

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA**

**Ciclo Optativo de Especialización y Profesionalización en Gestión de  
Calidad y Auditoría Ambiental**



**“IMPACTO DE CAMBIO CLIMÁTICO EN EL CULTIVO DE PAPA  
(*Solanum tuberosum*) Y QUINUA (*Chenopodium quinoa* Will) EN EL  
DEPARTAMENTO DE PUNO”**

**Presentado por:**

**Sheyla Katerine Elizabeth Torres López**

**Trabajo de Titulación para Optar el Título Profesional de**

**INGENIERO AMBIENTAL**

*Lima – Perú*

*2016*

## Dedicatoria

Dedicar este esfuerzo a mis padres, los primeros y principales pilares de mi vida, a mi hermano por su constante motivación y escucha, a Dios por ponerme a la personas indicadas que fueron de gran apoyo para la consecución de la presente investigación, a mis ángeles terrenales y los que ya no están físicamente a mi lado, por sentir su luz en este camino y a mis verdaderos amigos que están y sé que estarán siempre para tenderme una mano, o elevar por mí una oración.

Atentamente:

Sheyla Katerine Elizabeth Torres López

## Agradecimiento

A mi asesor Ing. Ever Menacho Casimiro, por su apoyo académico y su voluntad incondicional, que me permitió llevar a cabo el desarrollo presente trabajo de investigación.

A los profesores de mi casa de estudios, Universidad Agraria la Molina, Profesor Rolando Egúsquiza y Jerónimo García Villanueva, por su apoyo con sus conocimientos.

A todas las personas que me ayudaron y acompañaron de una o otra manera en este camino de investigación, por sus detalles, apoyo y amables servicios.

# ÍNDICE GENERAL

<b>I.</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>II.</b>	<b>REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	3
2.1.	Clima.....	3
2.2.	Cambio climático.....	3
2.3.	Efectos del cambio climático en la agricultura.....	4
2.4.	Impacto del Cambio climático en la región altoandina.....	4
2.5.	Efectos de la temperatura y precipitación en el cultivo de papa y quinua.....	5
2.6.	Tendencia climática proyectada.....	7
2.6.1.	Escenarios climáticos.....	7
2.6.2.	Modelos climáticos.....	8
a.	Modelos de Circulación General (CGM).....	8
b.	Modelo de Circulación General HADAM3P.....	9
2.6.3.	Regionalización.....	9
a.	Downscaling estadístico (Reducción de escala estadístico).....	9
b.	Downscaling dinámico (Reducción de escala dinámica).....	9
2.6.4.	Escenarios regionalizados.....	9
2.7.	Modelo CROPWAT 8.0.....	11
2.8.	Definición de Términos.....	11
<b>III.</b>	<b>MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	14
3.1.	Lugar de estudio.....	14

3.1.1.	Ubicación.....	14
a.	Ubicación Política .....	14
b.	Ubicación Geográfica.....	15
3.1.2.	Clima .....	16
3.1.3.	Actividad Agrícola .....	17
3.2.	Materiales.....	19
a.	Programas de Cómputo .....	19
b.	Programa Informático .....	19
3.3.	Metodología.....	19
3.3.1.	Análisis de consistencia de la información climática.....	19
3.3.2.	temperaturas y precipitación en el periodo actual y en el futuro cercano (2071-2100)	23
3.3.3.	Determinación de los requerimientos hídricos .....	25
3.3.4.	impacto del cambio climático en los cultivos.....	29
<b>IV.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>31</b>
4.1.	Análisis de consistencia de los datos .....	31
4.2.	temperatura y precipitación en el periodo actual y a futuro cercano (bajo escenarios a2 y b2) .....	36
4.3.	Requerimientos hídricos actuales y futuros de los cultivos .....	44
4.3.1.	Requerimiento hídrico del cultivo de papa la localidad de huancane .....	45
a.	Escenario A2-Cultivo de papa.....	48
b.	Escenario B2-Cultivo de papa.....	49

c. Análisis en los Requerimientos de riego proyectados .....	51
4.3.2. requerimiento hídrico del cultivo de quinua para la localidad de juliaca.....	51
a. Escenario A2-Cultivo de quinua .....	53
b. Escenario B2-cultivo de quinua .....	55
c. Análisis en los requerimientos hídricos proyectados .....	57
4.4. impacto del cambio climático .....	57
4.4.1. Impacto en el cultivo de papa para la localidad de Huancane.....	57
4.4.2. Impacto en el cultivo de quinua para la localidad de Juliaca .....	57
<b>V. CONCLUSIONES</b> .....	<b>59</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES</b> .....	<b>60</b>
<b>VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>61</b>
<b>VIII. ANEXOS</b> .....	<b>64</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Centros poblados de la zona de estudio.....	14
Tabla 2. Estaciones meteorológicas de las cuencas Huancané, Suches y cuencas vecinas.	20
Tabla 3. Estaciones meteorológicas de la cuenca del río Coata y cuencas Vecinas.....	21
Tabla 4. Datos de cultivo para los cultivos de papa y quinua .....	26
Tabla 5. Información de cultivo para la zona de estudio.....	27
Tabla 6. Información de altura de los cultivos papa y quinua.....	27
Tabla 7. Requerimientos climáticos del cultivo de papa. ....	29
Tabla 8. Requerimientos climáticos del cultivo de quinua.....	29

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación política del Departamento de Puno.....	15
Figura 2. Mapas de la zona referencial de estudio, distritos de Huancané y Juliaca.....	16
Figura 3. Diagrama de cajas y bigotes.....	23
Figura 4. Ventana principal del Modelo CROPWAT 8.0 .....	28
Figura 5: Diagrama de cajas de la Precipitación mensual en las estaciones de la Cuenca Huancané.....	32
Figura 6: Diagrama de cajas de la Temperatura máxima mensual en las estaciones de la Cuenca Huancané.....	32
Figura 7: Diagrama de cajas de la Temperatura media mensual en las estaciones de la Cuenca Huancané.....	33
Figura 8: Diagrama de cajas de la Temperatura mínima mensual en las estaciones de la Cuenca Huancané.....	33
Figura 9: Diagrama de cajas de la Precipitación mensual en las estaciones de la Cuenca Coata.....	34
Figura 10: Diagrama de cajas de la Temperatura máxima mensual en las estaciones de la Cuenca Coata.....	35
Figura 11: Diagrama de cajas de la Temperatura media mensual en las estaciones de la Cuenca Coata.....	35
Figura 12: Diagrama de cajas de la Temperatura máxima mensual en las estaciones de la Cuenca Coata.....	36
Figura 13: Mapa temático de la Temperatura media mensual en las estaciones de la Cuenca Huancané, para el mes de enero del periodo 1956-2009.....	37



Figura 14: Mapa temático de la Temperatura media mensual bajo el escenario B2 para las estaciones de la Cuenca Huancané, para el mes de enero del futuro cercano, periodo 2071-2100. ....	38
Figura 15: Mapa temático de la Precipitación mensual en las estaciones de la Cuenca Huancané, para el mes de enero del periodo 1956-2009. ....	39
Figura 16: Mapa temático de la Precipitación mensual bajo el escenario A2 en de las estaciones de la Cuenca Huancané, para el mes de enero del futuro cercano, periodo 2071-2100. ....	40
Figura 17: Mapa temático de la Temperatura media mensual para las estaciones de la Cuenca Coata, para el mes de enero del periodo 1967-2006. ....	41
Figura 18: Mapa temático de la Temperatura media mensual bajo el escenario B2 para las estaciones de la Cuenca Coata, para el mes de enero del futuro cercano, periodo 2071-2100. ....	42
Figura 19: Mapa temático de la Precipitación mensual en de las estaciones de la Cuenca Coata, para el mes de enero del periodo 1967-2006. ....	43
Figura 20: Mapa temático de la Precipitación mensual bajo el escenario A2 en de las estaciones de la Cuenca Coata, para el mes de enero del futuro cercano, periodo 2071-2100 del periodo. ....	44
Figura 21: Módulo de Clima/Eto, para estimar la Evapotranspiración Potencial del cultivo de papa en la estación Huancané. ....	45
Figura 22: Módulo de Precipitación efectiva del cultivo de papa en la estación Huancané. ....	46
Figura 23: Módulo de Cultivo de papa en la estación Huancané. ....	46
Figura 24: Módulo de RAC para la estimación de la ETc para el cultivo de papa en la estación Huancané. ....	47
Figura 25: Módulo de Clima/Eto, para estimar la Evapotranspiración Potencial del cultivo de papa en la estación Huancané. Escenario A2. ....	48

Figura 26: Módulo de Precipitación efectiva del cultivo de papa en la estación Huancané. Escenario A2.....	48
Figura 27: Módulo de RAC para la estimación de la ETc para el cultivo de papa en la estación Huancané. Escenario A2.....	49
Figura 28: Módulo de Precipitación efectiva del cultivo de papa en la estación Huancané. ....	50
Figura 29: Módulo de RAC para la estimación de la ETc para el cultivo de papa en la estación Huancané. Escenario B2.....	50
Figura 30: Módulo de Clima/Eto, para estimar la Evapotranspiración Potencial del cultivo de quinua en la estación Juliaca.....	51
Figura 31: Módulo de Precipitación efectiva del cultivo de quinua en la estación Juliaca.	52
Figura 32: Módulo de Cultivo del cultivo de quinua en la estación Juliaca.....	52
Figura 33: Módulo de RAC para la estimación de la ETc para el cultivo de quinua en la estación Juliaca. ....	53
Figura 34: Módulo de Clima/Eto, para estimar la Evapotranspiración Potencial del cultivo de quinua en la estación Juliaca. Escenario A2.....	54
Figura 35: Módulo de Precipitación efectiva del cultivo de quinua en la estación Juliaca.	54
Figura 36: Módulo de RAC para la estimación de la ETc para el cultivo de papa en la estación Juliaca. Fuente: Elaboración propia.....	55
Figura 37: Módulo de Precipitación efectiva del cultivo de quinua en la estación Juliaca.	56
Figura 38: Módulo de RAC para la estimación de la ETc para el cultivo de quinua en la estación Juliaca. Escenario B2. ....	56

## ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1:	Valores de la temperatura media mensual para la cuenca de Huancané en el periodo 1956-2009. Fuente: Elaborados con información del SENAMHI y la ANA.....	64
ANEXO 2:	Valores de la Precipitación total para la cuenca de Huancané en el periodo 1956-2009. Fuente: Elaborados con información del SENAMHI y la ANA.....	65
ANEXO 3:	Valores de la temperatura media mensual para la cuenca de Coata en el periodo 1967-2006. Fuente: Elaborados con información del SENAMHI y la ANA.....	66
ANEXO 4:	Valores de la Precipitación total para la cuenca de Coata en el periodo 1967-2006. Fuente: Elaborados con información del SENAMHI y la ANA .....	67
ANEXO 5:	Ubicación de las estaciones meteorológicas en Puno. Fuente: Extraído de la Dirección General SENAMHI Puno .....	68
ANEXO 6:	Anomalías en la precipitación anual y estacional en escenario climáticos futuro A2 (altas concentraciones de CO <sub>2</sub> ) y B2 (bajas concentraciones de CO <sub>2</sub> ); periodo 2071-2100; Modelo HadRM3. FUENTE: Sanabria, <i>et al.</i> (2009). .....	69
ANEXO 7:	Anomalías en la temperatura anual y estacional en escenario climáticos futuro A2 (altas concentraciones de CO <sub>2</sub> ) y B2 (bajas concentraciones de CO <sub>2</sub> ); periodo 2071-2100; Modelo HadRM3. FUENTE: Sanabria, <i>et al.</i> (2009). .....	70
ANEXO 8:	Anomalías de las proyecciones de las variables meteorológicas actuales de la estación Huancané al futuro cercano (2071-2100), bajo los escenarios A2 y B2. FUENTE: Elaboración propia.....	71
ANEXO 9:	Anomalías de las proyecciones de las variables meteorológicas actuales de la estación Juliaca al futuro cercano (2071-2100), bajo los escenarios A2 y B2. FUENTE: Elaboración propia.....	72
ANEXO 10:	Variables meteorológicas actuales y proyecciones al futuro cercano (2071-2100) para la estación de Huancané, bajo los escenarios A2 y B2. FUENTE: Elaboración propia.....	73

ANEXO 11: Variables meteorológicas actuales y proyecciones al futuro cercano (2071-2100) para la estación de Juliaca, bajo los escenarios A2 y B2. FUENTE: Elaboración propia.....	73
ANEXO 12: Producción y Rendimiento agrícola de los cultivos de papa y quinua en Huancané y Juliaca. FUENTE: Extraído de DRAP. ....	74

## RESUMEN

El cambio climático representa actualmente un fenómeno de riesgo para los futuros rendimientos de los cultivos en todo el mundo. Así los cambios actuales en los patrones actuales de la temperatura así como cambios en los regímenes de las precipitaciones pluviales lo demuestran. En el presente estudio se realizó un análisis del impacto de cambio climático en los cultivos de papa y quinua para el departamento de Puno, teniendo en cuenta las variables meteorológicas determinantes en su desarrollo, como la temperatura y la precipitación.

Primeramente se procesó la información meteorológica de las cuencas de Huancané y Coata del departamento de Puno para los periodos 1967- 2006 y 1956- 2009 respectivamente y sobre ello se utilizaron las anomalías para las variables climáticas de temperatura y precipitación al futuro 2071-2100, de los escenarios regionalizados ETA CCS y el HadRM3, bajo los escenarios climáticos A2 y B2, desarrollados por Sanabria J, et al. 2009 para el Altiplano peruano. Seguidamente se utilizó el modelo de riego de cultivo CROPWAT 8.0 para estimar los requerimientos futuros de riego del cultivo de papa para la localidad de Huancané y del cultivo de quinua para la localidad de Juliaca, de esta manera se logró determinar el impacto de cambio climático en dichos cultivos, sobre las variaciones del requerimiento de riego y variaciones en las variables meteorológicas.

Los resultados indican que se espera un efecto negativo en el futuro cercano futuro 2071-2100, lo que se traduce en mayores demandas de agua y requerimiento de riego durante las campaña agrícolas para el cultivo de papa y de quinua las localidades de Huancané y Juliaca respectivamente, 535 l/m<sup>2</sup> y 486 l/m<sup>2</sup>, respectivamente. En cuanto al cultivo de papa éste se vería medianamente afectado, más que la quinua, por su susceptibilidad al cambio climático, por las condiciones locales y climáticas de la zona de Huancané y finalmente porque se prevé disminuciones en las precipitaciones. Asimismo los resultados indican en cuanto a las temperaturas que los valores de las proyecciones de las temperaturas máximas y mínimas al futuro no sobrepasan los temperaturas críticas del cultivo de papa y quinua, por lo que no se prevé mayor impacto negativo.

## I. INTRODUCCIÓN

Los cambios del clima acentuados en los últimos años, afectan sin duda a los sistemas biológicos y físicos, siendo un sector importante el de la agricultura, tanto por las tendencias generales de aumento de la temperatura como por las perturbaciones en el régimen pluviométrico. Estudios, llevados a cabo en el 2001 y bajo la órbita del IPCC, estimaron que la agricultura enfrentará nuevos desafíos en las próximas décadas.

Desde un punto de vista amplio, la combinación de amenazas y vulnerabilidad genera riesgos climáticos importantes no sólo para los agricultores, las comunidades rurales y el sector agrícola sino también para el logro de objetivos de desarrollo generales, incluida la reducción de la pobreza, el acceso a la educación, la nutrición y el agua, el riego y la electricidad, mejoras de infraestructuras y crecimiento de las ganancias y las exportaciones por la agricultura.

Según el Presidente de Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) y premio Nobel de la paz 2007 Rajendra K. Pachauri (2014), el Perú es uno de los países más vulnerables a los impactos del cambio climático por lo cambios en las cosechas, entre otros, y que ello está afectando a la economía del país.

Respecto al cultivo de quinua en el Perú, tiene una reciente revolución mundial, y es considerado un cultivo con buena tolerancia a la variabilidad de las condiciones climáticas, por otro lado según la FAO (2011), “La quinua es considerada el único alimento vegetal que proporciona los aminoácidos esenciales y balance de proteínas y nutrientes necesarios cercanos a los estándares de nutrición humana. Es considerado un cultivo rústico, con resistencia a sequía, helada y salinidad. En el Perú, la quinua tiene registros estadísticos de producción en 15 Regiones. La Región Puno produce el 80% del volumen total (32,740 toneladas en el 2011).

En cuanto a la importancia del cultivo de papa la papa se encuentra entre los cuatro cultivos alimenticios más importantes del mundo, junto al trigo, arroz y el maíz. Es la base de la alimentación de la zona andina y es producida por cerca 600 mil pequeñas unidades agrarias.

La papa tiene numerosas propiedades nutritivas y un elevado rendimiento por hectárea que permite obtener una producción de energía digestible diaria comparable con los cereales.

Existen estudios realizados que pretenden estimar los riesgos del cambio climático en la agricultura, uno de ellos es del investigador Tonconi (2014), quien considera que al 2035 con una tasa de descuento de 2% en el escenario más severo, las pérdidas acumuladas ocasionadas por el cambio climático sobre la agricultura alimentaria ascienden a 0,58% del PIB Puno 2010. En términos económicos, esto equivale a 20 millones de dólares americanos.

La importancia del presente trabajo de investigación radica en que Perú es el décimo octavo productor de papa en el mundo, y el segundo productor respecto al cultivo de quinua, siendo Puno uno de los principales departamentos productores, y existe mediana documentación de que los efectos por el cambio climático influenciarían de manera negativa a estos cultivos. Por lo que es necesario un estudio que abarque todo lo anterior, es así que se presenta el presente estudio, teniendo en cuenta además que dichos cultivos representan principalmente alimentos de autoconsumo y fuente de ingreso económico.

Así pues el presente trabajo de investigación tiene por objetivo general analizar el impacto de cambio climático en los cultivos de papa y quinua en el departamento de Puno. Tiene además por finalidad el desarrollo de los siguientes objetivos específicos; evaluar la consistencia de la información climática en el departamento de Puno, determinar las temperaturas y precipitaciones al futuro cercano 2071-2100, evaluar los requerimientos hídricos futuros de los cultivos de papa y quinua y determinar los efectos del cambio climático en los cultivos.

Finalmente por todo lo expuesto en la presente, se busca que el presente trabajo de investigación sirva como herramienta para futuros estudios de igual tipo, y materia de estudio para investigadores, con el fin de adoptar medidas de adaptación ante el cambio climático, para un sector tan vulnerable e importante como el de la agricultura.

## **II. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **2.1. CLIMA**

Fond, citado por Baldini (2015), define al clima como la síntesis de conjunto fluctuante de las condiciones atmosféricas, en un área determinada, correspondiente a un período de tiempo lo suficientemente largo para que sea geográficamente representativo. El clima queda caracterizado por los valores estadísticos de los distintos elementos climáticos y por los estados y evoluciones del tiempo.

### **2.2. CAMBIO CLIMÁTICO**

La CMCC (Convención Marco sobre el Cambio Climático de las Naciones Unidas), 1992, define por cambio climático a un cambio del clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables.

Asimismo señala que por efectos adversos del cambio climático se entiende los cambios en el medio ambiente físico resultantes del cambio climático que tienen efectos nocivos significativos en la composición, la capacidad de recuperación o la productividad de los ecosistemas naturales o sujetos a ordenación, o en el funcionamiento de los sistemas socioeconómicos, o en la salud y el bienestar humanos.

Según el IPCC (2007), del periodo de 1995-2006, once figuran entre los doce más cálidos en los registros instrumentales de la temperatura de la superficie mundial, desde 1850. La tendencia lineal a 100 años, del periodo 1906-2005, muestra un calentamiento de 0,74 (0,56 y 0,92) °C, superior a la tendencia correspondiente de 0,6°C (0,4°C y 0,8°C) para el periodo 1901-2000. Este aumento de temperatura está distribuido por todo el planeta y es más acentuado en las latitudes septentrionales superiores. Las regiones terrestres se han calentado más aprisa que los océanos.



### **2.3. EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA AGRICULTURA**

Según Bustamante, citado por Guzmán (2013), para algunas zonas del país, los principales efectos relacionados a la variación de la temperatura y precipitación serán visibles en las variaciones en la temperatura diurna, incrementos en la temperatura máxima, intensificando el ciclo hidrológico, debido a las altas tasas de evaporación, cambios en la estacionalidad y cantidad de precipitación, así como frecuentes sequías o inundaciones.

Velásquez et al., (2011) señalaron que la temperatura tiene un gran efecto en el desarrollo de varios procesos fisiológicos de los cultivos, que pueden aumentar o disminuir la producción de los cultivos, de la misma manera puede provocar la propagación de malas hierbas y plagas. La precipitación caracterizada por presentar una variabilidad espacial y temporal, además de ampliar las probabilidades de fracaso de las cosechas a corto plazo y la disminución de la producción a largo plazo.

El clima es el principal factor que determina las pautas mundiales de la vegetación, su estructura, la productividad y la mezcla de especies animales y vegetales. Muchas plantas se pueden reproducir y crecer con éxito únicamente dentro de un rango específico de temperaturas, y responder a determinadas cantidades y patrones estacionales de precipitación, de igual manera pueden verse desplazadas debido a la competencia con otras plantas, o incluso pueden sobrevivir si el clima cambia.

### **2.4. IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA REGIÓN ALTOANDINA**

Respecto a los impactos del cambio climático sobre la agricultura Cline, según Tonconi (2015), indica que si continúan sin reducirse las emisiones de carbono, para el 2080 la concentración de carbono en la atmósfera se duplicará, produciendo un aumento de calentamiento global de 3,3 °C, ello incidirá en una mayor disminución de la productividad agrícola en Latinoamérica, mucho más en los países en desarrollo, con caídas de 24% sin fertilización carbónica y una reducción del 13% con fertilización carbónica.

Respecto a la región Puno la temperatura promedio ha crecido en 0,8 °C durante el periodo 1960-2010, estos cambios son con mayor frecuencia y severidad en las temperaturas extremas máximas y mínimas, registrando un aumento de 0,94 °C y una disminución de 0,51 °C, respectivamente.

En base a estos indicativos según estudios de Tonconi (2015) se manifiesta que los efectos del cambio climático en la agricultura de Puno crecerán para cada periodo proyectado, hacia el 2035. Las pérdidas acumuladas estarían entre 0,58% y 0,26% del PIB de Puno 2010, en términos económicos equivale aproximadamente entre 20 y 9 millones de dólares para los escenarios climáticos A2 y B2, respectivamente. Para el 2100, el aumento de la temperatura estará entre 2 °C y 5 °C y la precipitación aumentará entre 18% y 40%, esto traerá una reducción entre 2% y 8% del PIB comparado al PIB del 2007.

