



# UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

ESCUELA DE POSGRADO

MAESTRÍA EN ECONOMÍA



TESIS

**EFFECTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL RENDIMIENTO DE LOS  
PRINCIPALES CULTIVOS EN LA REGIÓN PUNO, PERIODO 1964-2019**

**PRESENTADA POR:**

**YADIRA CLAUDIA ARRIETA CARRASCO**

**PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:**

**MAESTRO EN ECONOMÍA**

**MENCIÓN EN PLANIFICACIÓN Y GESTIÓN PÚBLICA**

**PUNO, PERÚ**

**2021**



## DEDICATORIA

A Dios, por forjar mi camino con amor y permitirme sonreír ante todos mis logros que son el resultado de su ayuda.

A mi familia por sus consejos y palabras de aliento que me ayudan a crecer como persona y luchar por lo que quiero.



## AGRADECIMIENTOS

- A la Universidad Nacional del Altiplano alma mater de nuestra Región Puno, en cuyas aulas fui formada para brindar un mejor servicio a nuestro país.
- A mis educadores, personas de gran conocimiento, que se han esforzado por ayudarme a llegar al punto en que me encuentro.
- Al asesor de tesis Dr. Roberto Arpi Mayta, por sus ganas de transmitirme sus conocimientos y dedicación se ha logrado completar la presente tesis con éxito.
- Al jurado de tesis conformado por el Dr. Félix Olaguivel Loza, Dr. Andrés Vilca Mamani y MSc. Giovana Calsin Quispe por sus acertados comentarios y sugerencias que permitió mejorar el proyecto de tesis, encaminar su redacción y la presentación final de la misma.
- Al Ing. Sixto Flores Sancho, por su importante aporte a la investigación de tesis en la facilitación oportuna de información climatológica.



## ÍNDICE GENERAL

	<b>Pág.</b>
DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS	ii
ÍNDICE GENERAL	III
ÍNDICE DE TABLAS	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	VII
ÍNDICE DE ANEXOS	VIII
ACRÓNIMOS	IX
RESUMEN	XI
ABSTRACT	XII
INTRODUCCIÓN	1

### **CAPÍTULO I**

#### **REVISIÓN DE LITERATURA**

1.1. Marco teórico	4
1.1.1. Función de Producción Agrícola	4
1.1.2. Enfoque metodológico para estimar efectos del Cambio Climático en la agricultura.	7
1.1.3. Resumen Técnico por cultivos	10
1.2. Antecedentes	14
1.2.1. Ámbito Mundial	14
1.2.2. Ámbito Latinoamérica	16
1.2.3. Ámbito Nacional	20
1.2.4. Ámbito Regional	22

### **CAPÍTULO II**

#### **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

2.1 Identificación del problema	25
2.2 Enunciados del problema	29
Problema General	29
Problemas Específicos	29



2.3 Justificación	29
2.4 Objetivos	30
2.4.1. Objetivo general	30
2.4.2 Objetivos específicos	30
2.5 Hipótesis	30
2.5.1. Hipótesis general	30
2.5.2. Hipótesis específicas	30

### **CAPÍTULO III**

#### **MATERIALES Y MÉTODOS**

3.1. Lugar de estudio	32
3.2. Población	35
3.3. Muestra	35
3.4 Método de investigación	35
3.4.1. Técnica de Recolección de Datos	36
3.4.2. Diseño Estadístico	38
3.5. Descripción detallada de métodos por objetivos específicos	39

### **CAPÍTULO IV**

#### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

4.1. Comportamiento del rendimiento de los principales cultivos en la Región Puno en el periodo 1964-2019 y su análisis de Estacionariedad.	40
4.1.1. Evolución del Rendimiento de los principales cultivos en la Región de Puno en el periodo 1964-2019	42
4.1.2. Análisis de Estacionariedad:	45
4.1.3. Análisis de Regresión para cada Cultivo	48
4.2. Umbrales óptimos de Temperatura y Precipitaciones Pluviales	59
4.2.1. Quinoa	59
4.2.2. Cebada de grano	61
4.2.3. Papa	62
4.2.4. Olluco	63
4.2.5. Alfalfa	65



4.3. Rendimiento de los Principales cultivos en la Región Puno en el periodo 2020 al 2025	66
CONCLUSIONES	77
RECOMENDACIONES	79
BIBLIOGRAFÍA	81
ANEXOS	92

Puno, 23 de junio de 2021

**ÁREA:** Ciencias Económicas y Empresariales  
**TEMA:** Economía de los Recursos Naturales y Medio Ambiente  
**LÍNEA:** Economía y Desarrollo



## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
1. Impactos potenciales y riesgos del Cambio Climático en América Latina	27
2. Impactos positivos y negativos del Cambio Climático en los cultivos	28
3. Campaña agrícola para cada Cultivo	37
4. Estimación del modelo para el rendimiento de quinua en la Región Puno	48
5. Estimación del modelo para el rendimiento de cebada en la Región Puno	61
6. Estimación del modelo para el rendimiento de papa en la Región Puno	63
7. Estimación del modelo para el rendimiento de olluco en la Región Puno	54
8. Estimación del modelo para el rendimiento de alfalfa en la Región Puno	56
9. Proyecciones de cambios en la precipitación acumulada promedio según estaciones en la Provincia de Azángaro	67
10. Proyecciones de cambios en la precipitación acumulada promedio según estaciones en la Provincia de Carabaya	67
11. Proyecciones de cambios en la precipitación acumulada promedio según estaciones en la Provincia de Melgar	68
12. Proyecciones de cambios en la temperatura máxima promedio según estaciones en la Provincia de Azángaro	69
13. Proyecciones de cambios en la temperatura máxima promedio según estaciones en la Provincia de Carabaya	69
14. Proyecciones de cambios en la temperatura máxima promedio según estaciones en la Provincia de Melgar	70
15. Proyecciones de cambios en la temperatura mínima promedio según estaciones en la Provincia de Azángaro	70
16. Proyecciones de cambios en la temperatura mínima promedio según estaciones en la Provincia de Carabaya	81
17. Proyecciones de cambios en la temperatura mínima promedio según estaciones en la Provincia de Melgar	81



## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
1. Esquema de aptitud para los cultivos	10
2. Área de estudio	33
3. Rendimiento de Quinoa en la Región Puno 1964-2019	42
4. Rendimiento de Cebada en la Región Puno 1964-2019	43
5. Rendimiento de Papa en la Región Puno 1964-2019	55
6. Rendimiento de Olluco en la Región Puno 1964-2019	44
7. Rendimiento de alfalfa en la Región Puno 1964-2019	45
8. Umbrales de temperatura y precipitaciones pluviales	59
9. Proyección del rendimiento de Quinoa en la Región Puno al 2025	72
10. Proyección del rendimiento de Cebada en la Región Puno al 2025	72
11. Proyección del rendimiento de papa en la Región Puno al 2025	73
12. Proyección del rendimiento de olluco en la Región Puno al 2025	74
13. Proyección del Rendimiento de alfalfa en la Región Puno al 2025	75



## ÍNDICE DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
1. Rendimiento de Principales cultivos (Kg/Ha)	93
2. Variables Climáticas Registradas para los principales cultivos	94
3. Resumen Técnico	96
4. Estadísticas descriptivas para las Variables	98
5. Análisis de Estacionalidad- Test de Raíz Unitaria	100
6. Estimación del Modelo	108
7. Prueba de Heterocedasticidad - Test de White	113
8. Prueba de Durbin- Watson	114
9. Prueba de Correlación - Medida de Besley, Kuck y Welsch	115
10. Mapas Proyecciones	116
11. Producción total por Provincias campaña de 1996-1997 a 2017-2018 (TM)	119
12. Matriz de Consistencia	120

## ACRÓNIMOS

<b>Sigla</b>	<b>Denominación</b>
AK	Criterio de Akaike
°C	Grados Centígrados
Ha	Hectárea
Kg	Kilogramo
Km <sup>2</sup>	Kilómetros cuadrados
m.s.n.m.	Metros sobre el nivel del mar
mm	Milímetro
Precip	Precipitación Pluvial
Rendquinua	Rendimiento de quinua
Rendcebada	Rendimiento de cebada en grano
Rendpapa	Rendimiento de papa
Rendolluco	Rendimiento de olluco
Rendalfalfa	Rendimiento de alfalfa
SCH	Criterio de Schwarz
Tmax	Temperatura máxima
Tmin	Temperatura Mínima
CC	Cambio climático
CO <sub>2</sub>	Dióxido de Carbono
CSIRO	Organización de Investigación Científica e Industrial de Commonwealth
DW	Estadístico de Durbin Watson
DRAP	Dirección Regional Agraria de Puno



ETP	Tasas de evapotranspiración
GCP	Proyecto Global de Carbono
GDD	Grados días de desarrollo
GEI	Gases de efecto invernadero
GTS	Grupo de Trabajo de Sequías
IPCC	Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático
IV	Índice de Vulnerabilidad
MINAGRI	Ministerio de Agricultura y Riego
NCAR	Centro Nacional de Investigación Atmosférica
OMS	Organización Mundial de la Salud
ONU	Organización de las Naciones Unidas
PEA	Población Económicamente Activa
PROCISUR	Programa Cooperativo para el Desarrollo Tecnológico Agroalimentario y Agro Industrial del Cono Sur
SENAMHI	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú
SRES	Informe especial sobre escenarios de emisiones
TM	Toneladas Métricas

## RESUMEN

El cambio climático es un asunto de importancia que enfrenta el sector agrícola, es así que los objetivos planteados fueron: Analizar el efecto del cambio climático en el rendimiento de los principales cultivos en la región Puno y su estacionariedad durante el periodo 1964-2019; Determinar los umbrales de precipitación pluvial, temperatura máxima y mínima a los que el rendimiento agrícola alcanza niveles críticos; Determinar el rendimiento de los principales cultivos durante el periodo 2020-2025. El estudio se realizó según la metodología hipotético-deductiva, utilizando series de tiempo, con una muestra de 5 cultivos representativos de la región Puno. Mediante la regresión por mínimos cuadrados ordinarios (MCO) de una función de producción cuadrática, derivando el rendimiento agrícola respecto a las variables climáticas y mediante los pronósticos causales, es que, se concluye que el efecto que tiene el cambio climático a través del incremento de las temperaturas y precipitaciones pluviales perjudica el rendimiento de los cultivos de quinua, cebada en grano, papa, olluco y beneficia el cultivo de alfalfa. Así mismo, existe un umbral óptimo de precipitaciones pluviales y temperaturas que al sobrepasar los valores requeridos perjudican el rendimiento agrícola, tal es el caso del cultivo de quinua que se perjudicará en 35,33% al año 2025 en relación a la campaña 2018-2019, la cebada en grano se afectará en 39,13%, la papa en 38,82% y 32,53% para el cultivo de olluco; Por el contrario, el cultivo de alfalfa se adapta a las condiciones climáticas adversas, presentando tendencia creciente al año 2025.

**Palabras Clave:** Cambio climático, Precipitación pluvial, Rendimiento agrícola, Temperatura, Umbral óptimo.

## ABSTRACT

Climate change is an important issue facing the agricultural sector, so the objectives set were: Analyze the effect of climate change on the yield of the main crops in the Puno region and its stationarity during the period 1964-2019; Determine the thresholds of rainfall, maximum and minimum temperature at which agricultural yield reaches critical levels and Determine the yield of the main crops during the period 2020-2025. The study was carried out according to the hypothetico-deductive methodology, using time series, with a sample of 5 representative crops from the Puno region. By means of the regression by ordinary least squares (OLS) of a quadratic production function, deriving the agricultural yield with respect to the climatic variables and by means of the causal forecasts, it is concluded that the effect that climate change has through the increase of the temperatures and rainfall adversely affect the yield of the quinoa, barley grain, potato and olluco crops and benefit the cultivation of alfalfa. Likewise, there is an optimal threshold of rainfall and temperatures that, when exceeding the required values, harm agricultural performance, such is the case of the quinoa crop that will be harmed by 35.33% by the year 2025 in relation to the 2018-2019 season, the barley in grain will be affected by 39.13%, potatoes by 38.82% and 32.53% for the olluco crop; On the contrary, the cultivation of alfalfa adapts to adverse climatic conditions, presenting an increasing trend to the year 2025.

**Key Words:** Agricultural yield, Climate change, Optimal threshold, Rainfall, Temperature.

## INTRODUCCIÓN

El cambio climático es un fenómeno global con mayores retos que enfrenta actualmente el mundo, pues sus impactos afectan todos los ámbitos de la actividad humana (Rodríguez *et al.*, 2015) y se manifiesta de manera heterogénea por regiones explicados por factores estructurales y características específicas a cada país (Vargas, 2009). En tal sentido, los efectos no serán uniformes en todos los países ni al interior de los mismos y dependerán en gran medida de las condiciones locales y de cómo dichas condiciones se modifiquen con el tiempo en respuesta al cambio climático y al crecimiento económico (Mendelsohn & Schlesinger, 1999). Tal es el caso de Latinoamérica donde los países presentan distinciones en términos de desarrollo económico, tamaño y actividades productivas, ello implica que se diferencia la forma de afrontar un estudio mundial en relación a un regional (Martín *et al.*, 2018).

Se precisa que los países desarrollados contribuyen directamente con la mayor generación de gases de efecto invernadero, tienen los menores impactos económicos y disponen de la mayor capacidad de mitigación y adaptación, por el contrario, los países menos desarrollados tienen una menor contribución en emisiones pero son más sensibles a los impactos climáticos y disponen de una menor capacidad de adaptación y mitigación (Galindo, 2009).

A lo largo del siglo XXI, los efectos del cambio climático reducirán el crecimiento económico, complicarán los esfuerzos por reducir la pobreza y afectarán la seguridad alimentaria (Field *et al.*, 2014). Notablemente las principales consecuencias que tiene el cambio climático (Jiménez *et al.*, 2011) son daños a la infraestructura a causa de inundaciones, tormentas, deslizamientos; Aumento de incendios forestales; Disminución en la producción agropecuarias por eventos extremos; Afectación de actividades pesqueras tras el cambio en las condiciones oceánicas; Amenazas a la salud al incrementarse las enfermedades infecciosas y epidemias; Aumento de mortalidad por efecto de eventos meteorológicos extremos (Organización Mundial de la Salud, 2003). Así mismo, ha sido considerado como una amenaza, no solo desde el punto de vista ambiental, sino también social y económico por su impacto en diferentes sectores entre los cuales la agricultura es uno de los más vulnerables (Ocampo, 2011).

Evidentemente el sector agrícola es sensible a variaciones climáticas, dado que uno de los principales factores de producción en los cultivos es el clima (Mendelsohn & Dinar,

2009) especialmente las temperaturas y precipitaciones pluviales; Así como la exposición a la luz, el viento y la presencia de CO<sub>2</sub> en la atmósfera al ser parte vital del proceso de crecimiento de un cultivo. Una variación en las condiciones climáticas perjudica grandemente el rendimiento de los cultivos e incluso generar pérdidas totales, por lo mismo, en términos económicos este sector es el más afectado (Fischer *et al.*, 2005) lo cual perjudicaría la seguridad alimentaria y agudizaría la desnutrición (Aguilar, 2011). La región de América Latina que resulta más afectada es Centroamérica, sobre todo en lo concerniente a seguridad alimentaria (Magrin & Marengo, 2014) produciendo efectos negativos en el rendimiento de los cereales tras el incremento de la temperatura y precipitaciones pluviales (López, 2015).

Para el caso peruano el sector más expuesto a las variaciones climáticas es el agrícola, dado que está vinculado a la variabilidad ecológica y productiva de los diversos pisos altitudinales (Mansilla, 2012); Así mismo es una labor que presenta riesgos considerables debido a la incertidumbre en el comportamiento del clima (IPCC, 2012). Estas condiciones propician que en la actividad agrícola, numerosos cultivos sean altamente sensibles a cualquier tipo de variación climática, así mismo supone que los agricultores con menores ingresos tengan menor disponibilidad de recursos para prepararse o adaptarse frente a acontecimientos negativos que puedan afectarlos (PROCISUR, 2011).

De esa manera el cambio climático en la Región Puno viene alterando las condiciones del clima local (Belizario, 2015), siendo los indicadores más sensibles las precipitaciones pluviales y temperaturas extremas (CEPAL & BIM, 2014) que ocasionan sequía, heladas e inundaciones. El altiplano puneño es altamente susceptible a estos cambios y las crecientes condiciones adversas en la Región amenazan la resistencia de los cultivos (Valdivia *et al.*, 2008). La pérdida de su producción tiene efectos sobre el ingreso y el bienestar de los agricultores (Liuhto & Aruquipa, 2016), por lo tanto, en zonas donde la producción se desarrolla por secano es decir por precipitación de lluvias, los productores necesitan conocer cómo influye el CC para así adoptar medidas de adaptación a fin de afrontar los posibles escenarios adversos (Martínez *et al.*, 2018). Dado el contexto anterior el objetivo del presente trabajo de investigación es “Determinar el efecto del cambio climático (temperatura y precipitación) en el rendimiento de los principales cultivos de la Región Puno en el periodo 1964 – 2019”.

La presente investigación corresponde a la línea de Economía y Desarrollo, referente a la Economía de recursos naturales y del medio ambiente; Se desarrolla en la Región Puno donde los eventos climáticos adversos son muy frecuentes, con un elevado nivel de incertidumbre y las actividades productivas como la agricultura y la ganadería son las que proveen la principal fuente de ingresos económicos a las familias campesinas.

Ministerio del Ambiente (2015); Entender los impactos potenciales es necesario para el desarrollo e implementación de estrategias de mitigación y adaptación que permitan afrontar los riesgos climáticos emergentes. La solución de los desafíos planteados por el cambio climático se expresa esencialmente en el ámbito de la ciudadanía, lo que supone la decisión de generar nuevas formas de diálogo, de circulación de la información, de educación y democratización en la toma de decisiones. Sin lugar a dudas, el cambio climático es uno de los principales problemas ambientales al que debemos enfrentar mediante la iniciativas a nivel internacional, nacional y local (Medina, 2016).

Esta investigación se logró a través de la metodología hipotética- deductiva puesto que se emite hipótesis mediante las cuales se pretende explicar el problema, así mismo se corrobora con los datos disponibles. Se consideró 55 campañas agrícolas comprendidas desde 1963-1964 a 2018-2019 de 5 cultivos representativos por superficie sembrada en la Región Puno, así mismo se consideró las estaciones meteorológicas de las Provincias que presentan mayor producción de los cultivos en estudio; Según la Dirección Regional Agraria - Puno (2019) para el caso de los cereales, la Provincia de Azángaro presenta mayor producción de quinua y cebada en grano alcanzando 124583 TM y 109747 TM respectivamente; Para los tubérculos, la Provincia de Carabaya en especial el Distrito de Ayapata aporta mayor producción de papa y olluco en la Región alcanzando 2290676 TM y 42815 TM respectivamente y por ultimo para el caso del forraje, la Provincia de Melgar revela mayor producción de alfalfa alcanzando 2730906 TM durante los 20 últimos años (Anexo N° 9).

En el capítulo I se desarrolló la revisión de literatura, marco teórico y antecedentes, en el capítulo II se abordó el planteamiento de problema, en el capítulo III se especifica el método de investigación y en el capítulo IV se denotan los resultados y la discusión.

## CAPÍTULO I

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 1.1. Marco teórico

##### 1.1.1. Función de Producción Agrícola

Al revisar la literatura respecto a la función de producción agrícola y su representación gráfica se encuentra que las especificaciones se diferencian entre corrientes económicas (Sebastian & Rodriguez, 1980a). El pionero es Adam Smith (1776), el cual considera que la función de producción depende no solo de los factores productivos convencionales, sino además de los recursos naturales y de las instituciones que intervienen en el sistema económico. “Una función de producción se puede expresar como una función de insumos exógenos y endógenos, las variables exógenas incluyen el clima y las condiciones del suelo, las variables endógenas incluyen mano de obra, capital, semillas, fertilizantes y otros insumos. Las características de los agricultores también tienen una contribución importante al proceso de producción” (Fleischer *et al.*, 2007).

La función de producción agrícola en términos formales se representa:

$$Q_i = f(P_i, S_i, A_i) \quad \dots\dots\dots (1)$$

Donde  $Q_i$  representar la producción total en el sector agrícola o el rendimiento por hectárea de un cultivo determinado;  $P_i$  representa Trabajo, Capital y otros insumos;  $S_i$  son las características socioeconómicas de los agricultores y  $A_i$  comprende las variables climáticas e irrigación.

Así mismo; “La producción agrícola es el resultado de la acción continua o simultanea de varios factores: las labores de cultivo, la semilla sobre el suelo, los

abonos, el trabajo de recolección, etc. Usualmente estos factores de producción se clasificaron en tres categorías principales: la tierra, el capital y el trabajo” (Gómez, 1964).

En ese sentido, los recursos naturales incluyen los elementos disponibles naturalmente, sin una previa aplicación del trabajo agrícola para su transformación, comprende el clima, la tierra, bosques, yacimientos naturales de todo tipo, fauna silvestre, terrestre, marina y fluvial (Moposita *et al.*, 2017). El concepto de tierra no solo hace referencia al suelo agrícola; Según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación (1994) “La tierra se refiere también a la hidrología, relieves, características climatológicas, tales como la frecuencia y volumen de precipitaciones, temperatura, humedad, horas de sol, vientos, entre otros”.

En el caso de la actividad agrícola, el agricultor utiliza la tierra que dispone, las semillas, fertilizantes, tecnología de riego, trabajo, maquinarias, etc. La función de producción le indicará al agricultor cuáles son los niveles de producción que alcanzará mediante la combinación de todos los factores que tiene a su disposición en un determinado momento en el tiempo (Posada, 1997). Con esto se pretende expresar que la función de producción hace referencia a un momento del tiempo en que los factores climáticos están dados, si ocurre un cambio en el clima, la función de producción también cambiará.

Para entender el ámbito agrícola es necesario percibir como “un conjunto que funciona en armonía, con la utilización de la fuerza de trabajo del agricultor sobre los recursos naturales y el capital, por medio de una adecuada administración, persiguiendo objetivos precisos (Scalone, 2007).

En los 20 últimos años, el interés por incluir las variables climáticas y edáficas se incrementaron a causa de los crecientes problemas ambientales que hacen que los cambios en estas variables sean considerables y al parecer el avance tecnológico no los podrá compensar (Torres, 2010).

El modelo que se utiliza hace referencia la producción agrícola, y considera como variable endógena al rendimiento anual al momento de la cosecha, mientras que las variables exógenas son la precipitación anual acumulada. Para este caso, con el

propósito de cuantificar los efectos de la lluvia sobre el rendimiento agrícola, se considera fijo (*ceteris paribus*) los factores de producción tradicionales como es el trabajo y el capital, asumiendo que la lluvia es el factor exógeno (Rodríguez, 2015). Por lo tanto, la función de producción que afronta el productor agrícola es:

$$Q_t = \beta_0 + \beta_1 * Precip_t \quad \dots\dots\dots (2)$$

Interpretemos ahora la función. La variable  $Q_t$  representa el rendimiento anual producto de la cosecha,  $\beta_0$  es una constante que indica que cierto nivel de producción no puede ser explicado por la precipitación pluvial,  $Precip_t$  es la precipitación acumulada en el año “t”; y  $\beta_1$  indica la variación porcentual del rendimiento en el año “t” ante la variación del 1% en la precipitación acumulada en el año “t”<sup>1</sup>.

Hasta este punto se está suponiendo una relación lineal, es decir con tendencia creciente en el tiempo entre el rendimiento y la precipitación acumulada. Tannura *et al.* (2011) se acerca más a la realidad sosteniendo que “la relación no es lineal sino cuadrática, dado que, superando el umbral óptimo de precipitaciones acumuladas, el impacto que tiene sobre el rendimiento de los cultivos es negativo por exceso de riego”.

Añade Ma & Farrero (1988) las funciones de producción agrícola están sujetas a la ley de rendimientos decrecientes, se percibe el cambio del rendimiento agrícola tras la variación de los factores productivos; Así mismo Gutenberg (1972) sostiene que la “ley de rendimiento” supone que los factores productivos son libremente variables, es decir, que la cantidad disponible de uno de los factores puede variar libremente, mientras que las cantidades disponible de los demás factores se mantienen sin variaciones. Bajo este supuesto, podemos atribuir un cambio en la producción o rendimiento, debido a un cambio en la cantidad disponible de uno de los factores de producción.

- **Modelo Agrícola con énfasis en variables edafo-climática**

Los modelos de producción agrícola se sostienen en base a la función de producción clásica, recalcando los recursos propios que interviene en él , incluyendo en la medida

---

<sup>1</sup>En el límite ,  $\beta_1$  representa la derivada parcial de  $Q_t$  con respecto a  $Precip_t$   $\partial Q_t / \partial Precip_t = \beta_1$

de la información disponible, mano de obra, fertilizantes, semilla, capital, y otros insumos; además integra el clima y las precipitaciones (Torres, 2010).

En los últimos años, a razón de los problemas ambientales, en especial por el calentamiento global y aumento de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero, se incorporaron modelos que incluyen variables edafo-climáticas, vinculadas con la disposición del suelo para la agricultura y el clima. Indicando que estas no son lineales (Sebastian & Rodriguez, 1980b), sino presentan funciones de producción agrícola de tipo cuadrática.

### **1.1.2. Enfoque metodológico para estimar efectos del Cambio Climático en la agricultura.**

#### **- Enfoque estructural:**

El modelo que se precisa, parte de la función de producción, la cual relaciona la cantidad producida con las combinación de los diferentes factores requeridos, así como el trabajo, tierra, capital, semillas, agua de riego, fertilizantes y factores climáticos; en términos expreso (Ramírez *et al.*, 2014):

$$Q_t = f(m_{it}, X_{it}, Z_{it}) \quad \dots\dots\dots (3)$$

Dónde:

“Q” representa la producción o rendimiento total en el sector agrícola

“m” es la variable “características del agricultor”, incluido capital humano.

“x” son factores como capital, trabajo, insumos

“z” son variables climáticas como la temperatura máxima, temperatura mínima, Precipitaciones pluviales, humedad.

El subíndice “t” es el periodo o tiempo considerado.

El subíndice “i” es el cultivo en estudio.

Por consiguiente, el modelo es conveniente para analizar cada cultivo específico en el tiempo; por lo que es preciso considerar que las funciones de producción agrícola, en principio, son funciones exponenciales como señala (Seo & Mendelsohn, 2007).

A fin de identificar los efectos del cambio climático en base a la temperatura y precipitación sobre el rendimiento agrícola, se tiene la siguiente expresión de forma funcional cuadrática (Sebastian & Rodriguez, 1980b).

Adicionalmente, la ventaja de utilizar este enfoque metodológico es que nos permite obtener información amplia de las respuestas en el rendimiento de cada cultivo en estudio, las estimaciones de las variables observadas en el tiempo, captan la variabilidad del clima, el de las temperaturas y precipitaciones pluviales, así como también los posibles ajustes. También permiten identificar los umbrales de variables climáticas de las temperaturas máximas, mínimas y la precipitación. Ahora bien, no recoge las respuestas de los agricultores antes cambios perjudiciales.

