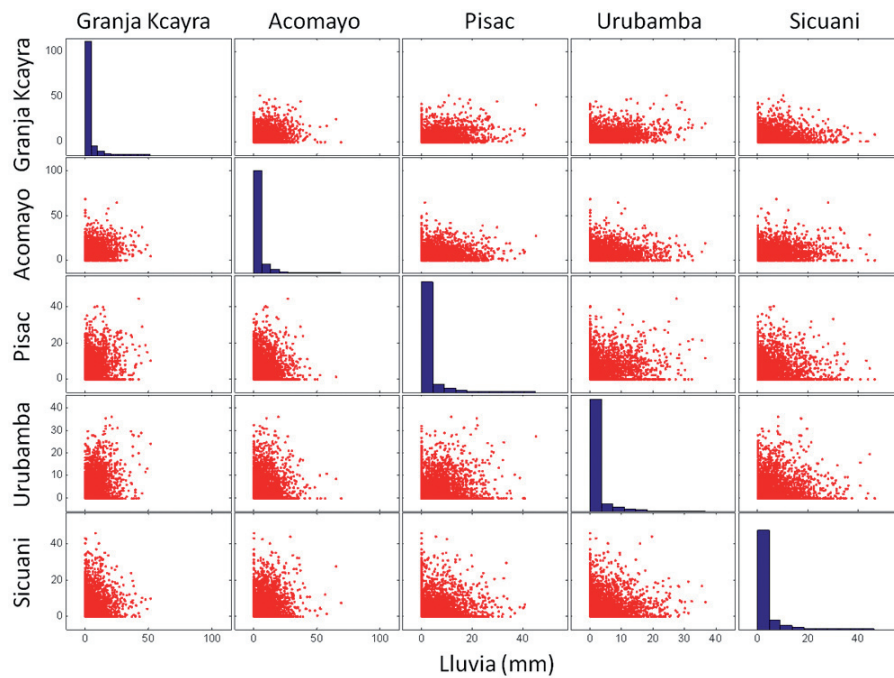
$$Z_c = \frac{S}{\sqrt{Var(S)}} \quad (3)$$

donde:

$$\begin{aligned} \text{var}[s] = & \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_x t_i(t_i-1)(2t_i+5) - \sum_y s_i(s_i-1)(2s_i+5)}{\sqrt{\{n(n-1) - \sum_{i=1}^{n_x} t_i(t_i-1)\}\{n(n-1) - \sum_{i=1}^{n_y} s_i(s_i-1)\}}} \\ & + \frac{[\sum_x t_i(t_i-1)(t_i-2)] \times [\sum_y s_i(s_i-1)(s_i-2)]}{9n(n-1)(n-2)} \\ & + \frac{[\sum_x t_i(t_i-1)] \times [\sum_y s_i(s_i-1)]}{2n(n-1)} \end{aligned} \tag{4}$$

La hipótesis nula es rechazada en un nivel de significancia  $\alpha$  si  $|Z_c| > Z_{(1-\alpha/2)}$ , donde  $Z_{(1-\alpha/2)}$  es el valor de la distribución normal estándar

con una probabilidad de excedencia de  $\alpha/2$ , y  $\alpha$  es el nivel de significancia del test ( $\alpha = 0.05$  para este estudio).



**Fig. 3.** Histogramas (diagonal) y diagramas de correlación uno a uno entre los valores de las estaciones analizadas (puntos rojos). El eje X y el eje Y representan las intensidades de las lluvias en milímetros.

## RESULTADOS

Los histogramas de los valores diarios versus la relación entre las 5 estaciones (presentados en la diagonal) son representados en la Fig. 3. Los histogramas muestran que la mayor cantidad de valores están comprendidos en el

intervalo de 0 a 5 mm, siendo sus rangos en promedio para las cinco estaciones entre 0 y 50 mm aproximadamente, en general los valores diarios entre las estaciones muestran una dispersión bastante grande, con una correlación no significativa entre ellos.

### Índices extremos de frecuencia

En esta sección se describen los resultados de los índices extremos de frecuencia de lluvias diarias (R10, R20 y CWD). En la Tabla 3 se muestra los estadísticos de estos extremos. En base a estos resultados se observa que la estación con más (menos) frecuencia de días lluviosos es la de Acomayo, 3160 msnm (Urubamba, 2863 msnm).

