



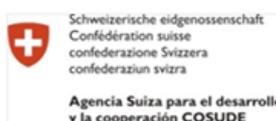
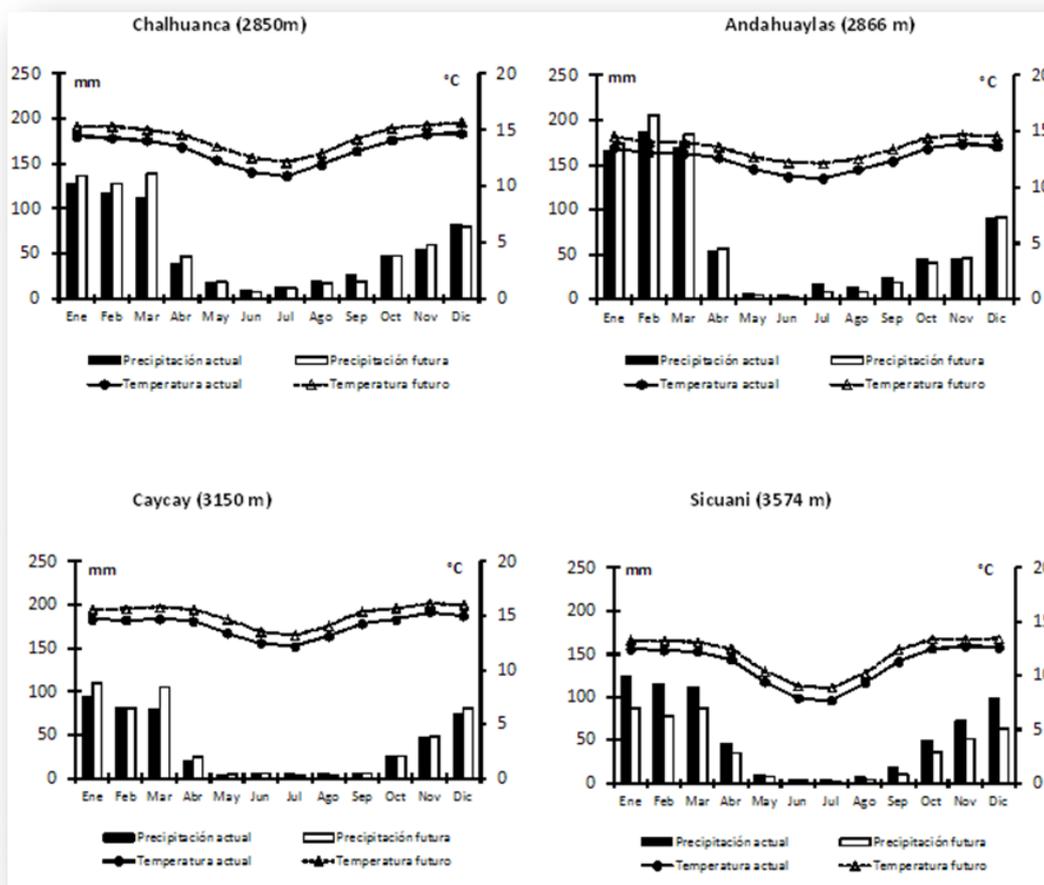
PERÚ

Ministerio del Ambiente

Viceministerio de Desarrollo Estratégico de los Recursos Naturales

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú - SENAMHI

# IMPACTO DEL CAMBIO CLIMATICO EN CULTIVOS ANUALES DE LAS REGIONES DE CUSCO Y APURÍMAC



Lima setiembre del 2011



## Programa de Adaptación al Cambio Climático- PACC

# “IMPACTO DEL CAMBIO CLIMATICO EN CULTIVOS ANUALES DE LAS REGIONES DE CUSCO Y APURÍMAC”

**PRESIDENTE EJECUTIVO DEL SENAMHI**

Wilar Gamarra Molina

**DIRECTORA CIENTÍFICA DEL SENAMHI**

Elizabeth Silvestre Espinoza

**DIRECTOR GENERAL DE AGROMETEOROLOGÍA**

Constantino Alarcón Velazco

**PROGRAMA DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO- PACC**

**“IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN CULTIVOS ANUALES DE LAS REGIONES DE CUSCO Y APURÍMAC”**

**RESPONSABLES DE LA COMPONENTE AGROMETEOROLÓGICA**

Ing. Constantino Alarcón Velazco

MSc. Irene Trebejo Varillas

**EQUIPO TÉCNICO-SENAMHI**

MgSc. Janeet Sanabria Quispe

Ing. Constantino Alarcón Velazco

MSc. Irene Trebejo Varillas

Ing. Glicerio Canchari Carrasco

# **IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN CULTIVOS ANUALES DE LAS REGIONES DE CUSCO Y APURÍMAC**

Sanabria, J; Alarcón C; Trebejo I; Canchairi G  
Dirección General de Agrometeorología

## **RESUMEN**

Los impactos del cambio climático hacia el 2030 sobre cultivos de seguridad alimentaria (papa, trigo, cebada, habas y maíz), de los departamentos de Cusco y Apurímac, fueron evaluados utilizando un modelo biofísico (modelo FAO modificado por Lhomme 2009) y datos climáticos de escenario futuro provenientes de la media de modelos climáticos el WRF 3.2 (Instituto de Meteorología Max Planck de Alemania) y TL959L60/MRI (Instituto de Investigación Meteorológica y Agencia Meteorológica del Japón), ambos de resolución de 20°x20°, y datos de características de los cultivos. Los impactos en los cultivos bajo el escenario del 2030, donde los cambios en el clima parecen no ser tan significativos (temperatura aumentaría hasta 1,3°C; y lluvias con variabilidad de  $\pm$  15%, excepto Sicuani -28%) indican que los rendimientos y el porcentaje de siembras pérdidas no cambiarían, excepto donde ocurrirían disminuciones considerables de lluvias, los déficits de rendimientos alcanzarían hasta en un 12 a 15%, y el porcentaje de siembras perdidas hasta en un 4 a 7%, respecto a los valores actuales; además ligeramente el ciclo de los cultivos se acortaría hasta en 13 días, y las cosechas se adelantarían en ese mismo tiempo de días.

## **1 INTRODUCCIÓN**

En los departamentos de Cusco y Apurímac, los niveles de pobreza aún continúan siendo altos en un 70,3% y 51,1% (INEI, 2010), a pesar de estar reduciéndose. Una de las principales actividades productivas que sostiene a sus economías es la agricultura con un aporte del 12,8% y 25,2% (BCRP, 2011a,b). La mayor parte de la población es rural en un 81% y 74%, respectivamente (INEI, 2009), y se dedica a esta actividad que es de baja rentabilidad, debido a una serie de factores, entre algunos el bajo rendimiento

y la productividad de los cultivos, que son dependientes principalmente del clima y el uso reducido del avance tecnológico.

En la situación actual, la agricultura es desarrollada bajo secano (subordinado al régimen de la lluvia) donde el grado de influencia del clima es mayor y determinante en el rendimiento. Intrínsecamente por las características climáticas que presenta esta zona, semifrío a frío, y de semiseco a lluvioso (SENAMHI, 1998), la agricultura potencialmente es desenvuelta ante condiciones de déficit de disponibilidad hídrica (SENAMHI, 2011) o estrés hídrico de ligero a moderado (Quevedo, K. et al 2007), además de estar sometida a exposiciones recurrentes de eventos climáticos como la sequía, helada, veranillo, etc., cuales son una de las razones de los bajos rendimientos de los cultivos con respecto a otras zonas del país.