A fin de analizar el efecto individual de cada variable climática sobre el rendimiento de los cultivos se resume las siguientes expresiones matemáticas:

$$a) \quad Q_{it} = \beta_0 + \beta_1 * Precip_{it} + \beta_2 * (Precip_{it})^2 + \varepsilon_{it} \quad \dots\dots (4)$$

$$b) \quad Q_{it} = \beta_0 + \beta_1 * Tmáx_{it} + \beta_2 * (Tmáx_{it})^2 + \varepsilon_{it} \quad \dots\dots (5)$$

$$c) \quad Q_{it} = \beta_0 + \beta_1 * Tmín_{it} + \beta_2 * (Tmín_{it})^2 + \varepsilon_{it} \quad \dots\dots (6)$$

Dónde:

Q = Rendimiento de los cultivos

Precip = Precipitaciones pluviales

Tmax = Temperaturas máximas

Tmin = Temperaturas mínimas

Su forma funcional cuadrática con todas las variables climáticas en conjunto se expresa de la siguiente manera:

$$Q_{it} = \beta_0 + \beta_1 * Precip_{it} + \beta_2 * (Precip_{it})^2 + \beta_3 * Tmáx_{it} + \beta_4 * (Tmáx_{it})^2 + \beta_5 * Tmín_{it} + \beta_6 * (Tmín_{it})^2 + \varepsilon_{it} \quad \dots\dots\dots (7)$$

Las cuales dado los supuestos de que todos los cultivos presentan umbrales de tolerancia ante las variables climáticas como temperaturas y precipitaciones, es de esperar que muestren los siguientes comportamientos (Gómez, 1964).

A medida que las temperaturas van aumentando el rendimiento de los cultivos tienden a mejorar, pero si este incremento supera la temperatura óptima sin lograr que el cultivo se adapte, entonces éste mermará su rendimiento por lo tanto empezará a disminuir.

Para la temperatura mínima, existe un nivel crítico que hace que el rendimiento del cultivo sea mínimo, esto debido a que las bajas temperaturas dañan la producción agrícola y así el rendimiento se verá afectado.

Así mismo ocurre con las precipitaciones, debido que los cultivos necesitan del recurso hídrico para poder desarrollarse, no obstante, si estas precipitaciones están por debajo del requerido, trae consigo que el rendimiento del cultivo se encontrará también por debajo del nivel óptimo esperado, de igual manera si las precipitaciones son en mayor cantidad que lo requerido también mermará su desarrollo por las consecuencias negativas que ocasionan las inundaciones. En conclusión, Según Oberst (2017) respecto a las expresiones matemáticas anteriores, la disponibilidad de Precipitaciones pluviales y Temperatura tendrán sentido si  $\beta_1$  es mayor a cero, ya que se fuera igual a cero significaría tanto las Precipitaciones pluviales y las temperaturas no tienen efecto sobre el Rendimiento y si fuera menor a cero significaría que la menor cantidad de Precipitación o Temperatura genera un efecto positivo en el rendimiento.

Ellis *et al.* (1990) sostiene que la temperatura es un elemento esencial en el desarrollo de los cultivos, debido a que, tras el incremento de la temperatura ambiental la tasa de crecimiento agrícola restringe su actividad fotosintética y aumentar su respiración. “El acortamiento del ciclo fenológico puede reducir el rendimiento potencial de los cultivos, al disminuir el periodo de radiación solar, el cual es uno de los principales determinantes de la acumulación de materia seca y rendimiento” (Monteith, 1981)

A razón de estos cambios, algunos cultivos perderán aptitud o dejarán de producir adecuadamente. La aptitud se refiere a las condiciones climáticas, edáficas y topográficas y rangos ideales para que un cultivo produzca de forma óptima (ver

Figura 1). Las condiciones predominantes en un lugar determinan el crecimiento apropiado de cierto cultivo agrícola; cambios en los patrones de la temperatura, precipitación o degradación de los ecosistemas pueden disminuir la aptitud agrícola de un sitio determinado. Con el cambio climático las temperaturas y precipitaciones óptimas cambiarán, mejorando o comprometiendo la productividad (Viguera *et al.*, 2017).

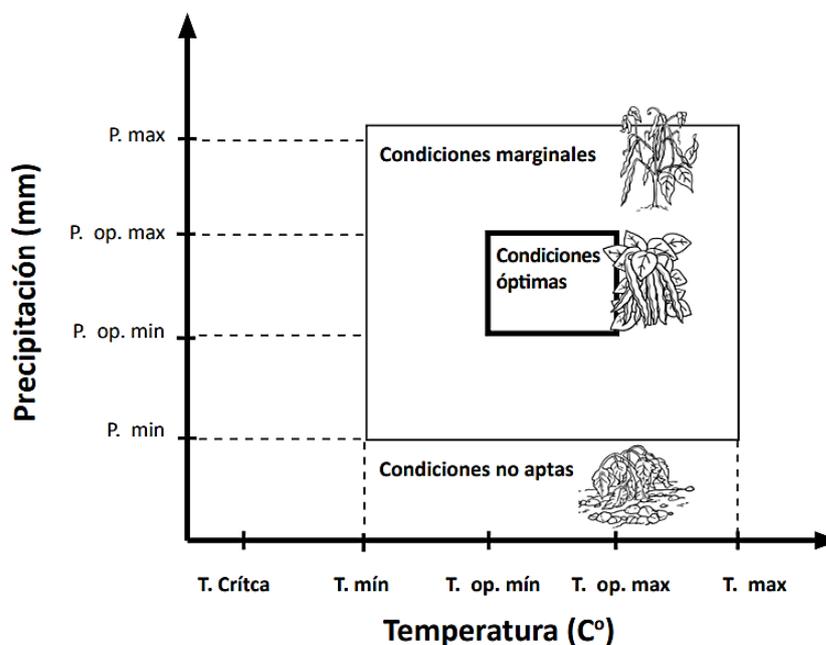


Figura 1. Esquema de aptitud para los cultivos  
Fuente : Viguera *et al.* (2017)

### 1.1.3. Resumen Técnico por cultivos

#### a) Cultivo de Quinua

Los países alto andinos se encuentran privilegiados al ser productores originarios de la quinua, por la proyección a la sostenibilidad, promoción del valor nutricional y cultura que este cultivo representa (Gómez y Aguilar, 2016). Así mismo, la quinua puede crecer en diferentes tipos de suelos, siendo óptimos los de buen drenaje, francos, semi profundo con un alto contenido de materia orgánica. Los suelos con problemas de anegamiento o inundación se deben evitarse porque dificultan el implantación inicial del cultivo y luego a lo largo del ciclo propician la escases en los granos (Perez, 2005).

Calla (2012) sostiene que el cultivo de quinua como cualquier otro cultivo agronómico demanda un manejo adecuado respetando sus tiempos en el desarrollo

de las labores agrícolas oportunas y demás actividades previas y post productivas; desde la obtención de semilla que debe ser de calidad, la selección adecuada de los suelos y terrenos, preparación de suelos, períodos oportunos de las labores agrícolas, evaluación y monitoreo de plagas, hasta finalmente la cosecha que corresponde una etapa muy delicada en la quinua.

Según el calendario nacional de siembras y cosechas del MINAGRI (2019); La campaña agrícola de este cultivo se inicia con la siembra desde el mes de Septiembre y finaliza en Mayo con la cosecha, con requerimiento climático de temperatura mínima desde 0°C a temperatura máxima de 20°C , con precipitaciones pluviales entre 400 a 1000 mm.

#### **b) Cultivo de Cebada en grano**

La cebada es el quinto cereal de mayor producción a nivel mundial (Instituto Nacional de Estadísticos y Censos, 2011). Aun cuando hay una tendencia leve en la reducción de la demanda mundial de este cereal, se conserva como un insumo importante para seguridad alimentaria.

Los efectos de la sequía en el rendimiento de cebada han sido ampliamente estudiados, se confirmaron disminución significativa en el rendimiento del grano, número de espigas por planta, número de granos por espiga del tallo principal y tamaño del grano en plantas sometidas a deficiencia hídrica del suelo (Morgan, 1981).

De igual manera la demanda de agua excesiva durante el periodo de llenado del grano, disminuyó la tasa de fotosíntesis y el potencial hídrico foliar de la cebada, y la reducción en la disponibilidad de asimilados provenientes de la fotosíntesis acortó la duración del llenado del grano y disminuyó el número de granos por espiga (López, 2011).

Según el calendario nacional de siembras y cosechas del MINAGRI (2019), la campaña agrícola de la cebada en grano empieza desde el mes de Octubre a Mayo, a lo que el SENAMHI (2011) añade que los requerimiento climáticos de temperatura mínima es de 0°C y con temperatura máxima de 20°C y precipitaciones pluviales entre 400 a 1000mm.

### c) Cultivo de Papa

La papa es uno de los cultivos más importantes en varios ámbitos como la nutrición, seguridad alimentaria, economía e industria (Lutaladio & Castaldi, 2009), ocupando el cuarto puesto en consumo a nivel mundial posterior al trigo, maíz y arroz (Mosquera & Cuellar, 2013). El aporte nutricional de la papa está establecido principalmente por el alto contenido de proteína (si se compara con otros tubérculos), carbohidratos (principalmente almidón), y bajo contenido de grasa (Ellen *et al.*, 2009).

Según el calendario Nacional de siembra y cosecha del MINAGRI (2019), la campaña agrícola del cultivo de papa comprende desde el mes de Octubre a Abril , el cual se desarrolla adecuadamente en suelos moderadamente grueso: franco arenoso y media: franco, franco limoso; profundos, bien drenados y de buena estructura que permita asegurar un buen crecimiento de las raíces y estolones; SENAMHI (2011) indica que las precipitaciones pluviales optimas son de 500 a 1160 mm; Los valores térmicos óptimos de temperatura mínima es de -4°C y temperatura máxima de 25°C; Temperaturas mayores a 28°C impiden la tuberización y si se mantiene constante durante todo el tiempo es posible que no haya formación de tubérculo. La humedad relativa superior al 80% produce condiciones óptimas para la aparición de enfermedades foliares como la rancha, alternaría, entre otros.

### d) Cultivo de Olluco

La papalisa u olluco es el segundo tubérculo en importancia luego de la papa. Es parte de la seguridad alimentaria y constituye un componente de los sistemas agrícolas de los pequeños agricultores de la sierra. Aun cuando no es considerado como un cultivo principal, es manejado como especie de importancia secundaria, sustentada por los pequeños y medianos productores, los mismos que ofrecen los excedentes de producción a los intermediarios, quienes venden en los centros de consumo de las principales ciudades del país (Suquilada, 2012).

Tomando en consideración el calendario Nacional de siembra y cosecha proporcionado por el MINAGRI (2019), la campaña agrícola del cultivo de olluco comprende desde el mes de Octubre a Mayo, el cual prospera mejor en suelos de textura liviana, con pH ligeramente ácido, con alto contenido de materia orgánica. Se ha observado que en suelos pesados es decir arcillosos, la tuberización se ve inhibida

y no hay un buen engrosamiento de los tubérculos, se desarrolla óptimamente con precipitaciones pluviales de 600 a 1000 mm, con temperatura mínimas de 1°C y como máximo 20°C (Suquilada, 2012).

#### e) Cultivo de Alfalfa

La alfalfa en sus diversas variedades, es una de las especies leguminosas con mayor cultivo e importante para la alimentación del ganado, cuyes y conejos, tanto por la cantidad de forraje obtenido por superficie cultivada, así como también por su valor nutritivo. Este cultivo presenta altos niveles de proteína y minerales, garantizando alta digestibilidad en un gran número de especies animales, por consiguiente gran preferencia (Odorizzi, 2015).

Rebuffo (2005), indica que, al tratarse de una leguminosa perdurable de alto potencial productivo, produce varios ciclos de crecimiento anualmente que proporciona excelente calidad nutricional y resiste por varios años si se la maneja adecuadamente. Además, su resistencia a la sequía le facilita suministrar forraje durante el verano.

La alfalfa es considerada como “la reina de las forrajeras” por su alto soporte a condiciones climáticas adversas e incluso extremas, lo que contribuye su producción en prácticamente cualquier escenario; Tiene alta resistencia a los principales insectos, nematodos y enfermedades del cultivo de alfalfa lo que permiten altos rendimientos y larga persistencia bajo amplios de tipos de suelo y de condiciones de clima y manejo (Tingal, 2015).

Según el calendario nacional de siembras y cosechas del MINAGRI (2019), el cultivo de alfalfa se produce de tres a cuatro cortes al año, El SENAMHI (2011) indica que los requerimiento climático de temperatura mínima desde -10°C a temperatura máxima de 28°C , con precipitaciones pluviales entre 700 a 1200 mm.

## 1.2. Antecedentes

### 1.2.1. Ámbito Mundial

Miranzo & Del Río (2015); Este estudio conforma los países de Mauritania, Marruecos, Túnez, Argelia y Libia, los cuales comparten características similares, lo que significa que el cambio climático a corto, mediano y largo plazo son afines. El sector agrícola tiene un importante papel en términos económicos como también sociales, el PBI se encuentra entre el 10% en Túnez y el 13% en Marruecos, esta dependencia es notorias en las zonas rurales donde la población vive exclusivamente de la actividad agraria.

La producción agrícola es altamente sensible a las variaciones climáticas, en especial en la agricultura de secano, induce efectos negativos sobre los cultivos de cereales de todo el continente africano. Se pronostica que para los siguientes años se producirá caídas del 17% de la producción media de las cosechas de trigo en Magreb, incrementándose la posibilidad de enfrentar hambrunas.

Müller (2015); La agricultura y el clima están doblemente relacionados, por un lado, los cultivos están expuestos a amenazas cuando hay cambios en las condiciones climáticas; Por otro lado, la agricultura es la principal causante de deforestación. Frente al acelerado crecimiento poblacional mundial, cubrir la alimentación de todos representará una difícil tarea para el planeta, sobre todo en África donde los rendimientos agrícolas son menores en comparación a otros lugares; Los agricultores Africanos cosechan en promedio entre 0.5 a 2.5 toneladas de cereales por hectárea, mientras que en Europa el rendimiento triplica y quintuplica, para lo cual es necesario la intensificación de la agricultura que tome con consideración el Cambio Climático e incorpore conocimientos tradicionales sobre técnicas y métodos de cultivo que se adapten a la situación actual incorporando programas de agricultura sostenible, utilizando métodos de protección contra la erosión de suelos, sucesión distinta de cultivos y uso eficiente del agua; De esa manera incrementar la producción agraria, asegurar el rendimiento en años que presenta sequía.

Ortiz (2014); Se producirá temperaturas extremas, inundaciones y en otros escenarios escases de agua como consecuencia del Cambio Climático a nivel mundial, algunos cultivos reducirán su tamaño debido a las altas temperaturas y escases de

precipitaciones, lo que limitará la disponibilidad de fuentes alimentarias esenciales para la nutrición humana. Los gobiernos y los pequeños productores rurales a nivel mundial deberán adaptar sus cultivos a patrones climáticos inestables, de ahí que los principales desafíos para la agricultura serán la capacidad de recuperación del sistema alimentario.

Numerosos cultivos que forman parte de fuentes esenciales de alimentación para grandes poblaciones que sufren inseguridad alimentaria se verán gravemente afectados. Por ejemplo, el rendimiento del grano de arroz disminuye en 10% por el incremento de 1°C de temperatura, de igual manera se proyecta una pérdida del 10% en la producción de maíz al 2050, así mismo la aparición de numerosos insectos y ácaros perjudiciales para los cultivos van en incremento.

Nelson *et al.*(2009); Los efectos del cambio climático en la producción de cultivos al 2050 comparada con la producción sin el cambio climático, según los escenarios que evalúa el Centro Nacional de Investigación Atmosférica (NCAR) y Organización de Investigación Científica e Industrial de Commonwealth (CSIRO) se toma en cuenta los cambios en el rendimiento y áreas afectadas directamente por el cambio climático. Los efectos negativos del cambio climático en la producción de cultivos son particularmente pronunciados en África Subsahariana, Asia Meridional, Europa, Asia Central, América Latina y el Caribe, Medio Oriente y Norte de África. En Asia Meridional, el escenario con cambio climático da como resultado un declive del 14 % en la producción de arroz en relación con el escenario sin cambio climático, un declive de 44 a 49 % en la producción de trigo, y una caída de 9 a 19 % en la producción de maíz. En África Subsahariana, las caídas en los rendimientos del arroz, trigo y maíz con cambio climático son, respectivamente, del 15, 34 y 10 %. Para Asia Oriental y el Pacífico, los resultados son mixtos y dependen tanto del cultivo como del modelo utilizado. La producción de arroz baja alrededor de 10 %, la producción de trigo aumenta ligeramente y la producción de maíz baja en el escenario más seco de CSIRO, pero aumenta con el escenario NCAR. En América Latina y el Caribe, el escenario con cambio climático da como resultado un declive del 19 a 22 % en la producción de arroz en relación con el escenario sin cambio climático, un declive de 1 a 4 % en la producción de maíz. Comparando los cambios promedio en la producción, los países en vía de desarrollo tienen peores resultados que los países desarrollados en todos los cultivos, tanto bajo el escenario CSIRO como NCAR.

### 1.2.2. **Ámbito Latinoamérica**

Sánchez & Olave (2019); La producción de quinoa en el altiplano chileno presenta variación en el ciclo anual debido a la reducción de las lluvias tempranas comprendidas de octubre a diciembre e incremento de los estivales comprendidos de enero a marzo. En el caso de la temperatura también se prevé un incremento de 3 a 6°C lo que tiene directa relación con la altitud en la que se ubica los lugares que se encuentran por encima de los 3500 msnm, ya que en zonas bajas no se presenta tal aumento. Los rendimientos en el cultivo de quinoa podrán verse afectados por la disminución de las precipitaciones, pero podría haber efecto positivo debido a las temperaturas más cálidas, reducción de las heladas y un aumento de la asimilación del carbono.

Viguera *et al.* (2017) ; La producción de granos andinos como el frijol y maíz en Centroamérica son altamente sensibles a los cambios climáticos, los afectados especialmente son los productores de subsistencia, aquellos cuyos cultivos son dependientes de la lluvia. Por lo tanto, los cambios en la estacionalidad, frecuencia, intensidad y duración de los eventos climáticos y condiciones ambientales ocasionan pérdidas importantes en la producción agrícola. Entre los principales perjuicios en el ciclo productivo de los cultivos a causa del aumento en las temperaturas y precipitaciones totales estacionales son: pérdida de eficiencia, producción prematura, disminución del rendimiento por temperaturas superiores a 30-34°C, incremento de la afección de enfermedades y estrés por humedad durante la floración, aceleración de la evapotranspiración.

En tal sentido el incremento de la temperatura promedio de 17°C a 22°C y humedad mayor de 75% afecta al desarrollo foliar del cultivo, Así mismo el incremento de la temperatura promedio por encima de 30°C y la reducción de la humedad genera la aparición de gusano cogollero, el cual ocasiona serios daños en las hojas tiernas; En general con el calentamiento de 1°C a 2°C en el clima local en los países tropicales, disminuye el rendimiento agrícola.

Batista & Ponvert (2016); La sequía provoca impactos considerables en los sistemas agrícolas Cubanos, tanto en los cultivos, pastizales, suelos destinados a la producción, sus causas están dadas por la insuficiencia en la humedad atmosférica, cabe destacar que la sequía no empieza cuando se detiene la lluvia, sino cuando las

raíces de las plantas no obtiene más humedad del suelo más que alguna interpretación de los registros de las precipitaciones pluviales; El resultado de ello es reducción de los rendimientos agrícolas, condiciones inadecuadas de pastoreo, disminución en la rentabilidad agrícola y los impactos socio económicos negativos ligados a la sequía, incluida la inseguridad en las provisiones alimentarias.

Las proyecciones del clima y su efecto sobre la agricultura dan lugar al aumento de la evapotranspiración potencial y tendencias desfavorables de los cultivos y la intensificación de procesos de aridez y sequía, aun en casos donde se produzcan aumento de lluvias, como consecuencia de la evaporización; Para lo cual es necesario tomar acciones preventivas como prácticas de laboreo adecuadas para la protección de suelos, inducción de variedades de cultivo resistente al déficit hídrico, retención de agua de los suelos, y limitación de transpiración.

Erreis (2015); Con la serie de datos de la precipitación pluvial analizados en la Provincia de Pichincha - Ecuador se determinó que las necesidades hídricas para los cultivos de maíz, frejol y trigo están cubiertas en los periodos de estudio; mientras que para el cultivo de papa habría la necesidad de incorporar riego para mejorar las condiciones de producción. Los pronósticos indican que durante el periodo 2020 al 2049 habrá un ligero aumento de temperaturas correspondiente a 0.4°C y de precipitación de 69-89%, mientras que para el periodo 2040-2069 el aumento de la temperatura será 0.3°C y de precipitación de 149-157%. Estos escenarios no benefician al cultivo de papa ya que en la fase fenológica correspondiente a la tuberización se necesita más horas de frío y por ende se vería afectada en su producción y rendimiento.

Tras el incremento de las lluvias hay presencia de posibles inundaciones en la zona donde predominan los suelos con textura Franco-limoso, a la vez implica un fuerte lavado de tierras de sembrío, incremento de la acidez del suelo y mineralización de la materia orgánica y con ello la pérdida de agregados. Los resultados del Índice de Vulnerabilidad (IV) de los cultivos se presentó en general en el rango medio, es decir que son medianamente vulnerables; Para el caso del maíz se determinó un IV de 66% para la temperatura, mientras que para la precipitación el IV fue de 60%, en el cultivo de papa se estableció un IV de 71% lo que representó un rango alto en el caso de la temperatura, mientras que para la precipitación el IV fue 66%, valor que corresponde

al rango medio; En el cultivo de trigo se determinó que la vulnerabilidad está en el orden 71% por el incremento de la temperatura y de 65% para la precipitación. Finalmente, al considerar la temperatura se obtuvo una vulnerabilidad de 65% y para la precipitación 59% en el cultivo de frejol.

González & Galera (2014); La producción de papa en la localidad de Villapinzon - Colombia a partir del enfoque Ricardiano, hizo uso de la metodología de eliminación progresiva indicando que los periodos secos son los que más afectan a la productividad, es decir el aumento de las temperaturas máximas en las estaciones secas van a afectar negativamente al cultivo, a mayores temperaturas se presenta mayor susceptibilidad y por ende pérdidas en la producción; Otra variable que influye de manera importante es la temperatura mínima, debido a que las bajas temperaturas afecta la productividad, generando heladas e influyendo en el desarrollo del cultivo; El modelo que explica el estudio es  $VT = \beta_0 + \beta_1 * T + \beta_2 * T^2 + \beta_3 * P + \beta_4 * P^2 + \beta_5 * T * P + \sum_j \beta_j * Z_j + \varepsilon$  donde  $VT =$  Valor del suelo/ha,  $T =$  Temperatura,  $P =$  Precipitación,  $Z =$  Otras variables de interés (asociadas a la producción, económicas y sociales),  $\beta_i =$  Vector variables,  $\varepsilon =$  Error; El coeficiente de determinación de 0.946, una bondad de ajuste cercana al 95%, es decir que el modelo es capaz de explicar el 95% de la variación del suelo.

Fernandez (2013); En Colombia los rendimientos agrícolas como el café, arroz, palma, cereales y caña de azúcar podrían disminuir significativamente por el aumento de las temperaturas como consecuencia del estrés térmico e hídrico, el acortamiento de la estación de crecimiento y la mayor presencia de plagas y enfermedades, de igual manera las producción animal se vería afectada por la reducción en la productividad de pasturas y forrajes; Las altas temperaturas detienen la fotosíntesis e inducen a la deshidratación, cuando las temperaturas están por encima de los 40°C la palma se encuentra en shock térmico, por otra parte el periodo con mayor vulnerabilidad es cuando ocurre la fertilización, se reporta que el cultivo de arroz con temperatura entre 30 y 40°C reduce la fertilidad y la formación de grano en 10% y en el caso del maíz al presentarse temperaturas superiores a 36°C presenta reducción en la viabilidad del polen.

Bascopé (2013); Este estudio realizado en Chile proyecta la producción por cultivos de trigo, maíz, papa, frejol, remolacha, frutales y praderas ante el nuevo escenario

climático, en el caso del cultivo de trigo se produce disminución del riego, el aumento de las temperaturas aceleraría el ciclo productivo y reduciría el rendimiento, la disminución sería de 10%-20% del rendimiento en el norte y centro del país debido a mayores sequías. En tanto, en la precordillera del Bio-Bio al sur habría un aumento gradual entre el 30% y 100% respecto al rendimiento actual. Para el Maíz se estima una disminución productiva entre 10 y 20% en el valle central, inversamente en la costa y precordillera, aumentaría el rendimiento hasta un 50%, en la zona sur los rendimientos aumentarían entre un 60% y 200%. Para el cultivo de papa la zona norte presentaría una reducción entre 10 y 20% del rendimiento, en la zona sur los rendimientos aumentan hasta llegar a 150% y 200% en la Región de los Lagos. Una de las conclusiones del estudio es que se podrá recurrir a nuevas especies que ofrezcan sabores similares, pero que se adapten mejor al nuevo clima.

Ruíz *et al.* (2011); El estudio realizado en México, en las zonas productoras de maíz indica que el incremento de la temperatura se traduciría en el incremento de Grados días de desarrollo - GDD es decir la madurez fisiológica, cambiarían de 11.9 GDD por día registrado en 1961-2003 a 13.1 GDD por día en el 2020-2030. Este incremento en la acumulación de GDD tiene un impacto negativo sobre el rendimiento del cultivo de maíz, ya que al reducirse el ciclo de madurez se acortan las etapas fenológicas (llenado de grano), se reduce el área foliar, modificación en las tasas de evapotranspiración (ETP), disminución la producción de fotosintatos y la producción de biomasa y grano. El incremento en la temperatura, evapotranspiración y la disminución de las precipitaciones reducirán la capacidad de las tierras para producir maíz, asimismo, la reducción del potencial productivo de los cultivos está asociados con la presencia de plagas, enfermedades y malezas. La pérdida en el rendimiento que se ha calculado puede llegar de 10% a 40%. Es importante señalar, que estos resultados pueden ser fundamentales para retroalimentar a los programas de mejoramiento genético de maíz de México.

Ojeda *et al.* (2011); Los resultados afirman que el rendimiento de maíz en los Distritos de Riego 075, Rio Fuerte, Sinaloa, México se reducirán debido al incremento de la temperatura medioambiental por causa del cambio climático; Las temperaturas ambientales superiores a la óptima disminuyen la tasa fotosintética, acelerar el desarrollo y crecimiento de los cultivos, incrementar la tasa respiratoria y acortan la duración del ciclo fenológico del cultivo, actualmente la duración del ciclo

fenológico del maíz se ve afectada presentando una disminución de hasta 15 días en las fechas de siembra, las cuales se traducen en la disminución del rendimiento; Para compensar los efectos de la reducción del ciclo fenológico del maíz es útil usar otras variedades con mayores requerimientos de calor.

Ordaz *et al.* (2010); El impacto sobre la producción de frijol, café y maíz en Honduras, indica que en el caso del frijol y el café actualmente se alcanzó las temperaturas óptimas permitiendo el máximo rendimiento, pero excedida la temperatura actual los cultivos incurrirán en pérdidas significativas. En el caso del maíz actualmente ya se sobrepasó la temperatura máxima permitida lo que trae como consecuencia efectos desfavorables para dicho cultivo. Los resultados de esta investigación indican también que las ganancias agrícolas son sensibles a los factores climáticos; un incremento de 1°C se traduciría en una reducción aproximadamente de 2.14 dólares mensuales en las utilidades agrícolas. Así como un incremento de 2°C significaría una reducción de 9% en las ganancias agrícolas.