## **2.5. EFECTOS DE LA TEMPERATURA Y PRECIPITACIÓN EN EL CULTIVO DE PAPA Y QUINUA**

### **a. CULTIVO DE PAPA**

Conforme a Elías citado por Giraldez (2009), el cultivo de papa se trata de una planta de clima templado frío, siendo las temperaturas más favorables para su cultivo las que están en torno a 13 y 18°C, si la temperatura es demasiada elevada afecta la formación de tubérculos y favorece la formación de plagas y enfermedades, temperaturas a -2 a -3°C destruyen las partes aéreas de la planta en la mayoría de las variedades.

Ruesta según Bolívar (2012) explica la influencia de los elementos meteorológicos en cada una de las etapas del crecimiento del cultivo de papa:

**Siembra:** se considera a la planta de papa como un cultivo de media estación debiendo sembrarse pasado el invierno para que así pueda florecer rápidamente. Aconseja además una temperatura a 10 cm. del suelo de 8°C para su siembra. Cuando se hacen las plantaciones con temperaturas bajas, la germinación se ve retrasada, así como también cuando se hace con exceso de humedad, ya que los brotes son destruidos porque el tubérculo se pudre.

**Brotación:** Con una temperatura promedio entre 6°C a 7°C en el suelo a 10 cm de profundidad se consigue una buena brotación siendo la temperatura óptima entre 20 a 25°C.

En cuanto a las necesidades hídricas de la papa, ésta es sensible tanto la insuficiencia como el exceso de la lluvia en el sub-período entre la plantada y brotamiento.

**Emparejamiento:** El cultivo durante esta fase aún no es parejo, es decir mientras que unas plantas llegan a la floración, otras aún no.

Tuberización: En esta fase la temperatura juega un papel muy importante, ya sea acelerándola o retardándola. Una mejor tuberización se presenta con temperaturas bajas, las ideales están comprometidas entre 10 y 20° C.

Floración: En esta fase las plantas son más susceptibles a las heladas, pues aunque sea muy ligera es suficiente para destruir totalmente la planta, resultando las heladas tardías las más perjudiciales.

Cosecha: Es muy importante escoger el tiempo de cosecha del cultivo de papa. Un mal tiempo por ejemplo como una lluvia fuerte o helada con nieve puede hacer que el tubérculo se deprecie por un brotamiento de las yemas, o en todo caso la cosecha almacenada se eche a perder rápidamente.

## **b. CULTIVO DE QUINUA**

Risi, citado por Quispe (2011), indica que en el Altiplano, la quinua es cultivada en altitudes cercanas a 4000m., y que la temperatura promedio varía entre 7°C a 10°C. Sin embargo, el rango entre la temperatura máxima y temperatura mínima tiende a ser menor en áreas cercanas al lago Titicaca. Los cultivares de quinua en el Altiplano, tienen un periodo vegetativo de 5 a 6 meses. La quinua es considerada como un cultivo de años secos y puede tolerar alta radiación y evaporación y reducción en la humedad del suelo, debido probablemente al gran desarrollo y profundidad del sistema radicular y a la presencia de vesículas pubescentes en sus hojas.

Según Falconí (2001), la quinua se desarrolla en climas secos y fríos, en altitudes que van de 3,815 m.s.n.m a 3,950 m.s.n.m. En el caso de Puno las zonas agroecológicas donde se ubica es Circunlacustre y Suni. Los suelos deben ser franco arenosos y de buen drenaje, con un pH de 5.5-7-8.

Respecto a la precipitación la quinua tolera la falta de humedad. Las precipitaciones mínimas de 200mm-250mm, óptimo 300mm-500mm y máximo de 600 a 800 anuales, las fases susceptibles al déficit hídrico son floración y llenado de grano. Durante el panojamiento el déficit hídrico beneficia al desarrollo del grano. El exceso de humedad originado por inundaciones genera pudrición de raíces; mientras que el exceso de humedad en la atmósfera en floración y madurez pastosa o fisiológica hace al polen inviable y a que germine en la panoja respectivamente.

En cuanto a la temperatura óptima varía de 8°C a 18°C, y puede soportar hasta -10°C, en determinadas etapas fisiológicas, siendo más tolerante en la ramificación y las más susceptibles, floración y llenado de grano. Cuando más intensa y duradera es la helada, mayor es la posibilidad de muerte de tejido celular. Para una germinación aceptable la temperatura mínima es de 5°C. Temperaturas mayores a 15°C, causan pérdidas por respiración, traen el riesgo de ataque de insectos u hongos. La presencia de veranillos prolongados, con altas temperaturas diurnas adelanta la formación de la panoja y su maduración, aborto de flores y pérdida de polen, lo que repercute en bajos rendimientos.

## **2.6. TENDENCIA CLIMÁTICA PROYECTADA**

### **2.6.1. ESCENARIOS CLIMÁTICOS**

Según El IPCC (Grupo Intergubernamental de expertos sobre el Cambio Climático), 2001, los escenarios de futuros mundiales son descripciones hipotéticas de los posibles mundos futuros. Pueden complementar las evaluaciones más cuantitativas de los escenarios de emisiones, porque tienen en cuenta dimensiones que evitan la cuantificación, como la gestión de gobierno y las estructuras e instituciones sociales, pero que son de todos modos importantes para el éxito de las políticas de mitigación.

El IPCC creó seis nuevos grupos de escenarios de emisiones de GEI, organizados en cuatro “familias” de escenarios, y los publicó en su Informe especial sobre escenarios de emisiones (IE-EE), ellos se describen a continuación:

A1: La familia de líneas evolutivas y escenarios A1 describe un crecimiento económico y poblacional muy rápido, así como una rápida introducción de tecnologías nuevas y más eficientes. Se divide en tres grupos según las alternativas de cambio tecnológico. i) A1F1, intensiva en combustibles fósiles, ii) A1T, energías de origen no fósil y iii) A1B, equilibrio entre ambas fuentes.

A2: la familia de líneas evolutivas y escenarios A2 describe un mundo muy heterogéneo. Representa un modelo con un continuo crecimiento, con un lento desarrollo económico orientado básicamente a las regiones, así como un crecimiento tecnológico más fragmentado.

B1: La familia de líneas evolutivas y escenarios B1 describe un mundo convergente, con una población mundial que alcanza su valor máximo hacia mediados de siglo y desciende

posteriormente, y se basa en la evolución más rápida de las estructuras económicas hacia una economía de servicios y de información, pero con la misma población mundial que A1.

B2: La familia de líneas evolutivas y escenarios B2 engloba una población y un crecimiento económico intermedio, menor que en A2 y con cambios tecnológicos más lentos y más diversos que en las líneas evolutivas B1 y A1, y está orientada hacia las soluciones locales para lograr una sostenibilidad económica, social y medioambiental.

## **2.6.2. MODELOS CLIMÁTICOS**

Baldini (2015) refiere a los modelos climáticos como un conjunto de ecuaciones que describen diversos procesos físicos, como los cambios en la presión atmosférica o la radiación solar. Este modelo divide a la atmósfera del planeta y el océano en una grilla tridimensional. El conocimiento actual de los procesos climáticos más relevantes es incompleto, de manera que sólo son aproximaciones a la realidad, esto por la capacidad actual limitada de grillas que ofrecen las computadoras, así como el desconocimiento de los ciclos de carbono y concentraciones de los demás gases de efecto invernadero, y por último la tasa de emisiones de origen antrópico.

Los modelos globales de clima son representaciones matemáticas de la naturaleza, sus componentes e interacciones, con un grado de complejidad tal que solo computadores poderosos (llamados de supercomputadoras) pueden ser usados. En los modelos, la superficie de la tierra es dividida en cajas o grillas, de dimensiones regulares. Los modelos globales trabajan con resoluciones espaciales muy bajas, con una grilla de 300 a 500km de extensión en latitud y longitud. (Sanabria *et al.*, 2009).

### **a. Modelos de Circulación General (CGM)**

Los GCM son representaciones numéricas tridimensionales, que se emplean para simular el comportamiento del sistema climático global, esto es simulan los vientos, corrientes oceánicas y otros procesos importantes. El modelo acoplado océano atmósfera relaciona el océano con la atmósfera e incluye las respuestas del vapor de agua, nubes, y las variaciones estacionales de nieve y la cobertura de hielo. (Baldini, 2015).

## **b. Modelo de Circulación General HADAM3P**

Según el estudio realizado por Marengo, *et al.*, citado por Sanabria, *et al.*, 2009 señalan que el modelo global HadAM3P integra dos componentes, el oceánico del HadCM3 (Gordon, 2000) y el atmosférico HadAM3 (Pope, 2000). Para el presente estudio las simulaciones 1961-1990 fueron forzados con datos observados de temperatura superficial del mar (SSTs). Para el periodo futuro 2071-2100 fue forzado con SSTs, el cual es formado con datos observados de SSTs más la media de los cambios y tendencia calculados de las proyecciones de los modelos acoplados (Marengo, 2009).

### **2.6.3. REGIONALIZACIÓN**

La regionalización se refiere al proceso de reducción de escala (*downscaling*) para adaptar las proyecciones de gran escala generadas por los modelos climáticos globales a las características regionales o locales. El método de reducción de escala consiste en establecer relaciones entre las variables simuladas por los modelos de circulación global (CGM) y los valores históricos de elementos climáticos, como la precipitación o temperaturas, registrados en estaciones meteorológicas. (Baldini, 2015).

#### **a. Downscaling estadístico (Reducción de escala estadístico)**

Son aquellos que se utilizan los parámetros del modelo y se ajustan a los datos observados para simular el clima presente y estos son luego aplicados para proyectar localmente las predicciones futuras suponiendo su estacionalidad de los GCM 'S' (Córdova, 2015).

#### **b. Downscaling dinámico (Reducción de escala dinámica)**

Según Córdova (2015) estas técnicas se basan en el uso de modelos climáticos regionales (MCR). El downscaling dinámico se basa en procesos físicos, éste resuelve ecuaciones diferenciales que representan tales procesos a partir de un GCM que aporta condiciones iniciales y de contorno. Los RCMs se desarrollan para áreas específicas empleando las salidas de los GCMs como condiciones de contorno.

### **2.6.4. ESCENARIOS REGIONALIZADOS**

Entre los modelos regionales para Puno, establecidos por Senamhi se encuentran el HadRM3 y el ETA CSS por su efectiva estimación respecto a las variables de precipitación y

temperatura respectivamente. Para el caso se tiene en cuenta el estudio de Sanabria J, *et al.* 2009; Escenarios de Cambio Climático con modelos regionales sobre el Altiplano Peruano, Departamento de Puno, en donde se seleccionaron los modelos climáticos regionales estudiados el ETA CCS y el HadRM3, corridos con las condiciones del modelo global inglés HadAM3P, hasta 20100 y para los escenarios A2 y B2. Por ser los que más se aproximaron a lo observado, los cambios climáticos futuros se basaron en los resultados de estos modelos. Entonces, en el futuro 2071 – 2100, la precipitación proyectada por el modelo HadRM3 en el escenario A2 (altas concentraciones de CO<sub>2</sub>) mostró incrementos de precipitación de hasta 2mm/día principalmente en la época lluviosa (SON y DEF), y en el escenario moderado B2 (bajas concentraciones de CO<sub>2</sub>) similares al patrón actual. Por otro lado, la temperatura proyectada, obtenida de la media aritmética de los modelos HadRM3 y el ETA CSS simularon para los escenarios A2 y B2 incrementos entre 2°C a 4°C, más aún al norte de lago con incrementos de hasta 6°C.

#### **a. Modelo Regional HadRm3**

Es una versión actual del modelo regional HadCM3, del Centro Hadley del Reino Unido, que tiene una resolución espacial de 50 x 50 km y una resolución vertical de 19 niveles (de la superficie hasta 30 km en la estratosfera). En los estudios de Sanabria *et al.*, 2009, este modelo fue corrido para dos escenarios de emisiones de CO<sub>2</sub> SRES A2 (altas concentraciones de CO<sub>2</sub>) y SRES B2 (bajas concentraciones de CO<sub>2</sub>) para los años del período del clima actual 1961-1990 y del período clima futuro 2070 -2100. Marengo, 2009, refiere además en ellos que el modelo HadRM3P consigue representar relativamente bien el padrón espacial y temporal de la precipitación y temperatura como también las principales características de circulación atmosférica a gran escala. Todavía, regionalmente hay errores sistemáticos; sobre los Andes la precipitación es sobrestimada y la temperatura subestimada.

#### **b. Modelo Regional ETA CSS**

El modelo regional ETA fue desenvuelto en el Centro National de Predicción Ambiental (NCEP). Este describe una estructura de campo horizontal de punto de grado E y una estructura de coordenada *vertical eta* para reducir errores numéricos sobre las montañas calculando el gradiente de fuerza de presión. Integra el área de América del sur en 58.5°W a 89° W de longitud y 22°S a 16°N de latitud. En su versión para cambio climático, el modelo ETA CCS, desarrollado por Pisnichenko, 2009 fue incorporado continuas integraciones para

periodos de cualquier duración, ampliando el límite de ETA no solo a estudios de pronósticos sino también para simulaciones de cambio climático. (Sanabria *et al.*, 2009).

## **2.7. MODELO CROPWAT 8.0**

Según la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación), 2015, el CROPWAT 8.0 para Windows es un programa informático para el cálculo de los requerimientos de agua de los cultivos y las necesidades de riego en base a datos de suelo, clima y cultivos. Además, el programa permite el desarrollo de programas de riego para diferentes condiciones de manejo y el cálculo del esquema de suministro de agua para variar los patrones de cultivo. CROPWAT 8.0 también se puede utilizar para evaluar las prácticas de riego de los agricultores y para estimar el rendimiento de los cultivos, tanto en condiciones de secano y de regadío.

Según Ramírez (2011), los métodos del CROPWAT determinan: la evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>), necesidades de agua de los cultivos, precipitación efectiva y necesidades de riego; además el calendario de riego se basa en un balance diario de humedad del suelo con varias opciones de aplicación del agua y condiciones de manejo del riego de un patrón de cultivos y la programación del riego.

Los datos climatológicos que requiere el programa son los siguientes: a) información básica de la estación meteorológica: nombre del país, nombre de la estación, altitud, latitud y longitud; y b) datos climáticos mensuales de: precipitación (p), temperatura máxima, mínima y media, humedad relativa, insolación (horas brillo sol) y velocidad del viento.

La información de los cultivos que se necesita para calcular los requerimientos de agua es la siguiente: duración de la etapa de crecimiento, se consideraron la inicial, desarrollo, media y final, en días; coeficiente de cultivo K<sub>c</sub>, profundidad de raíces, factor de reducción de rendimiento K<sub>y</sub>, fechas de siembra del cultivo y fracción de abatimiento de humedad p.

## **2.8. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS**

A continuación se definen algunos términos, en el ámbito del presente trabajo de investigación:

Coeficiente de cultivo (K<sub>c</sub>)



Es un parámetro que permite estimar la evapotranspiración real máxima de un cultivo en función de la evapotranspiración potencial o de referencia (Eto). García (2012).

El Kc se determina para distintas etapas de cultivo (I, II, III, IV) en base al desarrollo y cobertura del cultivo, como se indica: etapa I, fase de germinación o brotación hasta el 10% del desarrollo vegetativo (DV), etapa II, del 10% DV-80% DV, etapa III, del 80% DV-100% DV (inclusive formación de frutos) y etapa IV, fase de maduración. García (1992).

#### Demanda de agua (Etc)

Su valor constituye las necesidades hídricas brutas de los cultivos para su desarrollo óptimo y representan la cantidad de agua que debe existir en la zona radical de un cultivo para satisfacer su demanda evaporativa. (Reckmann, 2015).

#### Demanda de agua neta de los cultivos (Req. riego)

Estas necesidades constituyen la cantidad de agua que se ha de suministrar a la zona radical del cultivo mediante el riego. Para calcular de Demanda de agua neta se descuenta la cantidad de agua aportada (ETc) por la precipitación efectiva (Pe). (Reckmann, 2015).

#### Evapotranspiración actual o Real (E)

Es la pérdida de agua hacia la atmósfera desde las superficies húmedas con vegetación, ello incluye la evaporación desde suelos húmedos y la transpiración a través de las plantas. En términos de cultivo, es definido como la pérdida de agua desde campos de cultivo en cualquier instante, independiente de su estado de desarrollo y bajo las condiciones climatológicas reinantes. García (1992).

#### Evapotranspiración del cultivo de referencia (Eto)

En términos de cultivo es definido como la pérdida de agua desde extensos campos de cultivo en su estado de crecimiento y desarrollo intenso, con el suelo sin déficit de agua, o sea, teniendo el suelo con -62 cm. de columna de agua. García (1992).

#### Factor de respuesta del rendimiento (Ky)

Según la FAO (2012) es el factor de respuesta del rendimiento que representa el efecto de una disminución de la evapotranspiración sobre las pérdidas de rendimiento. La relación Ky ha demostrado una notable validez y ha brindado un procedimiento utilizable para

cuantificar los efectos de los déficits de agua sobre el rendimiento. Así se tiene diferentes valores para  $K_y$ :

$K_y > 1$ : la respuesta del cultivo es altamente sensible al déficit hídrico, con una disminución del rendimiento proporcionalmente mayor que la disminución del uso del agua debido al estrés.

$K_y < 1$ : el cultivo es más tolerante al déficit hídrico y se recupera parcialmente del estrés, mostrando disminuciones del rendimiento proporcionalmente menores, debidas a la disminución del uso del agua.

$K_y = 1$ : la disminución del rendimiento es directamente proporcional a la disminución del uso del agua.

#### Fracción de agotamiento de la humedad del suelo ( $p$ )

Según la FAO (2006), “ $p$ ” representa la fracción promedio del total de agua disponible en el suelo (ADT) que puede ser agotada de la zona radicular antes de presentarse estrés hídrico (reducción de la ET). El factor  $p$  varía de un cultivo a otro. El factor  $p$  varía normalmente entre 0,30 para plantas de raíces poco profundas, a tasas altas de  $ET_c$  ( $> 8 \text{ mm d}^{-1}$ ), hasta 0,70 para plantas de raíces profundas y tasas bajas de  $ET_c$  ( $< 3 \text{ mm d}^{-1}$ ). Un valor de 0,50 para  $p$  es utilizado comúnmente para una gran variedad de cultivos.

#### Precipitación efectiva ( $P_e$ )

Representa la fracción de la precipitación que contribuye a satisfacer la demanda de agua ( $E_t$ ) de un cultivo. (Reckmann, 2015).

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. LUGAR DE ESTUDIO

El criterio para definir la zona de estudio, se llevó a cabo teniendo en cuenta las cuencas más cercanas al lago Titicaca, por ser consideradas éstas zonas aptas y de buenos rendimientos por sus condiciones climáticas y agrícolas para los cultivos de quinua y papa. Los distritos escogidos fueron Huancané, perteneciente a la cuenca Huancané y Juliaca a la cuenca Coata, para el análisis del cambio climático en los cultivos de dichas zonas.

Por otro lado se consideró un tipo de cultivo por zona de producción, para llevar a cabo ello se realizó una comparación entre los dos distritos y su nivel de producción del cultivo de papa y quinua en los últimos años, la información fue extraída de la Dirección Regional Agraria de Puno. La información detallada se muestra en la Tabla 1.

**Tabla 1. Centros poblados de la zona de estudio.**

Número	Departamento	Cuenca	Provincia	Distrito	Cultivo predominante
1	Puno	Huancané	Huancané	Huancané	Papa
2	Puno	Coata	San Román	Juliaca	Quinua

FUENTE: Elaboración Propia.

#### 3.1.1. UBICACIÓN

##### a. Ubicación Política

Puno está conformado por trece Provincias, 104 Distritos y 874 Comunidades Campesinas. Con fines administrativos, se divide en 10 microrregiones: Macusani-San Gabán, Crucero, Sandia, Melgar, Azángaro, Huancané, Juliaca, Lampa, Puno, Ilave- Juli y Frontera Sur. En la figura 1 se puede observar la ubicación departamental de Puno.



**Figura 1. Ubicación política del Departamento de Puno.**

FUENTE: <http://www.depuno.com/mapas/mapa-departamento-puno/>

## **b. Ubicación Geográfica**

El departamento de Puno está ubicado al sur del Perú entre la latitud 13°S y 17°S y longitud 68,5°W y 71°W y a una altitud entre 3700 a 4400 msnm. Del área total que comprende el departamento de Puno la mayor parte es de características Altiplánicas (-14°S a -17.5°S), solamente una pequeña área o franja angosta al noreste es de características de región Amazónica (-13°S a -14°S).

### **a. Cuenca Huancané**

La cuenca del río Huancané se ubica dentro del Departamento de Puno, ocupa las superficies de las provincias de Huancané, Moho, San Antonio de Putina y Azángaro.

La cuenca Huancané se encuentra ubicada según coordenadas UTM

- Este : 376030 - 468557
- Norte : 8301965 - 8397410
- Altitud : 3,806 - 5,100 msnm

Para los efectos del presente de la presente investigación la estación de estudio cercana al distrito de Huancané se encuentra ubicada en las coordenadas geográficas: latitud 15° 12', longitud 69° 45', con una altitud de 3840 msnm.

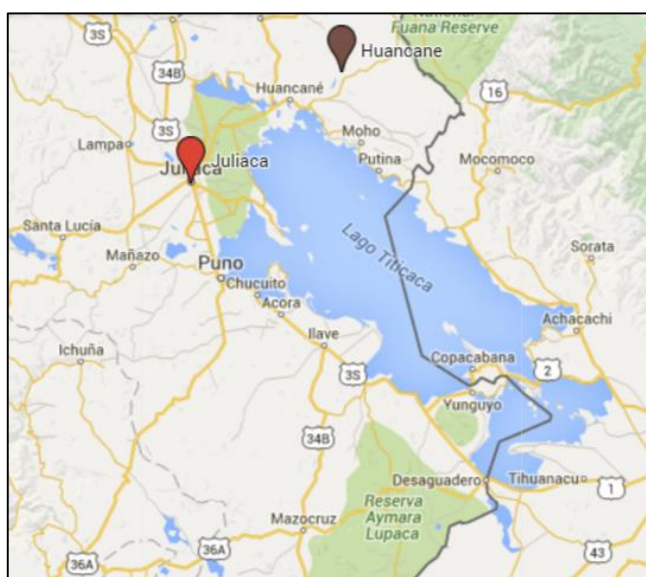
## b. Cuenca Coata

La cuenca del río Coata se ubica íntegramente dentro del Departamento de Puno, ocupa las superficies de las provincias de San Román, Lampa y parte de las provincias de Puno y Huancané.

La cuenca Coata se encuentra ubicada según coordenadas UTM

- Este : 282907 – 401525
- Norte : 8328509 – 8239696
- Variación Altitudinal: 5,300 – 3,800 m.s.n.m.

Para los efectos del presente de la presente investigación la estación de estudio cercana al distrito de Juliaca se encuentra ubicada en las coordenadas geográficas: latitud  $15^{\circ} 26'$ , longitud  $70^{\circ} 12'$  y a una altitud 3892 msnm.