Las tendencias climáticas observadas de los últimos 44 años indican que este clima está cambiando, más en Cusco que Apurímac, en la mayor parte están siendo menos frías (temperatura aumentó entre 0,03 a 0,4 °C), y más húmedas (lluvias aumentaron en Cusco entre 0,75 a 6,32 mm/año y en Apurímac entre 0,22 a 2,20 mm/año), asimismo están siendo más frecuentes los episodios lluviosos de corta duración, y la frecuencia e intensidad de las heladas están incrementándose en la zona sur y disminuyendo en el norte (SENAMHI, 2011), toda esta información es coherente con la literatura encontrada (Grossmann R, 2007; Andersen L et al., 2009; SENAMHI 2007, 2009). Proyecciones climáticas realizadas para el valle del Urubamba, utilizando modelos globales y regionales, señalan que los mayores cambios en el clima serían a final del siglo (aumentará tanto en la precipitación entre 10 a 24%, como en la temperatura, entre 2 a 5°C, más severos en la zona sobre los 3500 m), mientras en un periodo cercano al 2030 serían similares al clima actual. Esta amplitud esperada en los cambios de la variabilidad climática influirá en los rendimientos, por tanto la vulnerabilidad será mayor en el sector agrícola y la seguridad alimentaria.

En este contexto del cambio en el clima en Cusco y Apurímac se evaluó “El impacto del cambio climático sobre los cultivos de papa, maíz, trigo, cebada y habas” utilizando el modelo de simulación biofísica Lhomme JP et al., 2009, y los datos climáticos futuros proveniente del ensamble de un modelo

climático regional (WRF 3.2 - Weather Research and Forecast Instituto de Meteorología Max Planck de Alemania) y un modelo global de alta resolución (TL959L60/MRI/JMAI -Instituto de Investigación Meteorológica y Agencia Meteorológica del Japón), ambos de resolución de 20 km. Esta evaluación fue estructurada en tres partes: primero consistió en implementar una base de datos climáticos, de temperatura media del aire, precipitación y evapotranspiración referencial para los cinco lugares representativos de áreas productivas de las zonas de Cusco y Apurímac; segundo fue implementar una base de datos fenológicos referente a los cultivos de estudio; y la tercera fase fue implementar el modelo Lhomme ( *Lhomme et al., 2009*), y analizar los resultados obtenidos de siembras falladas, longitud del ciclo del cultivo, y los cambios en el rendimiento por el impacto del déficit hídrico.

## **2 MATERIALES Y METODOLOGIA**

### **2.1 Zona de estudio**

La zona de estudio comprende los principales valles, las más vulnerables desde el punto de vista climático, de los departamentos de Cusco (Sicuani, Yauri) y Apurímac (Andahuaylas, Chalhuanca, Curahuasi y Caycay) que se encuentran situados en la sierra sur del país, en la vertiente oriental de la cordillera de los andes, entre latitud sur 11° 13' 19" hasta 13° 10' 00" y de longitud oeste entre 72° 59' 52" hasta 73° 57' 45", y altitud entre 2900 hasta 3900 msnm (ver figura 1). El clima que predomina en esta zona es entre frío a semifrío con temperaturas que oscilan entre -8°C a 20°C, las más bajas en invierno y las más altas en primavera y verano; y semiseco a lluvioso con precipitación en el orden entre 500 a 1000 mm, acumulados durante la primavera y el verano. En contraste, también ocurren eventos climáticos como las heladas que son recurrentes anualmente, y las sequías asociadas a eventos el Niño (SENAMHI, 2011, SENAMHI 2007).

En esta zona los cultivos más representativos con mayor área cultivada, en el orden siguiente, son la papa, el maíz, el trigo, cebada y habas, excepto en Apurímac el primero es el maíz (INEI, 1994). Predominando la papa variedad *Yungay* (*Solanum tuberosum*) con un ciclo de cultivo de 180 días (Tapia, M. et al 2007), el maíz de nombre común "blanco urubamba" (maíz típico del lugar)

con un ciclo de aproximadamente de 200 días (informes del lugar), el trigo la nombre común “6 hileras” (trigo típico del lugar) con un ciclo de aproximadamente de 120 días (informes del lugar), la cebada variedad nombre común “6 hileras” (cebada típico del lugar) con un ciclo de aproximadamente de 140 días (informes del lugar), y el habas nombre común “blanca” (habas típico del lugar) con un ciclo de aproximadamente de 180 días. A diferencia del resto de los cultivos, el maíz es cultivado en las zonas de menor altitud,

## **2.2 Datos climáticos**

Los principales datos climáticos, a paso diario, para implementar el modelo de simulación de cultivo fueron la temperatura media, precipitación y la evapotranspiración referencial. Este último dato fue estimado en función de la temperatura máxima, temperatura mínima, humedad relativa, velocidad de viento y radiación solar u horas de sol.

### **2.2.1 Datos climáticos Observados**

Los datos climáticos fueron obtenidos del banco de datos SENAMHI provenientes de su red de observación meteorológica, correspondiente al período actual de 1979 a 2009. Referente a la radiación solar para los lugares de estudio fueron estimadas en función de las horas de sol ( $N$ ) usando la fórmula de Angstrom:  $R_s/R_{s0} = a + bN/N_0$ , donde  $R_{s0}$  es la radiación extraterrestre,  $N_0$  es la duración de horas luz,  $a$  y  $b$  son constantes generadas de la relación lineal ( $R_s/R_{s0}$ ) y ( $bN/N_0$ ). Baigorrea et al, 2004 obtuvo estas constantes tanto para Granja Kayra (latitud:  $-14.33^\circ\text{s}$ , longitud:  $71.52^\circ\text{W}$  y altitud: 3219 m) ( $a=0,376$ ,  $b=0,364$ ) como para Chuquibambilla (lat:  $-14.47^\circ\text{s}$ , lon:  $70.44^\circ\text{W}$  y altitud: 3971m) ( $a=0,395$ ,  $b=0,384$ ), cuales constantes de la primera localidad fueron representativas para Andahuaylas, Chalhuanca,, Curahuasi y Caycay; y de la segunda localidad para Sicuani y Yauri. Respecto a la evapotranspiración referencial de cultivo ( $ET_0$ ), se ha estimado siguiendo la metodología de la FAO basado en el modelo Penman-Monteith (Allen et al. 1998).

### **2.2.2 Datos climáticos simulados**

Los datos climáticos futuros al período 2030 (media centrada del 2016-2044), a paso mensual, se obtuvieron a partir del promedio de dos modelos dinámicos, un modelo climático regional WRF 3.2 (Weather Research and Forecast) desarrollado en el Instituto de Meteorología Max Planck de Alemania, y el otro un modelo global de alta resolución TL959L60/MRI del Instituto de Investigación Meteorológica y Agencia Meteorológica del Japón (Noda A et al., 2006), ambos de resolución de 20 x 20 km, que simularon para ese período en el escenario de emisiones SRES A1B (concentraciones moderadas de CO<sub>2</sub>, al 2030, 450 ppm) (Nakicenovic N et al., 2000). Estos modelos tuvieron como base a los modelos climáticos globales del IPCC del AR4, el modelo global ECHAM5-OM (Instituto de Meteorología Max Planck de Alemania) y el modelo MRI-CGCM2.3 (MRI), respectivamente. Los modelos WRF 3.2 y TL959L60/MRI presentan buena performance de las características del clima actual (1971 al 2000) de Cusco y Apurímac, asimismo estos modelos globales también reprodujeron muy bien los comportamientos estacionales de los patrones de circulación atmosférica de Sudamérica (SENAMHI 2011a).

### **2.3 Modelo de simulación de cultivo**

Es un modelo de perspectiva agrometeorológica que simula el impacto del déficit de agua sobre rendimiento de cualquier cultivo anual basado en los modelamientos del balance de agua y el tiempo termal. Este modelo fue modificado por Lhomme 2009 sobre los mismos principios del modelo desarrollado por la FAO (Allen et al. 1998). El modelo trabaja en un paso de tiempo diario usando tres principales entradas climáticas: precipitación diaria, temperatura diaria y evapotranspiración referencial. Las principales salidas del modelo son la fecha siembra, cosecha (madurez fisiológica), longitud del ciclo de cultivo, siembras interrumpidas, y el déficit de rendimiento.