La estación de Pisac es la que presenta mayor variabilidad de valores extremos con un coeficiente de variación de hasta 1.5 para las series R20. En los valores máximos (Tabla 3) se observa que para los índices R10 y R20 es la estación de Pisac la que presenta mayores valores (56 y 27 respectivamente). En general se observan para estos índices mayores (menores) valores a bajas (altas) altitudes y a altas (bajas) latitudes.

**Tabla 3.** Valores estadísticos descriptivos de los índices de extremos de frecuencia analizados para los valores anuales (1964-2009). MED: valor promedio, DE: desviación estándar, CV: coeficiente de variación, MAX: valores máximos, MIN: valores mínimos.

Estación	FRECUENCIA														
	R10					R20					CWD				
	MED	DE	CV	MAX	MIN	MED	DE	CV	MAX	MIN	MED	DE	CV	MAX	MIN
Gja. Kcayra	19	6	0.3	31	6	4	2	0.5	8	0	9	4	0.4	24	5
Acomayo	28	7	0.3	39	14	6	3	0.6	14	0	12	5	0.4	30	5
Pisac	18	11	0.6	56	6	3	4	1.5	27	0	9	4	0.4	24	3
Urubamba	11	5	0.4	22	3	2	1	0.8	6	0	6	2	0.4	14	4
Sicuani	18	7	0.4	33	2	3	2	0.6	9	1	9	4	0.4	17	2

### Índices extremos de intensidad

En esta sección se describen los resultados encontrados en los índices extremos de intensidad de lluvias diarias (R95, R99 y R1X). La Tabla 4 muestra los estadísticos de estos extremos.

En base a estos resultados se observa que la estación con más (menos) intensidad de lluvia es la estación de Acomayo (Urubamba) resultado semejante a lo encontrado en los índices extremos de frecuencia.

**Tabla 4.** Valores estadísticos descriptivos de los índices de extremos de intensidad analizados para los valores anuales (1964-2009). MED: promedio, DE: desviación estándar, CV: coeficiente de variación, MAX: valores máximos y MIN: valores mínimos.

Estación	INTENSIDAD														
	R95					R99					R1X				
	MED	DE	CV	MAX	MIN	MED	DE	CV	MAX	MIN	MEDIA	DE	CV	MAX	MIN
Gja. Kcayra	10.5	1.7	0.2	14.5	7.1	20.3	3.3	0.2	31.3	13.1	32.7	7.9	0.2	51.6	19.3
Acomayo	13.3	3.5	0.3	30.4	6.0	23.6	6.5	0.3	54.6	12.0	34.4	10.9	0.3	69	17
Pisac	9.9	3.4	0.3	24.3	4.0	17.7	4.6	0.3	34.7	8.2	25.5	7.2	0.3	45	11
Urubamba	7.9	2.1	0.3	12.2	4.0	15.4	4.1	0.3	23.6	8.9	24.0	7.0	0.3	36.5	14.7
Sicuani	10.3	2.2	0.2	15.1	7.5	19.8	4.3	0.2	31.2	6.9	30.5	6.7	0.2	46.2	20.1

### Tendencias de precipitaciones extremas

La Tabla 5 muestra las tendencias de los índices de extremos de lluvia utilizados en este estudio. Las tendencias son evaluadas usando el test de Mann Kendall (95% de significancia). Además se utiliza la pendiente de la línea de regresión simple. Granja Kcayra, Urubamba y Sicuani presentan tendencias positivas para todos los índices de extremos analizados, pero

son solamente significativos los índices R20 y R99 para la estación Granja Kcayra (0.49 días/década y 0.88 mm/década respectivamente). Acomayo y Pisac presentan tendencias negativas para los índices R10 y R95 pero sin llegar a ser éstas significativas. La estación Acomayo presenta una tendencia decreciente significativa de  $-1.18$  días/década para el índice CWD.