**Figura 2. Mapas de la zona referencial de estudio, distritos de Huancané y Juliaca.**

FUENTE: Google Maps (2016).

### 3.1.2. CLIMA

La sierra Puneña está delimitada por la cordillera occidental y oriental de los Andes y fluctúa entre 3,812 m.s.n.m (orillas del Lago Titicaca) y 5,000 m.s.n.m. Las condiciones climáticas en el Altiplano indican que la precipitación está restringida a los meses de noviembre a marzo acumulando valores entre 500 a 900 mm; y que las condiciones térmicas están caracterizadas

por temperaturas máximas absolutas que oscilan entre 14°C a 18°C y mínimas entre -7°C a 3°C, por tanto las temperaturas medias oscilan entre 4°C a 9°C.

El clima local en el departamento de Puno está profundamente afectado por la altitud, la proximidad al lago Titicaca y la topografía local. El clima es frío y seco. En las épocas de mayor frío (junio a agosto), hay fuerte incidencia de las heladas, en este tiempo las temperaturas mínimas pueden registrarse a 15°C bajo cero.

Respecto a los valores de humedad relativa los valores promedio más altos en el altiplano se registran durante los meses de verano, entre los meses de enero, febrero y marzo son mayores al 70% y los más bajos se dan durante los meses de invierno de junio, julio y agosto, menores a 50%.

### **3.1.3. ACTIVIDAD AGRÍCOLA**

#### **a. Cuenca Huancané**

##### Agricultura

Una de las actividades más importantes en la cuenca del río Huancané es la agricultura; en la parte baja, media y alta de la cuenca, la campaña agrícola son de riego y régimen seco que generalmente depende por las precipitaciones pluviales. La agricultura está acentuada más en la cuenca media y baja, debido a las condiciones favorables de clima, relieve, calidad agrologica de suelos y disponibilidad hídrica. Los factores que afectan generalmente a los cultivos en las cuencas de estudio, son las ocurrencias de las inclemencias del clima (heladas y sequías). Los cultivos principales, son: Papa, Cebada (grano y forrajera), Avena (grano y forrajera), Habas, Quinua, Cañihua, Trigo, Olluco, Oca, Alfalfa, Pastos Cultivados y otros. La mayor parte de los cultivos son para consumo humano y subsistencia de los mismos y un mínimo porcentaje lo llevan al mercado para la venta o intercambio de alimentos. Respecto a la demanda hídrica actual el uso agrícola es de mayor significancia, no sólo por ser notablemente superior respecto a los otros, sino también por su importancia socio-económica.

##### Variedad de papa, Imilla Negra

Tiene un periodo vegetativo de 130 a 160 días aproximadamente. La altura del cultivo varía de 0.6 m a 0.8m, con una profundidad de raíces es de 30 a 50 cm (Egúsquiza, 2016).

## **b. Cuenca Coata**

La cuenca del río Coata se ubica íntegramente dentro del Departamento de Puno, ocupa las superficies de las provincias de San Román, Lampa y parte de las provincias de Puno y Huancané.

La cuenca Coata se encuentra ubicada según coordenadas UTM

- Este : 282907 – 401525
- Norte : 8328509 – 8239696
- Variación Altitudinal: 5,300 – 3,800 m.s.n.m.

Para los efectos del presente de la presente investigación la estación de estudio cercana al distrito de Juliaca se encuentra ubicada en las coordenadas geográficas: latitud 15° 26', longitud 70° 12' y a una altitud 3892 msnm.

### Agricultura

La actividad agrícola es una de las actividades importantes porque presenta el 11.86 % de la superficie agrícola total regional. El 95% de la superficie es cultivada bajo el régimen de secano, es decir, que depende de las lluvias, las que son irregulares en cantidad y distribución; y en mínima proporción es bajo riego. Los cultivos están expuestos a las fuertes heladas es decir a las inclemencias del clima.

Como especies cultivables en esta región se tiene: quinua, cebada, alfalfa, otros pastos cultivados, avena grano, cañihua, cebada grano, maíz amiláceo, trigo, cebolla, arveja, habas, mashua, oca, olluco, papa, avena, y cebada forrajera.

Uno de los principales cultivos es la quinua que en la campaña agrícola 2002/2003 tuvo su mayor producción en 5,062 TM. En una superficie de 3,985 Has. mostrando un incremento del 21.8% respecto a la campaña anterior (4,156 TM.) y 157.5 % con respecto a la campaña 2000/2001 (1,966 TM.) debido a que en dicha campaña se tuvo efecto climáticos negativos (inundaciones, heladas) que ocasionó pérdidas de 551 has., mayormente en los distritos de Saman, Cabana y Taraco. Las principales zonas productoras son los distritos de Cabana, Taraco, Juliaca, Pusi, Cabanillas. En la figura 2 se muestra las zonas de estudio.

### Variedad de quinua, Kancollaq

Según Tapia, mencionado por Raygada (2011), ésta variedad es algo tardía (179 días), en las condiciones del altiplano de Puno. La planta es de color verde, la panoja puede ser blanca o rosada y alcanza una altura de 1,00 a 1,60 m., variando con la densidad de siembra.

## **3.2. MATERIALES**

### **a. Programas de Cómputo**

- Programa para modelamiento ArcGis 10.1, con el ArcMap, ArcCatalog y ArcToolbox, con las extensiones: 3D Analyst, Spatial Analyst Tools, Conversion Tools. Se elaboró los mapas temáticos de temperatura y precipitación, a un nivel espacial.

### **b. Programa Informático**

- Modelo agroclimático CROPWAT 8.0, que permitió las estimaciones de las demandas hídricas de los cultivos seleccionados, así como los requerimientos de riego. Disponible en: [http://www.fao.org/nr/water/infores\\_databases\\_cropwat.html](http://www.fao.org/nr/water/infores_databases_cropwat.html)

## **3.3. METODOLOGÍA**

### **3.3.1. ANÁLISIS DE CONSISTENCIA DE LA INFORMACIÓN CLIMÁTICA**

Para el cumplimiento del primer objetivo, evaluar la consistencia de la información climática en el departamento de Puno, se procedió con los siguientes pasos:

#### **a. Recolección de datos**

Primeramente se recabó la información climática correspondiente a las cuencas de Huancané y Coata. La información fue obtenida de estudios hidrológicos de referencia de las cuencas de Huancané y Coata, elaborados por la Autoridad Nacional del Agua (ANA) y el Ministerio de Agricultura (MINAG) respectivamente.

La data meteorológica para esta primera etapa corresponde a los valores de temperaturas máximas, medias y mínimas, así como la precipitación total mensual de las estaciones meteorológicas de las cuencas de Huancané y Coata de los periodos de 1956-2009 y 1967-2006 respectivamente.



El número de estaciones corresponden a 16 estaciones meteorológicas por cada cuenca y son estaciones administradas por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) de Puno y Bolivia.

Para el efecto del presente estudio se ha considerado trabajar con los datos del mes de Enero, ya que la planta de papa alcanza el período de crecimiento vegetativo en el cual es más sensible a los efectos del clima. (Bolívar, 2012).

En las Tablas 2 y 3 se muestran la ubicación de las estaciones meteorológicas de las cuencas de Huancané y Coata respectivamente.

**Tabla 2. Estaciones meteorológicas de las cuencas Huancané, Suches y cuencas vecinas.**

Número	Nombre	Provincia	Latitud	Longitud	Altitud (msnm)
1	Huancané	Huancané	15° 12'	69° 45'	3840
2	Putina	San Antonio de Putina	14° 55'	69° 55'	3856
3	Muñani	Azángaro	14° 45'	69° 57'	3948
4	Huaraya Moho	Moho	15° 23'	69° 29'	3832
5	Cojata	Huancané	15° 0'	69° 21'	4327
6	Suches	La Paz	14° 47'	69° 19'	4327
7	Ananea	San Antonio de Putina	14° 40'	69° 32'	4655
8	Crucero	Puno	14° 21'	70° 01'	4130

“Continuación...”

9	Progreso	Azángaro	14°40'	70° 21'	3940
10	Azángaro	Azángaro	14° 54'	70° 11'	3848
11	Arapa	Azángaro	15°09'	70° 07'	3830
12	Taraco	Huancané	15° 18'	69° 58'	3820
13	Conima	Moho	15° 27'	69° 26'	3860
14	Puerto Acosta	Camacho	15° 32'	69° 15'	3835
15	Escoma	Camacho	15° 40'	69° 08'	3828
16	Chahuaya	Camacho	15° 45'	68° 59'	4500

FUENTE: Elaboración Propia

**Tabla 3. Estaciones meteorológicas de la cuenca del río Coata y cuencas Vecinas.**

Número	Nombre	Provincia	Latitud	Longitud	Altitud
1	Llalli	Melgar	14° 56'	70° 53'	3980
2	Ayaviri	Melgar	14° 52'	70° 35'	3928
3	Pucara	Lampa	15° 02'	70° 21'	3900
4	Pampahuta	Lampa	15° 29'	70° 40'	4400

“Continuación...”

5	Cabanillas	San Román	15° 38'	70° 20'	3892
6	Mañazo	Puno	14° 48'	70° 03'	3920
7	Lampa	Lampa	15° 21'	70° 22'	3892
8	Juliaca	San Román	15° 26'	70° 12'	3892
9	Taraco	Huancané	15° 18'	69° 58'	3826
10	Capachico	Puno	15° 36'	69° 49'	3820
11	Puno	Puno	15° 49'	70° 00'	3828
12	Quillisani	Lampa	15° 23'	70° 45'	4600
13	Ichuña	Moquegua	16° 07'	70° 33'	3800
14	Condorama	Caylloma	15°24'	71° 18'	4160
15	Crucero Alto	Caylloma	15° 46'	70° 55'	4470
16	Imata	Caylloma	15° 50'	71° 5'	4519

FUENTE: Elaboración Propia.

#### **b. Elaboración de Diagrama de cajas**

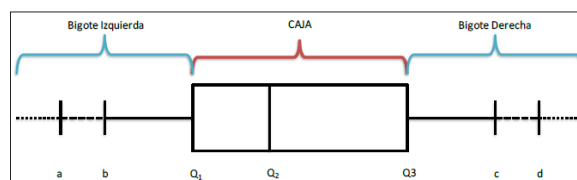
Aquí se procesaron las variables meteorológicas antes mencionadas para realizar el análisis de consistencia. Se realizó un análisis de consistencia de la data histórica de la temperatura

máxima, mínima y precipitación media de las estaciones señaladas con el fin de detectar posibles errores en los datos meteorológicos tomados en cuenta.

La inconsistencia de datos es sinónimo de error sistemático y se presenta como saltos y no homogeneidad y es definido como los cambios de los datos vírgenes con el tiempo debido a las acciones del hombre o causas naturales. (Mejía, 2006 citado por Bolívar, 2012).

Para la generación de los diagramas de caja se usó el lenguaje de programación MATLAB R2012 bajo el sistema Windows XP.

El diagrama de caja y bigotes consta de una caja central y dos segmentos horizontales (bigotes) que parten del centro de cada lado de la caja como se puede visualizar en la Figura 4-1. La caja central encierra el 50% de los datos. La línea vertical al interior de la caja representa la mediana o 50 percentil ( $Q_2$ ). Si esta línea está en el centro de la caja, no hay asimetría en los datos. Se suelen también representar aquellas observaciones que caen fuera de este rango (outliers o valores extremos). Los lados verticales de la caja están situados en los cuartiles inferior (25 percentil  $Q_1$ ) y superior (75 percentil  $Q_3$ ) de los datos. Partiendo del centro de cada lado vertical de la caja se dibujan los bigotes, uno hacia la izquierda y el otro hacia la derecha. Ver figura 3.



**Figura 3. Diagrama de cajas y bigotes.**

FUENTE: Moros, A. (2010).

### **3.3.2. TEMPERATURAS Y PRECIPITACIÓN EN EL PERIODO ACTUAL Y EN EL FUTURO CERCANO (2071-2100)**

Para realizar el cumplimiento del segundo objetivo, determinar las temperaturas y precipitaciones al futuro cercano 2071-2100, se procedió de la siguiente manera:

#### **a. Variables meteorológicas a través de los mapas climáticos**

Para ello se utilizaron las variables meteorológicas con los valores consistentes para la zona de estudio, resultantes del cumplimiento del primer objetivo. La generación de los mapas

temáticos se llevó a cabo utilizando el Sistema de Información Geográfica ArcGis 10.1, de la manera siguiente:

Primeramente se trabajó para las estaciones meteorológicas de la subcuenca Huancané y de las subcuenca Coata, a la que se dio el siguiente sistema de coordenadas: Projected Coordinate System: WGS\_1984\_UTM\_Zone\_19S, en metros.

En un formato Excel se elaboraron las muestras de estaciones, con datos de temperatura (°C) y precipitación (mm), y se insertaron en la hoja de trabajo y, asignándole Display XY data donde X (latitud) Y (longitud), especificando el sistema de coordenada.

Como siguiente paso se utilizó la herramienta ArcToolbox, Spatial Analyst Tools, Interpolation, Spline (herramienta de geoprocésamiento que interpola una superficie de puntos utilizando una técnica de mínima curvatura spline). En este caso el modelo interpola los datos y crea un raster según la variación en los datos, donde se nota que se crea una figura geométrica basada en los puntos más extremos, conformando sus límites.

Para crear las isotermas, se usó el ArcToolbox, Spatial Analyst Tools, Surface, Contour. Luego se procedió a insertar el raster creado anteriormente y se le dio el intervalo deseado, en el cual se presentan las isolíneas de temperatura; dependiendo de la variación de los datos.

Finalmente para cortar las isolíneas creadas por el modelo de la cuenca, usamos ArcToolbox, Analysis Tools, Extract, Clip; insertamos el Contorno y luego la Cuenca deseada. Así se generaron mapas mensuales (Enero) en formato “raster” de las variables y escenarios.

Las variables meteorológicas implicaron utilizar las proyecciones de los escenarios climáticos para las variables climáticas al futuro cercano, periodo 2071-2100. Para ello se proyectarán las anomalías de los escenarios regionalizados para la región Puno, bajo el modelo HadRM3, y el promedio de los modelos ETA CSS y HadRM3, para los escenarios A2 y B2, descritos por Sanabria, J *et al.*, 2009.

En principio se generaron los mapas temáticos con información del periodo actual para las estaciones de la cuenca Huancané y Coata mediante el trazado de isotermas (temperaturas) y precipitaciones (isoyetas). Asimismo se utilizaron las anomalías de los escenarios regionalizados para la zona de estudio. Así se realizó la interpolación de los mapas de las

anomalías con la ubicación de las estaciones meteorológicas y los valores actuales de las temperaturas y precipitaciones. Con los valores resultantes de las variables al futuro cercano se procedió a elaborar los mapas temáticos correspondientes de las temperaturas y precipitaciones bajo el escenario A2 y B2.

#### **b. Análisis de los mapas temáticos**

En esta etapa se realizó el análisis visual del impacto del cambio climático de las estaciones representativas y productivas de papa y quinua de la región Puno; Huancané y Juliaca teniendo como base la información actual y la pronosticada al futuro cercano.

El análisis consistió en una descripción de los mapas temáticos, comparando los valores y la tendencia de las variables meteorológicas de las zonas de estudio o estaciones representativas tales como temperatura y precipitación, expresadas a través de isolíneas e isotermas, respecto a las demás estaciones según la cuenca correspondiente.

### **3.3.3. DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS**

Para el cumplimiento del tercer objetivo, evaluar los requerimientos hídricos futuros de los cultivos de papa y quinua, se siguieron los siguientes pasos:

#### **a. Preparación de base de datos de cultivo**

Para la etapa de recolección de datos se compilaron la información de los cultivos de papa y quinua, como valores de temperatura y precipitación óptimos requeridos, considerando las diferentes etapas fenológicas del cultivo. Esta información fue obtenida de diversas fuentes bibliográficas así como información de la FAO. Entre estos datos se encuentran: Kc (coeficiente de cultivo), duración de las etapas fenológicas, factor de respuesta del rendimiento (Ky), Fracción de agotamiento (p), profundidad radicular y altura de cultivo. La duración de las etapas fenológicas del cultivo de papa y quinua se muestran en la siguiente Tabla 4.

**Tabla 4. Datos de cultivo para los cultivos de papa y quinua**

Periodo Vegetativo	Etapas inicial	Desarrollo	Medio	Fin de temporada		Fuente
PAPA	25 dds	45 dds	60 dds	20 dds	150 dds (total)	DGA-SENAMHI (2002)
Kc ( coeficiente de cultivo)	0.5	0.8	1.2	0.95		GARCIA (2002)
Ky (fracción de respuesta al rendimiento)	0.60	0.33	0.70	0.20	1.10	CROPWAT 8.0 (FAO)
p (agotamiento crítico)	0.25		0.30	0.50		CROPWAT 8.0 (FAO)
QUINUA	30 dds	40 dds	30 dds	80 dds	180 dds (total)	MINAGRI (2014)
Kc (coeficiente de cultivo)	0.93	1.03	1.04	0.71		Mercedes (2013)
Ky (fracción de respuesta al rendimiento)	0.40	0.60	0.80	0.40	1.15	CROPWAT 8.0 (FAO)
p ( agotamiento crítico)	0.55		0.55	0.80		CROPWAT 8.0 (FAO)

FUENTE: Elaboración Propia.

En la tabla 5 y 6 se presenta información sobre las variedades escogidas de los cultivos de papa y quinua, así como la información de los cultivos.

**Tabla 5. Información de cultivo para la zona de estudio**

DISTRITO DE ESTUDIO	Cultivo	Variedad	Fecha de siembra
HUANCANÉ	Papa	Imilla Negra	01 de Noviembre
JULIACA	Quinua	Kancolla	29 de Septiembre

FUENTE: Elaboración Propia.

**Tabla 6. Información de altura de los cultivos papa y quinua**

CULTIVO	Altura de cultivo (m)	Profundidad radicular (m)
Papa	0.6	0.30-0.50
Quinua	1.8	0.25-0.40

FUENTE: Elaborado con información de la FAO (2006, 2012), Raygada (2001), profesor Rolando Egúsqiza (Programa de Papa UNALM)

#### **b. Ingreso de datos al modelo CROPWAT 8.0 y estimación de los Requerimientos Hídricos.**

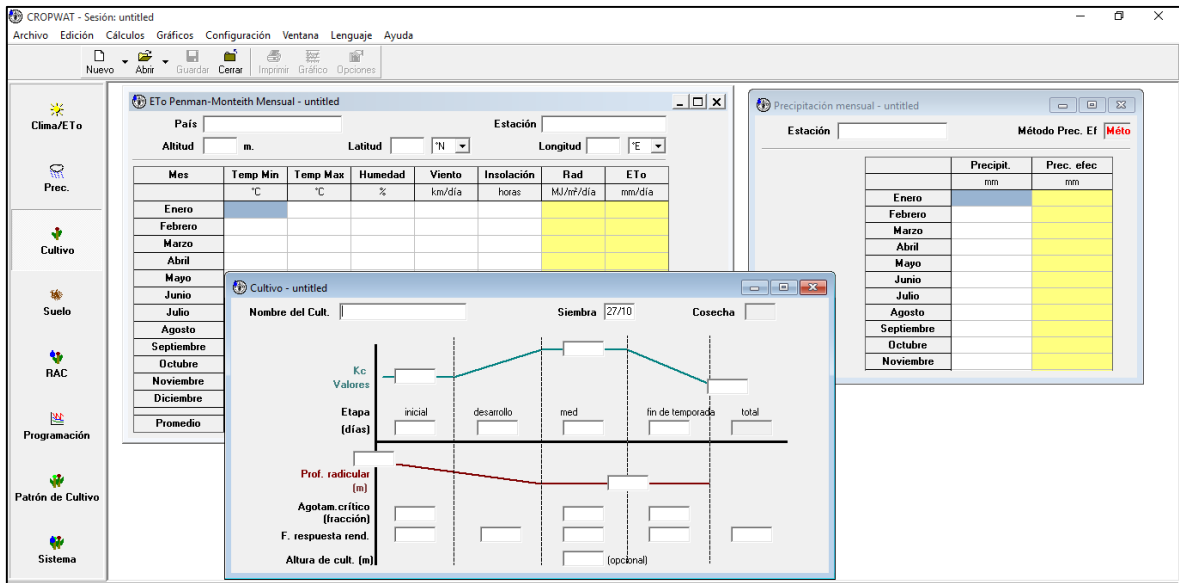
Como primer paso se elaboró un archivo xls., con las variables de temperatura media máxima mensual (°C), temperatura media mínima mensual (°C), humedad (%), velocidad de viento (km/día), Insolación (horas) para las estaciones de Huancané y Coata; posterior a ello se ingresaron por estación estos valores en el Módulo Clima (Clima/ETo); teniendo como resultado la Radiación extraterrestre (MJ/m<sup>2</sup>/día) y Eto (mm/día).

Luego se ingresó los valores de Precipitación total mensual en el Módulo Pe (Precipitación efectiva), ésto permitió obtener los valores de Pe (mm).



Posterior a ello se ingresó los datos de cultivo en el Módulo de Cultivo, como Kc, Etapa (días), Profundidad Radicular (m), Ky (factor de respuesta a la productividad de cultivo o factor de rendimiento), p (factor de agotamiento) y altura de cultivo (m).

Los datos se corren automáticamente en el Modelo CROPWAT 8.0 y se obtiene finalmente la ETC demanda de agua (mm/día) y el Requerimiento de Riego (mm/dec). En la figura 4 se muestra la pantalla principal del Modelo CROPWAT 8.0 con sus módulos respectivos.



**Figura 4. Ventana principal del Modelo CROPWAT 8.0**

FUENTE: CROPWAT 8.0. (2015)

### c. Requerimientos hídricos actuales y futuros

Para obtener las diferencias entre las demandas de agua y requerimientos de riego, se realizó lo siguiente, primeramente se obtuvo la diferencia entre los valores de la demanda de agua (Etc) de los cultivos de papa y quinua para las condiciones con cambio climático (cc) y los valores de Etc sin cambio climático (sc), bajo los escenarios A2 y B2. De igual manera se obtuvieron las diferencias entre los valores de los requerimientos de riego (Req. riego), todos ellos obtenidos a partir de la aplicación del modelo CROPWAT 8.0 en el paso anterior. Así se analizaron según los resultados los escenarios más severos, y se determinó el cultivo más afectado, bajo las condiciones climáticas y locales de los distritos de Huancané y Juliaca.

$$\Delta Etc = ETC_{cc} - ETC_{sc}$$

$$\Delta Req. riego = Req. riego_{cc} - Req. riego_{sc}$$

### 3.3.4. IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LOS CULTIVOS

En esta fase se explica la metodología para dar cumplimiento al objetivo, determinar los efectos del cambio climático en los cultivos, se utilizaron los requerimientos climáticos de los cultivos de papa y quinua de fuentes tales como el MINAG, FAO y SENAMHI. En las Tablas 7 y 8 se muestran los Requerimientos climáticos de los cultivos de papa y quinua.