El tiempo termal, expresado en grados día GDD, determinará las fases y la duración del ciclo del cultivo. Cada una de las fases del cultivo (fase primera, fase segunda, fase media y fase final) requiere una cantidad fija de GDD, y ésta es estimada a través como la suma de temperaturas, pero cada una de las temperaturas es el resultado de la sustracción del promedio diario de la temperatura del aire y la temperatura base (T<sub>b</sub>). Esta estimación es basada en el método residual que conduce a estas asunciones:

$$\begin{aligned}
GDD &= T_a - T_{base} & \text{si } T_a < T_{c-max} \\
GDD &= T_{c-max} - T_{base} & \text{si } T_a \geq T_{c-max} \\
GDD &= 0 & \text{si } T_a \leq T_{base}
\end{aligned}$$

donde  $T_a$  es el promedio de temperatura diaria,  $T_{base}$  es la temperatura mínima del aire para el crecimiento del cultivo, y  $T_{c-max}$  es la temperatura máxima sobre la cual cesa el crecimiento del cultivo.

La contabilización del balance de agua es calculada por medio del modelamiento de la evapotranspiración actual envolviendo la evapotranspiración referencial, coeficientes de cultivo y algunas características de suelo. El efecto del déficit de agua en la disminución del rendimiento del cultivo es contabilizado a través de la función lineal de la producción agrícola desarrollado por Doorenbos and Kassam (1979).

$$RY(i_0) = Y_a / Y_m = 1 - K_y \left[ 1 - \frac{\sum_{i=i_0} ET(i)}{\sum_{i=i_0} ET_c(i)} \right] = 1 - K_y WSI(i_0) \quad (\text{Ec. 1})$$

$Y_a$  es el rendimiento actual,  $Y_m$  es el rendimiento máximo o potencial,  $K_y$  es el factor de respuesta de productividad determinado para diferentes cultivos por Doorenbos and Kassam (1979, tabla 24). La FAO para calcular la evapotranspiración del cultivo  $ET$  aproxima los coeficientes de cultivos. Dos fases son considerados en el cálculo: (1) bajo condiciones estándar (i.e., bajo adecuado suministro de agua) la evapotranspiración de cultivo  $ET_c$  es calculado pero multiplicando la evapotranspiración referencial  $ET_0$  por un coeficiente de cultivo  $K_c$  variando predominantemente con las características del cultivo ( $ET_c = K_c ET_0$ ); (2) bajo condiciones limitantes de agua en el suelo, evapotranspiración del cultivo es escrita como  $ET = K_{ws} K_c ET_0$ , donde  $K_{ws}$  es un coeficiente describiendo los efectos de estrés hídrico en la transpiración del cultivo. El método de la FAO (Allen et al., 1998, capítulo 8) es usado para determinar  $K_{ws}$ . Esto es basado sobre el concepto de agua fácilmente disponible ( $RAW$ ), definido como la fracción  $p$  [0-1] de  $TAW$  (total de agua disponible) que el cultivo puede extraer sin reducir su transpiración:  $RAW = p TAW$  ( $p$  fue tomado para ser igual a 2/3). Cuando el agua disponible es mayor que  $TAW - RAW$ ,  $K_{ws}$  es igual a 1; cuando esto es menor, la evapotranspiración

del cultivo es asumido a disminuir en proporción de la cantidad remanente de agua  $K_{ws} = AW/(TAW-RAW)$ . El modelo del balance de agua permite calcular el déficit de agua del cultivo a nivel diario ( $WD = ET_c - ET$ ) y su valor acumulativo sobre un periodo dado. Un índice de estrés de agua normalizado ( $WSI$ ), es definido con un valor entre 0 (no estrés) y 1 (total estrés).

#### **2.4 Parámetros del modelo de cultivo**

Los parámetros específicos que requiere el modelo para simular los rendimientos y otras características de cada uno de los cultivos, se señalan en las tablas 2a, 2b, 2c, 2d y 2e.

El periodo potencial de siembra, en esta zona de estudio, está enmarcada en lo tradicional, entre el 15 de octubre ( $DOY_1 = 289$ ) al 25 de noviembre ( $DOY_2 = 330$  calendario juliano), con variaciones ligeras dentro de este periodo, dependiendo del cultivo y el lugar. Asimismo, este coincide con la fecha óptima de siembra determinado en función del óptimo requerimiento hídrico (por Quevedo, K., et al., 2005). La cantidad y número de días consecutivos de lluvia requerida para la siembra de los cultivos es entre 5 a 25 mm, aproximadamente en 10 días o menos, consistente con la información climatológica obtenida por Alarcón, C., 1991 que refiere que el promedio de la precipitación en áreas agrícolas es de XX a XX mm/mes. Cuando estos datos requeridos para la siembra no son satisfechas la cosecha se pierde.

El máximo y mínimo valor de total de agua disponible en el suelo ( $TAW$ ) fue determinado con la ecuación general  $TAW = (\theta_{FC} - \theta_{WP}) \cdot Z$ . Donde  $\theta_{FC}$  es el contenido de humedad en capacidad de campo,  $\theta_{WP}$  contenido de humedad en punto de marchitez permanente, cuales están en función de las características físicas de suelo (textura y materia orgánica), y  $Z$  la longitud es la raíz. La referencia de estos datos fueron tomados de estudios del lugar. En general, los suelos de esta zona, presentan características franco arenos arcillosos. Los coeficientes del cultivo para la fase inicial ( $K_{c1}$ ), fase media ( $K_{c2}$ ) y final de la fase ( $K_{c3}$ ), de cada uno de los cultivos, fueron tomados del experimentos del Proyecto Plan Meris 1981 cuales se señalan en las tablas 2.

### **3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **3.1 Características climáticas (presente y futuro)**

En la zona de estudio la precipitación es variable (650 a 850 mm/año), independiente de la altitud hay diferencias ligeras, en Chalhuanca (2850) llueve más que en Andahuaylas (2866 m) en 200 mm, y en Caycay (3150 m) más que en Sicuani (3574 m) en 150 mm. De toda la zona Caycay es donde llueve menos (440 mm/año) debido a que se encuentra localizado en el lado oeste de los andes. La presencia de la cordillera limita el paso de la humedad proveniente de la Amazonia concentrándolo en el lado este. Respecto, a las temperaturas medias, estas oscilan entre 10 a 15°C, excepto Yauri (3927 m), el de mayor altitud, entre 5 a 10°C.(Ver figura 2)

Las proyecciones de los escenarios climáticos y eventos extremos al 2030 para los departamentos de Cusco y Apurímac fueron realizados, entre otros, con los modelos WRF 3.2 y TL959L60/MRI, de resolución de 20°x20°, cuales previamente tuvieron que ser comparados con los con los datos observados, del período 1971 al 2000 para el primer modelo, y de 1979 al 2000 para el segundo modelo. Los resultados revelan que los modelos simulan coherentemente el ciclo anual y estacional tanto de de la precipitación como de la temperatura, de los lugares de la zona de estudio (SENAMHI, 2011), aunque respecto a las simulaciones de las cantidades aún necesitan ser mejorados (sobrestiman la precipitación y subestiman la temperatura aproximadamente en 2°C), a pesar que la distribución espacial es bien representada. Estas sobrestimaciones de las lluvias estarían relacionadas con la mayor resolución de las grillas donde el vapor de agua se satura y se condensa con más facilidad en una grilla pequeña que en una grande (Mizuta et al. 2006).