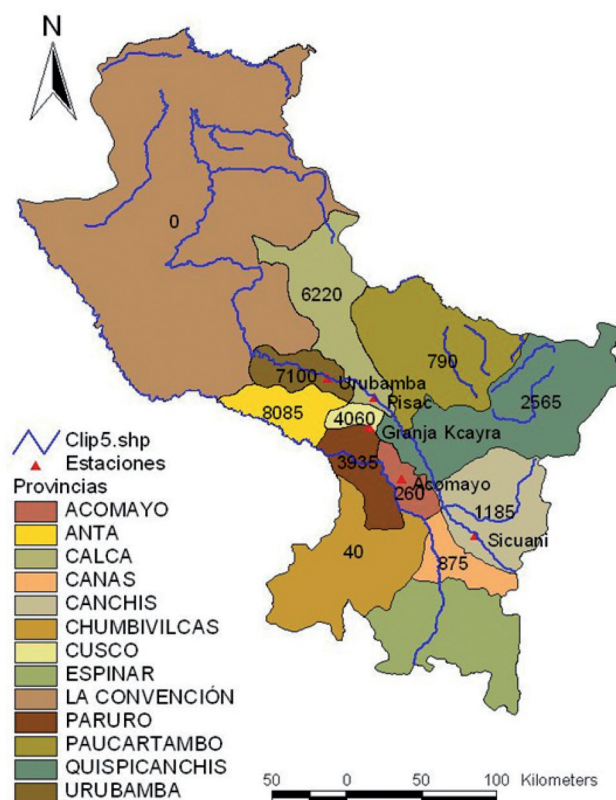
**Tabla 5.** Tendencias de los índices extremos de lluvia estimados en base a una regresión lineal simple, en azul las tendencias crecientes, en rojo las tendencias decrecientes. Los valores significativos al 95% de significancia están achurados de color gris.

Estación	Frecuencia			Intensidad		
	R10 días/década	R20 días/década	CWD días/década	R95 mm/década	R99 mm/década	RX1 mm/década
Gja. Kcayra	0.87	0.49	0.49	0.31	0.88	0.45
Acomayo	-0.61	0.25	-1.18	-0.05	0.49	0.61
Pisac	-1.66	-0.59	0.41	-0.59	0.05	0.74
Urubamba	0.71	0.08	0.31	0.25	0.49	0.07
Sicuani	0.37	0.01	0.27	0.21	0.43	0.27

### RELACIÓN DE LOS ÍNDICES DE EXTREMOS CON LAS INUNDACIONES EN EL CUSCO (ENERO/2010)

Según el Sistema Nacional de Defensa Civil (SINADECI), los daños y pérdidas perjudicaron principalmente las viviendas localizadas en la ribera de los ríos Vilcanota y del Huatanay, localizadas en las provincias de Quispicanchi, Calca, Urubamba. Así también, en otras provincias como en Anta y Cusco, las vivien-

das fueron destruidas y seriamente afectadas por activación de huaycos de quebradas y remojamiento por inundación de zonas de hononadas, sin drenaje. Las lluvias afectaron los cultivos y en algunos casos fueron arrasados por desbordes de los ríos y por los huaycos. Se ha perdido aproximadamente 2500 hectáreas, y cerca de 9400 hectáreas de cultivos dañados. La Fig. 4, muestra el total de personas damnificadas por provincia, así como la ubicación de las estaciones analizadas en la región Cusco.