**Tabla 7. Requerimientos climáticos del cultivo de papa.**

Fase del cultivo de papa	Formación de brotes laterales
Temperatura crítica	14°C, 30°C
Humedad óptima	350-650mm

FUENTE: Elaborados con información del MINAG (2000) y FAO (2012).

**Tabla 8. Requerimientos climáticos del cultivo de quinua.**

Fase del cultivo de papa	Formación de Botones Florales
Temperatura crítica	3°C, 25°C
Valor tolerable	-10°C
Humedad óptima	500mm-700mm

FUENTE: Elaborado con información del MINAG (2014) y FAO (2012).

Es esta fase se explica la metodología para dar cumplimiento al objetivo, determinar los efectos de las variaciones meteorológicas futuros para los cultivos de papa y quinua.

#### **a. Efectos en las temperaturas proyectadas**

Para determinar el impacto del cambio climático según las temperaturas óptimas y críticas de los cultivos de papa y quinua se emplearon las temperaturas críticas ( $T^a$  crítica) de los cultivos como base, señalados en la bibliografía, fuera de los cuales representan un riesgo para el óptimo estado de desarrollo y/o rendimientos de los cultivos, luego se hallaron las diferencias entre ellas y las temperaturas máximas y/o mínimas obtenidas al futuro cercano ( $T^a$  2071-2100) y finalmente se determinó si dichas temperaturas sobrepasaban las temperaturas de base, así se observó que cultivo sería el más afectado por el cambio climático.

$$\Delta T^a = T^a_{(2071-2100)} - T^a_{crítica}$$

## **b. Efectos en las precipitaciones efectivas**

Para obtener las variaciones de las precipitaciones al futuro, se hallaron las diferencias entre las precipitaciones efectivas proyectadas ( $P_e$  2071-2100) y las precipitaciones óptimas ( $P_{\text{óptima}}$ ) o de base establecidas para los cultivos.

$$\Delta P = P_{e(2071-2100)} - P_{\text{óptima}}$$

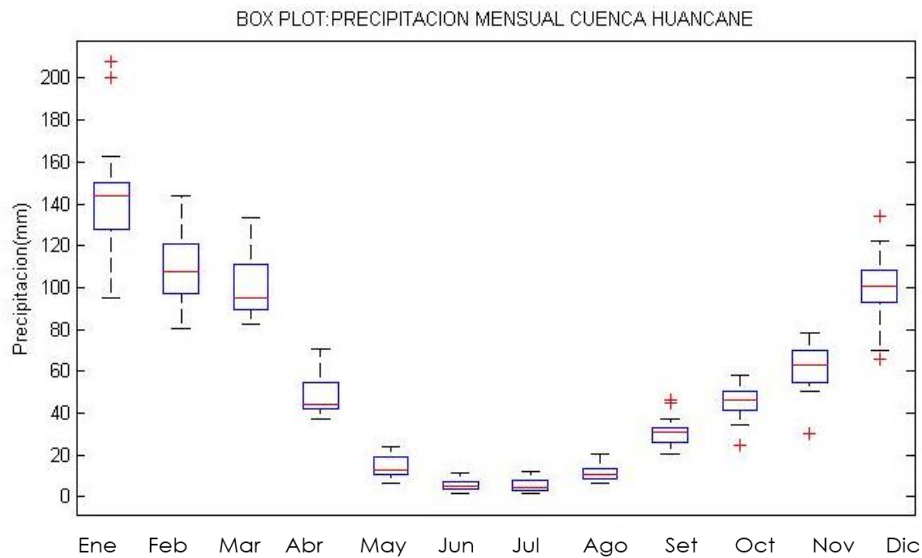
## **IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Los resultados que se muestran en el presente capítulo comprendieron la proyección de las anomalías definidas por los escenarios regionalizados ETA CSS Y HadRM3 en las variables meteorológicas como la temperatura y precipitación, para el periodo 2071-2100, teniendo como base los datos actuales; con la resultante información conjuntamente con datos de cultivo y suelo para los cultivos de papa y quinua para las estaciones de Huancané y Juliaca se estimó la actual y futura demanda de agua con el Modelo CROPWAT 8.0, lo cual permitió un análisis del posible impacto de cambio climático sobre dichos cultivos.

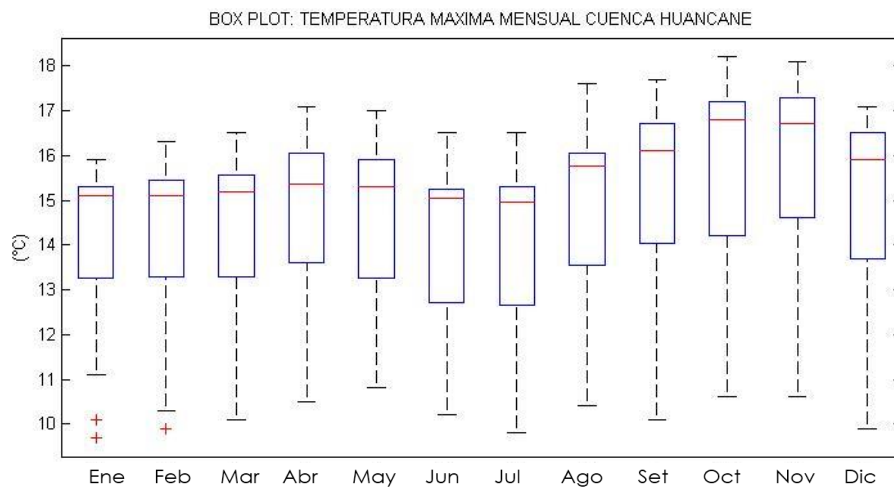
### **4.1. ANÁLISIS DE CONSISTENCIA DE LOS DATOS**

El análisis de datos se presenta es a través de diagramas de cajas. El periodo de los datos tomados en cuenta de las estaciones de la cuenca Huancané y Coata es de 1967-2006 y 1956-2009 respectivamente.

En la figura 5 se observa el Box Plot (diagrama de cajas), para los datos de la precipitación total mensual en las estaciones de la cuenca de Huancané y alrededores. Todas las estaciones que conforman la cuenca de Huancané presentaron una gran variabilidad de la precipitación anual durante los meses desde septiembre hasta enero, siendo este mes el de mayor variabilidad en todas las estaciones de la cuenca de Huancané.

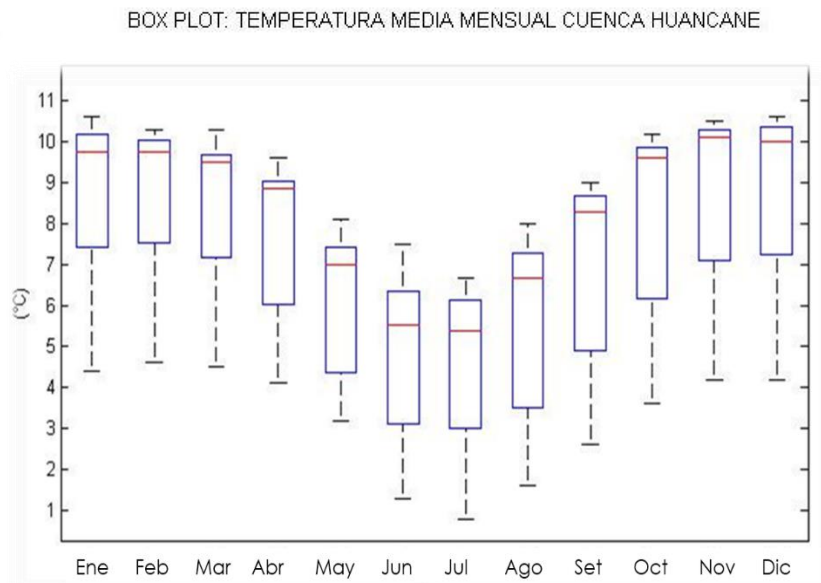


**Figura 5: Diagrama de cajas de la Precipitación mensual en las estaciones de la Cuenca Huancané.**



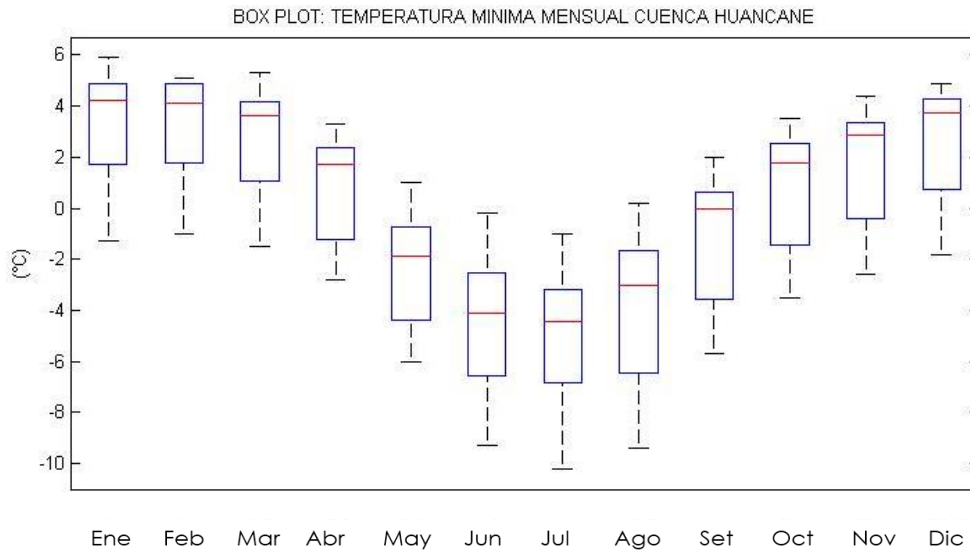
**Figura 6: Diagrama de cajas de la Temperatura máxima mensual en las estaciones de la Cuenca Huancané.**

En la figura 6 se observa el diagrama de cajas de los valores de la temperatura máxima mensual en las estaciones de Huancané, para los meses de enero y febrero presentaron valores de temperatura máxima extremadamente variables, 9° C a 16° C.



**Figura 7: Diagrama de cajas de la Temperatura media mensual en las estaciones de la Cuenca Huancané.**

En la figura 7 se observa el diagrama de cajas de los valores de la temperatura media mensual en las estaciones de Huancané; su variación es muy amplia durante todo el año, mostrando una tendencia hacia los valores que oscilan entre 5 a 10 °C durante los meses de verano.

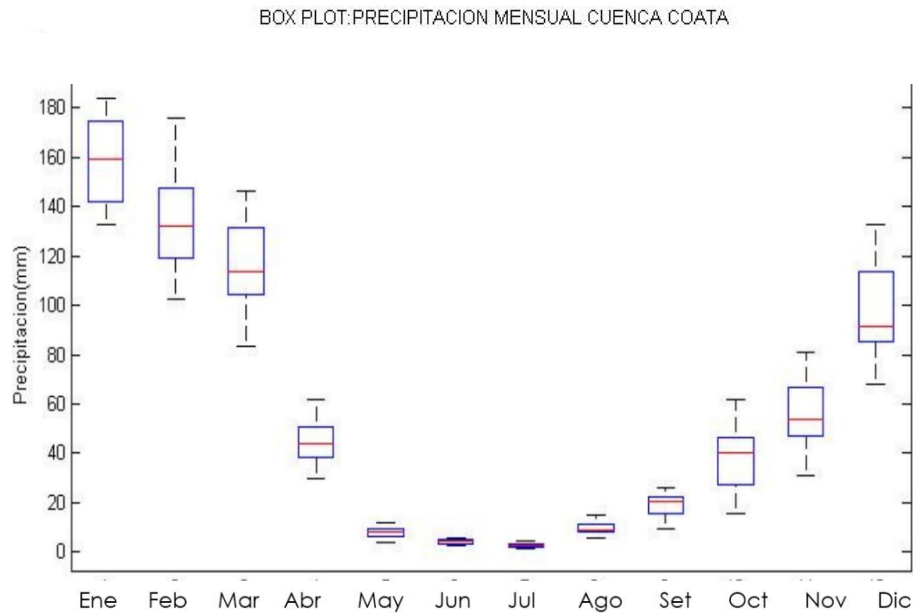


**Figura 8: Diagrama de cajas de la Temperatura mínima mensual en las estaciones de la Cuenca Huancané.**

En la figura 8 se observa el diagrama de cajas de los valores de la temperatura mínima mensual en las estaciones de Huancané. Las estaciones en general presentaron comportamientos de acuerdo a la variación estacional de la precipitación, con valores entre -2° C a 6° C en los meses de verano.

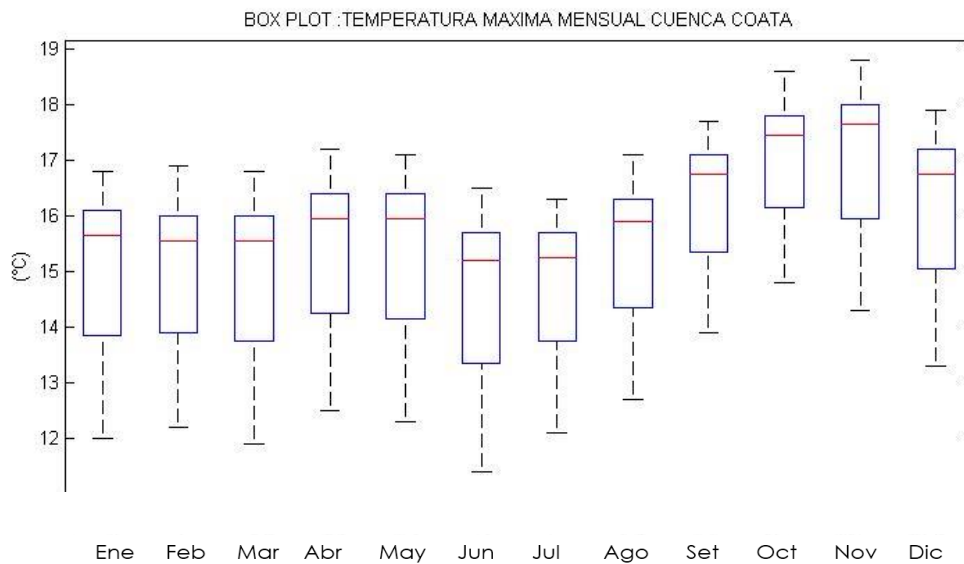
## b. Box Plot: Coata

En la siguiente sección se presenta el Box Plot (diagramas de cajas) para la precipitación total mensual, temperatura máxima, media y mínima mensual de las estaciones de la cuenca de Coata, cercanas a la localidad de Juliaca, nuestra zona de interés.



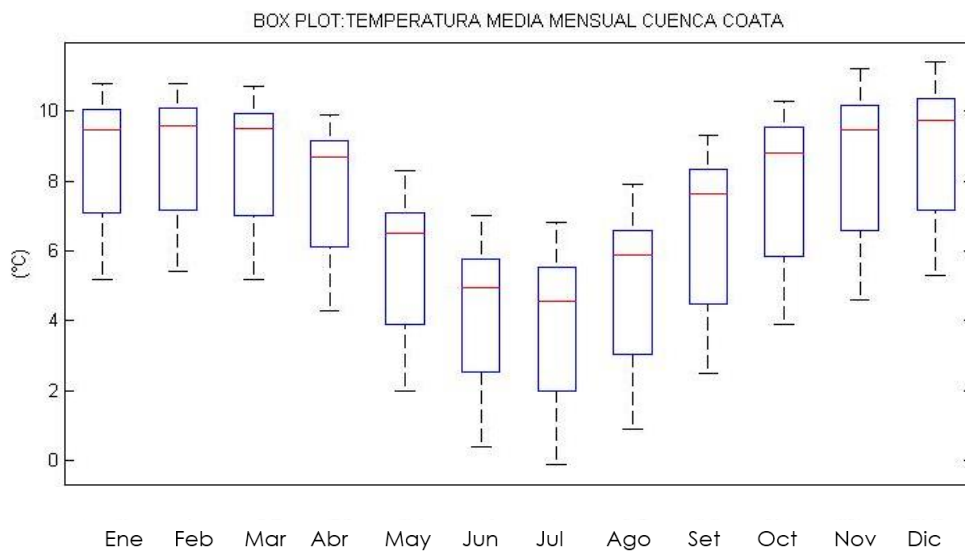
**Figura 9: Diagrama de cajas de la Precipitación mensual en las estaciones de la Cuenca Coata.**

En la figura 9 se observa el diagrama de cajas de los valores de la precipitación total mensual en las estaciones de Coata. Todas las estaciones que conforman la cuenca de Coata y alrededores presentaron comportamientos de acuerdo a la variación estacional de la precipitación.



**Figura 10: Diagrama de cajas de la Temperatura máxima mensual en las estaciones de la Cuenca Coata.**

En la figura 10 se observa el diagrama de cajas de los valores de la temperatura máxima mensual en las estaciones de Coata. Las estaciones para los meses de enero y febrero presentan valores comportamientos de acuerdo a la variación estacional, con valores entre 12 °C a 16°C.

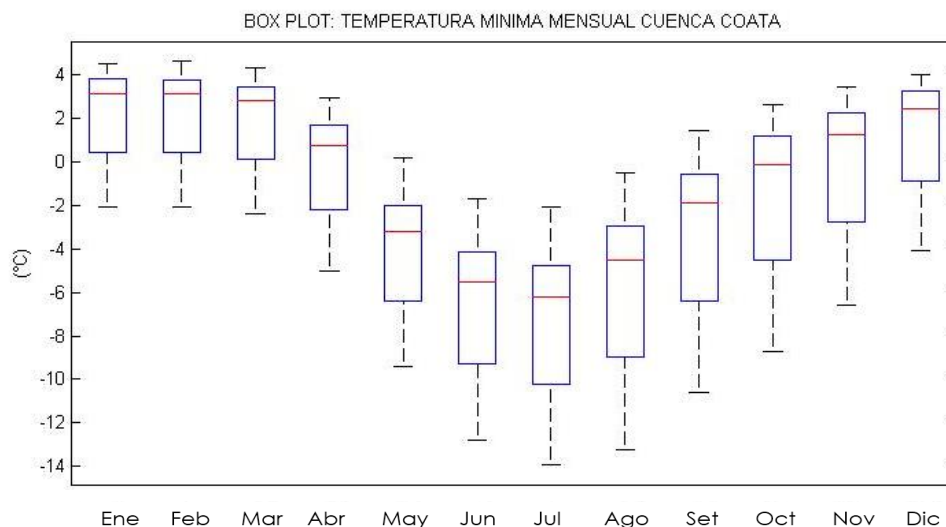


**Figura 11: Diagrama de cajas de la Temperatura media mensual en las estaciones de la Cuenca Coata.**

En la figura 11 se observa el diagrama de cajas de los valores de la temperatura media mensual en las estaciones de Coata; su variación es muy amplia durante todo el año,



mostrando una tendencia hacia los valores que oscilan entre 6 a 10 °C durante los meses de verano.



**Figura 12: Diagrama de cajas de la Temperatura mínima mensual en las estaciones de la Cuenca Coata.**

En la figura 12 se observa el diagrama de cajas de los valores de la temperatura mínima mensual en las estaciones de Coata. Las estaciones en general presentaron comportamientos de acuerdo a la variación estacional de la precipitación, con valores entre -2° C a 4° C en los meses de verano.

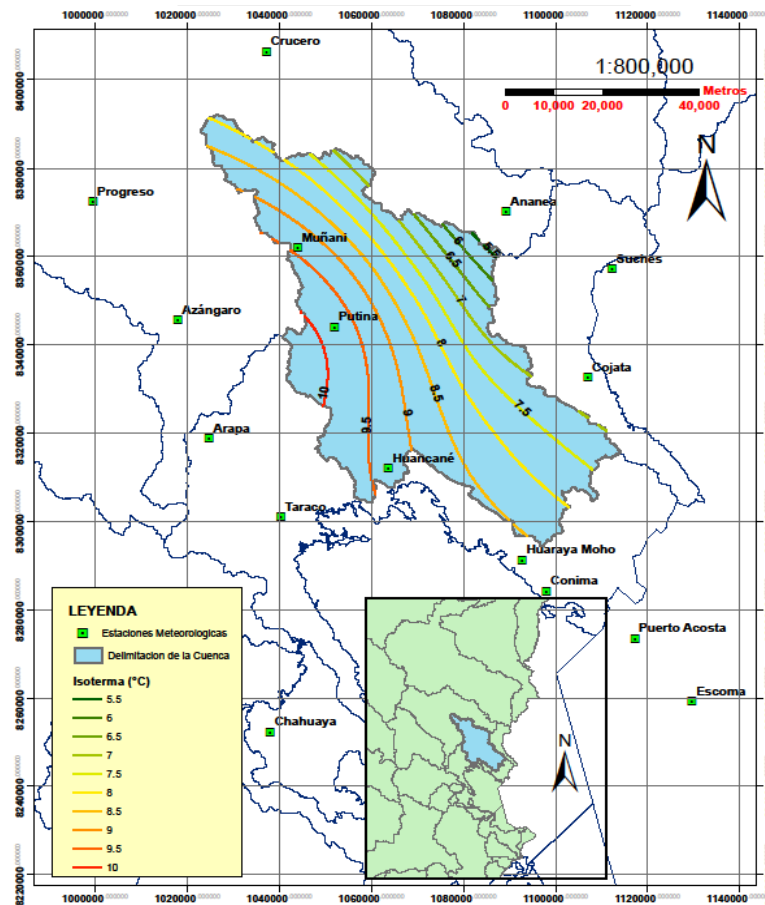
#### **4.2. TEMPERATURA Y PRECIPITACIÓN EN EL PERIODO ACTUAL Y A FUTURO CERCANO (BAJO ESCENARIOS A2 Y B2)**

Para los resultados del siguiente ítem, cabe mencionar que la proyección climática para elaborar los mapas climáticos se realizó primeramente para las 23 estaciones en la cuenca de Huancané y Coata teniendo en cuenta el periodo de anomalías DEF (Enero) descrito en la metodología indicada, de allí se obtuvieron los mapas climáticos de la cuencas de Huancané y Coata.

