

PACC - Serie de investigación regional 12

Impacto del cambio climático en cultivos anuales de las regiones de Cusco y Apurímac



Programa de Adaptación al Cambio Climático PACC - Perú

Informe final de investigación del estudio regional disciplinario realizado, en el marco del PACC, por el **Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI)**, titulado “Caracterización agroclimática de la región Apurímac, Perú”.

www.paccperu.org.pe

www.noticias.paccperu.org.pe

Mayo 2012

PACC Apurímac, Perú

Jirón Puno 107, Gobierno Regional de Apurímac

Teléfono: (51)(83) 322595

PACC Cusco, Perú

Jirón José Santos Chocano H-10, Urbanización Santa Mónica, Wanchaq.

Telefax: (51)(84)235229

PACC Lima, Perú

Avenida Ricardo Palma 857, Miraflores, Lima 18.

Teléfono: (51)(1)4440493

Elaboración:

Dirección General de Agrometeorología del SENAMHI

Corrección de estilo y diseño gráfico: Yadira Hermoza Ricalde

Primera Edición.

Reproducción autorizada si se cita la fuente. Este libro deberá ser citado de la siguiente manera: SENAMHI 2012. “Caracterización agroclimática de la región Apurímac”. Serie de investigación regional # 12. Programa de Adaptación al Cambio Climático PACC - Perú.

Impacto del cambio climático en cultivos anuales de las regiones de Cusco y Apurímac

PACC - Serie de investigación regional 12

2012







PRESENTACIÓN

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

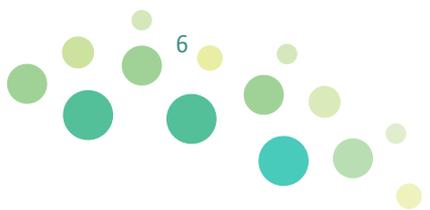
Este documento es el informe final de investigación del ***Impacto del cambio climático en cultivos anuales de las regiones de Cusco y Apurímac***, elaborado el 2011 por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología-SENAMHI, y forma parte de la serie de publicaciones digitales sobre las investigaciones realizadas en las regiones Apurímac y Cusco, ubicadas en los andes sur del Perú. Si bien, esta investigación fue llevada a cabo por la cooperación conjunta entre SENAMHI y PACC, los resultados, las conclusiones e interpretaciones presentes en este documento, son de estricta responsabilidad de SENAMHI.

Este estudio constituye una aproximación a la caracterización agroclimática de la región Apurímac, y de 3 zonas priorizadas dentro del ámbito de la misma región. El estudio incluye la caracterización agrícola de cultivos priorizados (en términos de requerimientos agroclimáticos y edáficos), uso actual y características de los suelos, análisis del calendario agrícola. La caracterización agroclimática, incluye el análisis del comportamiento espacio temporal de las variables temperatura, precipitación y evapotranspiración potencial para el periodo agrícola, incluyendo la ocurrencia de heladas y el balance hídrico.

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 de caracterización agroclimática 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





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 perdidas 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, alcanzando porcentajes del 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., causas de los bajos rendimientos de los cultivos 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 (las 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). Por otro lado, 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.

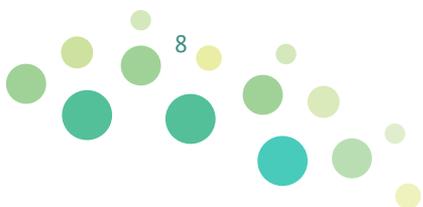
En este contexto del cambio en el clima, en Cusco y Apurímac se evaluó “El impacto del cambio climático sobre los cultivos de papa, maíz, trigo, cebada y habas” utilizando el modelo de simulación biofísica Lhomme JP et al., 2009, y los datos climáticos futuros proveniente del ensamble de un modelo climático 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: La primera 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, la segunda fase comprendía la implementación de una base de datos fenológicos referente a los cultivos de estudio; y la tercera fase consistió en 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 METODOLOGÍA

2.1 Zona de estudio

La zona de estudio comprende los principales valles, los 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 como “el Niño” (SENAMHI, 2011, SENAMHI 2007).