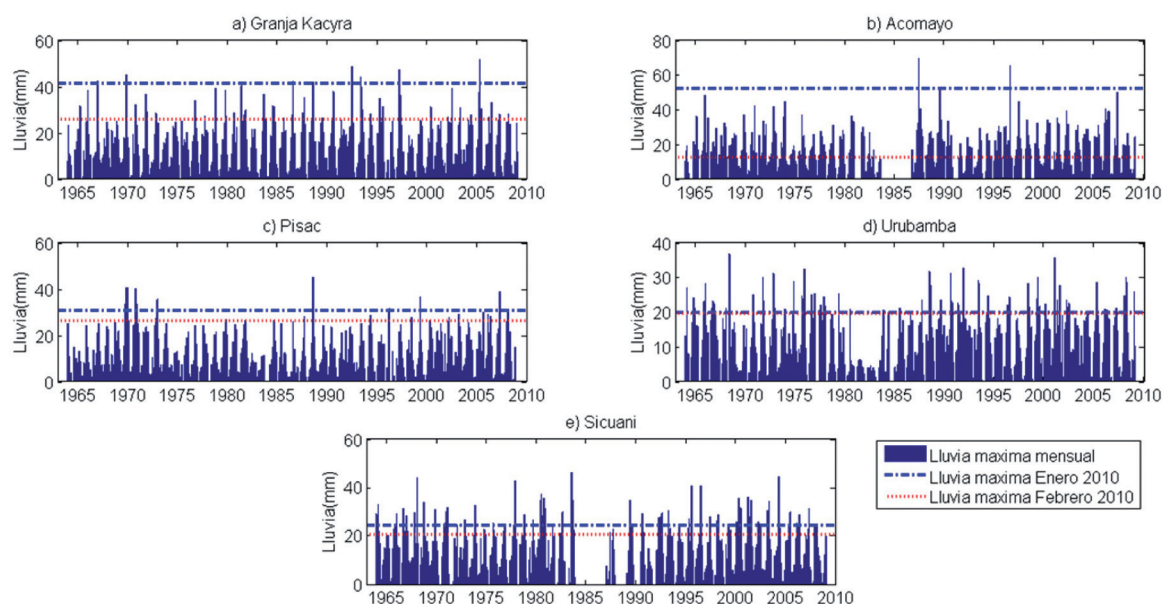


**Fig. 4.** Número de personas afectadas durante las inundaciones del 2010 en la región Cusco (números en negro) y en triángulo la ubicación de las estaciones analizadas. Fuente: Informe de Emergencia N° 083/01 febrero - Fenómenos Hidrometeorológicos en Cusco. SINADECI.

Los valores de las lluvias máximas diarias mensuales para el periodo (1964-2009) son graficados en la Fig. 5, donde también se muestran los valores máximos del mes de enero y febrero del 2010. En general, para las cinco estaciones, se observan que estos valores máximos están por debajo de otros valores máximos presentados en años anteriores, pero analizando la serie histórica observamos que estas intensidades de lluvias presentadas en Cusco en el verano del 2010 ya se han dado en años anteriores. Para este estudio sólo disponemos de dos meses de información (enero y febrero, 2010), por lo que no será posible estimar los parámetros de índices extremos de precipitación. Para relacionar estas lluvias del 2010 con estos índices se estimó los CWD para estos dos meses y se comparó con sus valores históricos. Estos

resultados se observan en la Tabla 5 donde CWD-H son los máximos días consecutivos de lluvia históricos y CWD-2010 son los máximos días consecutivos de lluvia presentados en los meses de enero y febrero del 2010.

En la Tabla 5, se observa que la estación Urubamba sobrepasó sus valores máximos históricos de 14 a 24 días de lluvia consecutivos, mientras que en las estaciones Granja Kcayra, Pisac, Urubamba y Sicuani presentaron valores cercanos a sus máximos históricos de CWD. Estos valores encontrados concuerdan con el total de personas damnificados en las provincias (Fig. 4), donde se observa que es en Acomayo donde se presentó el menor número de damnificados en la región Cusco.



**Fig. 5.** Histogramas de las lluvias máximas diarias mensuales en las cinco estaciones analizadas.

**Tabla 5.** Días húmedos consecutivos (CWD) máximos para los valores diarios de los años 1964-2009 (CWD-H) y para los meses de enero y febrero del 2010 (CWD-2010) en las estaciones de análisis. Cajas achuradas en gris son valores próximos o iguales a los máximos CWD históricos.

	Gja. Kcayra	Acomayo	Pisac	Urubamba	Sicuani
CWD-H	24	30	24	14	17
CWD-2010	23	6	20	24	16



## CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

En base al análisis de los índices extremos de lluvias se demuestra que las tendencias en extremos, en general, presentan tendencias crecientes para los índices utilizados, sobre todo para los índices de intensidad R99 y RX1. Además en esta región de pequeña superficie, estos índices difieren entre estaciones cercanas (ver resultados de Acomayo y Granja Kcayra). Por tanto, las condiciones de relieve y sinópticas en esta región tienen patrones diferentes, lo que podría originar estas variaciones. Por consiguiente, en futuros trabajos será necesario analizar los patrones de circulación sinópticos y cómo estos patrones se comportaron durante enero-febrero del 2010.

El análisis de los últimos eventos ocurridos en Cusco lleva a concluir que las intensidades presentadas en esta región ya se han dado anteriormente (considerando el período 1964-2009) y que solo el índice frecuencia de lluvias CWD ha presentado valores superiores a sus históricos en la estación Urubamba (lo cual coincide con la mayor cantidad de damnificados en esta provincia 7100) y valores de CWD bastantes cercanos a sus históricos en las estaciones Granja Kcayra, Pisac y Sicuani.

En la estación Urubamba se presentó un fenómeno histórico para el índice de días consecutivos de lluvias, CWD (valor histórico máximo de 14 entre 1964-2009 y de 24 en 2010). Un análisis más profundo sobre la circulación atmosférica y el clima regional será necesario para comprender las causas de dicho fenómeno, el cual podría ser una consecuencia más del cambio climático global.