Los resultados de las proyecciones al perfil 2030, indican que las temperaturas aumentarían ligeramente hasta en 1,3°C en toda la zona de estudio. En relación, a las lluvias también ocurrirían ligeros cambios, principalmente durante el verano (pleno período lluvioso y la primavera

(inicio del período lluvioso), en las cuencas medias (2850 a 3200m) aumentarían, en Andahuaylas y Chalhuanca hasta en un 8%, más en Caycay en un 16%; por el contrario, en las cuencas altas (3500 a 4000 m) disminuirían, en Sicuani significativamente en un 28% (verano y primavera), y en Yauri en un 11% (primavera). (Ver figura 2 y tabla 1).

### **3.2 Impacto en las características del ciclo de cultivo**

Características actuales de intensidad y frecuencia de lluvias, además de las características de suelos, en cada uno de los lugares de estudio, determinan siembras perdidas para la mayoría de los cultivos en menos del 10%, más todavía para el maíz, en un 41% (Andahuaylas), y el trigo en un 28% (Sicuani). En estos dos últimos lugares, a pesar que llueven cantidades similares, las siembras pérdidas de trigo son mayores en Andahuaylas que en Sicuani, debido que las lluvias, a inicios de la siembra, no satisfacen la alta disponibilidad de agua en los suelos de Andahuaylas comparado con la de Sicuani donde su disponibilidad es menor. Específicamente, en Caycay, a diferencia de los otros lugares, todos los cultivos presentan mayores porcentajes de siembras perdidas, a consecuencia del bajo aporte de las lluvias (440 mm/año) hacia los suelos durante todo el período de ciclo de los cultivos.

En el 2030, en las cuencas medias donde las lluvias aumentarían ligeramente (8 a 16%) los resultados indican que el porcentaje de siembras perdidas, para la mayor parte de los cultivos, serían similares a la época actual, excepto para el maíz que disminuirían estas pérdidas solo en un 3% (Andahuaylas y Caycay). Mientras, en las cuencas altas donde el escenario de lluvias es a disminuir, este porcentaje de siembras perdidas aumentarían siempre y cuando la disminución de lluvias es significativa, como en Sicuani (lluvia disminuye en un 28%) donde particularmente la mayor de los cultivos instalados experimentarían estas pérdidas, así en el trigo aumentaría el porcentaje de 28 a 45%, en la cebada de 3 a 10% y en el habas y maíz de 3 a 7%; en Yauri (lluvia disminuye en un 11%) para la cebada el porcentaje de siembras perdidas se mantiene en un 3% (Ver tabla 3). En general, lo más resaltante dependiendo del escenario de lluvia y sensibilidad hídrica de

cultivo, en la zona de estudio hacia el 2030, en las cuencas medias se reducirían las siembras perdidas para el cultivo de maíz en un 3%, mientras en las cuencas altas se incrementarían estas siembras perdidas para la trigo en un 17% y cebada en un 7%.(ver tabla 3)

Por otro lado, en la zona de estudio, otras características que se revela para el futuro 2030 es el adelanto de las cosechas para todos los cultivos aproximadamente hasta en 13 días, en tanto, también el acortamiento del ciclo vegetativo en esa misma proporción de días (Ver tabla 4). Obviamente debido al aumento ligero de la temperatura del aire (0,8°C hasta 1,3°C) porque esta que influye en la determinación del tiempo de cada fase del cultivo, en este caso aceleraría ligeramente el ritmo de su crecimiento y desarrollo de los cultivos, asimismo modificaría el ciclo del cultivo y ocasionaría variaciones en su rendimiento.

### **3.3 Impacto en el déficit hídrico y rendimiento**

En el escenario actual, bajo un régimen de lluvias que no supera los 840 mm/año, ocurre déficit de rendimiento de los cultivos por el impacto de déficit hídrico (Ec. 1). Estos déficit para la mayor parte de los cultivos oscila entre 4 a 14%, más aún estos son mayores en los cultivos de maíz y trigo con déficits entre 21 a 30% y 28 a 40%, respetivamente (ver tabla 5). Asimismo, los mayores déficits ocurren en Caycay y Sicuani pero con más significancia en este último lugar, en ambos lugares es justamente donde llueven menos (ver tabla 5 y figura 2). Estos déficits ocurren porque la cantidad de lluvias no satisface el suministro de agua demandado por las plantas. Cuando la demanda hídrica no es cubierta disminuye la transpiración por debajo de la demanda evaporativa ocasionando una reducción de producción de biomasa. (Ec 1). El déficit de rendimiento ( $YD$ ) es un índice que expresa el déficit de rendimiento relativo ( $Y_a$ ) respecto al rendimiento potencial ( $Y_m$ )  $YD = (Y_m - Y_a) / Y_m$

En un escenario futuro los porcentajes de déficit de rendimientos serían similares a la época actual, excepto donde ocurriría incrementos de lluvias como en Cay cay aminoraría estos déficits en la mayoría de los cultivos aproximadamente en un 4%; en cambio, donde ocurriría

disminuciones de lluvia, como en Sicuani estos déficit serían mayores entre 12 a 15% más que el actual que es ya significativo. En estas últimas condiciones de menos lluvia el cultivo de cebada también aumentaría sus déficits (8%) pero en menos proporción que los otros cultivos (Ver tabla 5). Estos déficits de rendimientos no son absolutos, principalmente están midiendo los déficit por efectos climáticos. Otros potenciales efectos en el rendimiento como el incremento de CO<sub>2</sub> tampoco son contabilizados por el modelo, cual es necesario tener en cuenta por estar tratándose el tema de cambio climático.

#### **4 CONCLUSIONES**

En un futuro cercano hacia el 2030, bajo un escenario de ligeros cambios en el clima, con aumentos de temperatura hasta 1,3°C; y lluvias no coherentes espacialmente, en las cuencas medias aumentarían entre 8 a 16% y en las cuencas altas disminuirían entre 11 a 28%, determinarían cambios en las características y rendimientos de los cultivos. En este escenario, el porcentaje de siembras perdidas sería similar a la época actual, excepto donde habría deficiencias significativas de lluvias, particularmente en Sicuani (28%) estas pérdidas serían mayores entre 4 a 7%, más para el cultivo de trigo en 17%. Aparentemente estas siembras pérdidas parece no ser significativas pero estas tendrían que sumarse a las pérdidas actuales que si son notorias para la mayoría de los cultivos (pérdidas en 10%). En la época actual, los cultivos de maíz y trigo son los que presentan los mayores porcentajes de siembras pérdidas debido a la baja disponibilidad hídrica que existe. Otra característica de los cultivos que es ligeramente alterada en el escenario futuro, es la fecha de cosecha que se adelantaría hasta en 13 días, en tanto asimismo el ciclo del cultivo se acortaría en ese mismo tiempo, en general para todos los cultivos. Respecto al déficit de rendimientos en el futuro los resultados indican que serían similares a la época actual, excepto donde ocurría disminuciones de lluvia en niveles de 28% (Sicuani) estos porcentajes de déficit de rendimientos serían entre 12 a 15%.

## **5 RECOMENDACIONES**

Se considera que estos resultados son referenciales debido que se ha trabajado con datos fenológicos muy generales de los cultivos, cuando hay que considerar que estos cultivos son típicos del lugar y tienen características fenológicas propias, y esta información no existe hay que generarlo a más detalle. Esta información, es un trabajo bastante técnico y elaborado que implica horas hombre.