En esta zona los cultivos más representativos con mayor área cultivada, son la papa, el maíz, el trigo, cebada y habas, excepto en Apurímac donde 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 de 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 típica del lugar) con un ciclo de aproximadamente de 140 días (informes del lugar), y el haba 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 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.

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 fue estimada en función de la horas de sol (N) usando la fórmula de Angstrom: $R_s/R_{s0} = a + bN/NO$, donde R_{s0} es la radiación extraterrestre, NO es la duración de horas luz, a y b son constantes generadas de la relación lineal (R_s/R_{s0}) y (bN/NO). Baigorrea et al, 2004 obtuvo estas constantes tanto para Granja Kayra (latitud: -14.33°s, longitud: 71.52°W y altitud: 3219 m) ($a=0,376$, $b=0,364$) como para Chuquibambilla (lat: -14.47°s, lon: 70.44°W y altitud: 3971m) ($a=0,395$, $b=0,384$). Las 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 basada 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) desenvuelto 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_2 , 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. 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 de 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_b). Esta estimación está 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 el cual cesa 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 agua-cultivo desarrollado por Doorenbos and Kassam (1979).

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

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 consideradas en el cálculo: (1) bajo condiciones estándar (i.e., bajo adecuado suministro de agua) la evapotranspiración de cultivo ET_c es calculada pero multiplicando la evapotranspiración referencial ET_o por un coeficiente de cultivo K_c variando predominantemente con las características del cultivo ($ET_c = K_c ET_o$); (2) bajo condiciones limitantes de agua en el suelo, evapotranspiración del cultivo es escrita como $ET = K_{ws} K_c ET_o$, donde K_{ws} es un coeficiente que describe 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 en 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 asumida para 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, éste 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, coherente 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 satisfechos la cosecha se pierde.

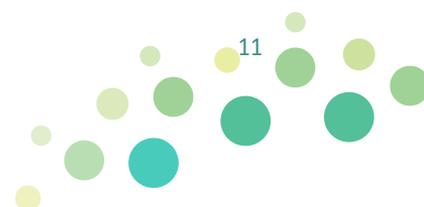
El máximo y mínimo valor de total de agua disponible en el suelo (TAW) fue determinado con la ecuación general $TAW = (\vartheta FC - \vartheta WP) .Z$. Donde ϑFC es el contenido de humedad en capacidad de campo, ϑWP contenido de humedad en punto de marchitez permanente, los cuales están en función de 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 arenoso 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 experimento del Proyecto Plan Meris 1981 que se señalan en la tabla 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), independientemente 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 Amazonía concentrándolo en el lado Este. Respecto a las temperaturas medias, éstas 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 realizadas entre otros, con los modelos WRF 3.2 y TL959L60/MRI, de resolución de 20°x20° los cuales previamente tuvieron que ser comparados 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 la precipitación, como de la temperatura de los lugares de la zona de estudio (SENAMHI, 2011), aunque las simulaciones de las cantidades aún necesitan ser mejoradas (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%. Al 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

Las 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 perdidas 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 perdidas solo en un 3% (Andahuaylas y Caycay). Mientras en las cuencas altas donde las lluvias tienden a disminuir, este porcentaje de siembras perdidas aumentarían siempre y cuando la disminución de lluvias sea significativa, como en Sicuani (lluvia disminuye en un 28%) donde particularmente la mayor parte 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 haba 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).

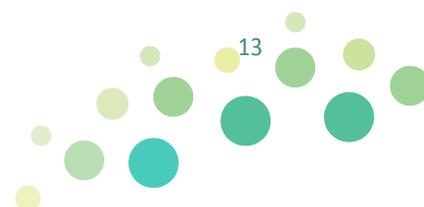
En general lo más resaltante dependiendo del escenario de lluvia y sensibilidad hídrica de cultivo en la zona de estudio hacia el 2030, es que en las cuencas medias se reducirían las siembras perdidas para el cultivo de maíz en un 3%, mientras en las cuencas altas se incrementarían estas siembras perdidas; para el trigo en un 17% y cebada en un 7% (ver tabla 3).