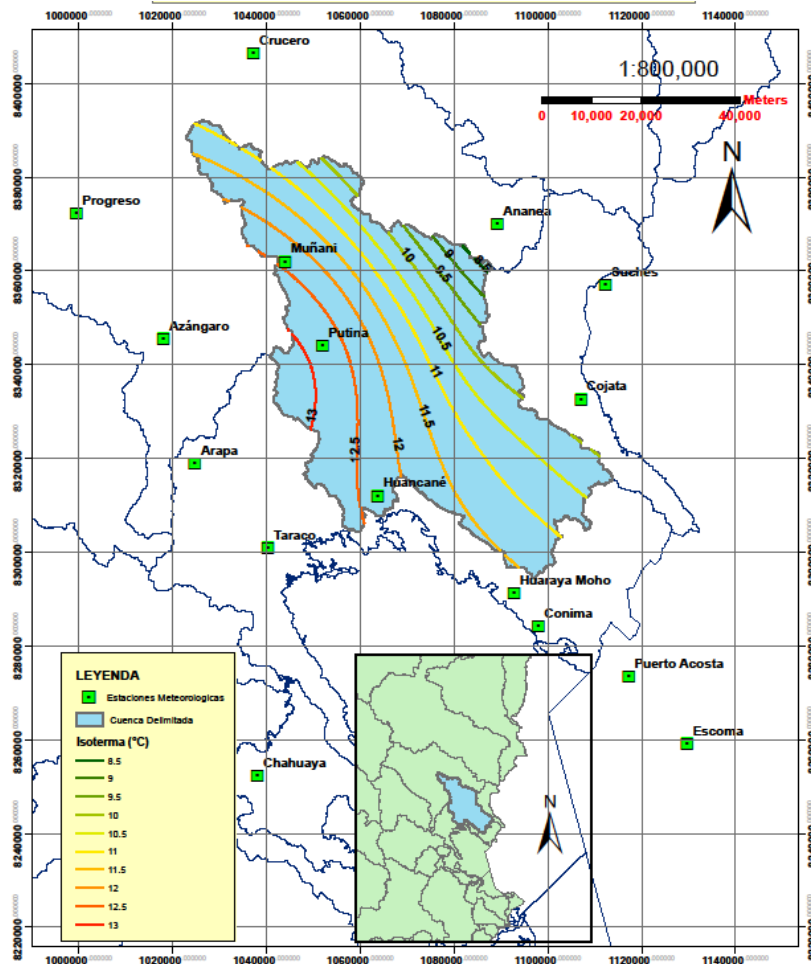
Los pronósticos hallados según las proyecciones para la estación de Huancané y Juliaca para el periodo de anomalías SON (Setiembre, Octubre, Noviembre), DEF (Diciembre, Enero, Febrero), MAM (Marzo, Abril, Mayo), JJA (Junio, Julio, Agosto). Los pronósticos de las proyecciones de las anomalías se presentan en la sección Anexos. Los siguientes mapas temáticos corresponden al mes de Enero; este mes es considerado primordial debido a que

el estado fenológico de los cultivos se encuentra en máximo desarrollo, a su vez, el cambio climático tendría más impacto durante este mes. (Bolívar, 2012).

En la figura 13, según lo observado para la Cuenca de Huancané, los valores de la temperatura media mensual, para el mes de Enero, varían entre un rango de 5.5°C a 10°C, por otro lado las mayores temperaturas se encuentran por alrededor de nuestra zona de estudio, la localidad de Huancané; sin embargo la estación de Huancané, posee un valor de 9.3° C, menor respecto a las otras estaciones que agrupan dicha cuenca, Muñani y Putina con 9.4 y 9.8 ° C respectivamente.

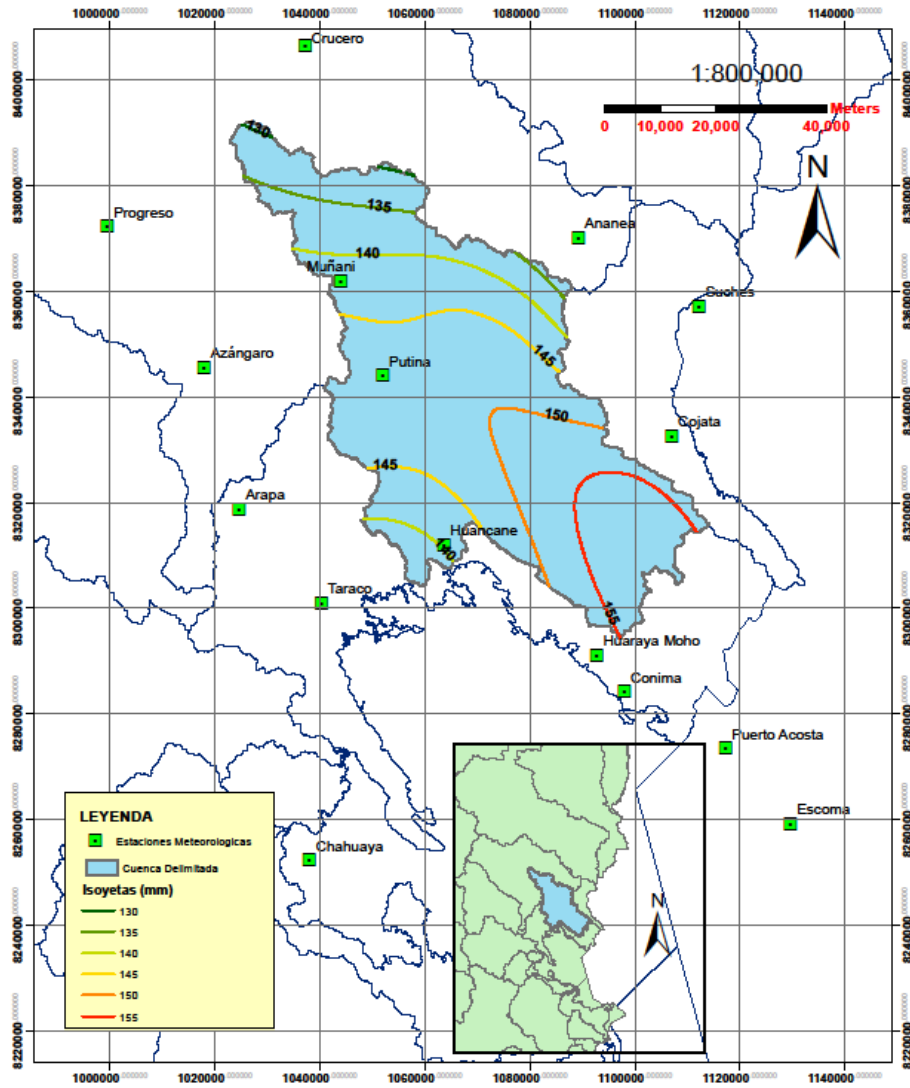


**Figura 13: Mapa temático de la Temperatura media mensual en las estaciones de la Cuenca Huancané, para el mes de enero del periodo 1956-2009.**



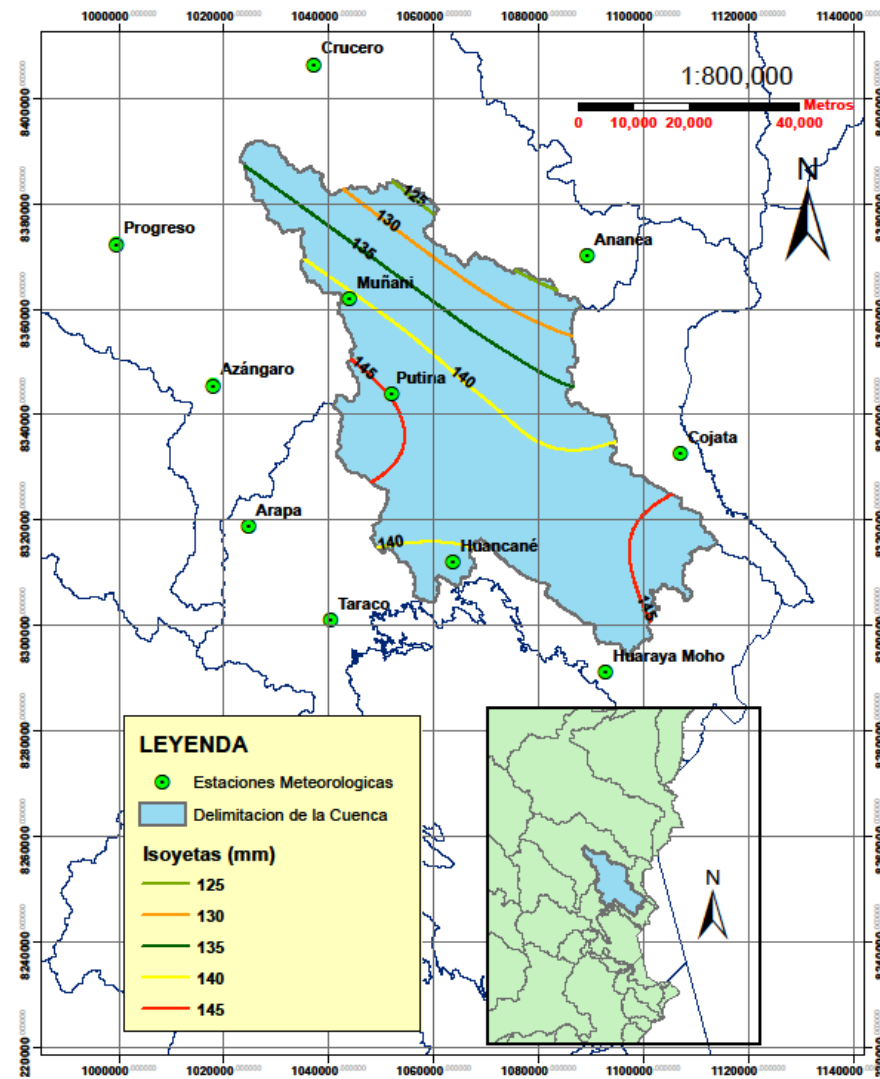
**Figura 14: Mapa temático de la Temperatura media mensual bajo el escenario B2 para las estaciones de la Cuenca Huancané, para el mes de enero del futuro cercano, periodo 2071-2100.**

En la figura 14 los resultados de las anomalías proyectadas según el Escenario B2 en las condiciones actuales de la cuenca Huancané, indican que para el futuro cercano, periodo 2071-2100, el valor de las temperaturas medias mensuales presentan un aumento significativo, así varían entre 8.5 a 13°C en la cuenca, en general según las isotermas se muestra que las temperatura más alta en el futuro cercano, corresponden a las estaciones que conforman la cuenca de Huancané, en un rango de 12 a 13°C, así tenemos valores de 12.3, 12.4 y 12.8 °C para Huancané, Muñani y Putina respectivamente.



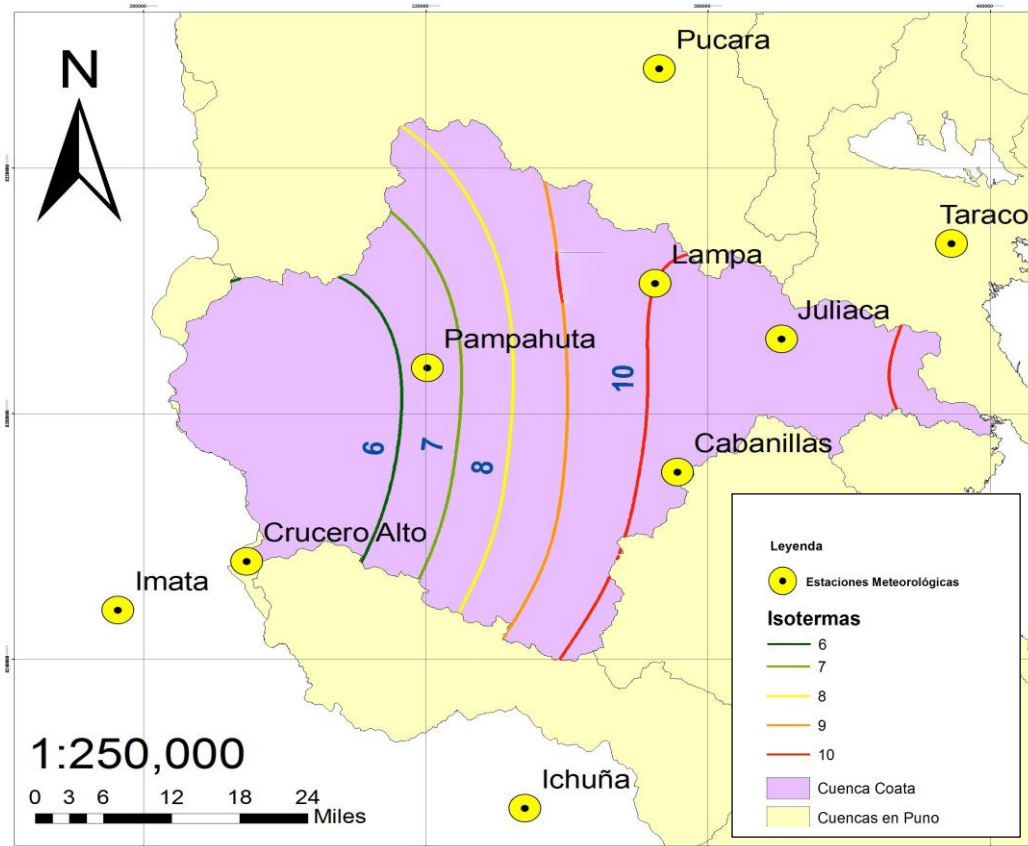
**Figura 15: Mapa temático de la Precipitación mensual en las estaciones de la Cuenca Huancané, para el mes de enero del periodo 1956-2009.**

En la figura 15, según lo observado para la Cuenca de Huancané se muestra que las precipitaciones totales para el mes de Enero en la cuenca Huancané presenta valores entre 135 y 155 mm, así tenemos que los valores para las estaciones dentro de la cuenca son relativamente bajos, presentando en las estaciones de Huancané, Muñani y Putina valores de 140.4, 142.3 y 147.8 mm respectivamente.



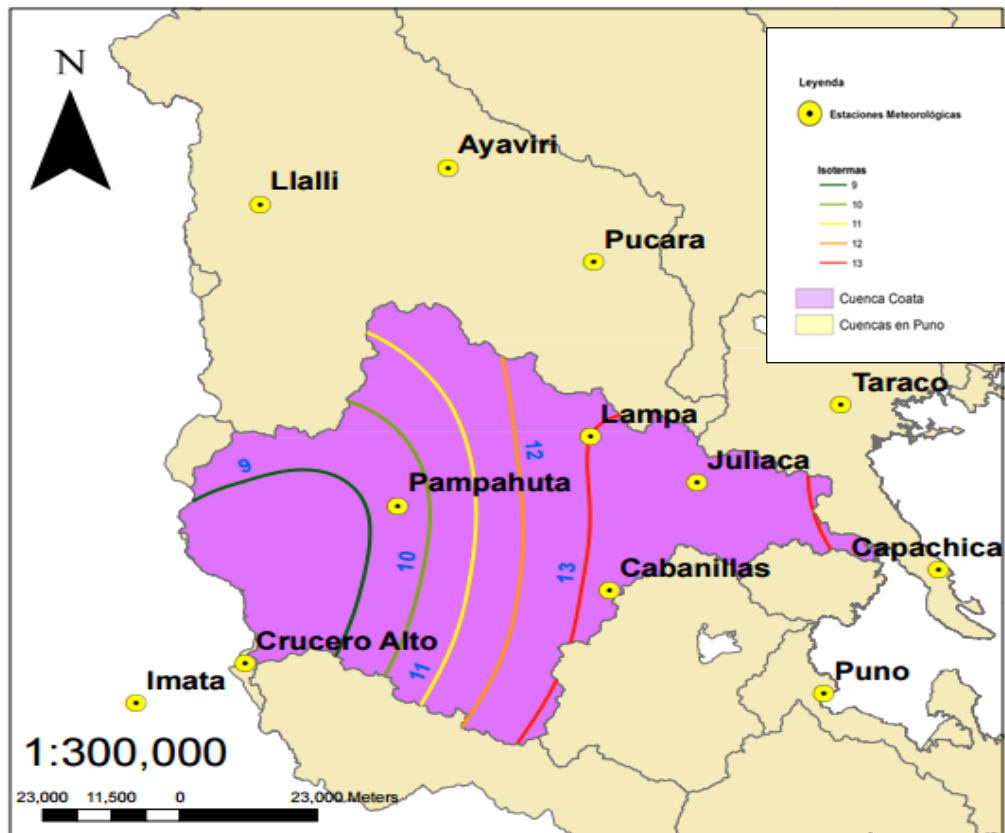
**Figura 16: Mapa temático de la Precipitación mensual bajo el escenario A2 en de las estaciones de la Cuenca Huancané, para el mes de enero del futuro cercano, periodo 2071-2100.**

En la figura 16, los resultados de las anomalías proyectadas según el Escenario A2 en las condiciones actuales de la cuenca Huancané indican que para el futuro cercano, periodo 2071-2100 las precipitaciones totales mensuales presentan una ligera disminución, así varían entre un rango de 125 y 145mm, siendo la precipitación estimada para las estaciones de Huancané, Muñani y Putina de 137.4, 140.8 y 144.8mm respectivamente.



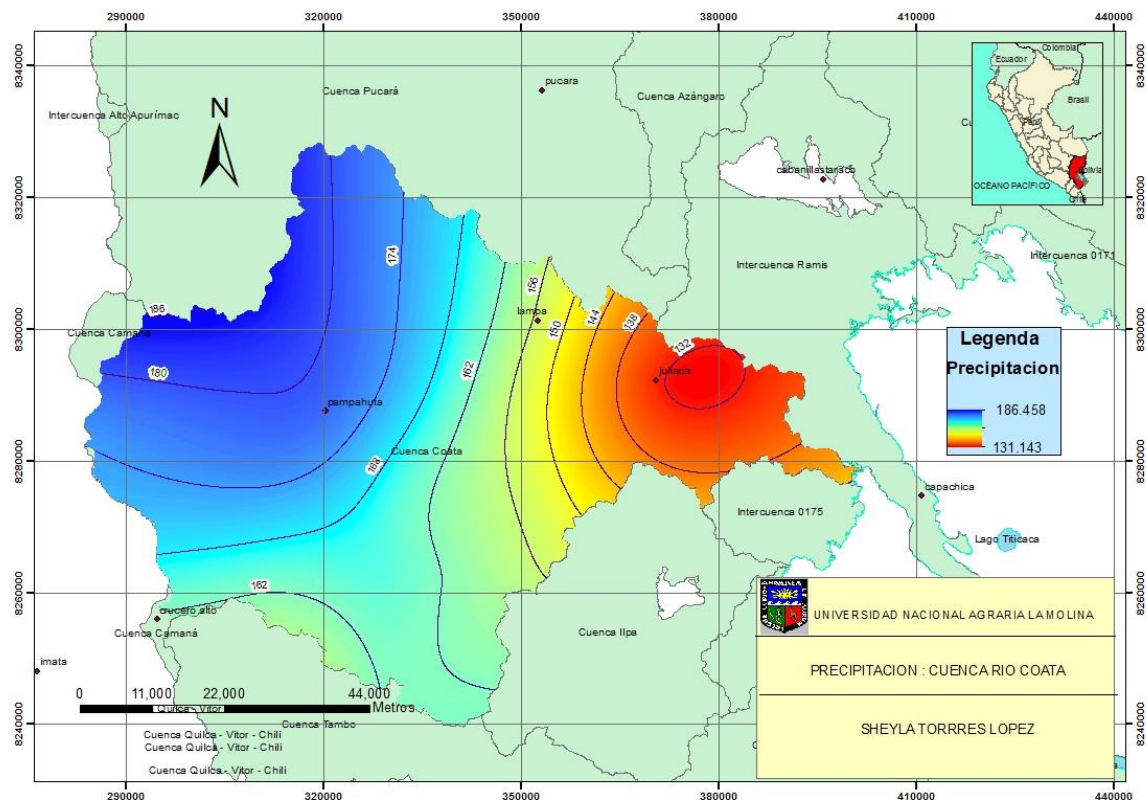
**Figura 17: Mapa temático de la Temperatura media mensual para las estaciones de la Cuenca Coata, para el mes de enero del periodo 1967-2006.**

En la figura 17, según lo observado para la Cuenca de Coata indica, las mayores temperatura se encuentran por alrededor de nuestra zona de estudio, la localidad de Juliaca, así en la estación de Juliaca la temperatura media mensual tiene un valor de 10.2 °C. Respecto a las otras estaciones que agrupan la cuenca tenemos a Pampahuta, Lampa, Juliaca y Cabanillas con 6.4, 10, 10.3 °C.



**Figura 18: Mapa temático de la Temperatura media mensual bajo el escenario B2 para las estaciones de la Cuenca Coata, para el mes de enero del futuro cercano, periodo 2071-2100.**

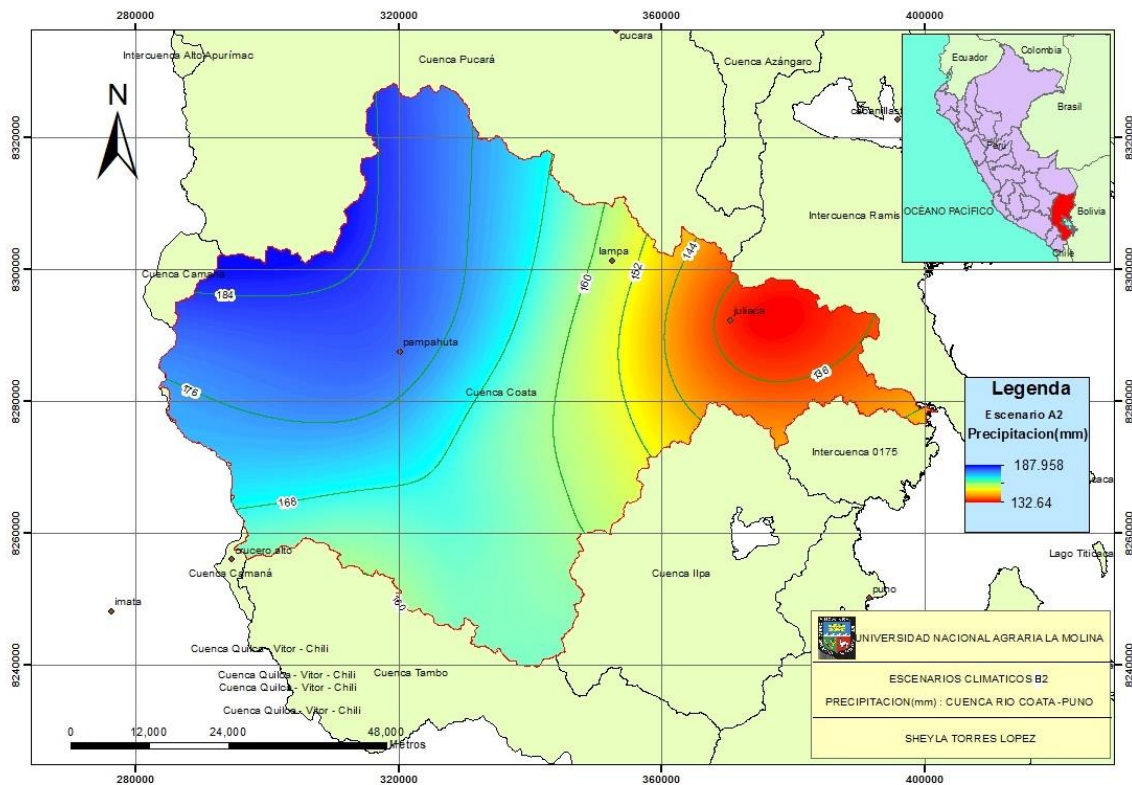
En la figura 18, los resultados de las anomalías proyectadas según el Escenario B2 en las condiciones actuales de la cuenca Coata indican que para el futuro cercano, periodo 2071-2100 las temperaturas medias mensuales presentan un aumento significativo, así varían entre 9°C Y 13°C, presentándose valores de 9.4, 13, 13.2 y 13.3 °C en las estaciones de Pampahuta, Lampa, Juliaca y Cabanillas respectivamente.