## **BIBLIOGRAFIA**

- Allen RG, Pereira LS, Raes D, Smith M (1998) Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and drainage paper 56.
- Andersen L, Suño A, Verner D (2009). Social impacts of climate change in Peru: a district level analysis of the effects of recent and future climate change on human development and inequality. Policy Research Working Paper Series 5091, The World Bank.
- Baigorria GM, Villegas EB, Trebejo I, Carlos JF, Quiroz R (2004) Atmospheric transmissivity: distribution and empirical estimation around the Central Andes. *Int. J. Climatol.* 24, 1121-1136.
- Doorenbos J, Kassam A (1979) Yield response to water. FAO Irrigation and Drainage Paper 33
- <http://www.bcrp.gob.pe/docs/Sucursales/Cusco/Apurimac-Characterizacion.pdf>
- <http://www.bcrp.gob.pe/docs/Sucursales/Cusco/Cusco-Characterizacion.pdf>
- INEI (1994) Perfil Agropecuario del departamento de Puno. III Censo Nacional Agropecuario
- INEI (2010) Evolución de la Pobreza al 2009. Informe Técnico pp 91
- INEI (2009) Perú: Perfil del Productor Agropecuario, 2008. Centro de Investigación y Desarrollo del Instituto Nacional de Estadística e Informática pp 159
- IPCC-TGCIA (1999) Guidelines on the Use of Scenario Data for Climate Impact and Adaptation Assessment, Version 1, prepared by Carter TR, Hulme M, and Lal. M, Intergovernmental Panel on Climate Change, Task Group on Scenarios for Climate Impact Assessment, 69 pp.
- Grossmann R (2007) Consultoría para el programa de adaptación al cambio climático (PACC). Terra Consult. Bern; 2007
- Lhomme J P, Mougou R, Mansour M. (2009) Potential impact of climate change on durum wheat cropping in Tunisia. *Climatic Change* 96, 549-564.
- Mizuta R, Yoshimura H, Katayama K, Yukimoto S, Hosaka M, Kusonoki S, Kaway H, Nakagawa M (2006) 20-km-mesh global climate simulations using JMA-GSM model –mean climate states- *J. Meteor. Soc. Japan*, 84, 165-185
- Nakicenovic N y Swart R., 2000. Emissions Scenarios. 2000, Special Report of the intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.
- Noda A, Kusonoki S, Yoshizaki M (2006) Development of Super High Resolution Global and Regional Climate Models. *Atmospheric and Oceanic Simulation*, Cap. I.
- Ojeda Bustamante, W, Sifuentes E, Slack DC, Carrillo M (2004) Generalization of irrigation scheduling parameters using the growing degree concept: application to a potato crop. *Irrigation and Drainage*. 53: 251-261
- Quevedo, K (2007). “Estudio agroclimático de las condiciones hídricas en la sierra del Perú”. Estudio técnico del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú – SENAMHI, s/p

- SENAMHI (1998). Clasificación Climática del Perú. Informe técnico. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología, Lima.
- SENAMHI (2007) Escenarios de cambio climático en la cuenca de los ríos Mantaro y Urubamba para el año 2100; Proyecto Regional Andino de Adaptación – PRAA. Autores Rosas G., Avalos G., Díaz A., Oria C., Acuña D., Metzger L. y Miguel R. Eds. SENAMHI – MINAM, Perú, 124 pp.
- SENAMHI (2009) Escenarios Climáticos en el Perú para el año 2030 Autores Diaz A., Rosas G., Avalos G., Oria C., Acuña D., Llacza, A.,Miguel R. Proyecto SCNCC, Segunda Comunicación Nacional del Cambio Climático. Editor Ministerio del Ambiente.
- SENAMHI (2011). Caracterización climática de las regiones Cusco Apurímac. PACC. Programa de Adaptación al cambio climático
- SENAMHI (2011 a) Escenarios de Cambio Climático para las regiones Cusco y Apurímac 2030 y 2050. Informe técnico del SENAMHI. Centro de Predicción Numérica. Dirección General de Meteorología. pp 167
- Tapia M E, Fries AM (2007) Guía de campo de los cultivos andinos. FAO y ANPE. Lima

Figura 1 Mapa de ubicación las localidades de estudio en los departamentos de Cusco y Apurímac

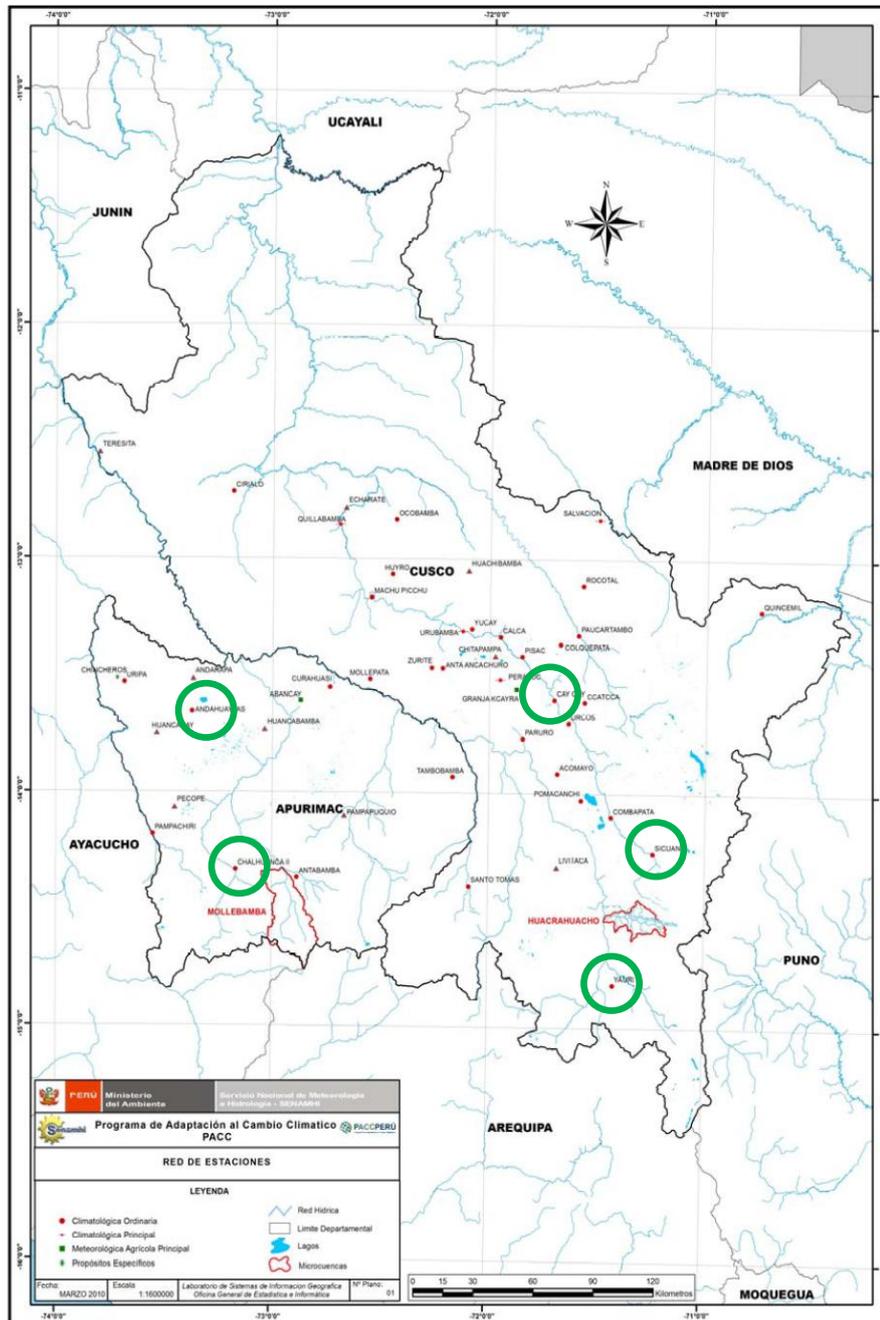
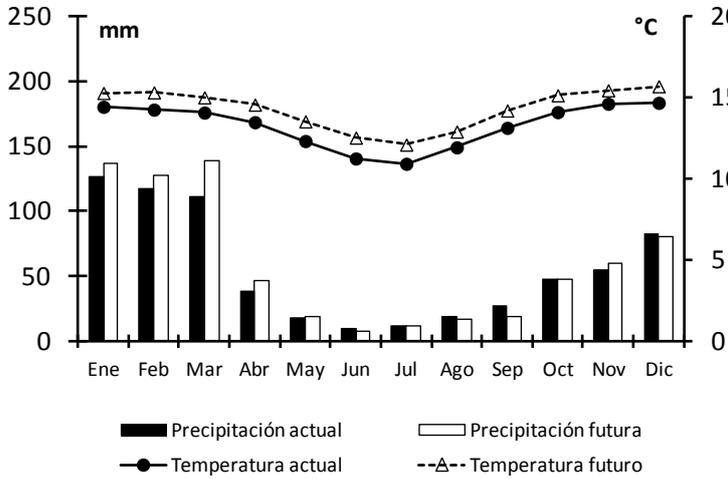
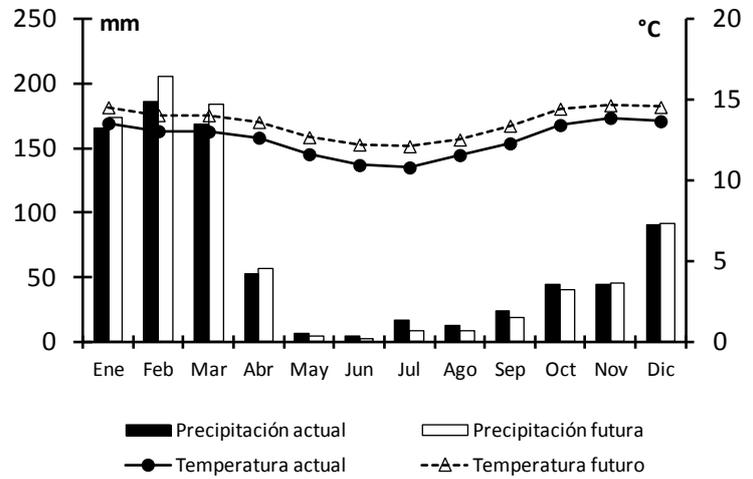