Otras características que se revelan para el año 2030 en la zona de estudio es el adelanto de las cosechas para todos los cultivos, aproximadamente hasta en 13 días, así como el acortamiento del ciclo vegetativo en esa misma proporción de días (ver tabla 4), esto como consecuencia del aumento ligero de la temperatura del aire (0,8°C hasta 1,3°C) 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 un déficit de rendimiento de los cultivos por el impacto de déficit hídrico (Ec. 1). Estos déficits 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%, respectivamente (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 llueve 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 ambiental 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, aminorando estos déficits en la mayoría de los cultivos aproximadamente en un 4%; en cambio, donde ocurriría disminuciones de lluvia, como en Sicuani estos déficits 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 déficits por efectos climáticos. Otros potenciales efectos en el rendimiento, como el incremento de CO2 tampoco son contabilizados por el modelo, lo cual es necesario tener en cuenta por estar tratándose el tema de cambio climático.

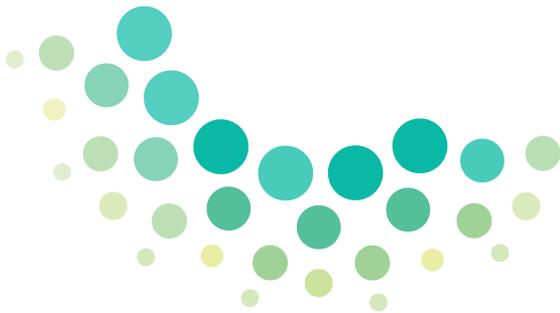


4 CONCLUSIONES



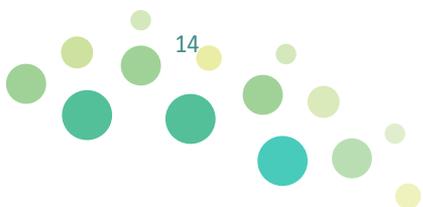
En un futuro cercano hacia el 2030 bajo un escenario de ligeros cambios en el clima, con aumentos de temperatura hasta 1,3°C; y lluvias no coherentes espacialmente, en las cuencas medias aumentarían entre 8 a 16% y en las cuencas altas disminuirían entre 11 a 28% lo que determinaría cambios en las características 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 perdidas parecen no ser significativas pero éstas tendrían que sumarse a las pérdidas actuales que sí 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 perdidas 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, 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%.



RECOMENDACIONES

Se considera que estos resultados son referenciales debido a 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 generarla a más detalle. Esta información es un trabajo bastante técnico y elaborado que implica horas hombre.





BIBLIOGRAFÍA

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, Suxo A, Verner D (2009). Social impacts of climate change in Perú: 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

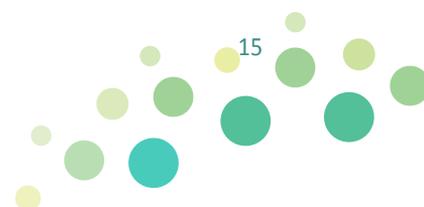
INEI (2009) Perú: Perfil del Productor Agropecuario, 2008. Centro de Investigación y Desarrollo del Instituto Nacional de Estadística e Informática pp 159

IPCC-TGCI (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, Kusunoki 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, Kusunoki 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