**Figura 19: Mapa temático de la Precipitación mensual en de las estaciones de la Cuenca Coata, para el mes de enero del periodo 1967-2006.**

En la figura 19, las isoyetas indican que en el extremo Este de la cuenca Coata se presenta los niveles menores de precipitación, los valores varían entre los 132 a 186 mm, aumentando hacia la zona Oeste, registrándose en la estación de estación de Juliaca, Lampa y Pampahuta valores de 132.6 mm, 155 mm y 177.8 mm respectivamente.





**Figura 20: Mapa temático de la Precipitación mensual bajo el escenario A2 en de las estaciones de la Cuenca Coata, para el mes de enero del futuro cercano, periodo 2071-2100 del periodo.**

En la figura 20, los resultados de las anomalías proyectadas según el Escenario A2 en las condiciones actuales de la cuenca Coata indican que para el futuro cercano, periodo 2071-2100 que las precipitaciones totales mensuales presentan una ligera disminución, con un rango de los valores entre 140 y 190 mm, presentándose en las estaciones de Juliaca, Lampa y Pampahuta valores de 134.1, 158 y 177.8mm respectivamente.

### **4.3. REQUERIMIENTOS HÍDRICOS ACTUALES Y FUTUROS DE LOS CULTIVOS**

En la presente sección se muestran los resultados hallados a partir de la aplicación del Modelo CROPWAT 8.0, para el cultivo de quinua y papa, así se presentan los valores de la Evapotranspiración potencial, la Precipitación efectiva, Demanda de agua y Requerimiento de Riego. Primeramente se presentan los resultados con los valores actuales y posterior a ello con los valores proyectados hacia el periodo 2071-2100.

### 4.3.1. REQUERIMIENTO HÍDRICO DEL CULTIVO DE PAPA LA LOCALIDAD DE HUANCANE

En la figura 21 se puede observar que los valores de ETo diario mensual para la estación de Huancané varían de 3.12 a 4.27 mm/día para el mes de mayo y noviembre respectivamente, con un promedio de 3.48 mm/día.

The screenshot shows the 'ETo Penman-Monteith Mensual' software window. The title bar indicates the file path: C:\ProgramData\CROPWAT\data\climate\Huancané.PEM. The interface includes input fields for:
 

- País: Perú
- Estación: Huancané
- Altitud: 3840 m.
- Latitud: 15.21 °S
- Longitud: 69.80 °W

 Below the inputs is a table with 8 columns: Mes, Temp Min (°C), Temp Max (°C), Humedad (%), Viento (km/día), Insolación (horas), Rad (MJ/m²/día), and ETo (mm/día). The table lists monthly data from Enero to Diciembre, with a final row for the 'Promedio' (Average). The ETo values range from 2.79 in June to 4.22 in October, with a mean of 3.48 mm/día.

Mes	Temp Min °C	Temp Max °C	Humedad %	Viento km/día	Insolación horas	Rad MJ/m²/día	ETo mm/día
Enero	4.1	14.5	70	259	5.5	19.0	3.38
Febrero	4.0	14.6	70	259	6.0	19.5	3.42
Marzo	3.4	14.5	71	242	6.5	19.3	3.28
Abril	1.6	14.8	66	225	7.9	19.4	3.26
Mayo	-2.1	14.7	58	207	9.3	19.0	3.12
Junio	-4.3	14.1	57	190	9.0	17.5	2.79
Julio	-4.9	13.9	57	225	9.0	18.0	2.90
Agosto	-3.1	14.5	54	268	8.9	19.8	3.39
Septiembre	-0.2	15.2	56	320	8.9	22.0	3.89
Octubre	1.9	15.8	56	328	8.5	23.0	4.22
Noviembre	2.9	16.0	58	311	8.2	23.1	4.27
Diciembre	3.6	15.4	64	294	6.5	20.5	3.81
<b>Promedio</b>	<b>0.6</b>	<b>14.8</b>	<b>61</b>	<b>261</b>	<b>7.8</b>	<b>20.0</b>	<b>3.48</b>

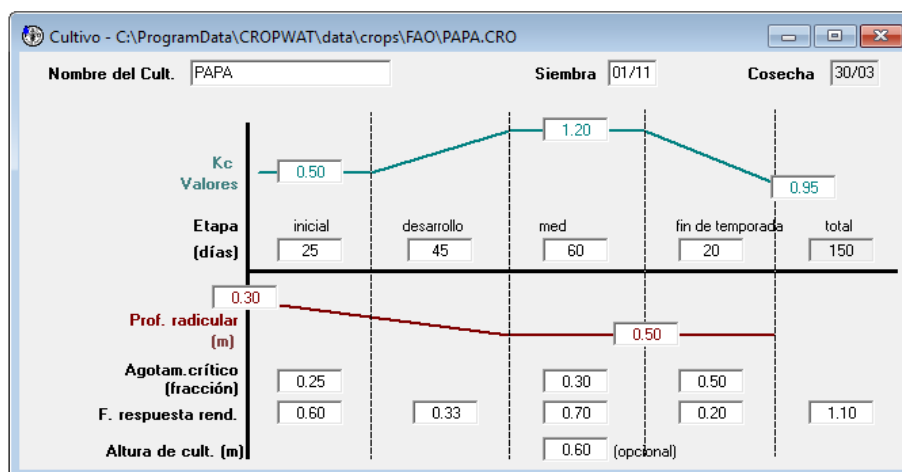
**Figura 21: Módulo de Clima/Eto, para estimar la Evapotranspiración Potencial del cultivo de papa en la estación Huancané.**

En la figura 22 se muestra los valores de la Precipitación efectiva para la estación Huancané, siendo el menor valor en el mes de julio con 3.6 mm, y el máximo valor en el mes de enero con 108.9 mm., la Precipitación mensual total es de 575.6 mm.

	Precipit.	Prec. efec
	mm	mm
<b>Enero</b>	140.4	108.9
<b>Febrero</b>	109.6	90.4
<b>Marzo</b>	102.1	85.4
<b>Abril</b>	42.6	39.7
<b>Mayo</b>	12.0	11.8
<b>Junio</b>	4.4	4.4
<b>Julio</b>	3.6	3.6
<b>Agosto</b>	10.6	10.4
<b>Septiembre</b>	30.7	29.2
<b>Octubre</b>	46.9	43.4
<b>Noviembre</b>	63.4	57.0
<b>Diciembre</b>	111.4	91.5
<b>Total</b>	<b>677.7</b>	<b>575.6</b>

**Figura 22: Módulo de Precipitación efectiva del cultivo de papa en la estación Huancané.**

En la figura 23 se muestra el Módulo de cultivo de papa, teniendo en cuenta las características principales de la variedad Imilla negra.



**Figura 23: Módulo de Cultivo de papa en la estación Huancané.**

En la figura 24 se puede observar que el consumo de agua del cultivo de papa (ETc), llamado también demanda de agua, para el periodo de producción alcanza valores del orden de 2.12 a 4.15 mm/día, acumulando un total de 516 mm por todo el periodo vegetativo, es decir un consumo de agua de 5,160 l/ m<sup>2</sup>.

Mes	Decada	Etapa	Kc	ETc	ETc	Prec. efec	Req. Riego
			coef	mm/día	mm/dec	mm/dec	mm/dec
Nov	1	Inic	0.50	2.12	21.2	16.8	4.4
Nov	2	Inic	0.50	2.13	21.3	18.0	3.3
Nov	3	Des	0.52	2.15	21.5	22.2	0.0
Dic	1	Des	0.67	2.64	26.4	27.2	0.0
Dic	2	Des	0.83	3.14	31.4	31.3	0.1
Dic	3	Des	0.99	3.64	40.0	33.0	7.0
Ene	1	Med	1.16	4.08	40.8	35.5	5.3
Ene	2	Med	1.21	4.11	41.1	37.9	3.1
Ene	3	Med	1.21	4.12	45.3	35.3	10.0
Feb	1	Med	1.21	4.14	41.4	31.8	9.6
Feb	2	Med	1.21	4.15	41.5	29.5	12.0
Feb	3	Med	1.21	4.09	32.8	29.2	3.6
Mar	1	Med	1.21	4.04	40.4	30.3	10.1
Mar	2	Fin	1.15	3.75	37.5	30.4	7.2
Mar	3	Fin	1.02	3.34	33.4	22.4	8.7
					<b>516.0</b>	<b>430.9</b>	<b>84.4</b>

**Figura 24: Módulo de RAC para la estimación de la ETc para el cultivo de papa en la estación Huancané.**

En los siguientes resultados se presentan los cálculos de los de la Evapotranspiración potencial, Precipitación efectiva y finalmente Demanda de agua para los escenarios A2 y B2 al futuro 2071-2100. En esta etapa se muestran las estimaciones de las proyecciones de las variables de interés, temperatura y precipitación, además se utilizan las mismas características del mismo Módulo de cultivo, así como se mantienen constantes las demás variables climáticas de Módulo Clima.

### a. Escenario A2-Cultivo de papa

En la figura 25 se puede observar que los valores de Evapotranspiración potencial (ETo) diario mensual para la estación de Huancané, considerando el escenario A2 varían de 3.05 a 4.68 mm/día, con un promedio de 3.81 mm/día. Por lo anterior se proyecta en el futuro mencionado un aumento de la ETo de 0.33 mm/día, respecto al periodo actual.

ETo Penman-Monteith Mensual - C:\ProgramData\CROPWAT\data\climate\Huancané.PEM

País: Perú Estación: Huancané

Altitud: 3840 m. Latitud: 15.21 °S Longitud: 69.80 °W

Mes	Temp Min °C	Temp Max °C	Humedad %	Viento km/día	Insolación horas	Rad MJ/m²/día	ETo mm/día
Enero	7.1	17.5	70	259	5.5	19.0	3.70
Febrero	7.0	17.6	70	259	6.0	19.5	3.74
Marzo	6.4	17.5	71	242	6.5	19.3	3.59
Abril	4.6	17.8	66	225	7.9	19.4	3.56
Mayo	0.9	17.7	58	207	9.3	19.0	3.42
Junio	-1.3	17.1	57	190	9.0	17.5	3.05
Julio	-1.9	16.9	57	225	9.0	18.0	3.19
Agosto	-0.1	17.5	54	268	8.9	19.8	3.73
Septiembre	2.8	18.2	56	320	8.9	22.0	4.28
Octubre	4.9	18.8	56	328	8.5	23.0	4.64
Noviembre	5.9	19.0	58	311	8.2	23.1	4.68
Diciembre	6.6	18.4	64	294	6.5	20.5	4.17
Promedio	3.6	17.8	61	261	7.8	20.0	3.81

**Figura 25: Módulo de Clima/Eto, para estimar la Evapotranspiración Potencial del cultivo de papa en la estación Huancané. Escenario A2.**

Precipitación mensual - untitled

Estación: HuancanéA2 Método Prec. Ef: Método USDA S.C.

	Precipit. mm	Prec. efec mm
Enero	137.4	107.2
Febrero	106.6	88.4
Marzo	102.1	85.4
Abril	42.6	39.7
Mayo	12.0	11.8
Junio	4.4	4.4
Julio	3.6	3.6
Agosto	10.6	10.4
Septiembre	29.2	27.8
Octubre	45.4	42.1
Noviembre	61.9	55.8
Diciembre	108.4	89.6
Total	664.2	566.2

**Figura 26: Módulo de Precipitación efectiva del cultivo de papa en la estación Huancané. Escenario A2.**

En la figura 26 se muestra los valores de la Precipitación efectiva bajo el escenario A2, siendo el menor valor en el mes de julio con 3.6 mm, y el máximo valor en el mes de enero con 107.2 mm. La Precipitación mensual total es de 566.2 mm.

En la figura 27 se puede observar que la Demanda de agua para el cultivo de papa proyectada bajo el escenario A2 es de 564.4mm (5,64.4 l/ m<sup>2</sup>), para todo el periodo vegetativo, excediendo en 48.4mm respecto a las condiciones actuales, respecto al requerimiento de riego, su valor muestra un aumento de 53.5 mm, respecto al periodo actual. Lo anterior es en respuesta a que las precipitaciones proyectadas para el periodo 2071-2100 se prevé disminuirán, y se prevé una mayor demanda de agua.

Mes	Decada	Etapa	Kc	ETc	ETc	Prec. efec	Req.Riego
			coef	mm/día	mm/dec	mm/dec	mm/dec
Nov	1	Inic	0.50	2.33	23.3	16.5	6.9
Nov	2	Inic	0.50	2.34	23.4	17.7	5.7
Nov	3	Des	0.52	2.36	23.6	21.7	1.9
Dic	1	Des	0.67	2.89	28.9	26.6	2.3
Dic	2	Des	0.82	3.44	34.4	30.6	3.8
Dic	3	Des	0.99	3.98	43.8	32.3	11.4
Ene	1	Med	1.16	4.46	44.6	34.9	9.7
Ene	2	Med	1.21	4.49	44.9	37.4	7.5
Ene	3	Med	1.21	4.51	49.6	34.8	14.8
Feb	1	Med	1.21	4.52	45.2	31.1	14.1
Feb	2	Med	1.21	4.54	45.4	28.8	16.6
Feb	3	Med	1.21	4.47	35.8	28.7	7.1
Mar	1	Med	1.21	4.41	44.1	30.1	14.0
Mar	2	Fin	1.14	4.10	41.0	30.5	10.5
Mar	3	Fin	1.02	3.65	36.5	22.5	11.7
					<b>564.4</b>	<b>424.2</b>	<b>137.9</b>

**Figura 27: Módulo de RAC para la estimación de la ETc para el cultivo de papa en la estación Huancané. Escenario A2.**

### **b. Escenario B2-Cultivo de papa**

En este caso el primer Módulo de Clima/ Eto es el mismo que para el escenario A2, es así que los valores de Evapotranspiración potencial (ETo) para el escenario B2, son los mismos que los valores proyectados para el escenario A2.

En la figura 28 se muestra los valores de la Precipitación efectiva bajo el escenario B2, siendo el menor valor en el mes de julio con 3.6 mm, y el máximo valor en el mes de enero con 108.9 mm. La Precipitación mensual total es de 575.6 mm.

Precipitación mensual - C:\ProgramData\CROPWAT\data\rain\HUANCANÉ-B2.CRM

Estación: HuancanéB2      Método Prec. Ef: Método USDA S.C.

	Precipit.	Prec. efec
	mm	mm
<b>Enero</b>	140.4	108.9
<b>Febrero</b>	109.6	90.4
<b>Marzo</b>	102.1	85.4
<b>Abril</b>	42.6	39.7
<b>Mayo</b>	12.0	11.8
<b>Junio</b>	4.4	4.4
<b>Julio</b>	3.6	3.6
<b>Agosto</b>	10.6	10.4
<b>Septiembre</b>	30.7	29.2
<b>Octubre</b>	46.9	43.4
<b>Noviembre</b>	63.4	57.0
<b>Diciembre</b>	111.4	91.5
<b>Total</b>	<b>677.7</b>	<b>575.6</b>

**Figura 28: Módulo de Precipitación efectiva del cultivo de papa en la estación Huancané.**

En la figura 29 se puede observar que la Demanda de agua para el cultivo de papa proyectada bajo el escenario B2 es de 564.4mm (5,644m<sup>3</sup>/ha), equivalente al obtenido bajo el escenario A2; sin embargo el requerimiento de riego es de 131.3mm, mayor al actual en 46.9mm para el cultivo en mención.

Requerimiento de Agua del Cultivo

Estación ET: Huancané      Cultivo: PAPA

Est. de lluvia: HuancanéB2      Fecha de siembra: 01/11

Mes	Decada	Etapa	Kc	ETc	ETc	Prec. efec	Req.Riego
			coef	mm/día	mm/dec	mm/dec	mm/dec
<b>Nov</b>	<b>1</b>	Inic	0.50	2.33	23.3	16.8	6.5
<b>Nov</b>	<b>2</b>	Inic	0.50	2.34	23.4	18.0	5.4
<b>Nov</b>	<b>3</b>	Des	0.52	2.36	23.6	22.2	1.4
<b>Dic</b>	<b>1</b>	Des	0.67	2.89	28.9	27.2	1.7
<b>Dic</b>	<b>2</b>	Des	0.82	3.44	34.4	31.3	3.1
<b>Dic</b>	<b>3</b>	Des	0.99	3.98	43.8	33.0	10.8
<b>Ene</b>	<b>1</b>	Med	1.16	4.46	44.6	35.5	9.1
<b>Ene</b>	<b>2</b>	Med	1.21	4.49	44.9	37.9	7.0
<b>Ene</b>	<b>3</b>	Med	1.21	4.51	49.6	35.3	14.2
<b>Feb</b>	<b>1</b>	Med	1.21	4.52	45.2	31.8	13.4
<b>Feb</b>	<b>2</b>	Med	1.21	4.54	45.4	29.5	15.8
<b>Feb</b>	<b>3</b>	Med	1.21	4.47	35.8	29.2	6.6
<b>Mar</b>	<b>1</b>	Med	1.21	4.41	44.1	30.3	13.8
<b>Mar</b>	<b>2</b>	Fin	1.14	4.10	41.0	30.4	10.6
<b>Mar</b>	<b>3</b>	Fin	1.02	3.65	36.5	22.4	11.8
					<b>564.4</b>	<b>430.9</b>	<b>131.3</b>

**Figura 29: Módulo de RAC para la estimación de la ETc para el cultivo de papa en la estación Huancané. Escenario B2.**

### c. Análisis en los Requerimientos de riego proyectados

Del análisis del impacto del cambio climático sobre el Requerimiento de riego (Req. riego) para el cultivo de agua en la localidad de Huancané, se observa que según el escenario más severo éste aumentaría en 535 l/ m<sup>2</sup> para todo el periodo vegetativo, mientras que para el escenario B2 el aumento sería de 469 l/ m<sup>2</sup>; y para ambos casos les corresponden valores iguales de Evapotranspiración potencial (Eto), así como valores iguales para la Demanda de agua (Etc), 0, 33 mm/día y 48 mm, respectivamente.

#### 4.3.2. REQUERIMIENTO HÍDRICO DEL CULTIVO DE QUINUA PARA LA LOCALIDAD DE JULIACA

En la figura 30 se puede observar que los valores de ETo diario mensual para la estación de Juliaca varían de 3.26 a 4.58 mm/día en los meses de junio y noviembre respectivamente, con un promedio de 3.75 mm/día.

Mes	Temp Min °C	Temp Max °C	Humedad %	Viento km/día	Insolación horas	Rad MJ/m <sup>2</sup> /día	ETo mm/día
Enero	3.5	16.8	64	156	5.7	19.3	3.63
Febrero	3.5	16.9	65	130	6.5	20.3	3.66
Marzo	3.1	16.8	64	121	6.3	18.9	3.41
Abril	0.8	17.2	57	156	7.3	18.5	3.40
Mayo	-4.1	17.1	48	190	9.3	19.0	3.44
Junio	-6.6	16.5	45	207	9.3	17.8	3.26
Julio	-7.6	16.3	45	207	9.2	18.2	3.27
Agosto	-5.2	17.1	45	199	9.0	19.9	3.60
Septiembre	-2.0	17.7	47	242	8.6	21.6	4.14
Octubre	0.8	18.6	48	207	8.1	22.4	4.37
Noviembre	2.0	18.8	49	207	8.3	23.3	4.58
Diciembre	3.2	17.9	56	181	7.6	22.3	4.25
Promedio	-0.7	17.3	53	184	7.9	20.1	3.75

Figura 30: Módulo de Clima/Eto, para estimar la Evapotranspiración Potencial del cultivo de quinua en la estación Juliaca.

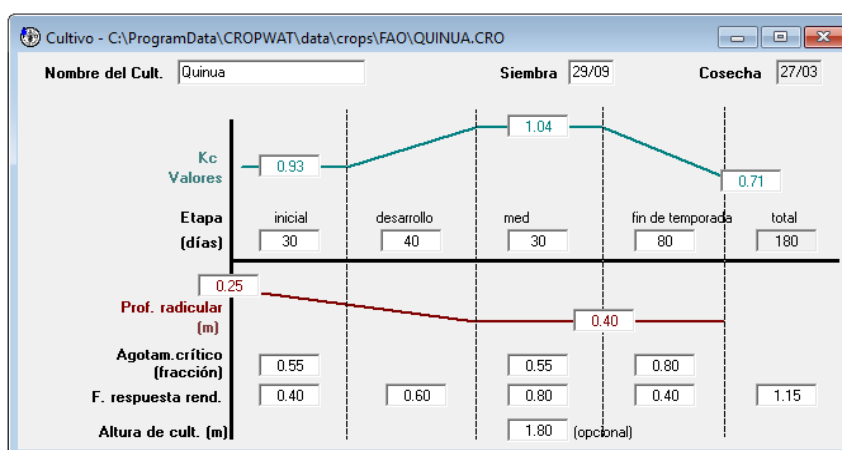


En la figura 31 se muestra los valores de la Precipitación efectiva para la estación Juliaca, siendo el menor valor en el mes de julio con 2.2 mm, y el máximo valor en el mes de enero con 104.5 mm. La Precipitación mensual total es de 514.6 mm.

	Precipit.	Prec. efec
	mm	mm
<b>Enero</b>	132.6	104.5
<b>Febrero</b>	102.8	85.9
<b>Marzo</b>	89.9	77.0
<b>Abril</b>	42.6	39.7
<b>Mayo</b>	8.7	8.6
<b>Junio</b>	5.7	5.6
<b>Julio</b>	2.2	2.2
<b>Agosto</b>	7.8	7.7
<b>Septiembre</b>	21.0	20.3
<b>Octubre</b>	46.4	43.0
<b>Noviembre</b>	52.9	48.4
<b>Diciembre</b>	82.8	71.8
<b>Total</b>	<b>595.4</b>	<b>514.6</b>

**Figura 31: Módulo de Precipitación efectiva del cultivo de quinua en la estación Juliaca.**

En la figura 32 se muestra el Módulo de cultivo de quinua, teniendo en cuenta las características principales de la variedad Kancollaq.



**Figura 32: Módulo de Cultivo del cultivo de quinua en la estación Juliaca.**

En la figura 33 se puede observar que la Demanda de agua actual para la estación Juliaca varía de 2.46 a 4.59 mm/día, acumulando un total de 685.7 mm por todo el período vegetativo, es decir un consumo de agua de 6857 l/ m<sup>2</sup>.