### **1.2.3. Ámbito Nacional**

Orihuela (2014); El presente estudio utiliza la estimación de MCO agrupado, los resultados finales de las funciones de rendimiento para la palta indican que tiene como umbral de temperatura máxima 22.7°C, para el caso de la naranja el umbral de temperatura máxima es cóncava, con óptimo de 28.3°C, con respecto al limón existe también una relación de concavidad entre el rendimiento y las variables climáticas, con umbrales de 26.3°C, los resultados para el cacao expresa la función que relaciona el rendimiento y las variables climáticas de forma cóncava con umbrales de 26.3°C. De esta manera se concluyen que las estimaciones econométricas tienen consistencia con la ficha técnica de cada cultivo por lo que puede ser utilizado en las proyecciones; Se plantea también que los cultivos susceptibles al cambio climático sean sustituidos por otros cultivos que se adapten mejor; En tanto el estudio del impacto del cambio climático es una tarea trascendental que merece ser estudiada en especial en áreas heterogéneas como es el caso de la realidad peruana.

Tonconi (2014); Las variables climáticas como la temperatura máxima y mínima promedio anual, precipitación y humedad relativa del suelo en Yarada, Región Tacna influyen significativamente en el rendimiento de la aceituna; El modelo está explicado en más del 70%, el indicador de verosimilitud es alta, lo que hace válido y

con significancia el modelo planteado. De los resultados vemos que el cultivo de aceituna tiene un umbral diferente tanto de temperatura mínima y máxima, la temperatura máxima aún no ha alcanzado su óptimo de 24.07°C, un aumento de temperatura promedio máxima aumenta los rendimientos para este cultivo; pasa lo contrario con el nivel de temperatura mínima, estas han sobrepasado el óptimo 16.24°C, por lo que la reducción de la temperatura mínima podrían beneficiar el rendimiento de este cultivo, es decir, la Temperatura mínima tiene impactos negativos en el rendimiento de aceituna.

Teniendo en cuenta las proyecciones climáticas del SENAMHI al 2030 para zonas costeras del Perú, se advierte descensos leves del rendimiento de la producción de aceituna de 4.94% a 6.42%.

Alarcón *et al.* (2011); Para las proyecciones de los posibles escenarios climáticos al 2030 en las Regiones de Cusco y Apurímac se tomaron como referencia los datos observados del año 1971 al 2000, el resultado revela que las temperaturas aumentarías hasta en 1.3°C en toda la zona de estudio; En cuanto a las lluvias también se presentaría ligeros cambios de acuerdo a la ubicación, en las cuencas medias las precipitaciones aumentarías de 8 a 16%, en las cuencas bajas disminuiría de 11 a 28%, los cuales se traducen en cambios en las características y rendimiento de los cultivos, estas pérdidas serían mayores entre 4 a 7%, en especial para el cultivo de trigo presentado disminución del 17%. En la época actual los cultivos de trigo y maíz son los que presentan las mayores proporciones de cosecha perdida a causa de las bajas precipitaciones. Otra particularidad de los cultivos es que serán ligeramente alterados en un escenario futuro, la fecha de cosecha se adelantará hasta en 13 días, es decir se acortará el ciclo del cultivo.

Torres (2010); El resultado del estudio nos da a conocer que las variables climáticas afectan el rendimiento de los cultivos y explican hasta más de 50% del rendimiento de los principales productos agroexportables en Piura; Cada cultivo tiene umbral diferente de temperatura máxima y mínima que están dentro de lo determinado por la teoría. Para el caso de las Temperaturas mínimas en los cultivos de mango, limón y plátano actualmente es de 24°C, cuando la teoría indica que estos cultivos no deben presentar temperaturas mínimas superiores a 20°C, con la temperatura máxima ocurre

algo similar; Solo en el caso del café los óptimos tienen un margen para no ser afectados.

Yzarra *et al.* (2010) ; El estudio se desarrolla en la costa central del país, en las regiones de Lima, El Callao e Ica con series históricas de 50 años comprendidas desde 1956 al 2006, los cuales concluyen que, para los 6 tipos de híbridos de maíz amarillo, tras el incremento de 1°C comprendidos entre el periodo de siembra y formación de la espiga presentan situaciones desfavorables en el suministro de nutrientes a los granos y anticipación en la maduración, por tanto, reducen el peso final. En conclusión, se comprueba que la reducción del rendimiento de maíz se da a causa de la variabilidad climática ocurrida durante el periodo de tiempo en estudio.

#### **1.2.4. Ámbito Regional**

Benique (2019); El estudio se realizó para las zonas productoras de cañihua en los Distritos de Vilque, Acora, Paucarcolla, Atuncolla, Mañazo, Amantani, Plateria, Capachica, Coata, Chucuito, Tiquillaca, Puno, Pichacani y Huata comprendido desde la campaña 1996-1997 a 2016-2017. La investigación es analítica - descriptiva y hace uso de las variables climáticas como las precipitaciones pluviales, temperatura máxima, temperatura mínima y humedad relativa; En base a los resultados obtenidos la variación en 1% de las precipitaciones pluviales afecta negativamente el rendimiento de cañihua en 2.16%.

Tonconi (2015); La investigación utiliza datos de series de tiempo del departamento de Puno comprendidos desde el año 1960 al 2010, las variables climáticas en estudio son temperaturas promedio máximo y mínimo (°C) y precipitaciones pluviales (mm), mientras que los cultivos agrícolas en estudio son papa, cañihua, haba, maíz, quinua, trigo y cebada (TM). La bondad de ajuste de los modelos está explicada como mínimo por el 60%, las actuales temperaturas máximas y mínimas de 16.4°C y 4°C, tienen efectos negativos altos sobre el rendimiento de papa, haba y maíz dado que han sobrepasado su umbral óptimo para la producción que corresponde a 13.52°C y 3.75°C para la papa, 15.51°C y 4.40°C para el haba, 13.25°C y 5.5°C para el maíz; El cultivo de trigo y cebada tiene efectos negativos leves dado que las temperaturas actuales son cercanas a su requerimiento óptimo, mientras que para los cultivos de quinua y cañihua frente al incremento de la temperatura los efectos no son

perjudiciales; Se proyecta que la temperatura máxima aumentará entre 4.4°C y 1.3°C y la precipitaciones se aumentarán entre 4.8% a 3.8% respectivamente.

Mamani (2015); El comportamiento de la temperatura en la zona alta del Distrito de Ilave, Provincia de Collao es variable e interviene directamente en la producción de cultivo de quinua, tal es el caso de la campaña agrícola de 1997-1998 que presentó la máxima temperatura media de 10.29°C teniendo un rendimiento de 914.28 Kg/Ha, en cambio en la campaña agrícola 1999-2000 presentó mínima temperatura media de 8.29°C, con un rendimiento de 910.81 Kg/Ha, sin embargo la campaña agrícola 2004-2005 se obtuvo el máximo rendimiento de 1202.48 Kg/Ha, a una temperatura promedio de 9.46°C. La relación entre las temperatura y rendimiento de quinua se estableció mediante la ecuación correlacional polinómica del cuarto grado, la cual permite calcular el umbral óptimo de temperatura mínima de 7.6°C y máxima de 10.4°C. En definitiva, el cambio climático especialmente la variación de la temperatura afecta directamente la producción de quinua.

Belizario (2015); La investigación se llevó a cabo en la cuenca Ramis, donde se indica que la variación en el rendimiento del cultivo de haba es a consecuencia de la variación del clima en los últimos 20 años explicado significativamente en 49.1%, puesto que el altiplano es considerado una de las zonas más perturbadas y sensibles por la variabilidad climática con implicancia en sus actividades agrícolas; La relación del modelo para el cultivo de papa es significativa, presentando  $R^2 = 0.44$ , es decir el 44% de las variaciones en el cultivo de papa son consecuencia en las variaciones de las precipitaciones pluviales y temperaturas; Así mismo se determina que existe una influencia alta de las temperaturas máximas, mientras que las precipitaciones no tienen influencia significativa .

Los días de precipitaciones pluviales y temperatura máxima fuera del promedio optimo vienen afectando significativamente el rendimiento del cultivo de haba con un descenso de 23.89 kg/ha, mientras que las temperaturas mínimas y precipitación total no muestran impactos; En el cultivo papa las temperaturas generan impactos significativos con 83.41Kg/Ha de incremento, asimismo la precipitación total no muestra significativo impacto.

Arizaca (2013); El cambio climático está generando marcadas modificaciones en el agro, afectando los cultivos como la papa en la vertiente del lago Titicaca, en el



transcurso de los años la siembra del cultivo de este tubérculo se ha ido modificando, es decir la variación en las temperaturas obliga a sembrar a mayor altitud que antes en algunas variedades de papa, en este sentido el cambio climático está ocasionando que las estaciones sean cada vez más extremas, así como las heladas y las sequias, de igual forma las alteraciones en las temperaturas están causando mayor expansión de plagas y enfermedades. En esta investigación el decremento en los rendimientos fue causados por el incremento de 1°C a 2°C en la temperatura máxima diurna; Al regresionar el modelo se ha determinado cambios significativos en el rendimiento del cultivo de papa expresando que éste disminuiría entre 11% a 15% en escenario moderado y entre 11% a 23% en escenario extremo. De modo similar los efectos desfavorables del rendimiento no sostenible de quinua son agravados por los cambios climáticos que están sucediendo en el altiplano puneño: disminución de precipitaciones temperaturas más altas y fenómenos climatológicos más agresivos, esto puede apresurar el proceso de desertificación y degradación el suelo, con los constantes efectos negativos en la producción agraria, el aumento de la temperatura, al principio es positivo en el rendimiento del cultivo, pero después de ciertos límites es negativo, esto también sucede con las precipitaciones pluviales.

## CAPÍTULO II

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

#### 2.1 Identificación del problema

Actualmente existe un amplio consenso científico, afirmando que el planeta está sufriendo una variación climática global provocada por nuestro modo de producción y consumo energético (González, 2017). El aumento de las temperaturas en los últimos 100 años ha sido de  $0.76^{\circ}\text{C}$ , entre 1995 y el 2008 se acentuaron 12 de los 13 años más cálidos registrados desde 1850, la superficie helada del Ártico en verano se redujo un 7.4% por década (Pérez & García, 2009); Por tanto se intensifica un serio problema que tendrá efectos sobre la agricultura, pesca, economía y la sociedad.

El Servicio de Cambio Climático Copérnico (2019) expresa que tras el análisis de la temperatura media mundial en relación al promedio de 1981-2010, los periodos más acalorados en los últimos 40 años son el 2016, presentando  $0.6313^{\circ}\text{C}$  de diferencia con el promedio y el 2019 presentando  $0.5928^{\circ}\text{C}$  de diferencia en el promedio de 1981-2010 en todo el mundo.

Los países que suscribieron el Acuerdo de París se comprometieron a conservar las temperaturas "debajo de los  $2^{\circ}\text{C}$  por encima de los niveles de la pre industrialización y continuar controlando el incremento de la temperatura más allá de los  $1.5^{\circ}\text{C}$ ". No obstante, en consenso varios científicos advierten que realmente necesitamos mantener el aumento de la temperatura no por debajo de los  $2^{\circ}\text{C}$ , sino por debajo de los  $1.5^{\circ}\text{C}$ . (CEPAL & Quiroga, 2017).

Según Climate Action Tracker (2017), el promedio del calentamiento en grados Celsius proyectado para el 2100 basado en los actuales compromisos se incrementará en  $2.9^{\circ}\text{C}$ ,

mientras que siguiendo políticas actuales el incremento de la temperatura será 3.5°C y por otra parte si los países no actúan el incremento ascenderá a 4.5°C.

El calentamiento global mediante el aumento de las temperaturas, variación en las precipitaciones e incremento de la acumulación del dióxido de carbono tiene un impacto considerable que afecta la agricultura; La prevención y adaptación dependerán del estudio y la gestión de los efectos (Bascopé, 2013). Así mismo, se ha comprobado que la acción agrícola también produce variaciones significativas en el clima debido a la deforestación y desertificación, además de que los combustibles fósiles, son las mayores fuentes de dióxido de carbono. La agricultura en sí es el principal responsable en incrementar las concentraciones de metano y óxido nítrico en la atmósfera del planeta.(Benavides & León, 2007).

Cabe mencionar que las concentraciones de metano y óxido nitroso ascendieron en mayores cantidades que durante los diez últimos años, el año 2000 presentaba variación en las concentraciones de metano 7.74% y 3.88% de óxido nitroso, ya para el 2018 el CO<sub>2</sub> aumentó un 18.4%, el metano en 12.99% y 8.95% en el óxido nitroso respecto al año 1984 según las observaciones de la Organización Meteorológica Mundial (2018).

Los países desarrollados son menos vulnerables a los cambios climáticos en comparación a los países en desarrollo y su aporte a las emisiones de gases de efecto invernadero equivale a una pequeña proporción del total global (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 2010); Estos países tienen mayor dependencia a la agricultura, disponen menos capital para adoptar medidas de adaptación, y en muchas situaciones están más propensas a la presencia de eventos climáticos extremos y a niveles de calor que actualmente son demasiado altos (Mendelsohn, 2008), además, al interior de estos, los pequeños agricultores son los más perjudicados dado su escaso acceso a tecnologías, información, insumos y recursos monetarios para establecer medidas de adaptación (Birthal *et al.*, 2014).

Notablemente la agricultura es uno de los sectores más expuestos al cambio climático a razón de la directa influencia de las condiciones climáticas (González & Galera, 2014), la variación en el comportamiento de las temperaturas y precipitaciones, el aumento de la concentración de CO<sub>2</sub> atmosférico altera de una manera significativa al desarrollo de los cultivos.

Tabla 1

*Impactos potenciales y riesgos del Cambio Climático en América Latina*

<b>Impactos</b>	<b>Riesgos Claves</b>	<b>Factores climáticos</b>
Agricultura	Disminución de la producción y calidad de los alimentos, alza de precios e ingresos más bajos	- Temperaturas extremas - Precipitaciones extremas - Concentraciones de $CO_2$
Agua	Disponibilidad de agua en regiones semiáridas y dependientes del derretimiento de los glaciales e inundaciones en áreas urbanas relacionado con precipitaciones extremas	- Tendencia al aumento de la temperatura - Cubierta de nieve - Tendencia a la sequia
Biodiversidad y bosques	Desaparición de los bosques, modificación del cambio de uso del suelo, pérdida de servicios ecosistémicos, decoloración de corales y biodiversidad	- Acidificación de los océanos - Aumento de la deforestación - Tendencia al aumento de la temperatura - Concentraciones de $CO_2$

Fuente: CEPAL, 2015 (Comisión Económica para América Latina y el Caribe). 2014. La economía del cambio climático en América Latina y el Caribe. Paradojas y desafíos del desarrollo sostenible.

Tubiello (2008), sostiene que tras un leve calentamiento del planeta es posible que en un inicio la producción de cultivos se beneficie en las regiones templadas y se perjudiquen en las regiones semiáridas y tropicales. Sin embargo, si el calentamiento global persiste más allá de la mitad del siglo, la producción en todas las regiones del planeta se verá afectada de manera negativa. No obstante, recientes estudios desafían que a causa del calentamiento global la producción final de los cultivos decrecen, tras el incremento de la temperatura de 1°C a 3°C, menor abastecimiento de agua para los cultivos, incremento de la ocurrencia de enfermedades, plagas y decadencia de la calidad del suelo y del agua (Fernández, 2013; Orozco & Ayala, 2012; Meybeck *et al.*, 2012) lo cual afectará la seguridad alimentaria al impactar la disponibilidad y acceso a alimentos así como la estabilidad de las reservas de alimentos (McCarl, 2010).

La Tabla 2 sintetiza los posibles impactos tanto positivos como negativos de los cambios en el clima para la productividad de cultivos:

Tabla 2

*Impactos positivos y negativos del Cambio Climático en los cultivos*

<b>Factor de Cambio</b>	<b>Posibles Beneficios</b>	<b>Posibles efectos negativos</b>
Variación de las precipitaciones	-Aumento de las garantías de abastecimiento de agua	-Aumento de la erosión
	-Aumento de la productividad	-Aumento de las inundaciones y salinización
	-Disminución de la demanda de agua	-Aumento de mala hierbas, plagas y enfermedades
Aumento de temperatura	-Nuevos cultivos en zonas frías	-Aumento de la frecuencia de sequías
	-Periodo de crecimiento más largos	-Problema de floración y cuajado por daños en la verbalización
	-Periodos de crecimiento más rápidos	-Aumento del estrés térmico por las temperaturas ambientales
		- Aumento de mala hierbas, plagas y enfermedades

Fuente: Adaptation to Climate Change in the Agricultural Sector Iglesias et al.(2007)

En efecto, uno de los principales determinante de la productividad agrícola es el clima (Adams, 1989) la vulnerabilidad de los países dependerá, básicamente, de sus condiciones geográficas y del tipo y variedad de cultivos que produzcan. Resumiendo lo planteado, el rendimiento de diversos cultivos disminuiría significativamente tras el incremento en las temperaturas, como resultado, por ejemplo, del estrés térmico e hídrico, del acortamiento de la estación de crecimiento y del incremento de plagas y enfermedades, así también, se ve afectado la producción en animales tras el impacto del cambio climático en la producción de las pasturas y forrajes (PROCISUR, 2011); De acuerdo con Lobell *et al.* (2008), los cultivos más vulnerables a cambios climáticos son algunas diversidades de

arroz, trigo y maíz en las regiones del sur de Asia y África. Por su parte para América Latina, la diversidad agroecológica y demográfica ofrece diversas expectativas para las distintas regiones que son muy variadas entre sí.

Por tanto, es útil, plantear un conjunto de acciones que permitan mitigar los impactos del cambio climático y adaptarnos a los próximos escenarios que se susciten como resultado del calentamiento global.

## 2.2 Enunciados del problema

### Problema General:

¿Cuál es el efecto del cambio climático (Temperatura, Precipitación) en el rendimiento de los principales cultivos de la Región Puno en el periodo 1964-2019?

### Problemas Específicos:

- ¿Cuál es el comportamiento del Rendimiento de los principales cultivos en la Región Puno en el periodo 1964-2019? ¿Son estacionarias?
- ¿Existe un nivel en el comportamiento de las precipitaciones pluviales y temperaturas extremas que sean críticos para el rendimiento de los principales cultivos en la Región de Puno para el periodo de estudio?
- ¿Cuál será el Rendimiento de los principales cultivos en la Región Puno en el periodo 2020 al 2025?

## 2.3 Justificación

La investigación planteada aportará a conocer en mayor medida el comportamiento del rendimiento de los diversos cultivos agrícolas en la Región Puno. Asimismo, los resultados del estudio contribuirán a crear un mayor conocimiento entre productores, consumidores y los entes gubernamentales, sirviendo como un importante instrumento para este último en la toma de decisiones y la formulación de planes y proyectos de adaptación y/o mitigación al cambio climático. Por otro lado, mediante la investigación se validará los umbrales óptimos de precipitaciones pluviales y temperaturas. Así mismo, entender los efectos del cambio climático permite determinar el tamaño potencial de los daños que causaría a los cultivos andinos y por tanto a proponer medidas de mitigación en el sector agrícola en la Región Puno para los próximos años y suavizar los impactos potenciales.

Considerando que la Región Puno ostenta diversos cultivos de alto valor nutritivo que garantizan la seguridad alimentaria a nivel mundial, Ccama (1991) indica que dentro de los cuales los más representativos en tubérculos son: papa y olluco, en cereales: quinua y cebada en grano, en frutales: café y naranjo y por último en forrajes: avena forrajera y alfalfa; Según el IV Censo Nacional Agropecuario - INEI (2014) la superficie destinada a la actividad agrícola es de 328663.1 Hectáreas, dentro de las cuales 3916 Ha corresponde a la superficie sembrada de quinua , 24779 Ha de Cebada en grano , 59981 Ha de papa , 2772 Ha de olluco y 5742 Ha de alfalfa (MINAGRI 2018).

## 2.4 Objetivos

### 2.4.1. Objetivo general

Analizar el efecto del cambio climático (Temperatura, Precipitación) en el rendimiento de los principales cultivos de la Región Puno en el periodo 1964-2019.

### 2.4.2 Objetivos específicos

- Analizar el Rendimiento de los principales cultivos en la Región Puno en el periodo 1964 - 2019 y su Estacionariedad.
- Determinar los umbrales de precipitación pluvial, temperatura máxima y mínima a los que el rendimiento de los principales cultivos de la Región de Puno alcanza niveles críticos.
- Determinar el Rendimiento de los principales cultivos de la Región Puno en el periodo 2020 al 2025

## 2.5 Hipótesis

### 2.5.1. Hipótesis general

El efecto que tiene el cambio climático (aumento de la temperatura) en el rendimiento de los principales cultivos en la Región Puno, al principio son positivos, pero pasados los límites de temperaturas óptimas son negativos.

### 2.5.2. Hipótesis específicas

- El comportamiento de los principales cultivos en la Región Puno en el periodo 1964-2019 fluctúan de manera creciente y sus variables son estacionarias.



- Existe un umbral de las precipitaciones pluviales y temperaturas que maximiza el rendimiento de los cultivos.
- El rendimiento de los principales cultivos de la Región Puno en el periodo 2020 al 2025, presenta una tendencia decreciente, expresada en la reducción del rendimiento de cultivos.

## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Lugar de estudio

La Región Puno está localizada en la sierra sur del territorio nacional, se ubica a una altura de 3817 m.s.n.m. (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2011), y cuenta con 13 provincias: Puno, Azángaro, Carabaya, Chucuito, El Collao, Huancané, Lampa, Melgar, Moho, San Antonio de Putina, San Román, Sandia y Yunguyo presentando una topografía accidentada con la mayor parte de sus ciudades localizadas en zonas altas de la sierra.

Posee una extensión de 75 627.65 Km<sup>2</sup> aproximadamente, la cual constituye el 5.6% de la superficie nacional, en tanto esta superficie contiene 14.50 Km<sup>2</sup> del área lacustre e islas, 4996.28 Km<sup>2</sup> del Lago Titicaca perteneciente al lado peruano y una población que superar el millón de habitantes.

Sus límites son:

Por el norte : Con el departamento de Madre de Dios

Por el sur : Con el departamento de Tacna

Por el este : Con la República de Bolivia

Por el oeste : Con los departamentos de Cusco, Arequipa y Moquegua

La ciudad capital de la Región es la Provincia de Puno, situada a orillas del lago Titicaca. Accesibles en un viaje de 6 horas desde la Ciudad del Cusco y 5 horas desde la Ciudad de Arequipa que son las afluencias más importantes para los viajeros.

Se localiza entre las coordenadas geográficas  $13^{\circ}00'00''$  y  $17^{\circ}17'30''$  latitud sur y los  $71^{\circ}06'57''$  y  $68^{\circ}48'46''$  longitud oeste del meridiano de Greenwich, Según el INEI (2014).

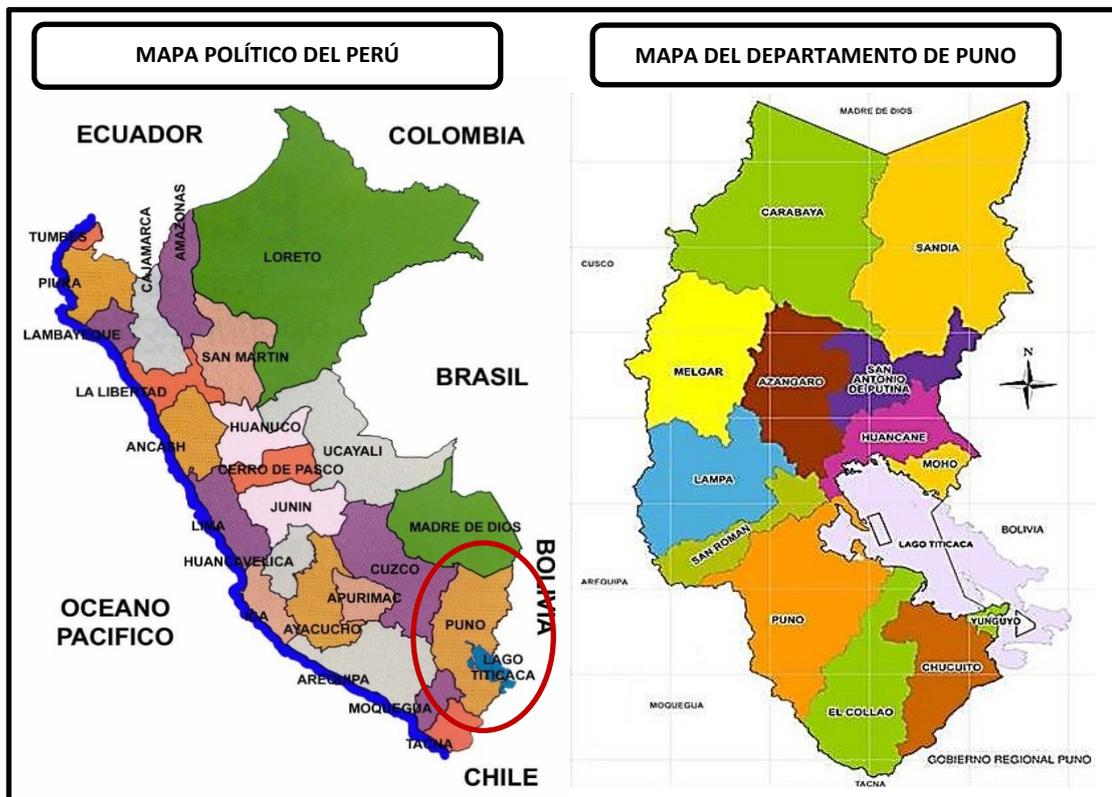


Figura 2. Área de estudio

Fuente: Galería de imágenes de google

### - Áreas agrícolas

La Región Puno posee superficie total de 7'562 765.34 Ha, comprenden las áreas dedicadas principalmente a la producción de cultivos anuales, transitorios, áreas de pasto, zonas agrícolas heterogéneas y en barbecho o descanso, en las cuales también se puede dar uso pecuario además de agrícola, cubriendo una superficie aproximada de 773 362.5536 Ha que representa 10.227% de área total del territorio puneño.

Las áreas se agrupan en las siguientes categorías; Los cultivos transitorios comprenden las tierras ocupadas con cultivos cuyo ciclo vegetativo es menor a un año, cubre una superficie aproximada de 676074.11 Ha, que representa 8.94% del área total puneño, los cultivos permanentes comprenden los territorios dedicados a cultivos cuyo ciclo vegetativo es mayor a dos años, produciendo varias cosechas sin necesidad de volver a plantar, cubre una superficie aproximada de 24183.73 Ha. representando 0.32% del área total del territorio regional y por ultimo las áreas agrícolas heterogéneas son unidades que reúnen dos o más clases de cobertura agrícola y natural, cubre una superficie que

representa 0.97% del área total evaluada del territorio puneño (Gobierno Regional Puno, 2015).