### Agradecimientos

Dedicado a las víctimas de los eventos hidrológicos extremos ocurridos en Cusco en enero del 2010 y a M. Y. C. C. Agradecimiento especial a Jhan Carlo Espinoza por sus aportes para mejorar este artículo.

### BIBLIOGRAFÍA

**Alexander, L.V., X. Zhang, T.C. Peterson, J. Caesar, B. Gleason, A.M.G. Klein Tank, M. Haylock, D. Collins, B.**

**Trewin, F. Rahimzadeh, A. Tagipour, P. Ambenje, K. Rupa Kumar, J. Revadekar & G. Griffiths. (2006).** Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. *J. Geophys. Res.* 111 (D05109).

**Bardossy, A. & Hundecha, Y. (2003).** Trends of extreme precipitation and temperature associated climatic conditions in the German part of the Rhine basin from 1958–2001. *Contribution to STARDEX D9.*

**Barnett, T. P., Adam, J. C., & Lettenmaier, D. P. (2005).** Potential impacts of a warming climate on water availability in snow-dominated regions, *Nature*, 438, 303-309.

**Bradley, R. S., Vuille, M., Diaz, H. F., & Vergara, W. (2006).** Climate Change: Threats to Water Supplies in the Tropical Andes, *Science*, 312, 1755-1756.

**Centro Guamán Poma de Ayala (2005).** Amanecer en el Bajo Huatanay: Diagnóstico de recursos naturales del valle del Cusco. Primera edición. Con asesoría del Centro de Investigación en Geografía Aplicada (CIGA-PUCP). Lima: Centro Guamán Poma.

**Espinoza Villar, J.C., Ronchail, J., Guyot, J.L., Cochonneau, G., Naziano, F., Lavado, W., Oliveira, E.D., Pombosa, R. & Vauchel, P. (2009).** Spatio-temporal rainfall variability in the Amazon basin countries (Brazil, Peru, Bolivia, Colombia, and Ecuador). *International Journal of Climatology*, 29(11): 1574-1594.

**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 1960-2000 and links with sea surface temperature. *Journal of Climate*, 19: 1490-1512.

**IPCC (2007).** Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo de redacción

principal: Pachauri, R.K. y Reisinger, A. (directores de la publicación)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 104 págs.

**Kendall, M. (1975).** Rank Correlation Methods. Charles Griffin: London; 202 pp.

**Lavado, W. (2010).** Modélisation du bilan hydrique à pas de temps mensuel pour l'évaluation de l'impact du changement climatique dans le bassin Amazonien du Pérou. Ph. D. Thesis, Université Toulouse 3 Paul Sabatier, Toulouse France, 225 pp.

**Mann, H.B. (1945).** Non-parametric test against trend. *Econometrica*, 13: 245-259.

**Onoz, B. & Bayazit, M. (2003).** The power of statistical tests for trend detection. *Turkish J. Eng. Environ. Sci.* 27, 247-251.

**Peterson, T.C. (2005).** Climate change indices. *WMO Bull.* 54 (2), 83-86.

**Peterson, T. C., Taylor, M. A., Demeritte, R., Duncombe, D. L., Burton, S., Thompson, F., Porter, A., Mercedes, M., Villegas, E., Semexant Fils, R., Klein Tank, A., Martis, A., Warner, R., Joyette, A., Mills, W., Alexander, L. & Gleason, B. (2002).**

Recent changes in climate extremes in the Caribbean region. *J. Geophys. Res.* 107 (D214601).

**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, *Adv. Geosci.*, 22, 35-39.

**Vergara, W., Deeb, A. M. Valencia, A. M., Bradley, R. S., Francou, B., Zarzar, A., Grunwaldt, A. & Haeussling, S. M. (2007).** Economic Impacts of Rapid Glacier Retreat in the Andes, *EOS Transaction*, 88(25), 261-264.

**Wilks, D.S. (1995).** Statistical Methods in the Atmospheric Sciences. Academic Press. pp. 160-176.

**Yan, L., Shen, L., Shenglei, F., Jingshi, L., Guoqin, W. & Guoyi, Z. (2008).** Trends of precipitation in Beijiang River Basin, Guangdong Province, China. *Hydrological Processes*, 22, 2377-2386.