Mes	Decada	Etapa	Kc	ETc	ETc	Prec. efec	Req.Riego
			coef	mm/día	mm/dec	mm/dec	mm/dec
Sep	3	Inic	0.93	3.92	7.8	1.8	7.8
Oct	1	Inic	0.93	4.00	40.0	12.3	27.6
Oct	2	Inic	0.93	4.07	40.7	15.1	25.5
Oct	3	Des	0.93	4.14	45.5	15.5	30.1
Nov	1	Des	0.96	4.33	43.3	15.0	28.3
Nov	2	Des	0.99	4.55	45.5	15.3	30.1
Nov	3	Des	1.03	4.59	45.9	18.2	27.7
Dic	1	Med	1.06	4.61	46.1	21.1	25.0
Dic	2	Med	1.06	4.52	45.2	23.5	21.7
Dic	3	Med	1.06	4.30	47.3	27.3	20.0
Ene	1	Fin	1.06	4.06	40.6	32.8	7.8
Ene	2	Fin	1.02	3.71	37.1	37.2	0.0
Ene	3	Fin	0.98	3.55	39.1	34.4	4.7
Feb	1	Fin	0.93	3.39	33.9	30.4	3.5
Feb	2	Fin	0.89	3.24	32.4	28.2	4.1
Feb	3	Fin	0.85	3.02	24.2	27.4	0.0
Mar	1	Fin	0.81	2.81	28.1	27.5	0.6
Mar	2	Fin	0.76	2.59	25.9	27.0	0.0
Mar	3	Fin	0.72	2.46	17.2	14.2	0.0
					<b>685.7</b>	<b>424.3</b>	<b>264.6</b>

**Figura 33: Módulo de RAC para la estimación de la ETc para el cultivo de quinua en la estación Juliaca.**

**a. Escenario A2-Cultivo de quinua**

En la figura 34 se muestran los valores de ETo diario mensual para la estación de Juliaca, considerando el escenario A2 para el periodo 2071-2100 varían de 3.54 a 4.95 mm/día para los meses de junio y noviembre respectivamente, con un promedio de 4.06 mm/día por todo el periodo vegetativo. Por lo anterior se proyecta en el futuro mencionado un aumento de la ETo de 0.31 mm/día, respecto al periodo actual.

Mes	Temp Min °C	Temp Max °C	Humedad %	Viento km/día	Insolación horas	Rad MJ/m²/día	ETo mm/día
Enero	6.5	19.8	64	156	5.7	19.3	3.92
Febrero	6.5	19.9	65	130	6.5	20.3	3.94
Marzo	6.1	19.8	64	121	6.3	18.9	3.67
Abril	3.8	20.2	57	156	7.3	18.5	3.68
Mayo	-1.1	20.1	48	190	9.3	19.0	3.74
Junio	-3.6	19.5	45	207	9.3	17.8	3.54
Julio	-4.6	19.3	45	207	9.2	18.2	3.57
Agosto	-2.2	20.1	45	199	9.0	19.9	3.91
Septiembre	1.0	20.7	47	242	8.6	21.6	4.51
Octubre	3.8	21.6	48	207	8.1	22.4	4.73
Noviembre	5.0	21.8	49	207	8.3	23.3	4.95
Diciembre	6.2	20.9	56	181	7.6	22.3	4.58
Promedio	2.3	20.3	53	184	7.9	20.1	4.06

**Figura 34: Módulo de Clima/Eto, para estimar la Evapotranspiración Potencial del cultivo de quinua en la estación Juliaca. Escenario A2.**

En la figura 35 se muestra los valores de la Precipitación efectiva para la estación Juliaca, siendo el menor valor en el mes de julio con 2.2 mm, y el máximo valor en el mes de enero con 105.3 mm. La Precipitación mensual total es de 529.2 mm.

	Precipit. mm	Prec. efec mm
Enero	134.1	105.3
Febrero	104.3	86.9
Marzo	91.4	78.0
Abril	44.1	41.0
Mayo	10.2	10.0
Junio	5.7	5.6
Julio	2.2	2.2
Agosto	7.8	7.7
Septiembre	24.0	23.1
Octubre	49.4	45.5
Noviembre	55.9	50.9
Diciembre	84.3	72.9
Total	613.4	529.2

**Figura 35: Módulo de Precipitación efectiva del cultivo de quinua en la estación Juliaca.**

Requerimiento de Agua del Cultivo

Estación ETo Juliaca      Cultivo Quinoa

Est. de lluvia JuliacaA2      Fecha de siembra 29/09

Mes	Decada	Etapa	Kc	ETc	ETc	Prec. efec	Req. Riego
			coef	mm/día	mm/dec	mm/dec	mm/dec
Sep	3	Inic	0.93	4.26	8.5	2.0	8.5
Oct	1	Inic	0.93	4.33	43.3	13.2	30.1
Oct	2	Inic	0.93	4.40	44.0	15.9	28.1
Oct	3	Des	0.93	4.47	49.2	16.3	33.0
Nov	1	Des	0.96	4.67	46.7	15.9	30.8
Nov	2	Des	0.99	4.90	49.0	16.2	32.8
Nov	3	Des	1.02	4.94	49.4	18.9	30.5
Dic	1	Med	1.05	4.96	49.6	21.6	28.1
Dic	2	Med	1.06	4.86	48.6	23.9	24.8
Dic	3	Med	1.06	4.63	50.9	27.6	23.3
Ene	1	Fin	1.06	4.37	43.7	33.1	10.6
Ene	2	Fin	1.02	3.99	39.9	37.5	2.4
Ene	3	Fin	0.97	3.82	42.0	34.7	7.3
Feb	1	Fin	0.93	3.64	36.4	30.7	5.7
Feb	2	Fin	0.88	3.47	34.7	28.6	6.2
Feb	3	Fin	0.84	3.24	25.9	27.7	0.0
Mar	1	Fin	0.80	3.01	30.1	27.9	2.3
Mar	2	Fin	0.76	2.78	27.8	27.3	0.5
Mar	3	Fin	0.72	2.64	18.5	14.5	0.0
					<b>738.6</b>	<b>433.3</b>	<b>305.0</b>

**Figura 36: Módulo de RAC para la estimación de la ETc para el cultivo de papa en la estación Juliaca. Fuente: Elaboración propia.**

En la figura 36 se puede observar que la Demanda de agua proyectada bajo el escenario A2 hacia el 2071-2100 para la estación Juliaca es de 738.6mm (7,388l/ m<sup>2</sup>) por todo el periodo vegetativo, excediendo en 52.9mm respecto al periodo actual, por otro lado el requerimiento de riego es de 305mm, mayor al actual en 40.4mm para el cultivo de quinua.

**b. Escenario B2-cultivo de quinua**

El primer Módulo de Clima/ Eto es el mismo que para el escenario A2, es así que los valores de Evapotranspiración potencial (ETo) para el escenario B2, son los mismos que los valores proyectados para el escenario A2.

En la figura 37 se muestra los valores de la Precipitación efectiva para la estación Juliaca, siendo el menor valor en el mes de julio con 2.2 mm, y el máximo valor en el mes de enero con 104.5 mm. La Precipitación mensual total es de 514.6 mm.

Precipitación mensual - untitled

Estación: JuliacaB2      Método Prec. Ef: Método USDA S.C.

	Precipit.	Prec. efec
	mm	mm
Enero	132.6	104.5
Febrero	102.8	85.9
Marzo	89.9	77.0
Abril	42.6	39.7
Mayo	8.7	8.6
Junio	5.7	5.6
Julio	2.2	2.2
Agosto	7.8	7.7
Septiembre	21.0	20.3
Octubre	46.4	43.0
Noviembre	52.9	48.4
Diciembre	82.8	71.8
Total	595.4	514.6

**Figura 37: Módulo de Precipitación efectiva del cultivo de quinua en la estación Juliaca**

En la figura 38, se muestra el consumo de agua del cultivo de quinua (ETc), bajo el escenario B2 hacia el 2071-2100 para el periodo de producción alcanza valores del orden de 8.5 a 50.9 mm/día, acumulando un total de 738.6 mm (7,3860 l/ m<sup>2</sup>) por todo el periodo vegetativo, excediendo en 52.9mm respecto al periodo actual, por otro lado el requerimiento de riego es de 313.2mm, mayor al actual en 48.6mm para el cultivo de quinua.

Requerimiento de Agua del Cultivo

Estación ETo: Juliaca      Cultivo: Quinua

Est. de lluvia: JuliacaB2      Fecha de siembra: 29/09

Mes	Decada	Etap	Kc	ETc	ETc	Prec. efec	Req.Riego
			coef	mm/día	mm/dec	mm/dec	mm/dec
Sep	3	Inic	0.93	4.26	8.5	1.8	8.5
Oct	1	Inic	0.93	4.33	43.3	12.3	31.0
Oct	2	Inic	0.93	4.40	44.0	15.1	28.8
Oct	3	Des	0.93	4.47	49.2	15.5	33.8
Nov	1	Des	0.96	4.67	46.7	15.0	31.7
Nov	2	Des	0.99	4.90	49.0	15.3	33.7
Nov	3	Des	1.02	4.94	49.4	18.2	31.2
Dic	1	Med	1.05	4.96	49.6	21.1	28.5
Dic	2	Med	1.06	4.86	48.6	23.5	25.1
Dic	3	Med	1.06	4.63	50.9	27.3	23.6
Ene	1	Fin	1.06	4.37	43.7	32.8	10.9
Ene	2	Fin	1.02	3.99	39.9	37.2	2.7
Ene	3	Fin	0.97	3.82	42.0	34.4	7.6
Feb	1	Fin	0.93	3.64	36.4	30.4	6.0
Feb	2	Fin	0.88	3.47	34.7	28.2	6.5
Feb	3	Fin	0.84	3.24	25.9	27.4	0.0
Mar	1	Fin	0.80	3.01	30.1	27.5	2.6
Mar	2	Fin	0.76	2.78	27.8	27.0	0.8
Mar	3	Fin	0.72	2.64	18.5	14.2	0.0
					738.6	424.3	313.2

**Figura 38: Módulo de RAC para la estimación de la ETc para el cultivo de quinua en la estación Juliaca. Escenario B2.**

### **c. Análisis en los requerimientos hídricos proyectados**

Del análisis del impacto del cambio climático sobre el Requerimiento de riego (Req. riego) para el cultivo de quinua en la localidad de Juliaca, se observa que según el escenario más severo, B2, éste aumentaría en 4,86 l/ m<sup>2</sup> para todo el periodo vegetativo, mientras que para el escenario A2 el aumento sería de 404 l/ m<sup>2</sup>; y para ambos casos les corresponden valores iguales de Evapotranspiración potencial (Eto), así como valores iguales para la Demanda de agua (Etc), 0,31 mm/día y 52,9mm. respectivamente.

## **4.4. IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO**

### **4.4.1. IMPACTO EN EL CULTIVO DE PAPA PARA LA LOCALIDAD DE HUANCANE**

La temperatura crítica para el cultivo de papa varía de 14°C a 30°C. La temperatura máxima proyectada hacia el 2071-2100 es de 19°C y la temperatura mínima proyectada es de 5.9°C, durante los meses del periodo vegetativo, se considera que el impacto de cambio climático no será negativo.

Respecto a la precipitación óptima, tenemos que es de 350 a 650mm, y el pronóstico de la Precipitación efectiva (Pe) es de 566. 2 mm para el escenario más severo B2, mayor al actual que es de 575. 6 mm

Según la Dirección Regional de Puno en los últimos dos periodos 2013-2014, 2014-2015 la producción de papa ha aumentado en 12% y 19%, siendo las producciones de 14, 212 y 16,901 toneladas respectivamente, muy mayores a otros años como por ejemplo a inicios del año 2000 en los que la producción era de 7,284 toneladas ; por lo que ante la mega del efecto negativo del cambio climático en dicho cultivo, se deduce que la producción en crecimiento, se vería afectada de manera negativa, y debido a las altas tasas de producción puede afectarse la población en su seguridad alimentaria así como en su fuente de ingreso para los productores.

### **4.4.2. IMPACTO EN EL CULTIVO DE QUINUA PARA LA LOCALIDAD DE JULIACA**

La temperatura crítica para el cultivo de quinua es de 3°C a 25°C, considerando los meses de las etapas fenológicas del cultivo, en todos los casos las proyecciones de las temperaturas

no implican efectos negativos que impacten drásticamente en el rendimiento del cultivo de quinua. La temperatura máxima proyectada hacia el 2071-2100 es de 21.8°C y la temperatura mínima proyectada es de 1°C, debido a que la quinua soporta hasta -10°C, no se esperaría algún efecto negativo sobre el rendimiento del cultivo, sobre todo por su tolerancia a las condiciones climáticas extremas.

Respecto a la precipitación óptima, tenemos que es de 500 a 700mm, y el pronóstico de la Precipitación efectiva (Pe) es de 529.2 mm para el escenario más severo A2 B2, mayor al actual que es de 514.6 mm.

Según la Dirección Regional de Puno en los últimos dos periodos 2013-2014, 2014-2015 la producción de quinua ha aumentado en 0.17% y disminuido en 0.03%, siendo las producciones de 1,214 y 1,177 toneladas respectivamente, sin embargo ante el nuevo auge de la quinua, debería tomarse con seriedad los presentes resultados.

## V. CONCLUSIONES

- Los valores de las variables meteorológicas de las estaciones de la cuenca Huancané y Coata para las condiciones actuales de referencia, 1967-2006 y 1956-2009 respectivamente mostraron en general un comportamiento de acuerdo a la variación estacional, tanto de la precipitación como la temperatura, por lo que hay una buena correlación en las variables, sobre todo en la zona de estudio, las localidades de Huancané y Juliaca.
- Del análisis del impacto de cambio climático a través de los mapas temáticos, para las zonas de la cuenca de Huancané y Coata se prevé un aumento de la temperatura en promedio de 3°C y respecto a las precipitaciones se prevé una disminución de -2mm para Huancané y ligeros aumentos de 2mm para Coata. La zona más afectada correspondería a la localidad de Huancané, por sus condiciones locales y climáticas que posee bajas precipitaciones, aunado a la futura disminución de las mismas.
- Los valores obtenidos de Etc y el Req. de riego para el cultivo de papa bajo el escenario más severo A2, resultaron en 5,644l/ m<sup>2</sup> y 1,379l/ m<sup>2</sup>, respectivamente. Los valores de Etc y el Req. riego para el cultivo de quinua fueron de 6,857l/ m<sup>2</sup> y 2,645 l/ m<sup>2</sup>, bajo el escenario más severo B2 se obtuvieron los valores de 7,386 l/ m<sup>2</sup> y 3,132l/ m<sup>2</sup> respectivamente. El Req. de riego para el cultivo de papa en la zona de Huancané tendrá un aumento según el escenario más severo de 535 l/ m<sup>2</sup> y para el cultivo de quinua aumentará en 486 l/m<sup>2</sup>.
- Los resultados indican que al futuro 2071-2100 el cultivo de papa en el distrito de Huancané se verá afectado principalmente por un mayor requerimiento de riego durante las campaña agrícola, en comparación con el cultivo de quinua en Juliaca, esto en respuesta a la disminución de las precipitaciones y condiciones locales y climáticas de la zona, en cuanto a las temperaturas los valores de los pronósticos de las temperatura máxima y mínima al futuro no sobrepasarán los temperaturas críticas del cultivo de papa y quinua, por lo que no se prevé mayor impacto negativo.



## VI. RECOMENDACIONES

- Es de importancia realizar investigaciones para mejorar los escenarios regionalizados, y con eso tener mejores pronósticos de las variables meteorológicas al futuro cercano, asimismo considerar los fenómenos locales tales como el Fenómeno del Niño, entre otros.
- Para un mejor análisis visual de los pronósticos de las variables meteorológicas se deberán tener en cuenta la mayor cantidad de estaciones meteorológicas posibles para el mejor trazado de las isolíneas, por otro lado es conveniente realizar el análisis por lo menos un mes representativo por cada estación del año.
- Es preciso tener en cuenta la determinación representativa de los datos de cultivo así como datos de suelo de las zonas de estudio, tales por ejemplo como coeficiente de cultivo, fracción de respuesta al rendimiento, factor de agotamiento, entre otros, para una mayor estimación de las demandas hídricas de cultivo.
- Respecto al cultivo de papa se deberá tomar en cuenta medidas de adaptación al cambio climático, ya que se ha determinado tenga mayores impactos negativos a los actuales por aumento de temperaturas y disminución de las precipitaciones, asimismo se recomienda utilizar este estudio por ser de vital importancia para la base de futuras investigaciones respecto a la estimación del cambio climático en la zona Alto andina.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA (Autoridad Nacional del Agua), 2010. Estudio Hidrológico de las cuencas Huancané y Suches.

Arteaga et al., 2011. Programa Cropwat para Planeación y Manejo del Recurso Hídrico. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. (2). 2: p 17-195.

Baldini, R. 2015. Estimación del rendimiento futuro de caña de azúcar usando el modelo GCM-MRI y un modelo de rendimiento de cultivos. Tesis de Ingeniero Agrícola. Universidad Nacional Agraria la Molina. 147 p.

Bolívar, V. 2012. Valoración económica del impacto de la temperatura y la precipitación en la producción de papa en la cuenca del río Santa. Tesis de Ingeniero Ambiental. Universidad Nacional Agraria la Molina. 173 p.

CMCC (CONVENCIÓN MARCO DE LAS NACIONES UNIDAS SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO). 1992. ONU. (en línea). Consultado 20 de febrero 2016. Disponible en [http://unfccc.int/files/essential\\_background/background\\_publications\\_htmlpdf/application/pdf/convsp.pdf](http://unfccc.int/files/essential_background/background_publications_htmlpdf/application/pdf/convsp.pdf)

Córdova, D. 2015. Análisis de la Precipitación futura en la Cuenca Chancay-Huaral mediante el Modelo GCM-MRI. Tesis de Ingeniero Agrícola. Universidad Nacional Agraria la Molina. 149 p.

Cropwat 8.0. FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). (en línea). Consultado 15 enero 2016. Disponible en [http://www.fao.org/nr/water/infores\\_databases\\_cropwat.html](http://www.fao.org/nr/water/infores_databases_cropwat.html)

DRAP (Dirección Regional Agraria de Puno Información estadística). 1995. (en línea). Consultado 20 febrero 2016. Disponible en <http://www.agropuno.gob.pe/?q=node/1196>

DGA (Dirección General de Agrometeorología). 2015. Boletín Agrometeorológico para la Región Puno.

Falconí, J. 2001. El trigo invernal en la región altoandina de Puno. Tesis de Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional Agraria la Molina .201 p.

FAO. (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2011. Oficina Regional para América Latina y el Caribe. La quinua: cultivo milenario para contribuir a la seguridad alimentaria mundial.

FAO. (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2006. Evapotranspiración del cultivo. Guía para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Estudio FAO 56: Riego y Drenaje.

FAO. (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2012. Respuesta del rendimiento de los cultivos del agua. Estudio FAO 66: Riego y Drenaje.

García, J, 1992. Agrometeorología: Energía y agua en la agricultura.

Giraldez, L. 2009. Influencia de la temperatura, precipitación y fotoperiodo en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) var. Canchán y Yungay en los distritos de El Tambo y el Mantaro. Tesis de Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional del Centro del Perú. 102 p.

Guzmán, F. 2013. Evaluación del impacto del cambio climático en el cultivo de café en la cuenca alta del río Sisa, provincias de Lamas (distrito Alonso de Alvarado) y El Dorado (distrito San Martín de Alao), región San Martín. Tesis de maestría. Universidad Nacional Agraria La Molina. 80 p.

IPCC. (Grupo Intergubernamental de expertos sobre el Cambio Climático), 2001. Tercer Informe de Evaluación de Cambio climático 2001. Mitigación. PNUMA.

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. Ginebra, Suiza.

Mercedes, W. 2005. Efecto del estrés hídrico en la fisiología y rendimiento de cuatro variedades del cultivo quinua. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Agraria La Molina. 91 p.

MINAG (Ministerio de Agricultura). 2007. Evaluación de los Recursos Hídricos en las cuencas de los Ríos Cabanillas y Lampa.

MINAG. (Ministerio de Agricultura). 2000. Condiciones Agroclimáticas del cultivo de papa. Dirección General de Competitividad Agraria. Cartilla N° 10.

MINAG. (Ministerio de Agricultura). 2014. Requerimientos Agroclimáticos del cultivo de quinua. Ficha técnica N° 03.

Moros, A. 2010. Caracterización de señales de precipitación mediante la transformada de fourier y transformada wavelet. Tesis de Maestría. Universidad Pontificia Universidad Javeriana. 199 p.

Quispe, P. 2011. Estudio Económico del Cultivo de Quinua. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Agraria la Molina. 135p.

Raygada. 2011. Caracterización del almidón en dos variedades de quinua (Chenopodium quinoa Willd) Kancolla y Chulpi. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Agraria la Molina.

Rajendra K. Pachauri 2014. (en línea). Consultado 18 marzo 2016. Disponible en: <http://biznews.pe/noticias-empresariales-nacionales/peru-es-uno-paises-mas-vulnerables-mundo-al-cambio-climatico>

Reckmann, A. Demanda de agua por parte de los cultivos. INIA la Platina. 21 p.

Sanabria J., Marengo, J y Valverde. 2009 Escenarios de Cambio Climático con modelos regionales sobre el Altiplano Peruano (Departamento de Puno). Revista Peruana Geo-Atmosférica RPGA (1): 134-149p.

SENAMHI.2002. Dirección General de Agrometeorología. Impacto del Evento Niño en la Agricultura Peruana Campaña 2002-2003.

Tonconi, J. 2014. Producción agrícola alimentaria y cambio climático: un análisis económico en el departamento de Puno, Perú Patente 33 (2): 119-136p.

Velásquez, V. 2011. Efectos del cambio climático en el sector primario de dos especies de importancia económica para el estado de México. Tesis de Ingeniería Geógrafa. Universidad Nacional Autónoma de México. 83 p.