Figura 2 Valores medios mensuales de la temperatura del aire y la precipitación en el escenario actual (1971 -2000) y futuro (2030)

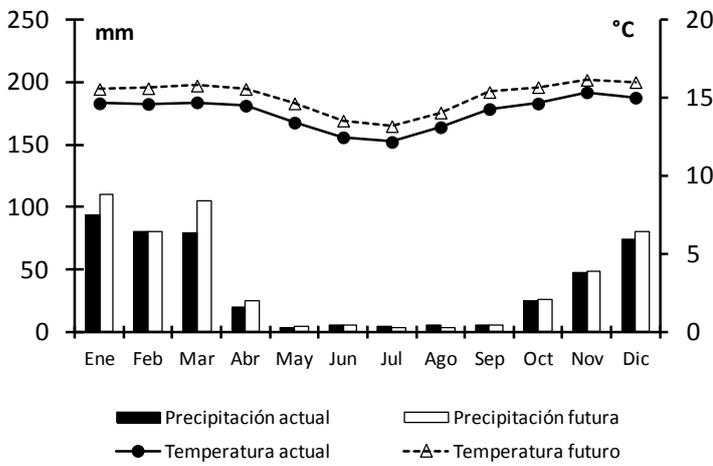
**Chalhuanca (2850m)**



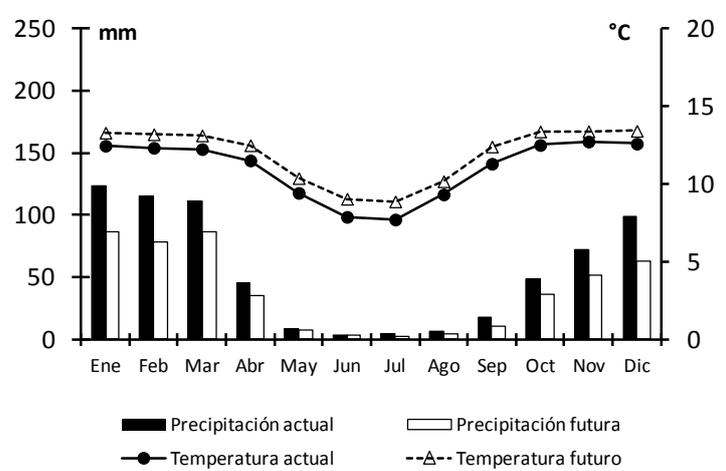
**Andahuaylas (2866 m)**



**Caycay (3150 m)**



**Sicuni (3574 m)**



**Yauri (3927 m)**

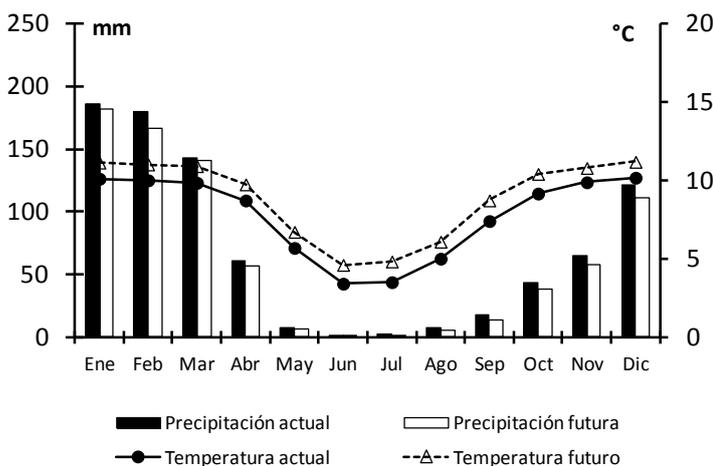


Table 1 Anomalías medias mensuales al 2030 (Escenario futuro – Escenario actual). *P* es la precipitación; *T* es la temperatura media; y *ET<sub>o</sub>* es la evapotranspiración referencial

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
<b>Andahuaylas</b>												
<i>P</i> (%)	+8	+8	+25	+20	+7	-16	-2	-8	-28	+1	9	-2
<i>T</i> (°C)	+0.9	+1.1	+0.9	+1.1	+1.2	+1.3	+1.2	+1.0	+1.1	+1.0	+0.8	+1.0
<i>ET<sub>o</sub></i> (%)	+1.0	+4.0	+3.0	+3.0	+3.0	+5.0	+5.0	+4.0	+3.0	+4.0	+2.0	+2.0
<b>Caycay</b>												
<i>P</i> (%)	+17	+0.4	+31	+27	+10	+2	-18	-29	-8	+7	+3	+8
<i>T</i> (°C)	+0.9	+1.0	+1.1	+1.1	+1.2	+1.1	+1.0	+0.9	+1.1	+1.1	+0.8	+1.0
<i>ET<sub>o</sub></i> (%)	+1.0	+2.0	+2.0	+2.0	+2.0	+3.0	+3.0	+3.0	+3.0	+3.0	+1.0	+2.0
<b>Chalhuanca</b>												
<i>P</i> (%)	+5	+10	+9	+8	-29	-33	-52	-32	-21	-9	+3	+1
<i>T</i> (°C)	+1.0	+1.0	+1.0	+1.0	+1.1	+1.3	+1.3	+1.0	+1.1	+1.0	+0.8	+0.9
<i>ET<sub>o</sub></i> (%)	+2.0	+2.0	+2.0	+1.0	+3.0	+4.0	+5.0	+4.0	+4.0	+4.0	+1.0	+1.0
<b>Sicuaní</b>												
<i>P</i> (%)	-30	-32	-22	-23	-20	18	-40	-34	-39	-25	-29	-36
<i>T</i> (°C)	+0.8	+0.9	+0.9	+1.0	+1.0	+1.2	+1.2	+0.8	+1.1	+0.9	+0.7	+0.8
<i>ET<sub>o</sub></i> (%)	+0.0	+2.0	+1.0	+2.0	+3.0	+4.0	+5.0	+3.0	+4.0	+2.0	+0.0	+0.0
<b>Yauri</b>												
<i>P</i> (%)	-3	-7	-1	-7	-11	-22	-49	-27	-19	-13	-12	-9
<i>T</i> (°C)	+1.0	+1.0	+1.1	+1.0	+1.0	+1.2	+1.3	+1.1	1.3	+1.3	+0.9	+1.0
<i>ET<sub>o</sub></i> (%)	+3.0	+3.0	+2.0	+3.5	+4.0	+5.0	+6.0	+5.0	+6.0	+5.0	+3.0	+2.0