#### - **Economía**

Gran parte de sus ingresos del PBI provienen del sector primario, es decir de sus actividades extractivas como la minería, ganadería y agricultura, sobre todo esta última que tiene carácter de subsistencia en los hogares con menos accesibilidad y con menor índice de desarrollo humano. Así mismo es el primer productor nacional de: papa, quinua, carne de ovino, lana, estaño, fibra de alpaca, trucha, constituyendo en la mayoría de los casos del 40% de la producción total del país (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2014)

La población Económicamente Activa (PEA) es de aproximadamente 779 mil 367 personas y presenta una tasa de desempleo de 1.9 %, y una Población Económicamente Inactiva de 163 miles de personas, según los datos del Instituto Nacional de Estadística e Informática (2016). Del total de la PEA el 49.5 % pertenece al sector primario, es decir, se dedican a actividades extractivas, el 14.4 % al comercio, 8.1 % a la manufactura, 6.7% a transportes y comunicaciones, 3 % a la construcción, 18.3 % a otros servicios.

#### - **Agricultura de la Región Puno**

El trabajo agrícola se considera primordial dentro la economía regional por su aporte activo en el PBI (Gobierno Regional de Puno, 2010). “Se resalta como principales actividades según su contribución al PBI regional: la actividad agropecuaria con el 18%, comercio con 13%, manufactura con 13 %, servicios gubernamentales con el 11%; transportes y comunicaciones con el 10% otros servicios con el 17%”

De la misma forma, la economía regional se sustenta en once sectores económicos como son: agricultura, minería, pesca, manufactura, electricidad y agua, construcción, comercio, transporte y comunicaciones, restaurantes y hoteles, servicios gubernamentales y otros.

A nivel nacional se enfatiza en la agricultura dado que la mayor parte de la población rural se dedica a esta actividad. La Región Puno se dedica a la producción de 30 cultivos transitorios y 12 cultivos permanentes (Dirección Regional Agraria - Puno, 2019). Es así que se destaca a nivel nacional por disponer de productos alto andinos potenciales, así

como los menciona Ccama (1991) el cuál identifica los cultivos más representativos de la Región clasificándolos de la siguiente manera, cereales: quinua y cebada grano; en frutales: naranja y café, en el grupo de tubérculos: papa y olluco; y en el grupo de forrajes: alfalfa y pastos cultivados.

### **3.2. Población**

La población en estudio corresponde a los 30 cultivos transitorios de la Región de Puno dentro de los cuales 10 son tubérculos, 9 son cereales, 5 son leguminosas, 3 son hortalizas y 3 cultivos corresponden a forrajes.

### **3.3. Muestra**

Para el presente estudio los cultivos escogidos por muestreo no probabilístico responden a un criterio de selección de los cultivos representativos por superficie sembrada, concibe las campañas agrícolas comprendidas desde 1963-1964 a 2018-2019 de los cultivos más representativos de la Región en cereales: quinua y cebada grano, en el grupo de tubérculos: papa y olluco; en el grupo de forrajes: alfalfa y el registro de la Temperatura máxima, Temperatura mínima y Precipitación pluvial desde el año 1963 al 2019.

### **3.4 Método de investigación**

El estudio tiene un enfoque cuantitativo dado que se basa en una medición numérica, tal como lo sostiene Ñaupas *et al.* (2014) la investigación cuantitativa “Estudia fenómenos observables susceptibles a medición y análisis estadístico, es decir recoge y analiza datos numéricos para estudiar la asociación o relación entre las variables cuantificadas y pretende realizar inferencias a partir de técnicas estadísticas”.

Así mismo el nivel de estudio es de carácter descriptivo y analítico; Según Sampieri *et al.* (2014), los estudios descriptivos pretende especificar las propiedades y características importantes de cualquier fenómeno y situación que se analiza, es decir, buscan medir información de manera conjunta o independiente sobre las variables a las que se refieren. Así mismo, lo analítico se basa en el proceso de análisis y permite la descomposición de fenómeno o proceso que estudia, es decir consiste en el desmembramiento de un todo en sus partes y elementos para observar las causas, naturaleza y efectos ( Hernández *et al.*, 2018).

La metodología es hipotético-deductiva, así como lo sostiene Mendoza (2014) ya que parte de la identificación de un problema o fenómeno que se quiere estudiar, formular hipótesis mediante las cuales se pretende explicar el problema, deducir las principales consecuencia a partir de la hipótesis ya formulada y dar solución al problema en caso la hipótesis sea verdadera y por ultimo verificar el valor de las hipótesis planteadas mediante la comprobación con el trabajo, es decir, consiste en emitir hipótesis acerca de las posibles soluciones al problema planteado y comprobar con los datos disponibles si estos están de acuerdo con aquellas (Cegarra 2004) y (Hernández, 2008).

### **3.4.1. Técnica de Recolección de Datos**

La información es de carácter secundario, se hará uso de las series históricas disponibles

#### **- Observación y registro de datos**

Los datos de estudio son extraídos de los registros del Ministerio de Agricultura y Riego, la Dirección Regional Agraria Puno (D.R.A.P) y el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI).

Para la obtención de información se recurrió a revisar informes, portal de las instituciones oficiales, bibliografía de libros y tesis, que contengan información suficiente, veras y confiable de la producción, rendimiento y factores climatológicos.

#### **- Análisis de los datos**

Los datos son analizados mediante el paquete estadístico EViews 9.0

El periodo de análisis abarca los años 1964 al 2019, los cuales son series de tiempo históricas anuales sobre el rendimiento por hectárea de quinua, cebada, papa, olluco y alfalfa (Kg/Ha) de la Región Puno, están expresados en Kg por hectárea, es así que relaciona la cantidad de Kilogramos empleando una Hectárea de terreno, la observación por cultivo se expresa en campaña agrícola iniciando a mediados de un año y terminando al próximo año, cada cultivo tiene duraciones distintas, iniciando desde la siembra y terminando en la cosecha (Tabla 3).

Tabla 3

*Campaña agrícola para cada Cultivo*

<b>Cultivo</b>	<b>Campaña agrícola</b>
Quinua	Septiembre - Mayo
Cebada en grano	Octubre - Mayo
Papa	Octubre - Abril
Olluco	Octubre - Mayo
Alfalfa	Todo el año

Fuente: Elaboración Propia en base al Calendario de Siembras y Cosechas - MINAGRI

Por otro lado, las variables climáticas como las Precipitaciones pluviales se miden en milímetros (mm) de agua recogida en una superficie plana es decir 1 mm de agua de lluvia equivale a 1 litro de agua por  $m^2$  de terreno; La Temperatura máxima y Temperatura mínima se mide en grados Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ) obtenidas de las estaciones meteorológicas del SENAMHI.

Es preciso mencionar que para las variables climatológicas Temperatura máxima y Temperatura mínima se toma en cuenta el promedio de la campaña agrícola; en caso de las Precipitaciones pluviales se toma en cuenta la acumulación desde el mes de la siembra hasta el mes de la cosecha de cada cultivo, por lo tanto, debido a que cada campaña agrícola empieza en un determinado año y finaliza el año siguiente se considera los datos mensuales desde el año 1963 de las variables climáticas.

Se procede primero a realizar el análisis econométrico en base a los datos de la Provincia de Azángaro, estaciones meteorológicas de Arapa, Azángaro, Muñani y Progreso como principal productor de quinua y cebada a nivel regional, la base de datos de la Provincia de Carabaya, Estaciones meteorológicas de Macusani y Ollachea como principal productor de papa y olluco, y la base de datos de la Provincia de Melgar, estaciones meteorológicas de Chuquibambilla, Ayaviri, Llally y Santa Rosa, como principal productor de alfalfa (Dirección Regional Agraria - Puno, 2019). Para determinar el efecto del cambio climático se halla los umbrales óptimos de temperatura y precipitaciones para proyectar los rendimientos futuros los

próximos 6 años y para finalmente proponer medidas de adaptación a los cultivos frente a dicho escenario de cambio climático.

### 3.4.2. Diseño Estadístico

El diseño estadístico para el primer objetivo específico se hizo uso de los gráficos, promedio, valores máximos, valores mínimos y desviación estándar de las variables en estudio, además de aplicación de la Prueba de Estacionariedad.

Para el segundo objetivo específico el diseño estadístico para las pruebas de hipótesis se planteó un modelo cuadrático o exponencial.

#### - Especificación del modelo y valores esperados de los parámetros climáticos

El modelo planteado es el siguiente, basado en los estudios de (Torres, 2010; Quispe, 2015; Mayta, 2016 ).

$$RD_t^i = \beta_0 + \beta_1 * Precip_{it} + \beta_2 * Precip_{it}^2 + \beta_3 * Tmax_{it} + \beta_4 * Tmax_{it}^2 + \beta_5 * Tmin_{it} + \beta_6 * Tmin_{it}^2 + \varepsilon_{it}$$

Donde:

$RD_t^i$  : Rendimiento del cultivo i en el periodo t

$Precip_{it}$  : Precipitación Pluvial acumulada del cultivo i en el periodo t (mm)

$Tmax_{it}$  : Temperatura máxima promedio del cultivo i en el periodo t

$Tmin_{it}$  : Temperatura mínima promedio del cultivo i en el periodo t

$\varepsilon_{it}$  : Terminio de error del cultivo i en el periodo t

Se espera que:  $\beta_1 > 0$  (positivo) y  $\beta_2 < 0$  (negativo), ya que a medida que aumente la precipitación pluvial el rendimiento también se incrementará pero a excesivas precipitaciones termina mermando;  $\beta_3 > 0$  (positivo) y  $\beta_4 < 0$  (negativo), ya que a mayores temperaturas máximas mayores niveles de rendimiento pero a excesivas temperaturas máximas el rendimiento se ve afectado;  $\beta_5 > 0$  (positivo) y  $\beta_6 < 0$  (negativo), ya que a mayor temperatura mínima mayor rendimiento pero superada la temperatura mínima optima el rendimiento disminuye.

### 3.5. Descripción detallada de métodos por objetivos específicos

Para el objetivo específico 1, analizar el rendimiento de los principales cultivos en la Región Puno en el periodo 1964-2019 y su Estacionariedad.

- El método utilizado para analizar el rendimiento de los principales cultivos consistió primeramente en examinar las estadísticas descriptivas de cada cultivo para luego graficar la evolución a los largo de los 55 años en estudio, seguidamente se llevó a cabo la prueba de Estacionariedad mediante el Test de Raíz Unitaria Dickey Fuller Aumentado en niveles y primeras diferencias a fin de verificar la estabilidad a largo tiempo de la media y la varianza, y por último se hizo el análisis de regresión del rendimiento respecto a cada cultivo en estudio.

Para el objetivo específico 2, determinar los umbrales de temperatura máxima, mínima y precipitación pluvial a los que el rendimiento de los principales cultivos de la Región de Puno alcanza niveles críticos.

- El método utilizado para analizar los umbrales de las precipitaciones pluviales y las temperaturas se inició reemplazando los valores de los coeficientes al modelo exponencial que se ha propuesto, seguidamente se procedió a derivar el Rendimiento de los cultivos con respecto a las variables climáticas en estudio, con la finalidad de hallar la Precipitación pluviales y Temperaturas óptimas de cada cultivo.

El objetivo específico 3 es determinar el rendimiento de los principales cultivos de la Región Puno en el periodo 2020 al 2025.

- El método para determinar el Rendimiento de los principales cultivos al 2025 se da por medio de los pronósticos causales fundamentado en el estudio elaborado por el SENAMHI, donde realiza los pronóstico de precipitaciones Pluviales (variaciones porcentuales) y Temperaturas (Variaciones °C) por Distritos y estaciones del año en la Región Puno, en base al comportamiento de las variables climáticas es posible determinar el rendimiento de los principales cultivos de la Región Puno en los próximos 6 años.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados se obtuvieron utilizando las mejores herramientas y técnicas disponibles, en consecuencia, los datos presentados pueden ser puesto en tela juicio, o analizados de diferente forma.

#### **4.1. Comportamiento del rendimiento de los principales cultivos en la Región Puno en el periodo 1964-2019 y su análisis de Estacionariedad.**

Previo al análisis econométrico, se tiene en el anexo N.º 4 las estadísticas descriptivas de las series de tiempo a utilizar en el análisis de cada cultivo:

##### **a) Quinua**

El rendimiento promedio durante los 55 años de estudio es de 776.77 kg/Ha oscilando entre 313 kg/Ha hasta 1213 Kg/Ha con 278.74 de Desviación Estándar; Las estadísticas descriptivas de los factores climáticos indican que el promedio de las precipitaciones pluviales es 652.71 mm comprendido desde 504.98 mm como mínimo a 809.10 mm como máximo con Desviación Estándar de 83.84, el promedio de la temperatura máxima es de 14.74°C comprendido desde 12.23°C como mínimo a 17.25°C como máximo con Desviación Estándar de 1.45 y el promedio de la temperatura mínima es de 2.14°C comprendido desde 0.77°C como mínimo a 3.47°C como máximo con 0.80 de Desviación Estándar comprendido del mes Septiembre a Mayo lo que constituye la campaña agrícola de la quinua.

##### **b) Cebada en grano**

El promedio del rendimiento es de 852.88 Kg/Ha oscilando entre 372 a 1176 kg/Ha con Desviación Estándar de 234.46; Las estadísticas descriptivas de los factores climáticos

indican que el promedio de las precipitaciones pluviales es 618.23 mm comprendido desde 481.43 mm como mínimo a 781.54 mm como máximo con Desviación Estándar de 79.21, el promedio de la temperatura máxima es de 15.41°C comprendido desde 12.46°C como mínimo a 18.19°C como máximo con Desviación Estándar de 1.77 y el promedio de la temperatura mínima es de 2.13°C comprendido desde 0.47°C como mínimo a 3.66°C como máximo con 1.007 de Desviación Estándar comprendido del mes Octubre a Mayo lo que constituye la campaña agrícola de la cebada en grano.

#### **c) Papa**

El promedio de rendimiento de 7207.66 Kg/Ha oscilando entre 3200 a 13310 Kg/Ha con Desviación Estándar de 2952.01; Las estadísticas descriptivas de los factores climáticos indican que el promedio de las precipitaciones pluviales es 749.22 mm comprendido desde 663.98 mm como mínimo a 832.33 mm como máximo con Desviación Estándar de 49.88, el promedio de la temperatura máxima es de 17.23°C comprendido desde 15.67°C como mínimo a 18.92°C como máximo con Desviación Estándar de 0.93 y el promedio de la temperatura mínima es de 3.45°C comprendido desde 2.32°C como mínimo a 4.34°C como máximo con 0.64 de Desviación Estándar comprendido del mes Octubre a Abril lo que constituye la campaña agrícola de la papa.

#### **d) Olluco**

El promedio calculado de rendimiento es de 4804.36 Kg/Ha oscilando entre 2100 a 7069 Kg/Ha con Desviación Estándar de 1557.82; Las estadísticas descriptivas de los factores climáticos indican que el promedio de las precipitaciones pluviales es 771.89 mm comprendido desde 682.35 mm como mínimo a 859.87 mm como máximo con Desviación Estándar de 53.21, el promedio de la temperatura máxima es de 17.11°C comprendido desde 15.42°C como mínimo a 18.62°C como máximo con Desviación Estándar de 0.85 y el promedio de la temperatura mínima es de 4.97°C comprendido desde 3.70°C como mínimo a 6.39°C como máximo con 0.88 de Desviación Estándar comprendido del mes Octubre a Mayo lo que constituye la campaña agrícola de la olluco.

#### **e) Alfalfa**

El promedio calculado de rendimiento es de 16699.39 Kg/Ha oscilando entre 4940 a 29121 Kg/Ha con Desviación Estándar de 4797.29; Las estadísticas descriptivas de los factores climáticos indican que el promedio de las precipitaciones pluviales es 900.86

mm comprendido desde 674.70 mm como mínimo a 1221.80 mm como máximo con Desviación Estándar de 120.25, el promedio de la temperatura máxima es de 16.24°C comprendido desde 14.35°C como mínimo a 18.53°C como máximo con Desviación Estándar de 0.91 y el promedio de la temperatura mínima es de -2.26°C comprendido desde -3.54°C como mínimo a -0.86°C como máximo con 0.62 de Desviación Estándar comprendido durante el año, presentando de 3 a 4 cortes anuales lo que constituye la campaña agrícola de la alfalfa .

#### 4.1.1. Evolución del Rendimiento de los principales cultivos en la Región de Puno en el periodo 1964-2019

El rendimiento de quinua es muy fluctuante a lo largo de los 55 años de estudio, presentando disminución en el rendimiento los años 1983, 1985, 1990, 1992, debido a la disminución de las precipitaciones y temperatura mínima recomendada por el MINAGRI. En los años 1989, 2002, 2010 se presenta altos rendimientos, se explica debido a que la temperatura máxima, temperatura mínima y precipitaciones pluviales se encuentran en niveles óptimos (Figura 3).

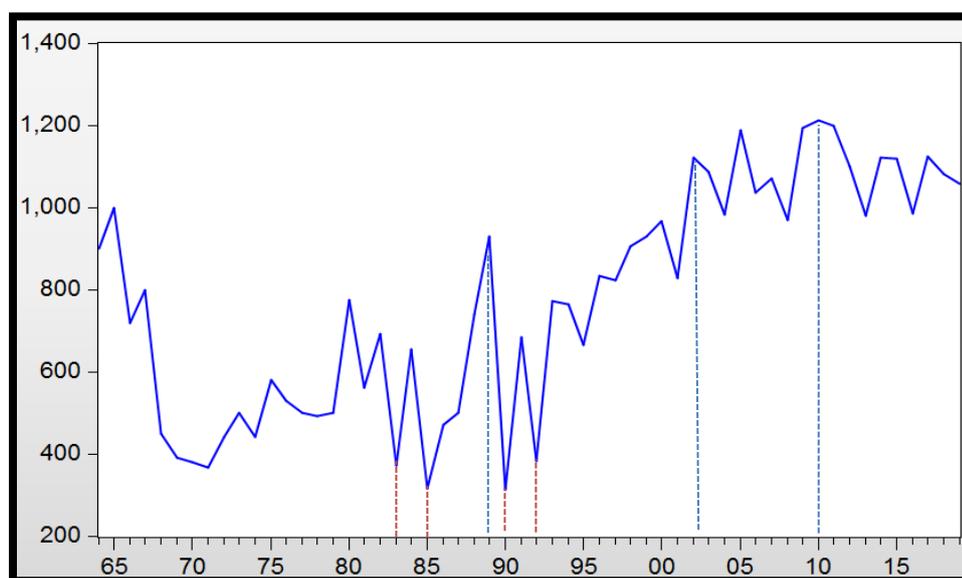


Figura 3. Rendimiento de Quinoa en la Región Puno 1964-2019

De igual forma, el rendimiento de cebada en grano es fluctuante a lo largo de los 55 años de estudio, presentando disminución en el rendimiento los años 1970, 1971, 1983, 1990, 1992, debido a la disminución de las precipitaciones y temperatura mínima recomendada por el MINAGRI. En los años 1965, 2002, 2007, 2010, se presenta altos rendimientos, se explica debido a que la temperatura máxima,

temperatura mínima y precipitaciones pluviales se encuentran en niveles óptimos (Figura 4).

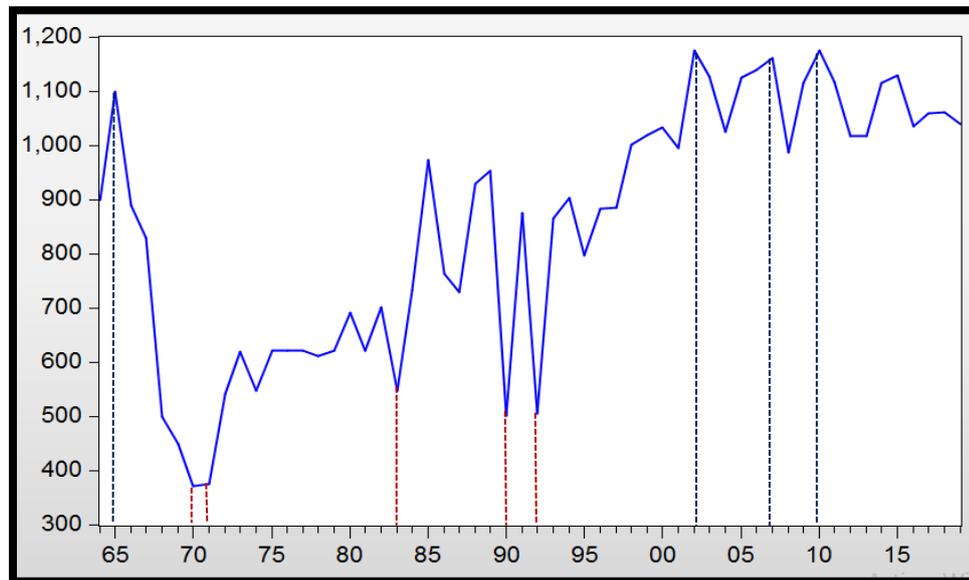


Figura 4. Rendimiento de Cebada en la Región Puno 1964-2019

De modo similar, el rendimiento de papa es muy fluctuante a lo largo de los 55 años de estudio, presentando disminución en el rendimiento los años 1966, 1983, 1987, 1990, 1992 debido a la disminución de las precipitaciones y temperatura mínima recomendada por el MINAGRI. En los años 1994, 2000, 2015, 2018, se presenta altos rendimientos, se explica debido a que la temperatura máxima, temperatura mínima y precipitaciones pluviales se encuentran en niveles óptimos (Figura 5).

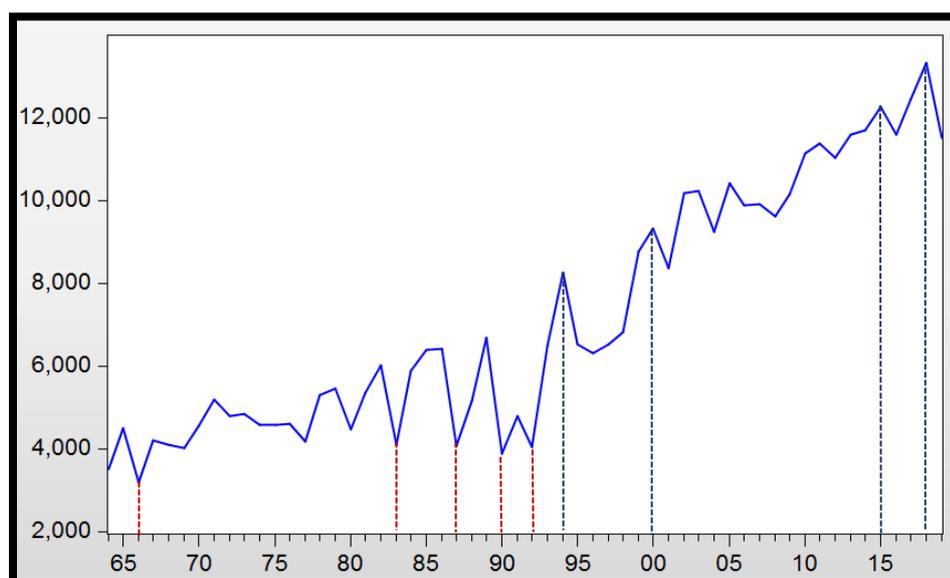


Figura 5. Rendimiento de Papa en la Región Puno 1964-2019

De igual modo, el rendimiento de olluco es fluctuante a lo largo de los 55 años de estudio, presentando disminución en el rendimiento los años 1964, 1966, 1990, 1992, debido a la disminución de las precipitaciones y temperatura mínima recomendada por el MINAGRI. En los años 1965, 1994, 2002, 2003, se presenta altos rendimientos, se explica debido a que la temperatura máxima, temperatura mínima y precipitaciones pluviales se encuentran en niveles óptimos (Figura 6).

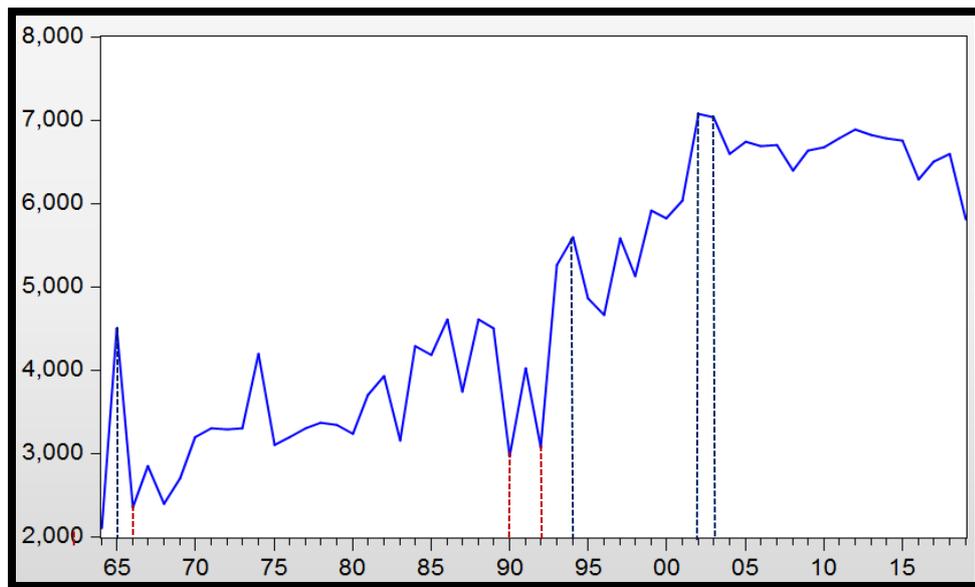


Figura 6. Rendimiento de Olluco en la Región Puno 1964-2019

De modo similar, el rendimiento de alfalfa es muy fluctuante a lo largo de los 55 años de estudio, presentando notoria disminución en el rendimiento el año 1992, mientras que en el año 1986 se presenta altos rendimientos explicado por la combinación óptima de los factores climáticos (Figura 7).

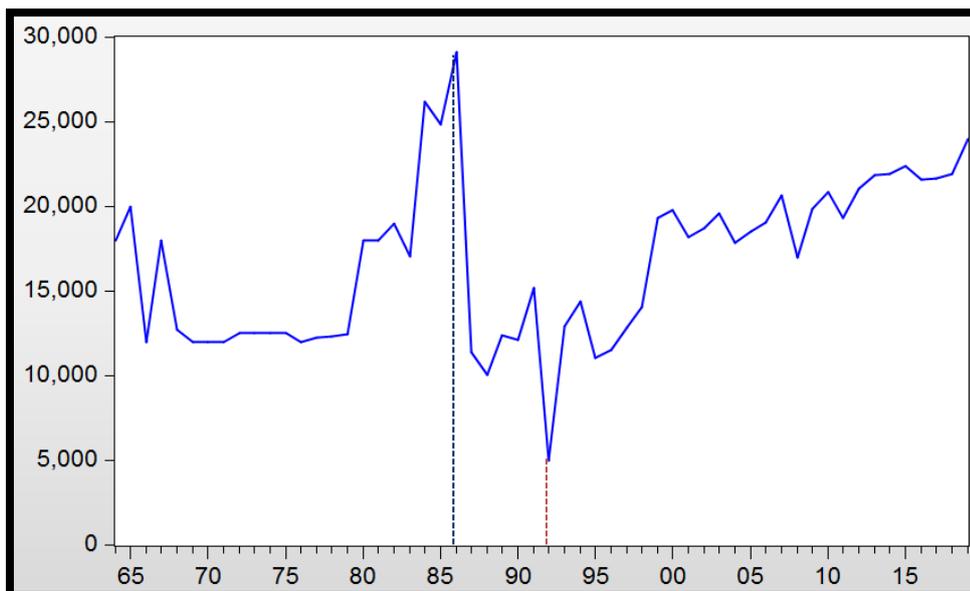


Figura 7. Rendimiento de alfalfa en la Región Puno 1964-2019

Cabe destacar que la Región Puno ha experimentado sequías que han provocado grandes pérdidas, especialmente en la agricultura, y han creado situaciones de crisis entre las poblaciones por la falta de agua. Según Endara *et al.* (2019), especialistas del Grupo de Trabajo de Sequías (GTS) del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), en los últimos 37 años nuestro país ha registrado 9 episodios de sequías severas.