## VIII. ANEXOS

**ANEXO 1: Valores de la temperatura media mensual para la cuenca de Huancané en el periodo 1956-2009. Fuente: Elaborados con información del SENAMHI y la ANA**

Temperatura media mensual (°C)- Promedio multimensual ( 1956-2009)														
Estación	Altitud	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Promedio Anual
Huancané	3840	9.3	9.3	9	8.1	6.3	4.9	4.5	5.7	7.5	8.9	9.5	9.5	7.7
Putina	3856	9.8	9.9	9.5	8.9	7	5.5	5.4	6.8	8.4	9.7	10.3	10.3	8.5
Muñani	3948	9.4	9.6	9.4	9	7.8	6.6	6.3	7.5	8.7	9.7	10.1	10	8.6
Huaraya Moho	3832	9.8	9.8	9.5	8.9	7.7	6.4	6.3	7.3	8.7	9.7	10.1	10	8.7
Cojata	4327	6.5	6.6	6.5	5.2	3.3	1.3	0.8	1.6	3.6	5.2	6.2	6.5	4.4
Suches	4655	4.4	4.6	4.5	4.1	3.2	1.8	1.4	1.8	2.6	3.6	4.2	4.2	3.4
Ananea	4640	4.4	4.6	4.5	4.1	3.3	3.1	3.4	3.4	4.2	4.5	4.5	4.4	4
Crucero	4130	8.4	8.5	7.9	6.9	4.8	3.1	2.6	3.6	5.6	7.2	8	8	6.3
Progreso	3940	9.7	9.7	9.6	9.1	7.5	6.3	6	7.3	8.8	9.9	10.2	10	8.7
Azángaro	3848	10.2	10.2	9.9	9.3	7.3	5.6	5.5	6.8	8.7	10.1	10.5	10.5	8.7
Arapa	3830	10.2	10.3	10.1	9.6	8.1	6.7	6.5	7.6	9	10.2	10.5	10.6	9.1
Taraco	3820	10.3	10.2	9.5	7.5	5	3.2	3.5	4.5	6.4	8.7	9.9	10.2	7.4
Conima	3860	10	9.9	9.6	8.8	7	5.6	5.4	6.6	8.2	9.5	10.1	10.1	8.4
Puerto Acosta	3835	10.6	10	10.3	9.2	7.4	7.5	6.7	8	8.8	9.9	10.4	10.4	9.1
Escoma	3828	10.2	10.1	9.8	9	7.1	5.8	5.5	6.8	8.4	9.8	10.3	10.4	8.6
Chahuaya	4500	5.5	5.6	5.5	5	3.9	2.6	2.2	2.8	3.7	4.8	5.4	5.4	4.4

**ANEXO 2: Valores de la Precipitación total para la cuenca de Huancané en el periodo 1956-2009. Fuente: Elaborados con información del SENAMHI y la ANA**

Precipitación total mensual ( mm)- Promedio multimensual ( 1956-2009)														
Estación	Altitud	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total Anual
Huancané	3840	140.4	109.6	102.1	42.6	12	4.4	3.6	10.6	30.7	46.9	63.4	111.4	677.7
Putina	3856	147.8	105.3	101.5	52.5	13.4	4.9	3.9	8.7	30.6	48.3	73.5	102.8	693.2
Muñani	3948	142.3	109.5	90.4	43.8	9.8	3.7	2.4	6.3	25.9	43.1	63	104.3	644.4
Huaraya Moho	3832	200.2	141.7	120.5	57.8	21.8	8.1	7	16.5	46.3	57.8	73	134.4	885.1
Cojata	4327	145.7	118.2	107.3	57.1	17.3	8.8	6.5	16.9	37.1	57.3	67.8	103.6	743.6
Suches	4655	104.2	85	89.8	39.9	12	3.6	4.3	8.6	28.6	41.3	53.3	70.2	540.8
Ananea	4640	122.3	100	87.5	44.6	18.5	6.4	11.8	14.9	24.7	45.8	56.5	88.7	621.7
Crucero	4130	152.5	135.9	114.4	56.6	18.1	6.7	4.7	11.7	32.6	52.7	78.6	119	783.5
Progreso	3940	129.3	98.4	99.8	42.5	8.8	1.8	2.6	6.2	20.2	43.2	67.3	94.4	614.5
Azángaro	3848	126.2	95.8	90.9	41.8	8.1	3	1.9	8.1	25.3	42.1	72.4	93.8	609.4
Arapa	3830	146.8	109.8	114.5	52	12.7	5.9	3.2	12.2	30.2	49	61.3	98.2	695.8
Taraco	3820	134.6	99.8	89.5	39.7	6.6	4.7	1.9	8.8	26.1	36.9	51.3	91.4	591.3
Conima	3860	207.8	143.6	133.2	70.6	11.2	6.6	8.6	10.8	33.9	50.3	57.4	122.4	856.4
Puerto Acosta	3835	146.1	122.9	84.7	52.8	23.3	11.7	8.9	20.4	44.6	50.4	63.1	97.9	726.7
Escoma	3828	94.9	80.2	82.5	41.8	23.8	4	4.7	9.6	31.5	24.6	30.4	65.6	493.6
Chahuaya	4500	163	91.2	89.2	37.5	19	8	10	12.4	31	34.4	50.2	105.8	651.6

**ANEXO 3: Valores de la temperatura media mensual para la cuenca de Coata en el periodo 1967-2006. Fuente: Elaborados con información del SENAMHI y la ANA**

Temperatura media mensual (°C)- Promedio Multianual ( 1967-2006)														
Estación	Altitud (msnm)	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Promedio
Llalli	3980	9	9	8.8	7.7	5.8	4.2	4.1	5.3	7.3	8.2	8.8	9.2	7.3
Ayaviri	3928	10.1	10	9.9	9.1	6.8	5.2	4.9	6.5	8.7	10.1	10.6	10.8	8.6
Pucara	3900	9.5	10.3	10.2	9.2	6.4	4.5	4.2	5.8	7.8	9.4	9.8	9.9	8.1
Pampahuta	4400	6.4	6.4	6.2	5.2	2.9	1	0.7	1.6	3.3	4.7	5.5	6.2	4.2
Cabanillas	3820	10.3	10.2	10.1	9.7	8.3	7	6.8	7.9	9.2	10.1	10.7	10.6	9.2
Quillisani	4600	5.2	5.4	5.2	4.3	2	0.4	-0.1	0.9	2.5	3.9	4.6	5.3	3.3
Mañazo	3920	9.3	9.3	9.2	8.4	6.5	5	4.7	5.9	7.5	8.7	9.3	9.6	7.8
Ichuña	3800	10	10	9.9	9.2	7.3	5.8	5.6	6.8	8.4	9.6	10.2	10.3	8.6
Lampa	3892	10	9.8	9.7	8.7	6.5	5	4.8	6	7.6	8.8	9.6	10	8
Juliaca	3826	10.2	10.3	10	9	6.6	4.9	4.4	5.9	7.7	9.4	10.1	10.4	8.3
Taraco	3820	9.9	9.9	9.8	9.1	7.2	5.7	5.5	6.7	8.3	9.5	10.1	10.2	8.5
Capachica	3828	9.4	9.4	9.3	8.7	7	5.9	5.6	6.5	7.9	8.8	9.2	9.4	8.1
Puno	3892	10.8	10.8	10.7	9.9	8.2	6.9	6.7	7.8	9.3	10.3	11.2	11.4	9.5
Condoroma	4160	7.8	7.9	7.8	7	4.9	3.4	3	4.1	5.7	7	7.7	8.1	6.2
Imata	4519	5.6	5.8	5.7	4.8	2.6	1	0.5	1.5	3.1	4.5	5.1	5.8	3.8
Crucero Alto	4470	5.2	5.5	5.4	4.8	2.9	1.7	1	2	3.2	4.5	5.1	5.6	3.9

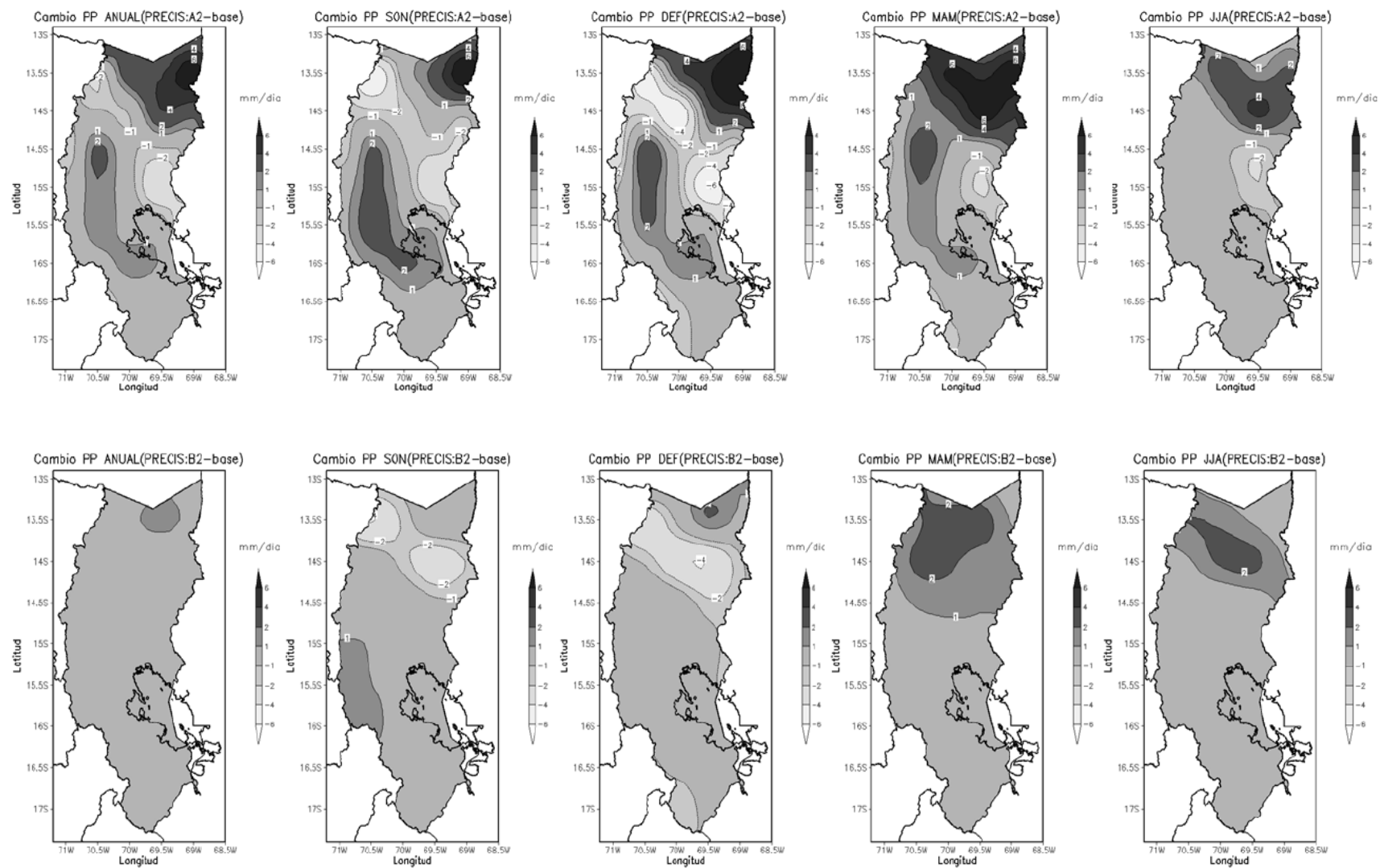
**ANEXO 4: Valores de la Precipitación total para la cuenca de Coata en el periodo 1967-2006. Fuente: Elaborados con información del SENAMHI y la ANA**

Precipitación Total Mensual- Promedio Multianual ( 1967-2006)														
Estación	Altitud(msnm)	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	TOTAL
Llalli	3980	183.7	153.2	135.9	53.4	9.7	5.7	3	12.1	20.6	49.7	66.1	117.2	810.2
Ayaviri	3928	160	119.9	104	43.5	7.8	4	2.1	11.1	16	61.6	81.1	101	712.1
Pucara	3900	159	130.6	120.7	48.8	8.3	4.6	3	9.7	22.6	59.4	67.6	117.6	751.9
Pampahuta	4400	177.8	159.4	131.8	51.2	10.9	3.3	3	8.8	15.5	38.1	70.1	119.2	789.1
Cabanillas	3820	144.7	134	107.4	44.3	6.4	2.8	1.7	8.7	17.3	35.4	49.3	88.3	640.4
Quillisani	4600	177.2	175.8	142.7	62	10.2	5.1	4.1	14.7	22.2	45.2	78.7	132.8	870.8
Mañazo	3920	148.7	140.6	108.3	39	6.6	4.2	1.9	7.7	15.1	30.6	52.6	93	648.2
Ichuña	3800	139	117.8	83.4	29.5	4.3	2.9	2.4	6.5	9.8	17.9	34	79	526.6
Lampa	3892	155	127	108.2	47	7.3	4.2	1.6	8.7	22.7	45.9	65.1	109.7	702.3
Juliaca	3826	132.6	102.8	89.9	42.6	8.7	5.7	2.2	7.8	21	46.4	52.9	82.8	595.5
Taraco	3820	137.8	104.1	91.2	37.7	6.5	5.8	2.1	8.1	23.3	38.9	54.4	88.6	598.5
Capachica	3828	178.2	158	146.1	50.3	11.7	5	4	11.8	26	41.4	60	102.7	795.1
Puno	3820	165.1	141.7	131.6	53.4	9.3	4.4	2.6	12	25.8	44.1	51.5	87.7	729.2
Condoroma	4160	171.5	136.3	118.5	43.7	8.3	4.5	3.5	10.6	20.8	24.1	45	90	676.7
Imata	4519	134.1	120.7	104.3	31.1	4.3	2.7	2.6	5.6	9.6	15.4	30.9	68.1	529.2
Crucero Alto	4470	161.4	117.5	129	35.7	4.1	3.1	4.4	8.7	12.7	23	37.9	79.8	617.5

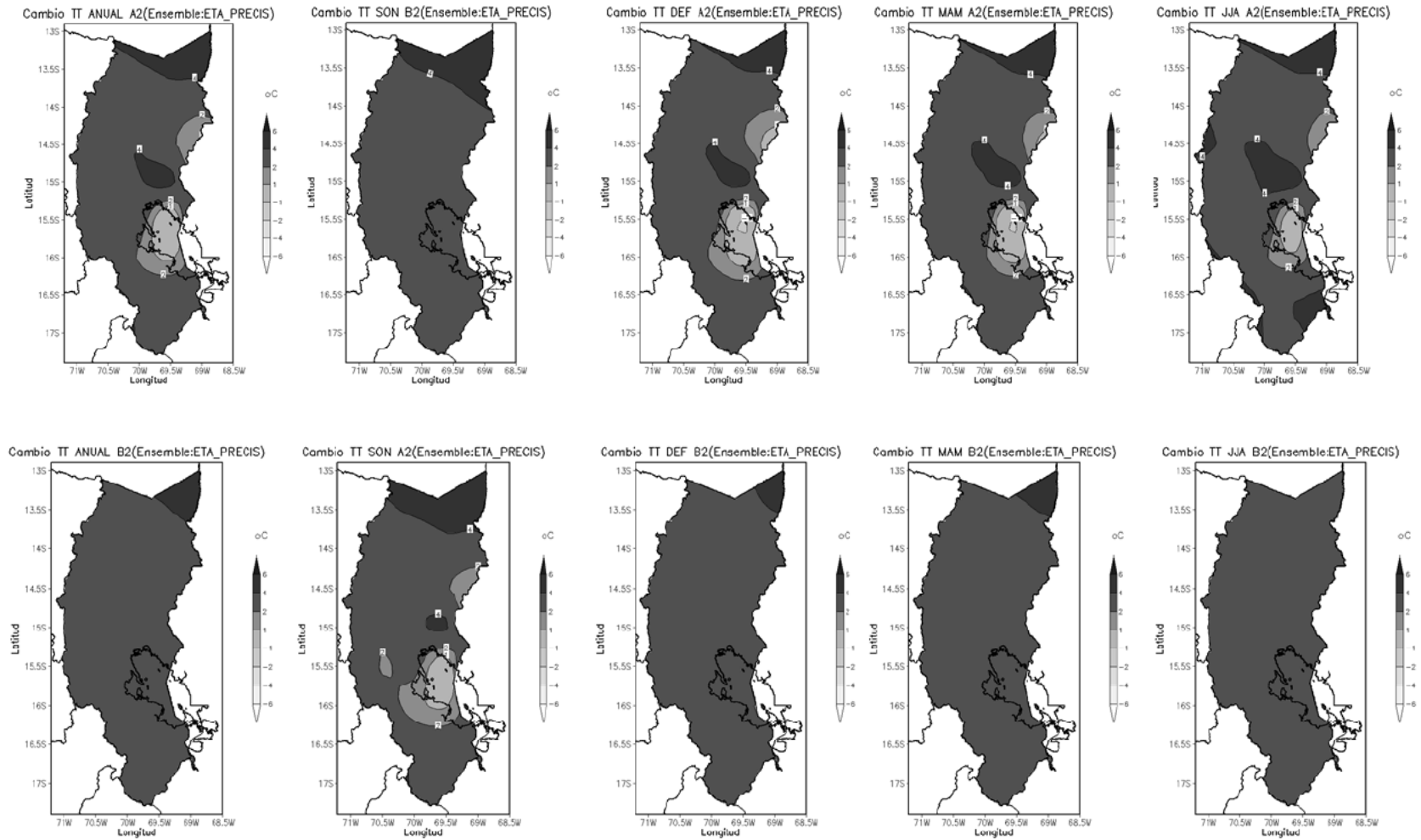




**ANEXO 6: Anomalías en la precipitación anual y estacional en escenario climáticos futuro A2 (altas concentraciones de CO<sub>2</sub>) y B2 (bajas concentraciones de CO<sub>2</sub>); periodo 2071-2100; Modelo HadRM3. FUENTE: Sanabria, *et al.* (2009).**



**ANEXO 7: Anomalías en la temperatura anual y estacional en escenario climáticos futuro A2 (altas concentraciones de CO<sub>2</sub>) y B2 (bajas concentraciones de CO<sub>2</sub>); periodo 2071-2100; Modelo HadRM3. FUENTE: Sanabria, *et al.* (2009).**



**ANEXO 8: Anomalías de las proyecciones de las variables meteorológicas actuales de la estación Huancané al futuro cercano (2071-2100), bajo los escenarios A2 y B2. FUENTE: Elaboración propia.**

MES	ESCENARIO A2			ESCENARIO B2		
	Anomalía T máx.	Anomalía T mín.	Anomalía Prec. Media	Anomalía T máx.	Anomalía T mín.	Anomalía Prec. Media
ENERO	3	3	-3	3	3	0
FEBRERO	3	3	-3	3	3	0
MARZO	3	3	0	3	3	0
ABRIL	3	3	0	3	3	0
MAYO	3	3	0	3	3	0
JUNIO	3	3	0	3	3	0
JULIO	3	3	0	3	3	0
AGOSTO	3	3	0	3	3	0
SEPTIEMBRE	3	3	-1.5	3	3	0
OCTUBRE	3	3	-1.5	3	3	0
NOVIEMBRE	3	3	-1.5	3	3	0
DICIEMBRE	3	3	-3	3	3	0

**ANEXO 9: Anomalías de las proyecciones de las variables meteorológicas actuales de la estación Juliaca al futuro cercano (2071-2100), bajo los escenarios A2 y B2. FUENTE: Elaboración propia.**

MES	ESCENARIO A2			ESCENARIO B2		
	Anomalía T máx.	Anomalía T min.	Anomalía Prec. Media	Anomalía T máx.	Anomalía T min.	Anomalía Prec. Media
ENERO	3	3	1.5	3	3	0
FEBRERO	3	3	1.5	3	3	0
MARZO	3	3	1.5	3	3	0
ABRIL	3	3	1.5	3	3	0
MAYO	3	3	1.5	3	3	0
JUNIO	3	3	0	3	3	0
JULIO	3	3	0	3	3	0
AGOSTO	3	3	0	3	3	0
SEPTIEMBRE	3	3	3	3	3	0
OCTUBRE	3	3	3	3	3	0
NOVIEMBRE	3	3	3	3	3	0
DICIEMBRE	3	3	1.5	3	3	0

**ANEXO 10: Variables meteorológicas actuales y proyecciones al futuro cercano (2071-2100) para la estación de Huancané, bajo los escenarios A2 y B2. FUENTE: Elaboración propia.**

Valores de Temperatura y Precipitación actuales y pronósticos al futuro cercano												
Valores de Temperatura (°C)												
MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Temp. min	4.1	4	3.4	1.6	-2.1	-4.3	-4.9	-3.1	-0.2	1.9	2.9	3.6
Bajo Escenario A2 y B2	7.1	7	6.4	4.6	0.9	-1.3	-1.9	-0.1	2.8	4.9	5.9	6.6
Temp. Máx	14.5	14.6	14.5	14.8	14.7	14.1	13.9	14.5	15.2	15.8	16	15.4
Bajo Escenario A2 y B2	17.5	17.6	17.5	17.8	17.7	17.1	16.9	17.5	18.2	18.8	19	18.4
Valores de Precipitación Media (mm)												
Precip. Media	140.4	109.6	102.1	42.6	12	4.4	3.6	10.6	30.7	46.9	63.4	111.4
Bajo Escenario A2	137.4	106.6	102.1	42.6	12	4.4	3.6	10.6	29.2	45.4	61.9	108.4
Bajo Escenario B2	140.4	109.6	102.1	42.6	12	4.4	3.6	10.6	30.7	46.9	63.4	111.4

**ANEXO 11: Variables meteorológicas actuales y proyecciones al futuro cercano (2071-2100) para la estación de Juliaca, bajo los escenarios A2 y B2. FUENTE: Elaboración propia.**

Valores de Temperatura y Precipitación actuales y pronósticos al futuro cercano												
Valores de Temperatura (°C)												
MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Temp. min	3.5	3.5	3.1	0.8	-4.1	-6.6	-7.6	-5.2	-2	0.8	2	3.2
Bajo Escenario A2 y B2	6.5	6.5	6.1	3.8	-1.1	-3.6	-4.6	-2.2	1	3.8	5	6.2
Temp. Máx	16.8	16.9	16.8	17.2	17.1	16.5	16.3	17.1	17.7	18.6	18.8	17.9
Bajo Escenario A2 y B2	19.8	19.9	19.8	20.2	20.1	19.5	19.3	20.1	20.7	21.6	21.8	20.9
Valores de Precipitación Media (mm)												
Precip. Media	132.6	102.8	89.9	42.6	8.7	5.7	2.2	7.8	21	46.4	52.9	82.8
Bajo Escenario A2	134.1	104.3	91.4	44.1	10.2	5.7	2.2	7.8	24	49.4	55.9	84.3
Bajo Escenario B2	132.6	102.8	89.9	42.6	8.7	5.7	2.2	7.8	21	46.4	52.9	82.8

**ANEXO 12: Producción y Rendimiento agrícola de los cultivos de papa y quinua en Huancané y Juliaca. FUENTE: Extraído de DRAP.**

<b>REGION: Puno/ Huancané</b>				
<b>CULTIVO/VARIABLE</b>	<b>2000-2001</b>	<b>2012-2013</b>	<b>2013-2014</b>	<b>2014-2015</b>
<b>PAPA</b>				
Produccion (T.)	7,284.00	12,665.00	14,212.00	16,901.00
Rendimiento (Kg./Ha.)	7,891.66	10,051.59	10,832.32	12,803.79

<b>REGION: Puno/ Juliaca</b>		
<b>CULTIVO/VARIABLE</b>	<b>2013-2014</b>	<b>2014-2015</b>
<b>QUINUA</b>		
Produccion (T.)	1,214.00	1,177.00
Rendimiento (Kg./Ha.)	986.99	974.34