Tabla 2

Tabla 2a Principales parámetros del modelo del cultivo y correspondientes valores de la papa

Parámetro		Símbolo	Papa (Variedad Yungay)
Dato de siembra	Dato inicial del período potencial de siembra	$DOY_1$	289 (RA) 294 (RCy) 320(RC) 306 (RCu) 294 (RS) 289 (FA) 294 (FCy) 320(FC) 306 (FCu) 294 (FS)
	Dato final del período potencial de siembra	$DOY_2$	320 (RA) 325 (RCy) 350 (RC) 335 (RCu) 325 (RS) 350 (FA) 325 (RCy) 350 (RC) 335 (RCu) 325 (RS)
Fenología	Cantidad requerida de precipitación	$P_{so}$	24 mm (A) 7 mm (Cy) 11 mm (C) 13 mm (Cu) 11 mm (S)
	Número de días consecutivos	$N_{so}$	10 días (A) 6 días (Cy,C,Cu,S)
Fenología	Tiempo termal para la primera fase	$GDD_1$	270°C d
	Tiempo termal para la segunda fase	$GDD_2$	485°C d
	Tiempo termal para la fase media	$GDD_3$	485°C d
	Tiempo termal para la última fase	$GDD_4$	325 °C d
Balance de agua	Mínimo valor del total de agua disponible	$TAW_n$	15 mm (A) 11 mm (Cy) 13 mm (C) 17 mm (Cu) 6 mm (S)
	Máximo valor del total de agua disponible	$TAW_x$	65 mm (A) 60 mm (Cy) 56 mm (C) 74 mm (Cu) 35 mm (S)
	Coeficiente de cultivo (fase inicial)	$K_{c1}$	0.25
	Coeficiente de cultivo (fase media)	$K_{c2}$	1.02
	Coeficiente del cultivo (fase final)	$K_{c3}$	0.78

R: escenario actual F: escenario futuro

(A) Andahuaylas (C) Chalhuanca (Cy) Caycay (Cu) Curahuasi (S)Sicuaní (Y) Yauri

Tabla 2b Principales parámetros del modelo del cultivo y correspondientes valores de la Trigo

Parámetro		Símbolo	Trigo (Variedad 6 hileras)
Dato de siembra	Dato inicial del período potencial de siembra	$DOY_1$	289 (RC) 320 (RA) 275 (RS) 289 (FC) 320 (FA) 275 (FS)
	Dato final del período potencial de siembra	$DOY_2$	320 (RC) 350 (RA) 304 (RS) 320 (FC) 350 (FA) 304 (FS)
	Cantidad requerida de precipitación	$P_{so}$	24 mm (C,A) 17 mm (S)
	Número de días consecutivos	$N_{so}$	7 días (C,A,S)
Fenología	Tiempo termal para la primera fase	$GDD_1$	130°C d
	Tiempo termal para la segunda fase	$GDD_2$	535°C d
	Tiempo termal para la fase media	$GDD_3$	325°C d
	Tiempo termal para la última fase	$GDD_4$	470 °C d
Balance de agua	Mínimo valor del total de agua disponible	$TAW_n$	13 mm (C) 15 mm (A) 6 mm (S)
	Máximo valor del total de agua disponible	$TAW_x$	42 mm (C) 45 mm (A) 25 mm (S)
	Coficiente de cultivo (fase inicial)	$K_{c1}$	0.3
	Coficiente de cultivo (fase media)	$K_{c2}$	1.075
	Coficiente del cultivo (fase final)	$K_{c3}$	1.03

R: escenario actual F: escenario futuro  
(A) Andahuaylas (C) Chalhuanca (S)Sicuni

Tabla 2c Principales parámetros del modelo del cultivo y correspondientes valores de la Cebada

Parámetro		Símbolo	Cebada (Variedad 6 hileras)
Dato de siembra	Dato inicial del período potencial de siembra	$DOY_1$	306 (RY) 320 (RA) (RC) (RS) 306 (FY) 320 (FA) (FC) (FS)
	Dato final del período potencial de siembra	$DOY_2$	335 (RY) 350 (RA) (RC) (RS) 335 (RY) 350 (RA) (RC) (RS)
	Cantidad requerida de precipitación	$P_{so}$	13 mm (Y) 12 mm(A,C) 10 mm (S)
	Número de días consecutivos	$N_{so}$	7 días (Y) 6 días (A,C,S)
Fenología	Tiempo termal para la primera fase	$GDD_1$	105°C d
	Tiempo termal para la segunda fase	$GDD_2$	505°C d
	Tiempo termal para la fase media	$GDD_3$	310 °C d
	Tiempo termal para la última fase	$GDD_4$	365 °C d
Balance de agua	Mínimo valor del total de agua disponible	$TAW_n$	6 mm (Y) 15 mm(A) 13 mm (C) 6 mm (S)
	Máximo valor del total de agua disponible	$TAW_x$	26 mm (Y) 45 mm (A) 42 mm (C) 25 mm(S)
	Coficiente de cultivo (fase inicial)	$K_{c1}$	0.25
	Coficiente de cultivo (fase media)	$K_{c2}$	1.103
	Coficiente del cultivo (fase final)	$K_{c3}$	0.831

R: escenario actual F: escenario futuro  
(Y) Yauri (A) Andahuaylas (C) Chalhuanca (S)Sicuni

Tabla 2d Principales parámetros del modelo del cultivo y correspondientes valores de la Cebada

Parámetro		Símbolo	Habas (Variedad Blanca)
Dato de siembra	Dato inicial del período potencial de siembra	$DOY_1$	294 (RCy) 289 (RA) 259 (RS) 294 (FCy) 289 (FA) 259 (FS)
	Dato final del período potencial de siembra	$DOY_2$	325 (RCy) 320 (RA) 289 (RS) 325 (FCy) 320 (FA) 289 (FS)
	Cantidad requerida de precipitación	$P_{so}$	7 mm (Cy) 10 mm (A) 6 mm (S)
	Número de días consecutivos	$N_{so}$	6 días (Cy, A,S)
Fenología	Tiempo termal para la primera fase	$GDD_1$	245°C d
	Tiempo termal para la segunda fase	$GDD_2$	610°C d
	Tiempo termal para la fase media	$GDD_3$	440 °C d
	Tiempo termal para la última fase	$GDD_4$	570 °C d
Balance de agua	Mínimo valor del total de agua disponible	$TAW_n$	11 mm (CA) 15 mm (A) 6 mm (S)
	Máximo valor del total de agua disponible	$TAW_x$	60 mm (CA) 65 mm (A) 35 mm (S)
	Coeficiente de cultivo (fase inicial)	$K_{e1}$	0.25
	Coeficiente de cultivo (fase media)	$K_{e2}$	1.044
	Coeficiente del cultivo (fase final)	$K_{e3}$	0.75

R: escenario actual F: escenario futuro  
(A) Andahuaylas (Cy) Caycay (Cu) Sicuani