La investigación denominada “Caracterización espacio temporal de la sequía en los departamentos andinos del Perú (1981-2018)” concluye que en el periodo 1981-2018 estas sequías se presentaron en los años 1982, 1983, 1985, 1987, 1988, 1990, 1992, 2004 y 2005, con intensidades de moderada a extremadamente seco.

La sequía del año 1992 fue la más severa y afectó a 16 departamentos entre ellos Amazonas, Cajamarca, La Libertad, Áncash, Junín, Huánuco, Huancavelica, Pasco, Lima, Cusco, Apurímac, Ayacucho, Arequipa, Tacna, Moquegua y Puno lo que explica que en los cultivos analizados, la reducción de rendimiento se vio afectado directamente por la sequía.

#### 4.1.2. Análisis de Estacionariedad:

En modelos de serie de tiempo, una condición necesaria es la “Estacionariedad” referente a la media y la varianza constante en el tiempo (Gujarati & Porter, 2010). En el anexo N.º 5 se realizó las pruebas de raíz unitaria correspondiente de cada una

de las variables a fin de realizar el análisis de Estacionariedad se llevó a cabo con la aplicación del test estadístico de Dickey Fuller aumentado en niveles y en primeras diferencias para sus tres diferentes modalidades que incluyen: 1) Intercepto y Tendencia 2) Intercepto 3) Sin intercepto ni tendencia.

#### **a) Quinua**

De tal análisis es preciso indicar que según el Test en niveles con tendencia e intercepto cumplen la  $H_a$  = La serie no tienen raíz unitaria y es estacionaria las variables Rend, Precip, Precip2, Tmin y Tmin2; El test con intercepto cumplen la  $H_0$  = Tienen raíz unitaria y no es estacionaria todas las variables en estudio, y el Test sin tendencia e Intercepto cumplen también la  $H_0$  indicando que todas las variables en estudio Tienen raíz unitaria y no son estacionaria; Mientras test estadístico de Dickey Fuller Aumentado en primeras diferencias para sus tres diferentes modalidades acepta la  $H_a$  = No tienen raíz unitaria y es estacionaria. En las estimaciones realizadas por los test en primeras diferencias indican que todas las series son estacionarias, es decir son estables a lo largo de tiempo presentado su media y varianza constante, lo que indica que todas las series son integradas de orden 1.

#### **b) Cebada**

De tal análisis es preciso indicar que según el Test en niveles con tendencia e intercepto cumplen la  $H_a$  = La serie no tienen raíz unitaria y es estacionaria todas las variables en estudio en excepción a Tmin2, el test con intercepto y sin tendencia y el test con intercepto cumplen la  $H_0$  = Tienen raíz unitaria y no es estacionaria todas las variables en estudio Rend, Precip, Precip2, Tmax, Tmax2, Tmin, Tmin2; Mientras que el test estadístico de Dickey Fuller Aumentado en primeras diferencias para sus tres diferentes modalidades acepta la  $H_a$  = No tienen raíz unitaria y es estacionaria todas las variables en estudio. En las estimaciones realizadas por los test en primeras diferencias indican que todas las series son estacionarias, es decir son estables a lo largo de tiempo presentado su media y varianza constante, lo que indica que todas las series son integradas de orden 1.

### c) Papa

Del siguiente análisis es preciso indicar que según el Test en niveles con tendencia e intercepto cumplen la  $H_a =$  La serie no tienen raíz unitaria y es estacionaria las variables Rend, Precip, Precip2; El test con intercepto y el test sin tendencia e Intercepto cumplen la  $H_0 =$  Tienen raíz unitaria y no es estacionaria todas las variables en estudio, mientras test estadístico de Dickey Fuller Aumentado en primeras diferencias para sus tres diferentes modalidades acepta la  $H_a =$  No tienen raíz unitaria y es estacionaria todas las variables en estudio. En las estimaciones realizadas por los test en primeras diferencias indican que todas las series son estacionarias, es decir son estables a lo largo de tiempo presentado su media y varianza constante, lo que indica que todas las series son integradas de orden 1.

### d) Olluco

Del análisis es preciso indicar que según el Test en niveles con tendencia e intercepto cumplen la  $H_a =$  Tienen raíz unitaria y es estacionaria la variable Rend, el test con intercepto cumplen la  $H_0 =$  Tienen raíz unitaria y no es estacionaria todas las variables en estudio al igual que el Test sin tendencia e Intercepto; Mientras que el Test estadístico de Dickey Fuller Aumentado en primeras diferencias para sus tres diferentes modalidades acepta la  $H_a =$  No tienen raíz unitaria y es estacionaria. En las estimaciones realizadas por los test en primeras diferencias indican que todas las series son estacionarias, es decir son estables a lo largo de tiempo presentado su media y varianza constante, lo que indica que todas las series son integradas de orden 1.

### e) Alfalfa

Del análisis es preciso indicar que según el Test en niveles con tendencia e intercepto cumplen la  $H_a =$  Tienen raíz unitaria y es estacionaria las variables Precip, Precip2, Tmax, Tmax2; El test con intercepto cumplen la  $H_a =$  Tienen raíz unitaria y es estacionaria las variables Precip, Precip2 y Tmin2; El Test sin tendencia e Intercepto cumple con la  $H_0 =$  Tienen raíz unitaria y no es estacionaria todas las variables en estudio, mientras test estadístico de Dickey Fuller Aumentado en primeras diferencias para sus tres

diferentes modalidades acepta la  $H_a =$  No tienen raíz unitaria y es estacionaria. En las estimaciones realizadas por los test en primeras diferencias indican que todas las series son estacionarias, es decir son estables a lo largo de tiempo presentado su media y varianza constante, lo que indica que todas las series son integradas de orden 1.

#### 4.1.3. Análisis de Regresión para cada Cultivo

A continuación se describe los resultados obtenidos en las estimaciones del modelo planteado para cada cultivo, siguiendo con la metodología planeada, primero se relacionó el rendimiento de cada cultivo en función únicamente de las variables precipitaciones pluviales, temperatura máxima, temperatura mínima por separado, luego se asoció la temperatura máxima junto con la temperatura mínima y por último se realizó de manera conjunta todas las variables, por lo tanto se espera que  $\beta_1 > 0$  (positivo) y  $\beta_2 < 0$  (negativo) ya que conforme aumenta las precipitaciones pluviales el rendimiento de los cultivos también aumentan pero tras excesivo riego por seco el rendimiento de los cultivos se ve afectado por acciones de inundación;  $\beta_3 > 0$  (positivo) y  $\beta_4 < 0$  (negativo) ya que a medida que la temperatura máxima aumenta el rendimiento de los cultivos también se incrementan pero cuando su incremento es excesivo el rendimiento de los cultivos se afecta y tiende disminuir, y por último  $\beta_5 > 0$  (positivo) y  $\beta_6 < 0$  (negativo) dado que a medida que las temperaturas mínimas van aumentando el rendimiento de los cultivos también mejora, pero si este incremento supera lo requerido entonces mermará el rendimiento. Se realizará la relevancia por medio del estadístico  $t$  y el coeficiente de determinación  $R^2$ .

Tabla 4

*Estimación del modelo para el rendimiento de quinua en la Región Puno*

VARIABLES	ESTIMACIÓN 1	ESTIMACIÓN 2	ESTIMACIÓN 3	ESTIMACIÓN 4	ESTIMACIÓN 5
<b>Constante</b>	-4151.968 (-4.779201) *	-11272.92 (-6.847846) *	358.7307 (1.210480)	-10342.57 (-6.892590) *	-9473.3 (-5.225270) *
<b>Precip</b>	14.35234 (5.211160) *				5.454395 (1.781609) ***
<b>Precip<sup>2</sup></b>	-0.010234 (-4.721249) *				-0.003958 (-1.700401)***

<b>Tmax</b>	1500.379		1372.502	1030.073
	(6.865251)*		(6.826980)*	(3.314397)*
<b>Tmax<sup>2</sup></b>	-45.941		-42.46946	-31.75314
	(-6.368873)*		(-6.435927)*	(-3.172723)*
<b>Tmin</b>		526.7691	261.6685	238.2366
		(4.620166)*	(2.998868)*	(2.723272)*
<b>Tmin<sup>2</sup></b>		-121.9928	-65.69535	-59.5986
		(-4.977600)*	(-3.485760)*	(-3.106461)*
<b>R2</b>	0.812175	0.870194	0.827403	0.899898
<b>R2 ajustado</b>	0.801126	0.857531	0.809424	0.889684
<b>AK</b>	12.56800	12.21371	12.56633	12.0114
<b>SCH</b>	12.71399	12.41247	12.78732	12.23038
<b>F – Stat</b>	73.50958	68.71429	46.02099	88.10036
<b>Prob F</b>	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
<b>Prob Const.</b>	0.0000	0.00000	0.2320	0.0000
<b>Prob Precip</b>	0.0000			0.0813
<b>Prob Precip<sup>2</sup></b>	0.0000			0.0957
<b>Prob Tmax</b>		0.00000		0.0018
<b>Prob Tmax<sup>2</sup></b>		0.00000		0.0027
<b>Prob Tmin</b>			0.0000	0.0042
<b>Prob Tmin<sup>2</sup></b>			0.0000	0.0010

Los valores entre paréntesis muestran el valor del estadístico "t"

\*, \*\*, \*\*\* Estadísticamente significativo al 1%, 5% y 10% respectivamente

En la Tabla 4 se puede notar en las estimaciones que las variables independientes tienen los signos esperados, en el caso de las precipitaciones pluviales su comportamiento relacionado con el rendimiento de quinua es directo y luego la relación es inversa, lo que significa que a deficiencia o exceso de precipitaciones pluviales terminan mermando el rendimiento de quinua; Así mismo para el caso de las temperaturas el incremento afecta al rendimiento del cultivo.

Al observar el valor del coeficiente  $R^2$  en las regresiones individuales se puede notar que las precipitaciones pluviales explican el rendimiento en un 81%, la temperatura máxima es 87% y la temperatura mínima en 82%; Mientras que agrupando la

temperatura máxima y temperatura mínima explican el rendimiento de quinua en 89% y en modelo conjunto incluyendo las tres variables climáticas en estudio explican el rendimiento del cultivo en 90%.

De los tres primeros modelos, la variable que mejor explican el rendimiento de la quinua es la temperatura máxima, es decir la estimación N.º 2, no solo por la relevancia, la dependencia y el ajuste, sino además por el valor del Akaike (AK) de 12.21 y el valor del Schwarz (SCH) es de 12.41, menores que los demás modelos. Ambos criterios de selección indican que la temperatura máxima es la que mejor explicar el rendimiento de la quinua.

En las estimaciones 4 y 5, se puede observar que el mejor modelo según el criterio de Ak y Sch es la estimación 4 ya que tiene los menores valores de estos estadísticos con respecto a la estimación 5. No obstante en ambas estimaciones se observa dependencia conjunta.

Entonces, el modelo elegido para el cultivo de quinua es el siguiente:

$$Rend_{quinua}_t = -10342.57 + 1372.50 * Tmax - 42.47 * Tmax^2 + 261.67 * Tmin - 65.69535 * Tmin^2$$

De este modelo, se observa que las variables independientes son relevantes al 1% de error y la constante también al 1% el error.

Con respecto a la autocorrelación se analiza el estadístico de Durbin Watson, para ello se hace uso de la tabla de Durbin – Watson a un nivel de significancia del 5%, es así que las estimaciones 2 y 3 no presentan autocorrelación y las demás caen en región de indecisión. (Anexo 7).

Tabla 5

*Estimación del modelo para el rendimiento de cebada en la Región Puno*

Variabes	Estimación 1	Estimación 2	Estimación 3	Estimación 4	Estimación 5
<b>Constante</b>	-4646.287	-7722.664	186.4369	-3795.769	-5292.882
	(-6.422439)*	(-5.686904)*	(1.962485)***	(-1.836657)***	(-1.852543)***
<b>Precip</b>	16.94072				3.460222
	(7.237056)*				(0.953535)
	-0.012798				-0.002135

<b>Precip<sup>2</sup></b>	(-6.785117)*		(-0.714798)	
<b>Tmax</b>	1043.772	516.6786	570.8533	
	(5.942057)*		(1.876155)*** (1.728639)***	
<b>Tmax<sup>2</sup></b>	-31.20561	-15.43608	-17.01117	
	(-5.534529)*		(-1.787982)*** (-1.637094)	
<b>Tmin</b>	621.4507	376.9261	203.6446	
	(8.246317)*		(2.745512)* (1.111543)	
<b>Tmin<sup>2</sup></b>	-117.339	-72.00366	-54.18722	
	(-7.231680)*		(-2.576876)** (-1.354349)	
<b>R2</b>	0.861398	0.855447	0.87387	0.880353
<b>R2 ajustado</b>	0.85031	0.843882	0.86378	0.865397
<b>AK</b>	11.95739	11.99943	11.86309	11.88306
<b>SCH</b>	12.13987	12.18192	12.04558	12.13853
<b>F – Stat</b>	77.68652	73.97318	86.60417	58.86331
<b>Prob F</b>	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
<b>Prob Const.</b>	0.0000	0.00000	0.0553	0.0725
<b>Prob Precip</b>	0.0000			0.3452
<b>Prob Precip<sup>2</sup></b>	0.0000			0.4783
<b>Prob Tmax</b>		0.00000		0.0667
<b>Prob Tmax<sup>2</sup></b>		0.00000		0.0801
<b>Prob Tmin</b>			0.0000	0.0085
<b>Prob Tmin<sup>2</sup></b>			0.0000	0.0131

Los valores entre paréntesis muestran el valor del estadístico "t"

\*, \*\*, \*\*\* Estadísticamente significativo al 1%, 5% y 10% respectivamente

De la Tabla 5 se puede notar en las estimaciones que las variables independientes tienen los signos esperados, en el caso de las precipitaciones pluviales su comportamiento relacionado con el rendimiento de cebada es directo y luego la relación es inversa, lo que significa que a deficiencia o exceso de precipitaciones pluviales terminan mermando el rendimiento de cebada en grano; En caso de las temperaturas el exceso afecta al rendimiento del cultivo.

Al observar el valor del coeficiente  $R^2$  en las regresiones individuales se puede notar que las precipitaciones pluviales explican el rendimiento en un 86%, la temperatura máxima es 86% y la temperatura mínima en 87%; Mientras que agrupando la

temperatura máxima y temperatura mínima explican el rendimiento de cebada en 88% y en modelo conjunto incluyendo las tres variables climáticas en estudio explican el rendimiento del cultivo en 83%.

De los tres primeros modelos, la variable que mejor explican el rendimiento de la cebada es la temperatura máxima, es decir la estimación N.º 3, no solo por la relevancia, la dependencia y el ajuste, sino además por el valor del Akaike (AK) de 11.86 y el valor del Schwarz (SCH) es de 12.56, menores que los demás modelos. Ambos criterios de selección indican que la temperatura máxima es la que mejor explicar el rendimiento de la cebada.

En las estimaciones 4 y 5, se puede observar que el mejor modelo según el criterio de Ak y Sch es la estimación 4 ya que tiene los menores valores de estos estadísticos con respecto a la estimación 5. No obstante en ambas estimaciones se observa dependencia conjunta.

Entonces, el modelo elegido para el cultivo de cebada es el siguiente:

$$Rendcebada_t = 186.4369 + 621.4507 * Tmin - 117.339 * Tmin^2$$

De este modelo, se observa que las variables independientes son relevantes al 1% y al 10% del error y la constante también al 10% el error.

Con respecto a la autocorrelación se analiza el estadístico de Durbin Watson, para ello se hace uso de la tabla de Durbin – Watson a un nivel de significancia del 5%, es así que las estimaciones 2 y 4 no presentan autocorrelación y las demás caen en región se indecisión. (Anexo 7)

Tabla 6

*Estimación del modelo para el rendimiento de papa en la Región Puno*

Variables	Estimación 1	Estimación 2	Estimación 3	Estimación 4	Estimación 5
<b>Constante</b>	-197483.8	-488235.1	-26946	-92527.78	-140647.4
	(-4.173731)*	(-6.537726)*	(-0.531221)	(-1.203405)	(-2.519994)**
<b>Precip</b>	514.2769				178.3747
	(9.415274)*				(1.998121)***
<b>Precip<sup>2</sup></b>	-0.338765				-0.112809
	(-9.213944)*				(-1.931256)***

<b>Tmax</b>		55935.5		11696.78	10242.71
		(6.586354)*		(2.208573)**	(2.011207)***
<b>Tmax<sup>2</sup></b>		-1573.101		-361.485	-315.5543
		(-6.495468)*		(-2.412914)**	(-2.186623)**
<b>Tmin</b>			11408.84	9178.258	2098.362
			(4.558401)*	(3.188001)*	(0.537471)
<b>Tmin<sup>2</sup></b>			-1502.985	-1035.769	-176.0283
			(-4.330988)*	(-2.680932)**	(-0.344420)
<b>R2</b>	0.936208	0.80797	0.92975	0.959183	0.964476
<b>R2 ajustado</b>	0.931104	0.791968	0.923896	0.955018	0.959185
<b>AK</b>	16.21842	17.30868	16.30308	15.80825	15.7421
<b>SCH</b>	16.4009	17.49455	16.48896	16.02723	16.03407
<b>F – Stat</b>	183.4484	50.49026	158.8192	230.296	182.291
<b>Prob F</b>	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
<b>Prob Const.</b>	0.0001	0.00000	0.5977	0.2346	0.0152
<b>Prob Precip</b>	0.0000				0.0515
<b>Prob Precip<sup>2</sup></b>	0.0000				0.0595
<b>Prob Tmax</b>		0.00000		0.0319	0.0501
<b>Prob Tmax<sup>2</sup></b>		0.00000		0.0196	0.0338
<b>Prob Tmin</b>			0.0000	0.0025	0.5935
<b>Prob Tmin<sup>2</sup></b>			0.0001	0.0100	0.7321

Los valores entre paréntesis muestran el valor del estadístico "t"

\*, \*\*, \*\*\* Estadísticamente significativo al 1%, 5% y 10% respectivamente

De la Tabla 6 se puede notar en las estimaciones que las variables independientes tienen los signos esperados, en el caso de las precipitaciones pluviales su comportamiento relacionado con el rendimiento de papa es directo y luego la relación es inversa, lo que significa que a deficiencia o exceso de precipitaciones pluviales terminan mermando el rendimiento de papa; En caso de las temperaturas el exceso afecta al rendimiento del cultivo.

Al observar el valor del coeficiente  $R^2$  en las regresiones individuales se puede notar que las precipitaciones pluviales explican el rendimiento en un 94%, la temperatura máxima es 81% y la temperatura mínima en 93%; Mientras que agrupando la

temperatura máxima y temperatura mínima explican el rendimiento de papa en 96% y en modelo conjunto incluyendo las tres variables climáticas en estudio explican el rendimiento del cultivo en 96%.

De los tres primeros modelos, la variable que mejor explican el rendimiento de la papa son las precipitaciones pluviales, es decir la estimación N.º 1, no solo por la relevancia, la dependencia y el ajuste, sino además por el valor del Akaike (AK) de 16.22 y el valor del Schwarz (SCH) es de 16.40, menores que los demás modelos. Ambos criterios de selección indican que las precipitaciones pluviales es la que mejor explicar el rendimiento de la papa.

En las estimaciones 4 y 5, se puede observar que el mejor modelo según el criterio de Ak y Sch es la estimación 5 ya que tiene los menores valores de estos estadísticos con respecto a la estimación 4. No obstante en ambas estimaciones se observa dependencia conjunta.

Entonces, el modelo elegido para el cultivo de papa es el siguiente:

$$Rendpapa_t = -140647.4 + 178.3747 * Precip - 0.112809 * Precip^2 + 10242.71 * Tmax - 315.5543 * Tmax^2 + 2098.362 * Tmin - 176.0283 * Tmin^2$$

De este modelo, se observa que las variables independientes son relevantes al 5% y 10% de error y la constante también al 5% el error.

Con respecto a la autocorrelación se analiza el estadístico de Durbin Watson, para ello se hace uso de la tabla de Durbin – Watson a un nivel de significancia del 5%, es así que las estimaciones 2, 3, 4 y 5 no presentan autocorrelación y la estimación 1 caen en región de indecisión. (Anexo 7).

Tabla 7

*Estimación del modelo para el rendimiento de olluco en la Región Puno*

Variables	Estimación 1	Estimación 2	Estimación 3	Estimación 4	Estimación 5
<b>Constante</b>	-98142.67	-242098.4	-7704.109	-154369.7	-131483.7
	(-1.859828)***	(-6.016150)*	(-2.092219)**	(-3.860700)*	(-2.901044)*
<b>Precip</b>	251.0479				-150.1111
	(6.659532)*				(-1.571844)
	-0.158985				0.100665

<b>Precip<sup>2</sup></b>	(-6.481684)*				-1.643493
		27908.35		16495.03	20099.84
<b>Tmax</b>	(5.959564)*			(3.371015)*	(2.530985)**
		-786.0984		-491.912	-594.4167
<b>Tmax<sup>2</sup></b>	(-5.772435)*			(-3.498562)*	(-2.587182)**
		4579.818		7974.086	8614.242
<b>Tmin</b>	(3.200254)*			(4.456950)*	(4.378140)*
		-395.4101		-713.5023	-799.6692
<b>Tmin<sup>2</sup></b>	(-2.841293)*			(-4.235912)*	(-4.264242)*
<b>R2</b>	0.920887	0.807975	0.834969	0.858315	0.867099
<b>R2 ajustado</b>	0.912646	0.796679	0.825261	0.843857	0.847305
<b>AK</b>	15.18524	15.97788	15.82639	15.74659	15.75532
<b>SCH</b>	15.40623	16.12387	15.97238	15.96557	16.04729
<b>F – Stat</b>	111.7458	71.52993	86.01092	59.36743	43.80649
<b>Prob F</b>	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
<b>Prob Const</b>	0.0690	0.00000	0.0414	0.0003	0.0056
<b>Prob Precip</b>	0.0000				0.1227
<b>Prob Precip</b>	0.0000				0.1070
<b>Prob Tmax</b>		0.00000		0.0015	0.0148
<b>Prob Tmax</b>		0.00000		0.0010	0.0128
<b>Prob Tmin</b>			0.0024	0.0000	0.0001
<b>Prob Tmin</b>			0.0064	0.0001	0.0001

Los valores entre paréntesis muestran el valor del estadístico "t"

\*, \*\*, \*\*\* Estadísticamente significativo al 1%, 5% y 10% respectivamente

De la Tabla 7 se puede observar en las estimaciones que las variables independientes tienen los signos esperados, en el caso de las precipitaciones pluviales su comportamiento relacionado con el rendimiento de olluco es directo y luego la relación es inversa, lo que significa que a deficiencia o exceso de precipitaciones pluviales terminan mermando el rendimiento de olluco; En caso de las temperaturas el exceso afecta al rendimiento del cultivo.

Al observar el valor del coeficiente  $R^2$  en las regresiones individuales se puede notar que las precipitaciones pluviales explican el rendimiento en un 92%, la temperatura máxima es 81% y la temperatura mínima en 83%; Mientras que agrupando la

temperatura máxima y temperatura mínima explican el rendimiento de olluco en 86% y en el modelo conjunto incluyendo las tres variables climáticas en estudio explican el rendimiento del cultivo en 87%.

De los tres primeros modelos, la variable que mejor explican el rendimiento del olluco es la precipitación pluvial, es decir la estimación N.º1, no solo por la relevancia, dependencia y el ajuste, sino además por el valor del Akaike (AK) de 15.19 y el valor del Schwarz (SCH) es de 15.41, menores que los demás modelos. Ambos criterios de selección indican que las precipitaciones pluviales son la que mejor explicar el rendimiento del olluco.

En las estimaciones 4 y 5, se puede observar que el mejor modelo según el criterio de Ak y Sch es la estimación 4 ya que tiene los menores valores de estos estadísticos con respecto a la estimación 5. No obstante en ambas estimaciones se observa dependencia conjunta.

Entonces, el modelo elegido para el cultivo de olluco es el siguiente:

$$Rendolluco_t = -98142.67 + 251.0479 * Precip - 0.158985 * Precip^2$$

De este modelo, se observa que las variables independientes son relevantes al 1% de error y la constante al 10% el error.

Con respecto a la autocorrelación se analiza el estadístico de Durbin Watson, para ello se hace uso de la tabla de Durbin – Watson a un nivel de significancia del 5%, es así que las estimaciones 3 y 4 no presentan autocorrelación y la demás estimación caen en región se indecisión. (Anexo 7)

Tabla 8

*Estimación del modelo para el rendimiento de alfalfa en la Región Puno*

Variables	Estimación 1	Estimación 2	Estimación 3	Estimación 4	Estimación 5
<b>Constante</b>	32968.5 (1.753290)***	-65204.99 (-0.432649)	25326.59 (1.514518)	21528.95 (0.151177)	-92035.65 (-0.653971)
<b>Precip</b>	-45.61463 (-1.111494)				17.04675 (0.408901)
<b>Precip<sup>2</sup></b>	0.030227 (1.359631)				-0.004254 (-0.187988)

<b>Tmax</b>		9533.126		-865.0891	10825.88
		(0.520790)		(-0.050096)	(0.648410)
<b>Tmax<sup>2</sup></b>		-274.4552		36.37737	-299.6726
		(-0.494683)		(0.069518)	(-0.593611)
<b>Tmin</b>			-1704.613	-2058.752	-1573.636
			(-0.401195)	(-0.466652)	(-0.371434)
<b>Tmin<sup>2</sup></b>			-1005.886	-925.3413	-588.6693
			(-1.082130)	(-0.965503)	(-0.636088)
<b>R2</b>	0.547212	0.506942	0.565605	0.509923	0.572712
<b>R2 ajustado</b>	0.51025	0.467497	0.519879	0.459915	0.509074
<b>AK</b>	19.19039	19.26282	19.21973	19.29312	19.22874
<b>SCH</b>	19.37455	19.44531	19.42452	19.5121	19.52072
<b>F – Stat</b>	14.80463	12.85199	12.36948	10.19685	8.999454
<b>Prob F</b>	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
<b>Prob Const.</b>	0.0858	0.66710	0.1382	0.8805	0.5163
<b>Prob Precip</b>	0.2718				0.6845
<b>Prob Precip<sup>2</sup></b>	0.1802				0.8517
<b>Prob Tmax</b>		0.60480		0.9602	0.5199
<b>Prob Tmax<sup>2</sup></b>		0.62300		0.9449	0.5556
<b>Prob Tmin</b>			0.6905	0.6428	0.712
<b>Prob Tmin<sup>2</sup></b>			0.2860	0.3390	0.5278

Los valores entre paréntesis muestran el valor del estadístico "t"

\*, \*\*, \*\*\* Estadísticamente significativo al 1%, 5% y 10% respectivamente

Los resultados contrastan la teoría propuesta en nuestra investigación, puesto que las variables climáticas explican en forma semejante el rendimiento de alfalfa, dado que el estadístico “R2 y R2 ajustado”, tienen semejante comportamiento en las diferentes estimaciones, tanto individuales como grupales.