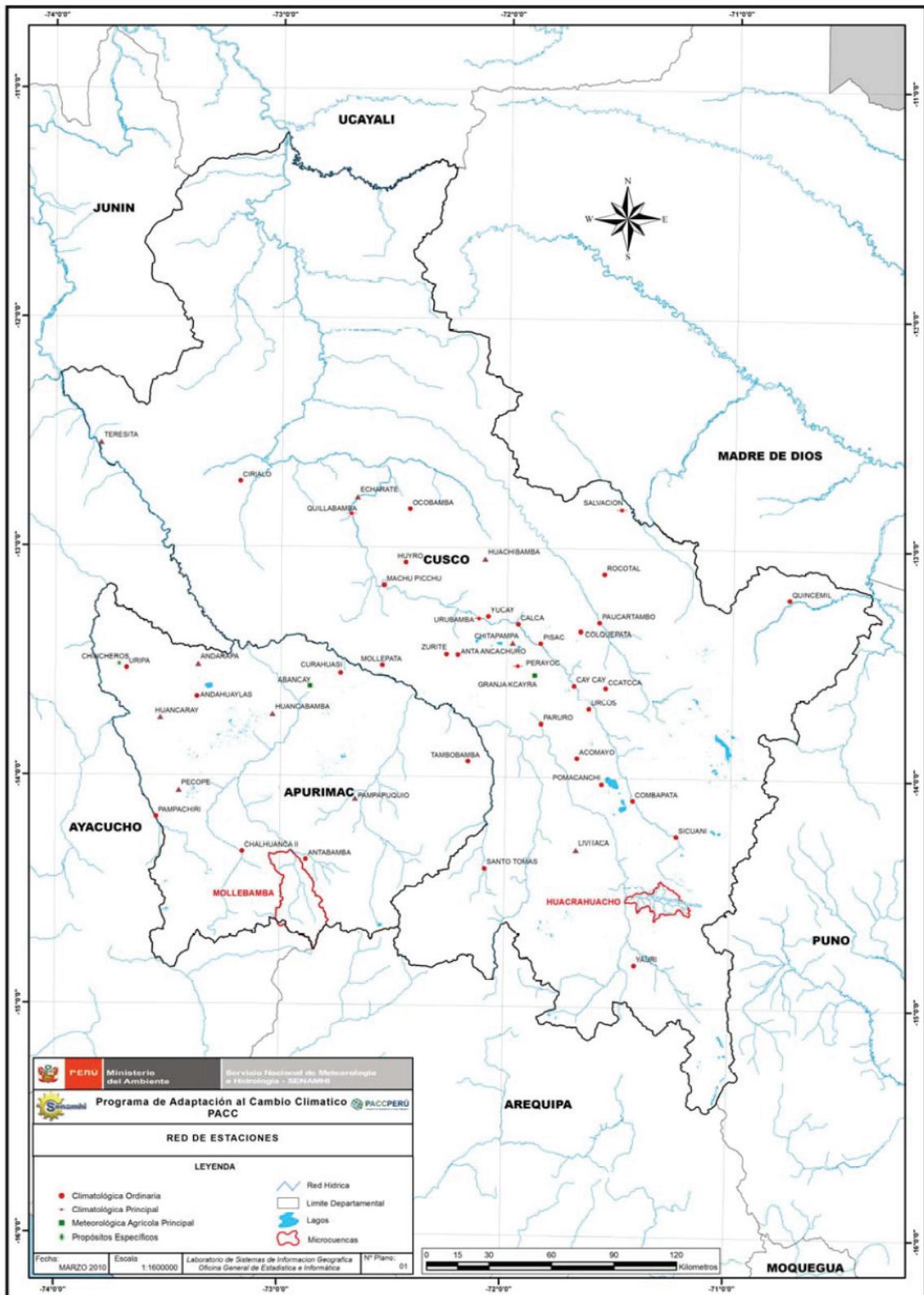


Figura 1 Mapa de ubicación las localidades de estudio en los departamentos de Cusco y Apurímac