Tabla 2e Principales parámetros del modelo del cultivo y correspondientes valores de la Cebada

Parámetro		Símbolo	Maiz (Variedad Urubamba)	Maiz (Blanco almidón)
Dato de siembra	Dato inicial del período potencial de siembra	$DOY_1$	289 (RCu) 259 (RCy) 289 (FCu) 259 (FC)	289 (RA) 259 (RS) 289 (FA) 259 (FS)
	Dato final del período potencial de siembra	$DOY_2$	320 (RCu) 289(RCy) 320 (FCu) 289(FCy)	320 (RA) 289(RS) 320 (FA) 289(FS)
	Cantidad requerida de precipitación	$P_{so}$	9 mm (Cu) 6 mm (Cy)	24 mm (A) 6 mm (S)
	Número de días consecutivos	$N_{so}$	6 días (Cu) 3 días (Cy)	10 días (A) 6 días (S)
Fenología	Tiempo termal para la primera fase	$GDD_1$	135°C d	90°C d
	Tiempo termal para la segunda fase	$GDD_2$	790°C d	570°C d
	Tiempo termal para la fase media	$GDD_3$	240 °C d	170 °C d
	Tiempo termal para la última fase	$GDD_4$	705 °C d	480 °C d
Balance de agua	Mínimo valor del total de agua disponible	$TAW_n$	17 mm (Cu)	15 mm (A)
	Máximo valor del total de agua disponible	$TAW_x$	74 mm (Cu) 60 mm (Cy)	65 mm (A) 35 mm (S)
	Coeficiente de cultivo (fase inicial)	$K_{e1}$	0.4	0.4
	Coeficiente de cultivo (fase media)	$K_{e2}$	1.125	1.125
	Coeficiente del cultivo (fase final)	$K_{e3}$	0.875	0.875

R: escenario actual F: escenario futuro  
(A) Andahuaylas (Cy) Caycay (Cu) Curahuasi (S)Sicuani (S)

Tabla 3 Estadísticas de siembras pérdidas en la situación actual (escenario actual) y escenario futuro (hacia el 2030)

<b>Siembras falladas</b>		<b>Andahuaylas (%)</b>	<b>Caycay (%)</b>	<b>Chalhuanca (%)</b>	<b>Sicuani (%)</b>	<b>Yauri (%)</b>
<b><i>Papa</i></b>	Situación Actual	7	17	0	7	
	Escenario futuro B2 hacia el 2030	7	17	0	7	
<b><i>Trigo</i></b>	Situación Actual	41		3	28	
	Escenario futuro B2 hacia el 2030	41		3	45	
<b><i>Cebada</i></b>	Situación Actual	7		0	3	3
	Escenario futuro B2 hacia el 2030	7		0	10	3
<b><i>Habas</i></b>	Situación Actual	7	17		3	
	Escenario futuro B2 hacia el 2030	7	17		7	
<b><i>Maiz</i></b>	Situación Actual	41	41		3	
	Escenario futuro B2 hacia el 2030	38	38		7	

Tabla 4 Cambios en las características del cultivo: fecha de siembra, fecha de cosecha y longitud del ciclo del cultivo

Fecha de Siembra		Andahuaylas (%)	Caycay (%)	Chalhuanca (%)	Sicuani (%)	Yauri (%)
<i>Papa</i>	Situación Actual	297 ± 6 (23 Oct.)	305 ± 11 (31 Oct.)	328 ± 4 (23 Nov.)	299 ± 5 (25 Oct.)	
	Escenario futuro A1B hacia el 2030	297 ± 6 (23 Oct.)	303 ± 9 (29 Oct.)	328 ± 4 (23 Nov.)	304 ± 8 (30 Oct.)	
<i>Trigo</i>	Situación Actual	331 ± 10 (26 Nov.)		301 ± 5 (27 Oct.)	289 ± 8 (15 Oct.)	
	Escenario futuro A1B hacia el 2030	330 ± 10 (25 Nov.)		301 ± 5 (27 Oct.)	293 ± 8 (19 Oct.)	
<i>Cebada</i>	Situación Actual	326 ± 6 (21 Nov.)		328 ± 5 (23 Nov.)	323 ± 5 (18 Nov.)	310 ± 6 (5 Nov.)
	Escenario futuro A1B hacia el 2030	323 ± 5 (18 Nov.)		328 ± 5 (23 Nov.)	323 ± 4 (18 Nov.)	321 ± 5 (16 Nov.)
<i>Habas</i>	Situación Actual	297 ± 6 (23 Oct.)	305 ± 11 (31 Oct.)		270 ± 8 (26 Sep.)	
	Escenario futuro A1B hacia el 2030	297 ± 6 (23 Oct.)	303 ± 9 (29 Oct.)		276 ± 8 (2 Oct.)	
<i>Maiz</i>	Situación Actual	302 ± 9 (28 Oct.)	277 ± 9 (3 Oct.)		270 ± 8 (26 Sep.)	
	Escenario futuro A1B hacia el 2030	303 ± 10 (29 Oct.)	278 ± 9 (4 Oct.)		276 ± 8 (2 Oct.)	

Adelanto de la fecha de cosecha		Andahuaylas (días)	Caycay (días)	Chalhuanca (días)	Sicuani (días)	Yauri (días)
<i>Papa</i>	Escenario futuro A1B hacia el 2030	6	8	9	3	
<i>Trigo</i>	Escenario futuro A1B hacia el 2030	14		6	3	
<i>Cebada</i>	Escenario futuro A1B hacia el 2030	8		5	13	10
<i>Habas</i>	Escenario futuro A1B hacia el 2030	9		9	3	
<i>Maiz</i>	Escenario futuro A1B hacia el 2030	4		7	1	

Reducción del ciclo del cultivo		Andahuaylas (días)	Caycay (días)	Chalhuanca (días)	Sicuani (días)	Yauri (días)
<i>Papa</i>	Escenario futuro A1B hacia el 2030	3	6	8	8	
<i>Trigo</i>	Escenario futuro A1B hacia el 2030	12		7	7	
<i>Cebada</i>	Escenario futuro A1B hacia el 2030	5		6	3	12
<i>Habas</i>	Escenario futuro A1B hacia el 2030	10		8	9	
<i>Maiz</i>	Escenario futuro A1B hacia el 2030	5		7	6	

Tabla 5 Estadísticas del déficit de rendimiento (valor medio y desviación estándar) para los cultivos papa, trigo, cebada, habas y maíz, en sus respectivas localidades

<b>Dèficit de rendimiento</b>		<b>Andahuaylas (%)</b>	<b>Caycay (%)</b>	<b>Chalhuanca (%)</b>	<b>Sicuani (%)</b>	<b>Yauri (%)</b>
<b><i>Papa</i></b>	Situaciòn Actual	14 ± 10	26 ± 15	6 ± 6	13 ± 15	
	Escenario futuro B2 hacia el 2030	15 ± 11	22 ± 14	5 ± 4	28 ± 14	
<b><i>Trigo</i></b>	Situaciòn Actual	9 ± 8		21 ± 8	30 ± 14	
	Escenario futuro B2 hacia el 2030	15 ± 8		22 ± 9	43 ± 14	
<b><i>Cebada</i></b>	Situaciòn Actual	14 ± 15		11 ± 6	21 ± 19	10 ± 10
	Escenario futuro B2 hacia el 2030	12 ± 14		10 ± 7	29 ± 9	11 ± 11
<b><i>Habas</i></b>	Situaciòn Actual	12 ± 9	28 ± 15		23 ± 14	
	Escenario futuro B2 hacia el 2030	12 ± 9	24 ± 14		37 ± 10	
<b><i>Maiz</i></b>	Situaciòn Actual	28 ± 13	38 ± 16		40 ± 15	
	Escenario futuro B2 hacia el 2030	28 ± 13	37 ± 16		52 ± 9	