De la Tabla 8 se puede notar en las estimaciones que las variables independientes no tienen los signos esperados, en el caso de las precipitaciones pluviales su comportamiento relacionado con el rendimiento de alfalfa es inverso y luego la relación es directa, lo que significa que a exceso de precipitaciones pluviales terminan aumentando el rendimiento de alfalfa; En caso de la temperatura máxima

el exceso afecta al rendimiento del cultivo, la relación es directa y luego inversa lo que significa que a deficiencia o exceso de temperatura terminan mermando el rendimiento y por último en el caso de la temperatura mínima ambos signos son negativos, lo cual indica que frente al incremento de las temperaturas el cultivo decrece.

Al observar el valor del coeficiente  $R^2$  en las regresiones individuales se puede notar que las precipitaciones pluviales explican el rendimiento en un 55%, la Temperatura máxima es 51% y la Temperatura mínima en 57%; Mientras que agrupando la Temperatura máxima y Temperatura mínima explican el rendimiento de olluco en 51% y en modelo conjunto incluyendo las tres variables climáticas en estudio explican el rendimiento del cultivo en 57%.

De los tres primeros modelos, la variable que mejor explican el rendimiento del olluco es la precipitación pluvial, es decir la estimación N.º 1, no solo por la relevancia, la dependencia y el ajuste, sino además por el valor del Akaike (AK) de 19.19 y el valor del Schwarz (SCH) es de 19.37, menores que los demás modelos. Ambos criterios de selección indican que las Precipitaciones pluviales son las que mejor explicar el rendimiento de la alfalfa.

En las estimaciones 4 y 5, se puede observar que el mejor modelo según el criterio de Ak y Sch es la estimación 5 ya que tiene los menores valores de estos estadísticos con respecto a la estimación 4. No obstante en ambas estimaciones se observa dependencia conjunta.

Entonces, el modelo elegido para el cultivo de alfalfa es el siguiente:

$$Rend_{alfalfa}_t = 32968.5 - 45.61463 * Precip + 0.030227 * Precip^2$$

De este modelo, se observa que la constante es relevante al 10% el error.

Con respecto a la autocorrelación se analiza el estadístico de Durbin Watson, para ello se hace uso de la tabla de Durbin – Watson a un nivel de significancia del 5%, es así que las estimaciones 1 ,2, 3, 4 no presentan autocorrelación y la estimación 1 caen en región de indecisión. (Anexo 7)

## 4.2. Umbrales óptimos de Temperatura y Precipitaciones Pluviales

A medida que las Temperaturas van aumentando, el rendimiento de los cultivos mejora, pero si este incremento sobrepasa el umbral óptimo de temperatura, entonces este menguará su rendimiento, en tanto empezará a disminuir. Para el caso de las precipitaciones pluviales es de manera similar, ya que los cultivos necesitan riego para poder desarrollarse, no obstante, si las precipitaciones se encuentran por debajo del nivel óptimo el rendimiento de los cultivos estarán también por debajo del óptimo esperado, y si las precipitaciones son excesivas también menguarán su desarrollo por inundaciones (Figura 8).

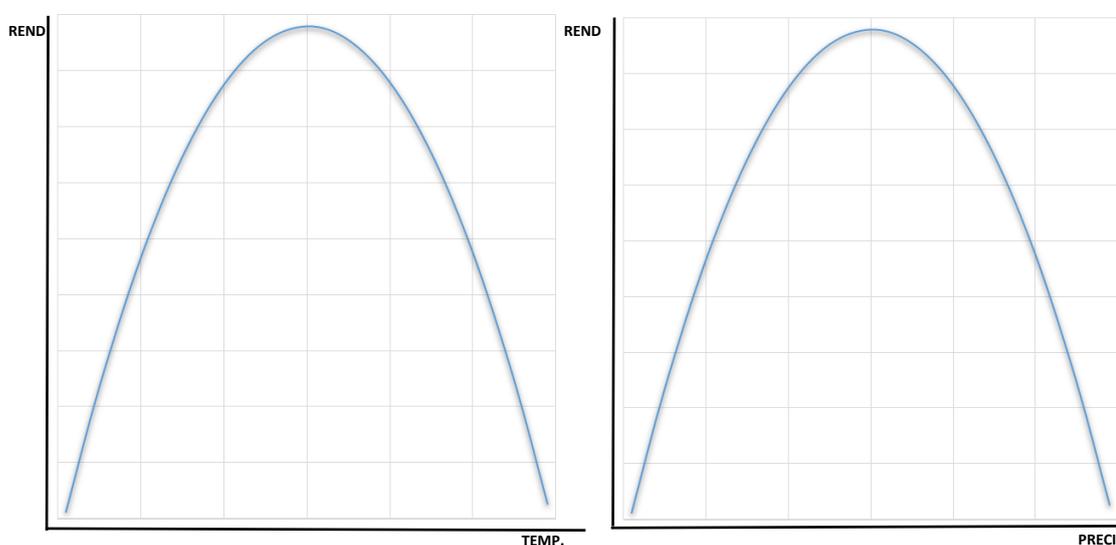


Figura 8. Umbrales de temperatura y precipitaciones pluviales

Fuente: Gómez (1964)

### 4.2.1. Quinua

#### - Precipitación pluvial óptima

A continuación, se describe los resultados obtenidos de las estimaciones relacionando cada una de las variables climáticas de manera individual en base a los datos de la Provincia de Azángaro, estaciones meteorológicas de Arapa, Azángaro, Muñani y Progreso como principal productor de quinua a nivel regional, para proceder a derivar:

Se obtiene la precipitación pluvial óptima para el rendimiento de quinua

$$Rend_t = -4151.968 + 14.35234 Precip_{(Sept-Mayo)t} - 0.010234 Precip_{(Sept-Mayo)t}^2$$

$$\frac{\partial Rend_t}{\partial Precip_{(Sept-Mayo)t}} = 14.35234 - 2 * 0.010234 Precip_{(Sept-Mayo)t} = 0$$

$$Precip_{(Sept-Mayo)t}^* = 701.21 \text{ mm.}$$

De acuerdo a MINAGRI (2015a), las precipitaciones pluviales deben encontrarse dentro de los rangos de 400 – 1000 mm. Estos datos contrastan con nuestros resultados obtenidos, puesto que, para tener un óptimo rendimiento de quinua en la Región Puno, la precipitación pluvial es de 701.21 mm.

#### - **Temperatura máxima óptima**

Se obtiene la temperatura máxima óptima para el rendimiento de quinua

$$Rend_t = -11272.92 + 1500.38 Tmax_{(Sept-Mayo)t} - 45.94 Tmax_{(Sept-Mayo)t}^2$$

$$\frac{\partial Rend_t}{\partial Tmax_{(Sept-Mayo)t}} = 1500.38 - 2 * 45.94 Tmax_{(Sept-Mayo)t} = 0$$

$$Tmax_{(Sept-Mayo)t}^* = 16.33 \text{ °C}$$

De acuerdo al resumen técnico el rango de temperatura debe de encontrarse entre 0°C -20°C para tener un rendimiento ideal de quinua, en este sentido, los resultados evidencian que, para tener un óptimo rendimiento de quinua, la temperatura máxima debe de ser de 16.33°C.

#### - **Temperatura mínima óptima**

Se obtiene la temperatura mínima óptima para el rendimiento de quinua

$$Rend_t = 358.73 + 526.77 Tmin_{(Sept-Mayo)t} - 121.99 Tmin_{(Sept-Mayo)t}^2$$

$$\frac{\partial Rend_t}{\partial Tmin_{(Sept-Mayo)t}} = 526.77 - 2 * 121.99 Tmin_{(Sept-Mayo)t} = 0$$

$$Tmin_{(Sept-Mayo)t}^* = 2.16 \text{ °C}$$

Al comparar este resultado con lo que se especifica en el resumen técnico del cultivo de quinua en el anexo N.º 3-a, el cual establece que este cultivo tolera desde 0°C a 20°C, según las estimaciones la temperatura mínima es de 2.16, la cual se encuentran dentro del rango establecido.

#### 4.2.2. Cebada de grano

##### - Precipitación pluvial óptima

A continuación, se describe los resultados obtenidos de las estimaciones relacionando cada una de las variables climáticas de manera individual en base a los datos de la Provincia de Azángaro, estaciones meteorológicas de Arapa, Azángaro, Muñani y Progreso como principal productor de cebada en grano a nivel regional, para proceder a derivar:

Se obtiene la precipitación pluvial óptima para el rendimiento de cebada en grano:

$$Rend_t = -4646.287 + 16.94072 Precip_{(Octubre-Mayo)t} - 0.012798 Precip_{(Octubre-Mayo)t}^2$$

$$\frac{\partial Rend_t}{\partial Precip_{(Octubre-Mayo)t}} = 16.94072 - 2 * 0.012798 Precip_{(Octubre-Mayo)t} = 0$$

$$Precip_{Cebada}^* = 661.85 \text{ mm.}$$

De acuerdo a SENAMHI, (2011) y Beltran *et al.*, (2011) , las precipitaciones pluviales deben encontrarse dentro de los rangos de 380–800 mm. Estos datos contrastan con nuestros resultados obtenidos, puesto que, para tener un óptimo rendimiento de la cebada en grano en la región Puno, la precipitación pluvial es de 661.85mm.

##### - Temperatura máxima óptima

Se obtiene la temperatura máxima óptima para el rendimiento de cebada

$$Rend_t = -7722.664 + 1043.772 Tmax_{(Octubre-Mayo)t} - 31.20561 Tmax_{(Octubre-Mayo)t}^2$$

$$\frac{\partial Rend_t}{\partial Tmax_{(Octubre-Mayo)t}} = 1043.772 - 2 * 31.20561 Tmax_{(Octubre-Mayo)t} = 0$$

$$Tmax_{Cebada}^* = 16.72 \text{ }^\circ\text{C}$$

De acuerdo al resumen técnico el rango de temperatura debe de encontrarse entre 0°C - 22°C para tener un rendimiento ideal de cebada, en este sentido, los resultados

evidencian que, para tener un óptimo rendimiento de cebada en grano, la temperatura máxima debe de ser de 16.72°C.

#### - **Temperatura mínima óptima**

Se obtiene la temperatura mínima óptima para el rendimiento de cebada en grano:

$$Rend_t = 186.4369 + 621.4507 T_{min(Octubre-Mayo)t} - 117.339 T_{min(Octubre-Mayo)t}^2$$

$$\frac{\partial Rend_t}{\partial T_{min(Octubre-Mayo)t}} = 621.4507 - 2 * 117.339 T_{min(Octubre-Mayo)t} = 0$$

$$T_{min}^*_{Cebada} = 2.65 \text{ °C}$$

Al comparar este resultado con lo que se especifica en el resumen técnico del cultivo de cebada en grano en el anexo N.º 3-b, el cual establece que este cultivo tolera desde 0°C a 22°C, según las estimaciones la temperatura mínima es de 2.65, la cual se encuentran dentro del rango establecido.

### 4.2.3. Papa

#### - **Precipitación pluvial óptima**

A continuación, se describe los resultados obtenidos de las estimaciones relacionando cada una de las variables climáticas de manera individual en base a los datos de la Provincia de Carabaya, estaciones meteorológicas de Macusani y Ollachea como principal productor de papa a nivel regional, para proceder a derivar:

Se obtiene la precipitación pluvial óptima para el rendimiento de papa:

$$Rend_t = -197483.8 + 514.2769 Precip_{(Octubre-Abril)t} - 0.338765 Precip_{(Octubre-Abril)t}^2$$

$$\frac{\partial Rend_t}{\partial Precip_{(Octubre-Abril)t}} = 514.2769 - 2 * 0.338765 Precip_{(Octubre-Abril)t} = 0$$

$$Precip^*_{papa} = 759.05 \text{ mm.}$$

De acuerdo a SENAMHI, (2011) , las precipitaciones pluviales deben encontrarse dentro de los rangos de 500 –1160 mm. Estos datos contrastan con nuestros

resultados obtenidos, puesto que, para tener un óptimo rendimiento de papa en la Región Puno, la precipitación pluvial es de 759.05 mm.

#### - **Temperatura máxima óptima**

Se obtiene la temperatura máxima óptima para el rendimiento de papa:

$$Rend_t = -488235.1 + 55935.50 T_{max(Octubre-Abril)t} - 1573.101 T_{max(Octubre-Abril)t}^2$$

$$\frac{\partial Rend_t}{\partial T_{max(Octubre-Abril)t}} = 55935.50 - 2 * 1573.101 T_{max(Octubre-Abril)t} = 0$$

$$T_{max}^*_{papa} = 17.78^\circ\text{C}$$

De acuerdo al resumen técnico el rango de temperatura debe de encontrarse entre  $-4^\circ\text{C}$  a  $25^\circ\text{C}$  para tener un rendimiento ideal de papa, en este sentido, los resultados evidencian que, para tener un óptimo rendimiento de papa, la temperatura máxima debe de ser de  $17.78^\circ\text{C}$ .

#### - **Temperatura mínima óptima**

Se obtiene la temperatura mínima óptima para el rendimiento de papa

$$Rend_t = -26946 + 11408.84 T_{min(Octubre-Abril)t} - 1502.985 T_{min(Octubre-Abril)t}^2$$

$$\frac{\partial Rend_t}{\partial T_{min(Octubre-Abril)t}} = 11408.8 - 2 * 1502.985 T_{min(Octubre-Abril)t} = 0$$

$$T_{min}^*_{papa} = 3.79^\circ\text{C}$$

Al comparar este resultado con lo que se especifica en el resumen técnico del cultivo de papa en el anexo N.º 3-c, el cual establece que este cultivo tolera desde  $-4^\circ\text{C}$  a  $25^\circ\text{C}$ , según las estimaciones la temperatura mínima es de 3.79, la cual se encuentran dentro del rango establecido.

### **4.2.4. Olluco**

#### - **Precipitación pluvial óptima**

A continuación, se describe los resultados obtenidos de las estimaciones relacionando cada una de las variables climáticas de manera individual en base a los

datos de la Provincia de Carabaya, estaciones meteorológicas de Macusani y Ollachea como principal productor de olluco a nivel regional, para proceder a derivar:

Se obtiene la precipitación pluvial óptima para el rendimiento de olluco

$$Rend_t = -98142.67 + 251.0479 Precip_{(Octubre-Mayo)t} - 0.158985 Precip_{(Octubre-Mayo)t}^2$$

$$\frac{\partial Rend_t}{\partial Precip_{(Octubre-Mayo)t}} = 251.0479 - 2 * 0.158985 Precip_{(Octubre-Mayo)t} = 0$$

$$Precip_{Olluco}^* = 789.53 \text{ mm.}$$

De acuerdo a Suquilada (2012), las precipitaciones pluviales deben encontrarse dentro de los rangos de 600–1000 mm. Estos datos contrastan con nuestros resultados obtenidos, puesto que, para tener un óptimo rendimiento de olluco en la Región Puno, la precipitación pluvial es de 789.53 mm

#### - **Temperatura máxima óptima**

Se obtiene la temperatura máxima óptima para el rendimiento de olluco

$$Rend_t = -242098.4 + 27908.35 Tmax_{(Octubre-Mayo)t} - 786.0984 Tmax_{(Octubre-Mayo)t}^2$$

$$\frac{\partial Rend_t}{\partial Tmax_{(Octubre-Mayo)t}} = 27908.35 - 2 * 786.0984 Tmax_{(Octubre-Mayo)t} = 0$$

$$Tmax_{Olluco}^* = 17.75 \text{ °C}$$

De acuerdo al resumen técnico el rango de temperatura debe de encontrarse entre 1°C a 20°C para tener un rendimiento ideal de olluco, en este sentido, los resultados evidencian que, para tener un óptimo rendimiento de olluco, la temperatura máxima debe de ser de 17.75°C.

#### - **Temperatura mínima óptima**

Se obtiene la temperatura mínima óptima para el rendimiento de olluco

$$Rend_t = -7704.109 + 4579.818 Tmin_{(Octubre-Mayo)t} - 395.4101 Tmin_{(Octubre-Mayo)t}^2$$

$$\frac{\partial Rend_t}{\partial Tmin_{(Octubre-Mayo)t}} = 4579.818 - 2 * 395.4101 Tmin_{(Octubre-Mayo)t} = 0$$

$$Tmin_{olluco}^* = 5.79 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Al comparar este resultado con lo que se especifica en el resumen técnico del cultivo de olluco en el anexo N.º 3-d, el cual establece que este cultivo tolera desde 1°C a 20°C, según las estimaciones la temperatura mínima óptima es de 5.79, la cual se encuentran dentro del rango establecido.

#### 4.2.5. Alfalfa

##### - Precipitación pluvial óptima

A continuación, se describe los resultados obtenidos de las estimaciones relacionando cada una de las variables climáticas de manera individual en base de la Provincia de Melgar, estaciones meteorológicas de Chuquibambilla, Ayaviri, Llally y Santa Rosa como principal productor de alfalfa a nivel regional, para proceder a derivar:

Se obtiene la Precipitación pluvial óptima para el Rendimiento de alfalfa

$$Rend_t = 32968.5 - 45.61463 Precip_t + 0.030227 Precip_t^2$$

$$\frac{\partial Rend_t}{\partial Precip_t} = -45.61463 + 2 * 0.030227 Precip_t = 0$$

$$Precip_{Alfalfa}^* = 754.53 \text{ mm.}$$

De acuerdo a D.R.A.P - Agencia agraria Salcedo (2012) y SENAMHI (2011), las precipitaciones pluviales deben encontrarse dentro de los rangos de 700 – 1200 mm. Estos datos contrastan con nuestros resultados obtenidos, puesto que, para tener un óptimo rendimiento de alfalfa en la Región Puno, la precipitación pluvial es de 754.53 mm.

##### - Temperatura máxima óptima

Se obtiene la temperatura máxima óptima para el rendimiento de alfalfa

$$Rend_t = -65204.99 + 9533.126 Tmax_t - 274.4552 Tmax_t^2$$

$$\frac{\partial Rend_t}{\partial T_{max_t}} = 9533.126 - 2 * 274.4552 T_{max_t} = 0$$

$$T_{max_{olluco}}^* = 17.36 \text{ °C}$$

De acuerdo al resumen técnico el rango de temperatura debe de encontrarse entre -10°C a 28°C para tener un rendimiento ideal de alfalfa, en este sentido, los resultados evidencian que, para tener un óptimo rendimiento de alfalfa, la temperatura máxima debe de ser de 17.36°C.

#### - **Temperatura mínima óptima**

Se obtiene la temperatura mínima óptima para el rendimiento de alfalfa

$$Rend_t = 25326.59 - 1704.613 T_{min_t} - 1005.886 T_{min_t}^2$$

$$\frac{\partial Rend_t}{\partial T_{min_t}} = -1704.613 - 2 * 1005.886 T_{min_t} = 0$$

$$T_{min_{olluco}}^* = -0.85 \text{ °C}$$

Al comparar este resultado con lo que se especifica en el resumen técnico del cultivo de alfalfa en el anexo N.º 3-e, el cual establece que este cultivo tolera desde -10°C a 28°C, según las estimaciones la temperatura mínima es de -0.85, la cual se encuentran dentro del rango establecido.

### **4.3. Rendimiento de los Principales cultivos en la Región Puno en el periodo 2020 al 2025**

Para ver lo que sucede a lo largo de los 6 años próximos se hizo un pronóstico al 2025 en base al estudio “Evaluación de los modelos CMIP5 del IPCC en el Perú: Proyecciones al año 2030 en la región Puno” elaborado por el SENAMHI, donde realiza el pronóstico de precipitaciones pluviales y temperaturas en la Región Puno por zonas geográficas y estaciones del año. (Anexo 8).

Las proyecciones del clima son inciertas. Es esencial reconocer y tratar de cuantificar estas incertidumbres, no ignorarlas (SENAMHI, 2013). Según el IPCC (2007) la temperatura del aire de la tierra está en tendencia creciente desde hace varias décadas; desde comienzos del siglo XX la temperatura media global se ha incrementado en 0.74°C,

y los últimos 12 años 2000-2011 son considerados como los más cálidos de los últimos 100 años.

### - **Proyecciones de la precipitación**

En general, la precipitación es una variable no muy bien simulada como la temperatura debido a que involucra procesos locales muy complejos, en consecuencia, las proyecciones de la precipitación son menos robustas que las de la temperatura de aire.(Christensen *et al.*, 2010).

Tabla 9

*Proyecciones de cambios en la precipitación acumulada promedio según estaciones en la Provincia de Azángaro*

<b>Estaciones</b>	<b>Precipitación proyectada</b>
Verano (diciembre - febrero)	Incremento de 6% a 9%
Otoño (marzo - mayo)	Incremento de 6% a 9%
Invierno (junio - agosto)	Incremento de -3% a 0%
Primavera (septiembre - noviembre)	Incremento de 3% a 6%

Fuente: Elaboración propia en base a SENAMHI (2013), Anexo 8

La Tabla 9 es útil para proyectar el rendimiento de cultivos de quinua y la cebada en grano, los cuales inician su campaña agrícola desde el mes de septiembre a mayo, en este sentido la variación promedio de precipitaciones pluviales acumuladas durante la campaña agrícola de estos cereales es de 6.5%.

Tabla 10

*Proyecciones de cambios en la precipitación acumulada promedio según estaciones en la Provincia de Carabaya*

<b>Estaciones</b>	<b>Precipitación proyectada</b>
Verano (diciembre - febrero)	Incremento de 9% a 12%
Otoño (marzo - mayo)	Incremento de 3% a 6%
Invierno (junio - agosto)	Incremento de 0% a 3%
Primavera (septiembre - noviembre)	Incremento de -3% a 0%

Fuente: Elaboración propia en base a SENAMHI (2013), Anexo 8

La Tabla 10 es útil para proyectar el rendimiento de cultivos de papa y olluco, los cuales inician su campaña agrícola desde el mes de octubre a mayo, en este sentido la variación

promedio de precipitaciones pluviales acumuladas durante la campaña agrícola de estos tubérculos es de 4.5%.

Tabla 11

*Proyecciones de cambios en la precipitación acumulada promedio según estaciones en la Provincia de Melgar*

<b>Estaciones</b>	<b>Precipitación proyectada</b>
Verano (diciembre - febrero)	Incremento de 6% a 9%
Otoño (marzo - mayo)	Incremento de 6% a 9%
Invierno (junio - agosto)	Incremento de -9% a - 6%
Primavera (septiembre - noviembre)	Incremento de 3% a 6%

Fuente: Elaboración propia en base a SENAMHI (2013), Anexo 8

De la misma forma, la Tabla 11 es útil para proyectar el rendimiento del cultivo de alfalfa, el cual es productivo durante todo el año, en este sentido la variación promedio de precipitaciones pluviales acumuladas es de 3%.

#### - **Proyecciones de la Temperatura del aire.**

Los patrones de cambio de las temperaturas extremas del aire anuales son más claros, homogéneos y progresivos a diferencia de las precipitaciones, es decir, los resultados muestran un patrón de calentamiento a nivel anual en promedio para todas las zonas de la región de Puno, con incrementos de alrededor de  $+1,7^{\circ}\text{C}$ , tanto para la temperatura máxima como para la temperatura mínima.

Estacionalmente, se mantiene el patrón anual, aunque no todas las zonas de la región experimentarían el mismo grado de calentamiento. Para la temperatura máxima, el cambio sería más notable ( $+1,9^{\circ}\text{C}$ ) en invierno, principalmente al sur oeste de la región; mientras que en verano, otoño y primavera los incrementos estarían entre  $+1,4^{\circ}\text{C}$  y  $+1,8^{\circ}\text{C}$ . En cuanto al comportamiento estacional de la temperatura mínima, se observa que el mayor incremento se daría en invierno y primavera en un orden de  $+1,9^{\circ}\text{C}$  principalmente en la zona sur oeste de la región; mientras que en verano y otoño el incremento en general estaría alrededor de  $+1,7^{\circ}\text{C}$ .

Tabla 12

*Proyecciones de cambios en la temperatura máxima promedio según estaciones en la Provincia de Azángaro*

<b>Estaciones</b>	<b>Temperatura máxima proyectada</b>
Verano (diciembre - febrero)	Incremento de 1.35 a 1.45°C
Otoño (marzo - mayo)	Incremento de 1.35 a 1.45°C
Invierno (junio - agosto)	Incremento de 1.75 a 1.85°C
Primavera (septiembre - noviembre)	Incremento de 1.45 a 1.55°C

Fuente: Elaboración propia en base a SENAMHI (2013), Anexo 8

La Tabla 12 es útil para proyectar el rendimiento de cultivos de quinua y la cebada en grano, los cuales inician su campaña agrícola desde el mes de septiembre al mayo, en este sentido la variación promedio de temperatura máxima durante la campaña agrícola de estos cereales es de 1.43°C.

Tabla 13

*Proyecciones de cambios en la temperatura máxima promedio según estaciones en la Provincia de Carabaya*

<b>Estaciones</b>	<b>Temperatura máxima proyectada</b>
Verano (diciembre - febrero)	Incremento de 1.35 a 1.45°C
Otoño (marzo - mayo)	Incremento de 1.35 a 1.45°C
Invierno (junio - agosto)	Incremento de 1.45 a 1.55°C
Primavera (septiembre - noviembre)	Incremento de 1.45 a 1.55°C

Fuente: Elaboración propia en base a SENAMHI (2013), Anexo 8

La Tabla 13 es útil para proyectar el rendimiento de cultivos de papa y olluco, los cuales inician su campaña agrícola desde el mes de octubre al mayo, en este sentido la variación promedio de temperatura máxima durante la campaña agrícola de estos tubérculos es de 1.43°C.

Tabla 14

*Proyecciones de cambios en la temperatura máxima promedio según estaciones en la Provincia de Melgar*

<b>Estaciones</b>	<b>Temperatura máxima proyectada</b>
Verano (diciembre - febrero)	Incremento de 1.35 a 1.45°C
Otoño (marzo - mayo)	Incremento de 1.35 a 1.45°C
Invierno (junio - agosto)	Incremento de 1.75 a 1.85°C
Primavera (septiembre - noviembre)	Incremento de 1.45 a 1.55°C

Fuente: Elaboración propia en base a SENAMHI (2013), Anexo 8

De mismo modo, la Tabla 14 es útil para proyectar el rendimiento del cultivo de alfalfa, el cual es productivo durante todo el año, en este sentido la variación promedio de temperatura máxima es de 1.525°C.

Tabla 15

*Proyecciones de cambios en la temperatura mínima promedio según estaciones en la Provincia de Azángaro*

<b>Estaciones</b>	<b>Temperatura mínima proyectada</b>
Verano (diciembre - febrero)	Incremento de 1.35 a 1.45°C
Otoño (marzo - mayo)	Incremento de 1.45 a 1.55°C
Invierno (junio - agosto)	Incremento de 1.45 a 1.55°C
Primavera (septiembre - noviembre)	Incremento de 1.45 a 1.55°C

Fuente: Elaboración propia en base a SENAMHI (2013), Anexo 8

La Tabla 15 es útil para proyectar el rendimiento de cultivos de quinua y la cebada en grano, los cuales inician su campaña agrícola desde el mes de septiembre al mayo, en este sentido la variación promedio de temperatura mínima durante la campaña agrícola de estos cereales es de 1.47°C.