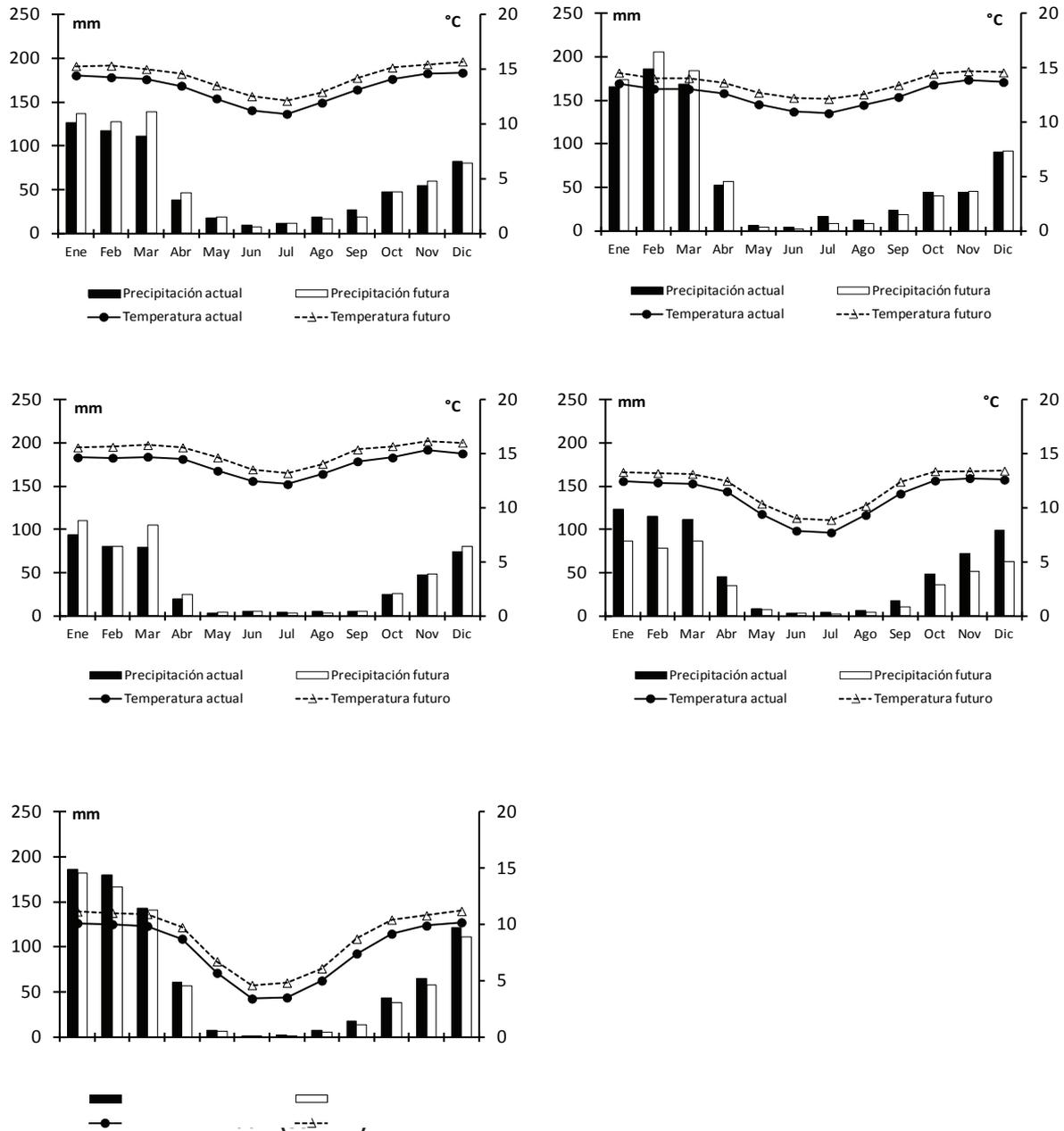


Figura 2. Valores medios mensuales de la temperatura del aire y la precipitación en el escenario actual (1971-2000) y futuro (2030)

Tabla 1 Anomalías medias mensuales al 2030 (Escenario futuro – Escenario actual). *P* es la precipitación; *T*

es la temperatura media; y ETo es la evapotranspiración referencial

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Andahuaylas												
<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>ETo</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
Caycay												
<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>ETo</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
Chalhuanca												
<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>ETo</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
Sicuaní												
<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>ETo</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
Yauri												
<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>ETo</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