Tabla 16

*Proyecciones de cambios en la temperatura mínima promedio según estaciones en la Provincia de Carabaya*

<b>Estaciones</b>	<b>Temperatura mínima proyectada</b>
Verano (diciembre - febrero)	Incremento de 1.25 a 1.35°C
Otoño (marzo - mayo)	Incremento de 1.35 a 1.45°C

Invierno (junio - agosto)	Incremento de 1.55 a 1.66°C
Primavera (septiembre - noviembre)	Incremento de 1.35 a 1.45°C

Fuente: Elaboración propia en base a SENAMHI (2013), Anexo 8

La Tabla 16 es útil para proyectar el rendimiento de cultivos de papa y olluco, los cuales inician su campaña agrícola desde el mes de octubre al mayo, en este sentido la variación promedio de temperatura mínima durante la campaña agrícola de estos tubérculos es de 1.37°C.

Tabla 17

*Proyecciones de cambios en la temperatura mínima promedio según estaciones en la Provincia de Melgar*

<b>Estaciones</b>	<b>Temperatura mínima proyectada</b>
Verano (diciembre - febrero)	Incremento de 1.45 a 1.55°C
Otoño (marzo - mayo)	Incremento de 1.45 a 1.55°C
Invierno (junio - agosto)	Incremento de 1.45 a 1.55°C
Primavera (septiembre - noviembre)	Incremento de 1.55 a 1.66°C

Fuente: Elaboración propia en base a SENAMHI (2013), Anexo 8

La Tabla 17 es útil para proyectar el rendimiento del cultivo de alfalfa, el cual tiene producción durante el año, en este sentido la variación promedio de temperatura mínima es de 1.526°C.

Analizando en base al pronóstico, el efecto que tienen las variables climáticas en el Rendimiento de quinua es perjudiciales a largo plazo, el rendimiento se reduciría en un 35.33% en referencia al 2019, entonces si no se toma medidas de mitigación y adaptación, considerando de las Precipitaciones pluviales y temperaturas va ascendiendo, se podría traducir en bajos ingresos de los agricultores viéndose afectada la calidad de vida y seguridad alimentaria (Figura 9).

AÑO	REND
2020	1004.58
2021	851.48
2022	813.819
2023	772.102
2024	736.583
2025	684.261

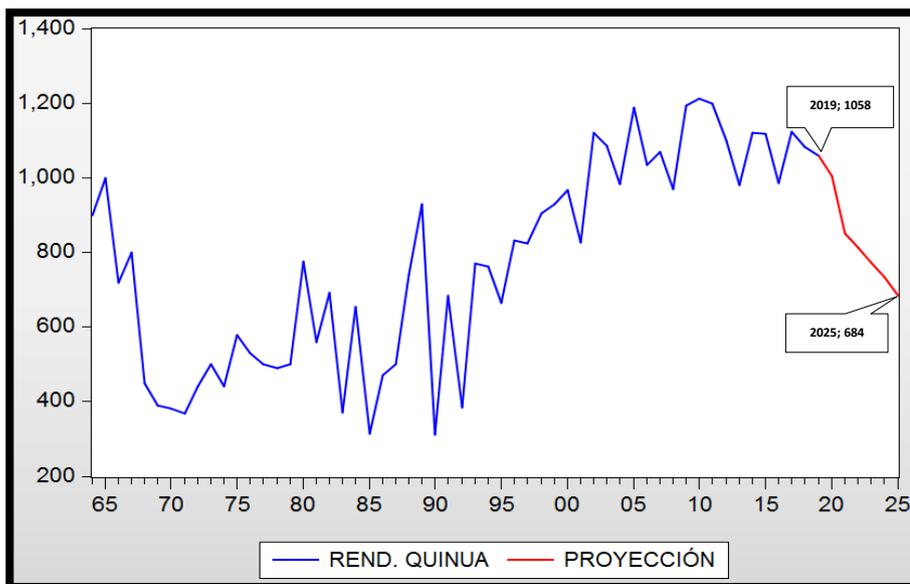


Figura 9. Proyección del rendimiento de Quinoa en la Región Puno al 2025

Examinando en base al pronóstico, el efecto que tienen las variables climáticas en el rendimiento de cebada en grano es perjudiciales a largo plazo, el rendimiento se reduciría en un 39.13% en referencia al 2019, entonces si no se toma medidas de mitigación y adaptación, considerando de las precipitaciones pluviales y temperaturas va ascendiendo, se podría traducir en bajos ingresos de los agricultores viéndose afectada la calidad de vida y seguridad alimentaria (Figura 10).

AÑO	REND
2020	967.90
2021	813.52
2022	772.01
2023	727.38
2024	685.35
2025	632.40

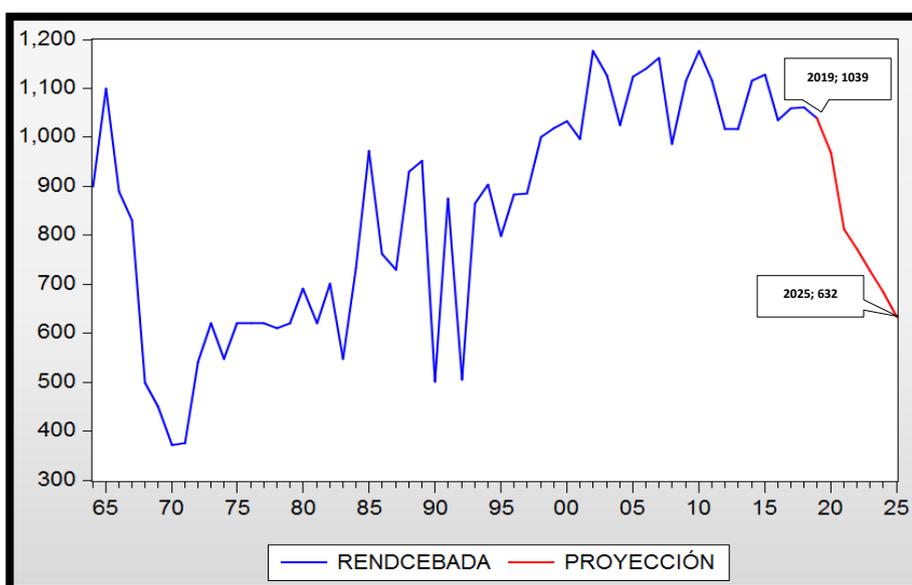


Figura 10. Proyección del rendimiento de Cebada en la Región Puno al 2025

Analizando en base al pronóstico, el efecto que tienen las variables climáticas en el rendimiento de papa es perjudiciales a largo plazo, el rendimiento se reduce en un 38.82%

en referencia al 2019, entonces si no se toma medidas de mitigación y adaptación, considerando de las precipitaciones pluviales y temperaturas va ascendiendo, se podría traducir en bajos ingresos de los agricultores viéndose afectada la calidad de vida y seguridad alimentaria (Figura 11).

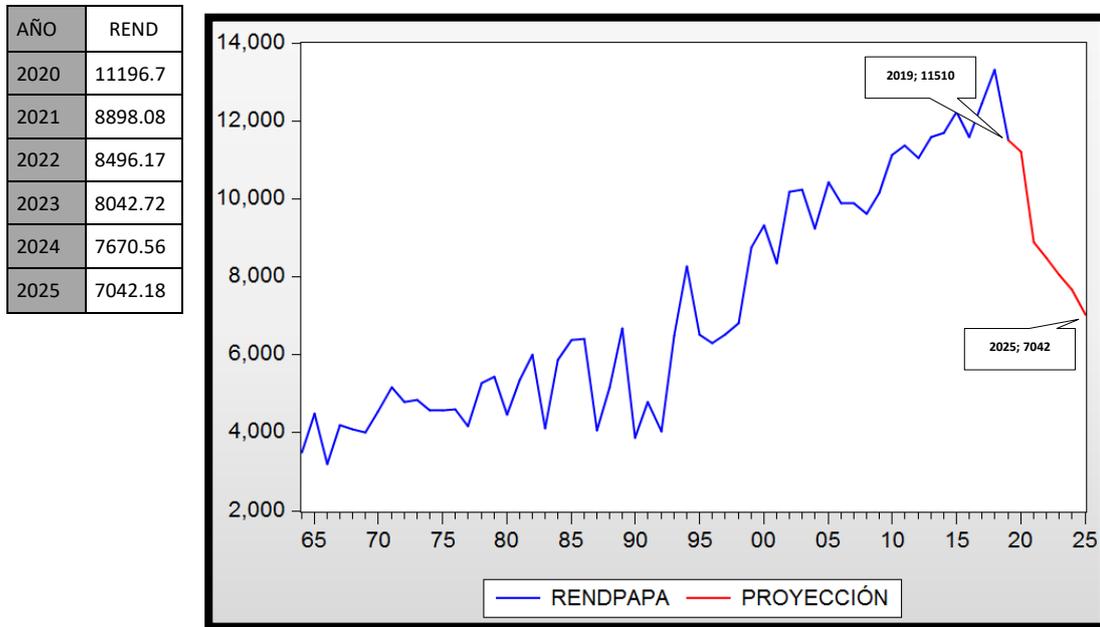


Figura 11. Proyección del rendimiento de papa en la Región Puno al 2025

Examinando en base al pronóstico, el efecto que tienen las variables climáticas en el rendimiento de olluco es perjudiciales a largo plazo, el rendimiento se reduce en un 32.53% en referencia al 2019, entonces si no se toma medidas de mitigación y adaptación, considerando de las precipitaciones pluviales y temperaturas va ascendiendo, se podría traducir en bajos ingresos de los agricultores viéndose afectada la calidad de vida y seguridad alimentaria (Figura 12).

AÑO	REND
2020	5896.77
2021	5671.00
2022	5281.10
2023	4839.20
2024	4549.25
2025	3921.56

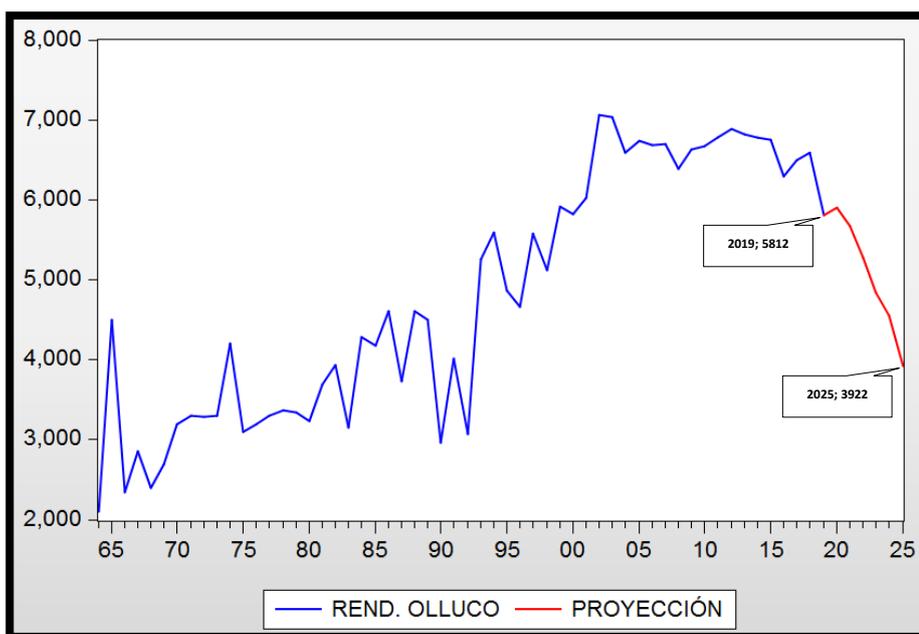


Figura 12. Proyección del rendimiento de olluco en la Región Puno al 2025

Concretizando en base a las cuatro predicciones presentadas en los anteriores cuadros, los posibles efectos que tienen las variables climáticas en el rendimiento de los cultivos de quinua, cebadas en grano, papa y olluco son perjudiciales a largo plazo de no se tomarse medidas de mitigación y adaptación.

Por otro lado, considerando en base al pronóstico, el efecto que tienen las variables climáticas en el Rendimiento de alfalfa no es perjudiciales a largo plazo, por el contrario, la alfalfa por ser un cultivo resistente y que se adapta a condiciones climáticas adversas, presenta rendimientos crecientes al cabo de los 6 años de proyección, cabe destacar que al inicio de la proyección en el 2020 su rendimiento decreció, sin embargo, este cultivo se adapta rápidamente (Figura 13).

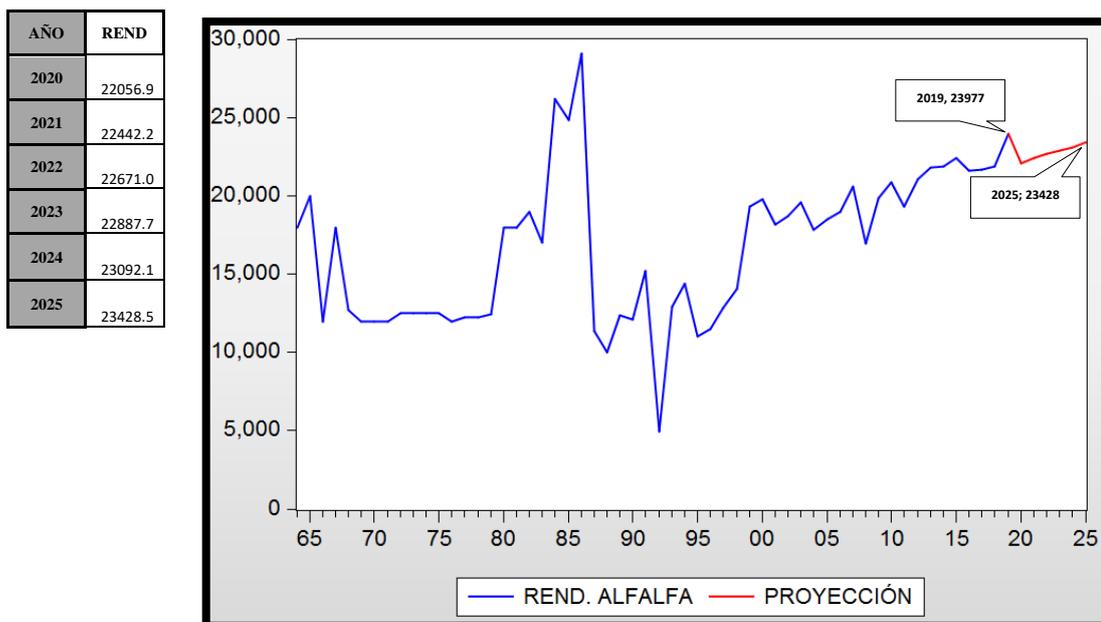


Figura 13. Proyección del Rendimiento de alfalfa en la Región Puno al 2025

## DISCUSIÓN

El rendimiento agrícola de los cultivos en estudio son fluctuante a lo largo de 55 años, presentando disminución en todos los cultivos en los años 90 y 92 debido al descenso en las precipitaciones pluviales y temperaturas mínimas recomendadas por el MINAGRI, lo cual está en concordancia con el estudio de Endara *et al.* (2019) y especialistas del Grupo de Trabajo de Sequias (GTS) del SENAMHI, los cuales concluyen que en el periodo 1981-2018, las sequias se presentaron con intensidad de moderada a extremadamente seco en los años 1982, 1983, 1985, 1987, 1988, 1990, 1992, 2004 y 2005 perjudicando el sector agropecuario. La más severa fue la sequía del año 1992 afectando a 16 departamentos entre ellos la Región Puno.

El Rendimiento de los cultivos de quinua, cebada en grano, papa, olluco y alfalfa tiene una relación significativa alta es decir  $R^2$  es 90%, 83%, 96%, 87% y 57% respectivamente, estos resultados están en relación con otros estudios como el de Marón (2010) el cual confirma que las variables climáticas en su conjunto explican el rendimiento de avena forrajera en 68%, cebada forrajera 70.91%, cañihua 58.30% y avena en grano 53.17%. Por su parte Belizario (2015) señala que la relación significativa entre el Rendimiento de haba y las variables climáticas en 0.491, lo que indica que el 49.1% de las variaciones en el rendimiento de haba son consecuencia de las variaciones en el clima, así mismo , un aproximado de 44% de las variaciones en el rendimiento de papa se dan a

consecuencia de los cambios en el clima, de esa forma se corrobora Espinoza *et al.* (2008) que el Rendimiento agrícola depende de los factores climáticos en más del 40%.

Se ha estimado las Temperaturas máxima y mínimas óptimas que hacen posible maximizar el rendimiento de cada uno de los cultivos en estudio, resultando que las Temperaturas óptimas para el cultivo de papa es 17.78°C y 3.79°C, para el cultivo de quinua es 16.33°C y 2.15°C, para la cebada es de 16.72°C y 2.65°C, las cuales se encuentra en concordancia con el estudio de Tonconi (2015), el cual sostiene que las temperaturas óptimas son de 13.52°C y 3.79°C para el cultivo de papa, 19.39°C y 3.80°C para el cultivo de quinua, 15.91°C y 4.66°C para la cebada. Así mismo las Precipitaciones pluviales óptimas para maximizar el rendimiento de quinua, cebada en grano, papa, olluco y alfalfa son 701.21 mm, 661.85 mm, 759.05 mm, 789.53 mm y 754.53 mm , los cuales se relacionan con el estudio de Marón (2010) el cual expresa que las precipitaciones óptimas para los cultivos de quinua, cebada, papa y alfalfa son 597.29 mm, 801.64 mm, 562.76 mm y 751.96 mm, los cuales se encuentran en conformidad con el Resumen Técnico de la Dirección Regional Agraria de Puno.

El rendimiento de los cultivos de quinua, cebada en grano, papa y olluco resultan afectados tras el incremento promedio de las temperaturas de 1.53°C a 1.45 °C y precipitaciones pluviales de 4.5% a 3%, en ese sentido el rendimiento agrícola presentan tendencia decreciente al final del 2025 presentando pérdidas de 39.13% a 32.53% del rendimiento agrícola, lo anterior está en concordancia al estudio de Quispe (2015), el cual sostiene que la temperatura máxima aumentará entre 4.4°C y 1.3°C y la precipitaciones se aumentarán entre 4.8% a 3.8% respectivamente, coincidiendo con Cline (2004) el cual indica que las variación promedio en temperaturas extremas son de 0.2°C correspondiente al 2% por cada década, ocasionando pérdidas de entre 0.58% y 0.26 % del PBI regional al 2035.

## CONCLUSIONES

- PRIMERA:** El efecto que tiene el cambio climático tras el incremento de las precipitaciones pluviales y temperaturas en el rendimiento de los cultivos de quinua, cebada en grano, papa y olluco en la Región Puno son negativos, ya que a medida que se eleva la temperatura sobrepasando el umbral óptimo del cultivo el rendimiento se reduce, sin embargo, el efecto que tiene el cambio climático en el rendimiento de alfalfa es positivo al tratarse de un cultivo tolerante a las variaciones climáticas.
- SEGUNDA:** El comportamiento del Rendimiento de los principales cultivos de la Región Puno presenta tendencia creciente a lo largo de los 55 años analizados, Así mismo, todas las series son estacionarias en sus primeras diferencias; Los resultados del análisis nos muestra que las variables climáticas (precipitaciones pluviales , temperatura máxima y temperatura mínima) en su conjunto afectan el rendimiento del cultivo de quinua en 90% , cebada en grano en 83%, papa en 96%, olluco 87% y alfalfa en 57%; Realizando el análisis de manera individual las Precipitaciones Pluviales afecta al Rendimiento de quinua en 81% , de Cebada en grano en 86% , de papa en 94% , de olluco en 92% y de alfalfa 55% ; La temperatura máxima afecta al rendimiento de quinua en 87%, de cebada en grano en 86%, de papa en 81%, de olluco en 81% y de alfalfa 51%, y por último la temperatura mínima afecta al rendimiento de quinua en 83% , de cebada en grano en 87% , de papa en 93% , de olluco en 83% y de alfalfa 57%.
- TERCERA:** Para todos los cultivos en estudio existe un umbral de precipitaciones y temperaturas óptimas que maximizan el rendimiento, sobrepasando estos valores, los cultivos se ven afectados; Para la quinua el nivel óptimo de precipitaciones pluviales es de 701.21 mm., temperatura máxima de 16.33°C y temperatura mínima de 2.16°C; Para la cebada el nivel óptimo de precipitaciones pluviales es de 661.85 mm,



temperatura máxima de 16.72°C y temperatura mínima de 2.65°C; Para la papa el nivel óptimo de precipitaciones pluviales es de 759.05 mm., temperatura máxima de 17.78°C y temperatura mínima de 3.80°C; Para el olluco el nivel óptimo de precipitaciones pluviales es de 789.53 mm., temperatura máxima de 17.75°C y temperatura mínima de 5.79°C y finalmente para la alfalfa el nivel óptimo de Precipitaciones pluviales es de 754.53 mm., temperatura máxima de 17.37°C y temperatura mínima de -0.85°C.

**CUARTA:** Según las proyecciones al año 2025, el rendimiento de los cultivos de quinua, cebada en grano, papa y olluco tiene tendencia decreciente, es decir el incremento de las temperaturas y precipitaciones pluviales son perjudiciales para el rendimiento de estos cultivos; Por el contrario, el cultivo de alfalfa presenta tendencia creciente a lo largo de los 6 años de proyección.

## RECOMENDACIONES

- PRIMERA:** Se recomienda que los entes gubernamentales como gobiernos regionales, locales, INIA, DRAP, Agro Rural impulsen capacitaciones en gestión de riesgos y cumplimiento de medidas de adaptación al cambio climático mediante la modificación de fechas de siembra, cambio de tipo de cultivos o variedades a unas más resistentes; así mismo construcción de reservorios y defensas ribereñas para prevención y reducción de riesgos por inundaciones y sequías en zonas vulnerables para contrarrestar sus efectos en bien de los agricultores y de la economía de la región.
- SEGUNDA:** A los investigadores se recomienda incorporar mayor información de otros factores climático que afectan la agricultura de la Región, de esa manera se puede obtener mejores resultados y hacer más minucioso el análisis añadiendo variables como la amplitud de la temporada de sequía, los vientos, humedad, entre otras variables.
- TERCERA:** A los agricultores se recomienda impulsar técnicas agroecológicas mediante la asociación de cultivos favorables, asociación con plantas que producen compuestos agroquímicos como por ejemplo el ajenojo, tomillo, ortiga y plantas aromáticas repelentes que usualmente se siembran bordeando los extremos de los surcos como barreras protectoras: ajo, albaca, achicoria, además, aplicación de abonos nitrogenados por medio del cultivo de leguminosas forrajeras. Al mismo tiempo, aplicar rotación de cultivos, barbecho o descanso de tierras y colocación de cobertura natural o mantillas para garantizar la calidad en los cultivos de manera amigable con el ecosistema.



**CUARTA:** Se recomienda también a los agricultores hacer uso de mecanismos de tolerancia frente al estrés térmico mediante reforestación con cultivos nativos que capten agua como es el sembrío de queñuales, así mismo, recurrir a transiciones agroforestales para recuperar la calidad de los suelos como asociación de sembríos, elaboración de composta, reducir el uso de plaguicidas y uso de semillas nativas. Fortalecer programas de información y sensibilización en favor del medio ambiente, con acciones integrales de reforestación, uso adecuado del agua, prácticas agrícolas orgánicas y otras medidas de adaptación y mitigación, así mismo los agricultores deben tomar conciencia sobre las medidas de adaptación para cultivos andinos, y organizarse por cultivos o en forma conjunta, formando un frente común para afrontar y proteger sus cultivos y con ellos su seguridad alimentaria.

## BIBLIOGRAFÍA

- Adams, R. (1989). Global Climate Change and Agriculture: an Economic Perspective. *Revista Estadounidense de Economía Agrícola*.  
<https://www.jstor.org/stable/1243120?seq=1>
- Aguilar, Y. (2011). *Impactos del Cambio Climático en la agricultura de America Central y en las familias productoras de granos básicos*.
- Alarcón, C., Trebejo, I., Sanabria, J., & Canchari, G. (2011). *Impacto del Cambio climático en cultivos anuales de las Regiones de Cusco y Apurímac*.
- Arizaca, J. (2013). *Efectos del Cambio Climático en la Producción de cultivos en la vertiente del lago Titicaca*.
- Bascopé, A. (2013). *Cambio Climático Impacto en la Agricultura Heladas y Sequías*.
- Batista, D., & Ponvert, D. (2016). *Algunas consideraciones sobre el comportamiento de la sequía agrícola en la agricultura de Cuba y el uso de imágenes por satélites en su evaluación*. 37(3), 22–41. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4591.3843>
- Belizario, G. (2015). *Efectos del cambio climático en la agricultura de la cuenca Ramis, Puno-Perú*. 3, 4–9.
- Beltran, S., Loredó, C., & Zamora, M. (2011). *Manejo integrado del cultivo de cebada en condiciones de temporal en San Luis Potosí* (Issue 40).
- Benavides, H., & León, G. (2007). Información técnica sobre gases de efecto Invernadero y el Cambio Climático. *Ideam*, 1–102. <https://doi.org/IDEAM-METEO/008-2007>
- Benique, E. (2019). Impacto del cambio climático en el rendimiento de la producción de cañihua (*Chenopodium pallidicaule*) en la Región - Puno. *Scielo*, 21. [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2313-29572019000200002&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2313-29572019000200002&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt)
- Calla, J. (2012). Manejo agronómico del Cultivo de quinua. *Agrobanco*, 1–40. [file:///C:/Users/youhe/Downloads/kdoc\\_o\\_00042\\_01.pdf](file:///C:/Users/youhe/Downloads/kdoc_o_00042_01.pdf)
- Ccama, F. (1991). *La estructura y evolución de la producción agropecuaria en el Departamento de Puno, período 1970-1988*. Serie de Estudios Técnicos N° 1,

- Proyecto de Investigación de Sistemas Agropecuarios Andinos, PISA-INIA.
- Cegarra, J. (2004). *Metodología de la Investigación Científica y Tecnológica*.
- CEPAL. (2015). La economía del cambio climático en América Latina y el Caribe : Paradojas y desafíos del desarrollo sostenible. *Naciones Unidas*.
- CEPAL, & BIM. (2014). *La economía del cambio climático en el Perú*. 1–152.
- CEPAL, & Quiroga, R. (2017). Indicadores de Cambio Climático en América Latina y el Caribe. *Unidad de Estadísticas Económicas y Ambientales División de Estadísticas*.
- Christensen, O., Hirschi, M., Seneviratne, S., Alexandrov, V., Boberg, F., Boroneant, C., Formayer, H., Orłowsky, B., & Stepanek, P. (2010). Observational evidence for soil-moisture impact on hot extremes in southeastern Europe. *Nature Geoscience*, 3(12), 1–5. <https://doi.org/10.1038/ngeo1032>
- Climate Action Tracker. (2017). *Promedio de calentamiento (°C) proyectado para el 2100*. <https://www.bbc.com/mundo/noticias-46426822>
- Cline, W. (2004). *The Challenge of Global Warming*. <https://www.copenhagenconsensus.com/sites/default/files/CP+-+Global+Warming+FINISHED.pdf>
- D.R.A.P - Agencia agraria Salcedo. (2012). Alfalfa : reina de las forrajeras. *Boletín Informativo*.
- Dirección Regional Agraria - Puno. (2019). *Información estadística agrícola*. Serie Histórica de Producción Agrícola. <https://www.agropuno.gob.pe/estadistica-agricola/>
- Ellis, H., Hadley, P., Roberts, E., & Summerfield, R. (1990). *Quantitative relations between temperature and crop development and growth*.
- Endara, S., Acuña, J., Vega, F., Febre, C., & Ávalos, G. (2019). Caracterización espacio temporal de la sequía en los departamentos altoandinos del Perú (1981-2018). *SENAMHI*.
- Erreis, R. (2015). *Evaluación del efecto del Cambio climático en los cultivos de la zona de Santa Rosa de Cusubamba , Cantón Cayambe , Provincia de Pichincha*. 66.