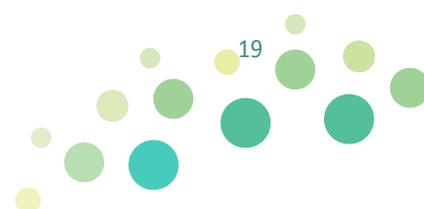


Tabla 2a Principales parámetros del modelo del cultivo y correspondientes valores de la papa

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)
Balance de agua	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)
	Coficiente de cultivo (fase inicial)	K_{c1}	0.25
	Coficiente de cultivo (fase media)	K_{c2}	1.02
	Coficiente del cultivo (fase final)	K_{c3}	0.78

R: escenario actual F: escenario futuro

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

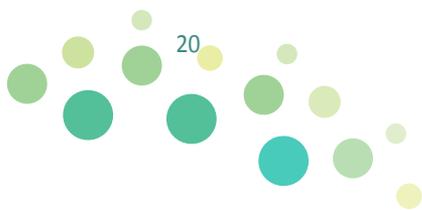
Tabla 2b Principales parámetros del modelo del cultivo y correspondientes valores de la Trigo

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)
Balance de agua	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)Sicuani

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



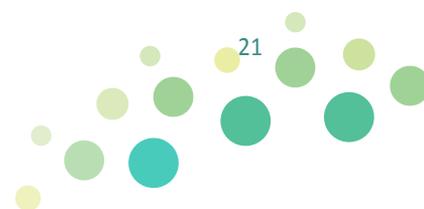
Parámetro		Símbolo	Cebada (Variedad 6 hileras)
Dato de siembra	Dato inicial del período potencial de siembra	DOY_1	306 (RY) 320 (RA) (RC) (RS) 306 (FY) 320 (FA) (FC) (FS)
	Dato final del período potencial de siembra	DOY_2	335 (RY) 350 (RA) (RC) (RS) 335 (RY) 350 (RA) (RC) (RS)
	Cantidad requerida de 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)
	Coficiente de cultivo (fase inicial)	K_{c1}	0.25
	Coficiente de cultivo (fase media)	K_{c2}	1.044
	Coficiente del cultivo (fase final)	K_{c3}	0.75

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



Parámetro		Símbolo	Maiz (Variedad Urubamba)	Maiz (Blanco almidón)
Dato inicial del período potencial de siembra		DOY_1	289 (RCu) 259 (RCy)	289 (RA) 259 (RS)
			289 (FCu) 259 (FC)	289 (FA) 259 (FS)
Dato de siembra	Dato final del período potencial de siembra	DOY_2	320 (RCu) 289(RCy)	320 (RA) 289(RS)
			320 (FCu) 289(FCy)	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)
	Coficiente de cultivo (fase inicial)	K_{c1}	0.4	0.4
	Coficiente de cultivo (fase media)	K_{c2}	1.125	1.125
	Coficiente del cultivo (fase final)	K_{c3}	0.875	0.875

R: escenario actual F: escenario futuro

(A) Andahuaylas (Cy) Caycay (Cu) Curahuasi (S)Sicuni (S)

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

Siembras falladas		Andahuaylas (%)	Caycay (%)	Chalhuanca (%)	Sicuni (%)	Yauri (%)
Papa	Situación actual	7	17	0	7	
	Escenario futuro B2 hacia el 2030	7	17	0	7	
Trigo	Situación actual	41		3	28	
	Escenario futuro B2 hacia el 2030	41		3	45	
Cebada	Situación actual	7		0	3	3
	Escenario futuro B2 hacia el 2030	7		0	10	3
Habas	Situación Actual	7	17		3	
	Escenario futuro B2 hacia el 2030	7	17		7	
Maiz	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	

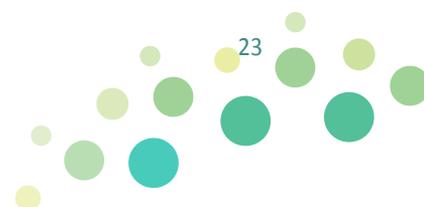


Tabla 5 Estadísticas del déficit de rendimiento (valor medio y desviación estándar) para los cultivos papa, trigo, cebada, habas y maíz, en sus respectivas localidades

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