- Espinoza, R., Higinio, F., Labrador, M., Paz, C. La, Amador, M., Hernández, G., & Luis, J. (2008). *Influencia de los factores agroclimáticos en la productividad de albahaca (Ocimum basilicum L.) en una zona árida de Baja California Sur, México.*
- Fernandez, M. (2013). *Efectos del cambio climático en la Producción y Rendimiento de cultivos por sectores.* 50.  
<http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21138/Efectos+del+Cambio+Climatic+o+en+la+agricultura.pdf/3b209fae-f078-4823-afa0-1679224a5e85>
- Fernández, M. (2013). Efectos del cambio climático en el rendimiento de tres cultivos mediante el uso del Modelo AquaCrop. *Ideam*, 0–103.
- Field, C., Barros, V., Mastrandrea, M., Mach, K., Abdrabo, M., & Anokhin, Y. (2014). *Climate Change 2014 : Impact, Adaption and Vulnerability.*
- Fleischer, A., Lichtman, I., & Mendelsohn, R. (2007). Climate Change, Irrigation, and Israeli Agriculture: Will Warming Be Harmful? *Scielo*, 5.
- Galindo, L. (2009). *La economía del Cambio Climático en México.*  
<https://es.scribd.com/document/310548250/La-economia-del-cambio-climatico-en-Mexico-Sintesis-Galindo-Luis-Miguel-2009-pdf>
- Gobierno Regional Puno. (2015). *Estudio de uso actual de tierras.*
- Gómez, E. (1964). Funciones de producción en la agricultura. *Dialnet*, 48.  
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2203356>
- Gómez, L., & Aguilar, E. (2016). *Guía del cultivo de la quinua* (Vol. 1).  
<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Gonzáles, E. (2017). La agricultura y el cambio climático. *Asociación Española Agricultura de Conservación. Suelos Vivos (AEAC.SV).*  
<http://www.agriculturadeconservacion.org/>
- González, D., & Galera, K. (2014). Efectos del cambio climático sobre la producción de papa en el municipio de Villapinzón (Cundinamarca-Colombia) a partir del Enfoque Ricardiano. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 5.  
<http://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/riaa/article/view/958>

- Grageda, J. G., Ariel, J., Corral, R., Jiménez, A., Alberto, A., Castillo, F., & Lawrence, N. (2014). *Influencia del cambio climático en el desarrollo de plagas y enfermedades de cultivos en Sonora*.
- Gujarati, D., & Porter, D. (2010). *Econometría*. (Quinta edición, Vol. 4, Issue 3).  
<http://marefateadyan.nashriyat.ir/node/150>
- Gutenberg, E. (1972). *Fundamentos de la economía de empresa*.  
<https://docplayer.es/73750447-De-la-produccion-industrial-con.html>
- Hernández, Allan. (2008). *El método hipotético-deductivo como legado del positivismo lógico y el racionalismo crítico: Su influencia en la economía*. 2, 183–195.
- Hernández, Arturo, Ramos, M., Placencia, B., Indacochea, B., Quimis, A., & Moreno, L. (2018). *Metodología de la investigación científica*.
- Iglesias, A., Avis, K., Benzie, M., Fisher, P., Harley, M., Hodgson, N., Horrocks, L., Moneo, M., & Webb, J. (2007). *Adaptation to Climate Change in the Agricultural Sector. I*.
- INEI. (2014). *Características Socioeconómicas del productor agropecuario en el Perú. IV Censo Nacional Agropecuario 2012*.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2011). *Compendio estadístico. 2011*.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2016). *Encuesta Nacional Demográfica y de Salud Familiar 2016*.  
[https://www.inei.gov.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones\\_digitales/Est/Lib1433/index.html](https://www.inei.gov.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1433/index.html)
- Instituto Nacional de Estadísticos y Censos. (2011). *Reporte estadístico del Sector Agropecuario*. 5, 48.
- IPCC. (2012). *Gestión de los riesgos de fenómenos meteorológicos extremos y desastres para mejorar la adaptación al cambio climático*.
- Liuhto, M., Mercado, G., & Aruquipa, R. (2016). *El cambio climático sobre la producción de quinua en el altiplano boliviano y la capacidad de adaptación de los agricultores*. 3(2), 166–178.

- Lobell, D., Burke, M., Tebaldi, C., Mastrandrea, M., Falcon, W. P., & Naylor, R. L. (2008). *Prioritizing Climate Change Adaptation Needs for Food Security in 2030*. 319(February).
- López, C. (2011). Variación en rendimiento de grano, biomasa y número de granos en cebada bajo tres condiciones de humedad del suelo. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 14, 907–918.
- López, O. (2015). *Efectos del Cambio Climático en el Rendimiento del trigo , el maíz y el arroz en America Latina*.
- Lutaladio, N., & Castaldi, L. (2009). *Patata : el tesoro escondido*. [https://www.researchgate.net/publication/223104001\\_Potato\\_The\\_hidden\\_treasure](https://www.researchgate.net/publication/223104001_Potato_The_hidden_treasure)
- Ma, J., & Farrero, C. (1988). *Discusión sobre si la ley de rendimientos decrecientes puede considerarse representativa de la producción industrial*. 16.
- Magrin, G., & Marengo, J. (2014). Central and South America. In *Climate change 2014 : Impact , adaptation and vulneability Part B: Regional aspects*. [https://books.google.com.pe/books?id=aJ-TBQAAQBAJ&pg=PA1499&lpg=PA1499&dq=Magrin,+G.+O.,+J.+A.+Marengo,+J.-P.++Boulanger,+M.+S.+Buckeridge,+E.+Castellanos+y++S.+Vicuña+\(2014\),+“C+entral+and+South+America”,+en+V.+R.+Barros,+C.+B.+Field,+D.+J.+Dokken,+M.+D.+](https://books.google.com.pe/books?id=aJ-TBQAAQBAJ&pg=PA1499&lpg=PA1499&dq=Magrin,+G.+O.,+J.+A.+Marengo,+J.-P.++Boulanger,+M.+S.+Buckeridge,+E.+Castellanos+y++S.+Vicuña+(2014),+“C+entral+and+South+America”,+en+V.+R.+Barros,+C.+B.+Field,+D.+J.+Dokken,+M.+D.+)
- Mamani, R. (2015). *Efectos del cambio climático en la producción del cultivo de quinua en la zona alta del distrito de Ilave - El Collao*. <http://quinua.pe/wp-content/uploads/2016/05/ROGER-MAMANI-OROCCOLLO.pdf>
- Mansilla, E. (2012). *Plan de gestión de riesgos climáticos en la margen derecha del Río Mapacho*.
- Marón, R. (2010). *Efectos económicos del cambio climático en la producción de los principales productos agrícolas del Distrito de Ilave , periodos 1997-2009*.
- Martinez, D., Orjuela, G., Rodri, L., Renzoni, G., Mari, A., & Prager, S. (2018). *ScienceDirect Small-scale farmers in a 1.5 C future : The importance of local social*

- dynamics as an enabling factor for implementation and scaling of climate-smart agriculture. February, 112–119. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2018.02.013>*
- McCarl, B. (2010). *Analysis of climate change implications for agriculture and forestry : an interdisciplinary effort. 77843. <https://doi.org/10.1007/s10584-010-9833-6>*
- Medina, F. (2016). *Impactos, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático en el sector agrario: Aproximación al conocimiento y prácticas de gestión en España. 49.*
- Mendelsohn, R. (2008). *The Impact of Climate Change on Agriculture in Developing Countries. 0459. <https://doi.org/10.1080/19390450802495882>*
- Mendelsohn, R., & Dinar, A. (2009). *Cambio climático y agricultura: un análisis económico de los impactos globales, la adaptación y los efectos distributivos.*
- Mendelsohn, R., & Schlesinger, M. (1999). *Climate response functions.*
- Mendoza, W. (2014). *Cómo investigan los economistas (Pontificia).*
- MINAGRI. (2015a). *Ficha Técnica N° 3 Requerimientos agroclimáticos del cultivo de Quinua.*
- MINAGRI. (2015b). *Requerimientos agroclimáticos del cultivo de papa.*
- MINAGRI. (2018). *Serie de estadísticas de Producción Agrícola (SEPA). <http://frenteweb.minagri.gob.pe/sisca/?mod=salida>*
- MINAGRI. (2019). *Calendario Nacional de siembras y cosechas. [http://siea.minagri.gob.pe/siea/sites/default/files/calendario\\_nacional\\_siembras\\_cosechas\\_4.xlsm](http://siea.minagri.gob.pe/siea/sites/default/files/calendario_nacional_siembras_cosechas_4.xlsm)*
- Ministerio del Ambiente. (2015). *Estrategia Nacional ante el Cambio Climático.*
- Miranzo, M., & Del Río, C. (2015). Las consecuencias del Cambio Climático en el Magrab. *Unisci, 39*(October), 127–150.
- Monteith, J. (1981). Climatic variation and the growth of crops. *Royal Meteorological. <https://doi.org/10.1002/qj.49710745402>*
- Morgan, A. (1981). *Efectos de la sequía en el rendimiento y en las características del grano y la malta en la cebada de primavera.*

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/jsfa.2740320405>

- Mosquera, T., & Cuellar, D. (2013). *La genética de la papa frente a la gota*.  
<https://www.casadellibro.com/ebook-la-genetica-de-la-papa-frente-a-la-gota-ebook/9789587613995/2591913>
- Müller, G. (2015). La acción climática en concreto. El compromiso de la política Alemana de desarrollo. *Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo*.
- Ñaupas, H., Mejía, E., Novoa, E., & Villagómez, A. (2014). *Metodología de la investigación Cuantitativa -Cualitativa y Redacción de la tesis*.
- Nelson, G. C., Rosegrant, M. W., Koo, J., Robertson, R., Sulser, T., Zhu, T., Ringler, C., Msangi, S., Palazzo, A., Batka, M., Magalhaes, M., Valmonte-santos, R., Ewing, M., & Lee, D. (2009). Cambio climático: El impacto en la agricultura y los costos de adaptación. *Instituto Internacional de Investigación Sobre Políticas Alimentarias*.
- Oberst, T. (2017). *Derivados climáticos ¿logran mitigar el riesgo del productor agrícola?* (Redactum).  
[https://books.google.com.pe/books?id=aFFDDwAAQBAJ&pg=PT34&dq=funcion+de+produccion+agricola+que+incluye+la+variable+climatica&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwiMIZ\\_uueHsAhWiJ7kGHQ2XCyYQ6AEwAXoECAgQA#v=onepage&q=funcion de produccion agricola que incluye la variable](https://books.google.com.pe/books?id=aFFDDwAAQBAJ&pg=PT34&dq=funcion+de+produccion+agricola+que+incluye+la+variable+climatica&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwiMIZ_uueHsAhWiJ7kGHQ2XCyYQ6AEwAXoECAgQA#v=onepage&q=funcion de produccion agricola que incluye la variable)
- Ocampo, O. (2011). *El cambio climático y su impacto en el agro*. 115–123.
- Odorizzi, A. (2015). *Parámetros genéticos , rendimiento y calidad forrajera en alfalfas (Medicago satipa L.) extremadamente sin reposo con expresión variable del carácter multifoliolado obtenida por la selección fenotípica recurrente*.
- Ojeda, W., Sifuentes, E., Íñiguez, M., & Montero, M. (2011). *Impacto del cambio climático en el desarrollo y requerimientos hídricos de los cultivos*. 1–11.
- Ordaz, J. L., Ramírez, D., Mora, J., Acosta, A., & Serna, B. (2010). Honduras. Efecto del Cambio Climático sobre la Agricultura. *Observatorio Medio Ambiente*, 9, 1–7.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación. (1994). *Directrices sobre la planificación del aprovechamiento de la tierra* (Food &

- Agriculture Org. (ed.)).  
<https://books.google.com.pe/books?id=D8OsY6hBX00C&pg=PA90&dq=tierra+comprende+no+solo+el+suelo+agrícola,+sino+también+las+características+climáticas&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwi-1qi1nbTsAhVTK7kGHXfwDU0Q6AEwAHoECAUQA#v=onepage&q=tierra+comprende+no+solo+el>
- Organización Meteorológica Mundial. (2018). Los niveles de gases de efecto invernadero en la atmósfera alcanzan un nuevo récord. *El Boletín de La OMM*.  
<https://public.wmo.int/es/media/comunicados-de-prensa/los-niveles-de-gases-de-efecto-invernadero-en-la-atmósfera-alcanzan-un>
- Organización Mundial de la Salud. (2003). *Cambio climático y salud humana - Riesgos y respuestas*.
- Orihuela, C. (2014). *Efecto Económico del Cambio Climático sobre los Cultivos Permanentes de la Agricultura Peruana, Periodo 2011-2050*.  
<http://www.cies.org.pe/sites/default/files/investigaciones/informefinalcc.pdf>
- Orozco, A. J., & Ayala, C. C. (2012). Efectos del cambio climático sobre la fisiología de las plantas cultivadas: una revisión. *Scielo*, 63–76.
- Ortiz, R. (2014). *Cambio Climático y la Producción agrícola. January 2012*, 1–6.
- Perez, A. (2005). Manejo del Cultivo de Quinoa en la Sierra Central. *Instituto Nacional de Innovación Agraria*, 10–38.  
<https://doi.org/http://repositorio.inia.gob.pe/handle/inia/744>
- Pérez, E., & García, P. (2009). El hielo marino de latitudes polares: Evolución anual e interanual (1979-2008). *Boletín de La Asociación de Geógrafos Españoles*, 50.
- Posada Londoño, L. G. (1997). La problemática ambiental y los diversos enfoques de la teoría económica. *Scielo*, 7, 32–52.  
<https://revistas.unal.edu.co/index.php/ede/article/view/23820/24506>
- PROCISUR. (2011). *Agricultura familiar y Cambio Climático en el MercoSur ampliado*.
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (2010). *Gráficos Vitales del Cambio Climático para América Latina y El Caribe*.

- Quispe, J. T. (2015). *Producción agrícola alimentaria y cambio climático : un análisis económico en el departamento de Puno , Perú.* 119–136.
- Ramírez, C., Bonales Valencia, J., & Ortíz Paniagua, C. (2014). Modelos de vulnerabilidad agrícola ante los efectos del cambio climático. *Cimexus*, 9(2), 31–48.
- Rebuffo, M. (2005). Alfalfa : Principios de manejo del pastoreo. *Programa Nacional de Plantas Forrajeras*, 3–5.
- Rodríguez, A. G., Meza, L. E., & Cerecera, F. (2015). *Investigación científica en agricultura y cambio climático en América Latina y el Caribe.* 89.
- Rodríguez, M. (2015). *Incidencia de las variables climáticas en los rendimientos de los cultivos transitorios en la provincia del Alto Magdalena 1992-2013.* 1–79.  
<https://doi.org/10.15332/tg.mae.2020.0723>
- Ruíz, J., Medina, G., Ramirez, J., Flores, H., Ramirez, G., Manriquez, J., Zarazua, P., Gonzales, D., & Díaz, G. (2011). Cambio climático y sus Implicaciones en cinco zonas productoras de maíz en México. *Redalyc*.  
[redalyc.org/pdf/2631/263121431011.pdf](http://redalyc.org/pdf/2631/263121431011.pdf)
- Sampieri, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la Investigación* (6th ed.).
- Sánchez, M., & Olave, J. (2019). Revisión: ¿Puede el cambio climático afectar la producción de quinoa (*Chenoponium quinoa willd*) en el altiplano Chileno? *Idesia*, 37(1), 19–23. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292019005000202>
- Scalone Echave, M. (2007). El enfoque de los sistemas de producción agropecuarios y sistemas agrarios regionales. *Instituto de Agrimensura*, 1–35.  
<https://www.fing.edu.uy/sites/default/files/2012/5922/Capitulo4.pdf>
- Sebastian, R., & Rodriguez, J. (1980a). Análisis económico de las funciones de producción agrícola. *Dialnet*.
- Sebastian, R., & Rodriguez, J. E. (1980b). *Análisis económico de las funciones de producción agrícola . Una aplicación al cultivo del trigo* (p. 86).
- SENAMHI. (2011). Caracterización Agroclimática de la Región Cusco. *Programa de*

- Adaptación Al Cambio Climático- PACC.*
- SENAMHI. (2013). *Evaluación de los modelos CMIP5 del IPCC en el Perú : Proyecciones al año 2030 en la región Puno.* 6141414, 53.
- Seo, S., & Mendelsohn, R. (2007). *Climate Change Impacts on Animal Husbandry in Africa : A Ricardian Analysis.*
- Servicio de Cambio Climático Copérnico (C3S). (2019). *Temperatura media mundial en relación al promedio 1981-2010.*  
<https://www.epdata.es/buscador?texto=Temperatura media mundial en relación al promedio 1981-2010>
- Suquilada, M. (2012). *Producción orgánica de cultivos andinos: Manual Técnico. Organización de Las Naciones Unidas Para La Alimentación y La Agricultura, 126, 36.*
- Tannura, M. A., Irwin, S. H., & Good, D. L. (2011). *Weather, Technology, and Corn and Soybean Yields in the U.S. Corn Belt. SSRN Electronic Journal, February.*  
<https://doi.org/10.2139/ssrn.1147803>
- Tingal, J. (2015). *Evaluación de leguminosas en la Región de Cajamarca – Baños Del inca.*
- Tonconi, J. (2014). *Efectos del cambio climático sobre la producción de aceituna en Yarada, Región Tacna. Scielo, 32.*  
[https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-34292014000200005](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-34292014000200005)
- Tonconi, J. (2015). *Producción agrícola alimentaria y cambio climático: un análisis económico en el departamento de Puno, Perú. Scielo.*  
[https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S0718-34292015000200014&lng=en&nrm=iso&tlng=es](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0718-34292015000200014&lng=en&nrm=iso&tlng=es)
- Torres, L. (2010). *Análisis económico del Cambio climático en la agricultura de la Región Piura- Perú: Principales productos agroexportables.*  
[http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4\\_uibd.nsf/F7318DCAC0622C1705257F700075B09A/\\$FILE/Analisis\\_economico\\_del\\_cambio\\_climatico\\_en\\_la\\_ag](http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/F7318DCAC0622C1705257F700075B09A/$FILE/Analisis_economico_del_cambio_climatico_en_la_ag)

ricultura\_de\_region\_piura.pdf

- Torres Ruiz de Castilla, L. (2010). Análisis económico del cambio climático en la agricultura de la región Piura – Perú. Caso: principales productos agroexportables. *CIES*.
- Tubiello, F. N. (2008). *Developing climate change impact metrics for agriculture*. 8, 165–184.
- Vargas, P. (2009). El cambio climático y sus efectos en el Perú. *Banco Central de Reserva Del Perú*, 59.
- Viguera, B., Martínez, R., Donatti, C., Harvey, C., & Alpízar, F. (2017). *Impactos del cambio climático en la agricultura de Centroamérica , estrategias de mitigación y adaptación*. 42.  
[https://www.conservation.org/publications/Documents/cascade\\_Modulo-2-Impactos-del-cambio-climatico-en-la-agricultura-de-Centroamerica.pdf](https://www.conservation.org/publications/Documents/cascade_Modulo-2-Impactos-del-cambio-climatico-en-la-agricultura-de-Centroamerica.pdf)
- Yzarra, W., Trebejo, I., Noriega, V., & Jacobo, T. (2010). *Evaluación del efecto del clima en la producción y productividad del maíz amarillo duro en la costa central del Perú*. 69. <https://senamhi.gob.pe/load/file/01401SENA-10.pdf>



# ANEXOS

### Anexo 1. Rendimiento de Principales cultivos (Kg/Ha)

AÑO	CEREALES		TUBERCULOS		FORRAJE
	QUINUA	CEBADA	PAPA	OLLUCO	ALFALFA
1964	900	900	3500	2100	18000
1965	1000	1100	4500	4500	20000
1966	720	890	3200	2350	12000
1967	800	830	4200	2850	18000
1968	450	500	4102	2400	12733
1969	390	450	4003	2700	12000
1970	381	372	4538	3200	12000
1971	368	376	5177	3300	12000
1972	442	542	4779	3281	12500
1973	501	620	4841	3300	12500
1974	441	547	4565	4200	12533
1975	580	621	4570	3101	12533
1976	530	621	4590	3200	12000
1977	500	621	4184	3301	12220
1978	491	611	5284	3369	12267
1979	500	621	5448	3340	12445
1980	776	692	4477	3229	18000
1981	561	621	5359	3697	18000
1982	692	701	6012	3930	19000
1983	372	547	4105	3151	17010
1984	654	734	5881	4284	26161
1985	315	973	6393	4175	24843
1986	472	763	6413	4604	29121
1987	500	730	4055	3736	11340
1988	740	930	5168	4607	10019
1989	929	953	6688	4495	12375
1990	313	502	3873	2966	12076
1991	684	876	4798	4021	15186
1992	384	506	4038	3078	4940
1993	771	865	6498	5260	12884
1994	763	903	8259	5594	14360
1995	666	798	6529	4861	11003
1996	833	883	6310	4664	11515
1997	824	886	6525	5582	12834
1998	906	1001	6804	5125	14027
1999	929	1019	8754	5919	19314
2000	967	1033	9312	5823	19763
2001	827	996	8360	6030	18162
2002	1121	1176	10184	7069	18719
2003	1086	1127	10237	7040	19581
2004	983	1026	9229	6593	17825
2005	1187	1125	10420	6744	18483
2006	1035	1140	9884	6685	19007
2007	1071	1162	9901	6704	20623
2008	970	987	9620	6390	16961
2009	1194	1116	10145	6632	19841
2010	1213	1176	11130	6670	20848
2011	1198	1117	11372	6776	19301
2012	1100	1017	11037	6881	21057
2013	981	1017	11580	6817	21837
2014	1121	1116	11703	6775	21909
2015	1119	1129	12244	6748	22390
2016	985	1036	11589	6293	21599
2017	1123	1060	12442	6503	21655
2018	1082	1061	13310	6589	21889
2019	1058	1039	11510	5812	23977

Anexo 2. Variables Climáticas Registradas para los principales cultivos

AÑO	QUINUA			CEBADA			PAPA			OLLUCO			ALFALFA		
	PRECIP.	TMAX.	TMIN.												
1964	614.61	14.79	1.75	586.54	13.85	1.29	681.43	15.81	2.51	688.11	15.42	3.72	852.3	15.93	-3.22
1965	631.33	15.06	2.12	624.61	14.51	1.82	687.12	16.23	2.63	705.29	15.74	4.05	937.4	17.36	-2.17
1966	574.46	14.09	1.52	567.43	13.76	1.21	663.98	15.67	2.32	690.33	15.49	3.84	756	16.50	-2.48
1967	587.78	14.43	1.69	559.87	13.45	1.07	685.26	16.14	2.51	719.44	16.02	3.95	967.7	15.54	-2.95
1968	533.53	13.28	0.98	524.12	13.22	0.81	678.18	15.86	2.47	692.33	15.51	3.88	821.4	15.79	-2.68
1969	526.21	12.90	0.86	519.77	12.81	0.65	669.89	15.79	2.45	714.02	15.96	3.81	941.6	15.87	-2.55
1970	522.53	12.84	2.12	481.43	12.46	0.47	691.54	16.25	2.66	719.69	16.12	4.05	826.5	15.29	-3.14
1971	509.29	12.61	0.77	489.31	12.51	0.51	725.78	16.68	3.11	729.91	16.23	4.08	934.7	15.33	-3.11
1972	528.76	13.14	0.96	525.23	13.35	0.82	698.43	16.31	2.68	721.66	16.12	4.06	755.8	15.82	-2.52
1973	611.72	13.20	1.12	542.39	13.57	1.14	711.34	16.46	2.71	726.44	16.24	4.1	846.7	16.08	-2.24
1974	523.88	13.12	1.04	519.11	12.89	0.57	697.23	15.85	2.65	733.31	17.11	3.99	977.8	15.80	-1.99
1975	657.32	13.88	1.43	601.12	13.63	1.03	708.16	16.24	2.67	715.98	15.98	3.74	677.7	16.38	-2.34
1976	635.49	13.42	1.32	539.72	14.02	1.58	711.10	16.32	2.69	718.55	16.21	4.07	804.2	16.53	-1.94
1977	610.59	13.23	1.30	559.13	13.56	1.02	672.65	15.71	2.46	725.02	16.26	4.12	1004.5	15.76	-1.64
1978	588.21	12.54	1.28	537.51	12.95	0.87	728.54	16.69	3.12	732.38	16.42	4.18	923	15.93	-1.84
1979	609.73	13.21	1.14	540.98	13.67	1.04	739.32	17.72	3.17	742.65	16.34	4.15	674.7	17.74	-0.95
1980	717.37	13.79	2.01	612.54	14.12	1.53	692.54	15.74	2.53	707.44	15.99	3.79	804.2	15.08	-2.40
1981	645.10	13.41	1.41	548.21	13.71	1.02	732.43	16.77	3.15	748.05	16.62	4.44	987.7	14.97	-2.52
1982	689.31	13.64	1.54	634.36	14.23	1.59	745.78	17.56	3.34	749.98	17.23	4.97	850.4	15.57	-1.84
1983	514.90	12.66	0.79	498.54	12.94	0.95	669.81	16.49	2.62	682.35	15.96	3.7	744	17.05	-1.61
1984	631.82	13.39	1.32	559.31	14.46	1.62	737.23	17.12	3.21	749.87	17.43	4.18	807.3	16.95	-0.86
1985	506.31	12.23	1.98	492.76	15.08	1.97	753.12	17.51	3.53	760.10	17.36	4.15	1221.8	16.58	-1.32
1986	602.58	13.12	1.35	578.32	13.52	1.62	756.34	17.43	3.61	790.23	17.31	4.99	1175.1	15.85	-1.58
1987	613.50	13.26	1.18	547.48	14.96	1.46	672.37	16.31	2.87	708.17	16.52	3.92	796	14.35	-3.18
1988	602.65	14.28	1.75	585.67	15.13	1.99	725.54	16.69	3.15	735.28	17.41	4.98	745.4	16.36	-1.56
1989	742.12	15.24	2.22	644.71	15.52	2.23	762.71	17.35	3.76	769.97	17.29	4.69	1003.9	16.14	-1.12
1990	504.98	13.25	2.73	497.36	14.14	1.21	699.78	16.98	3.11	704.23	18.35	5.24	948.8	17.27	-1.61
1991	691.56	15.95	1.98	671.12	15.87	1.85	781.43	17.93	4.31	792.54	17.53	6.25	740.7	16.97	-2.59
1992	579.66	14.40	3.47	559.68	16.73	2.57	723.32	18.67	3.44	729.99	18.11	4.63	769.9	15.20	-3.20
1993	734.87	16.39	2.75	693.72	16.54	2.42	824.32	18.64	4.22	838.55	17.79	6.08	1139.7	15.27	-2.03
1994	746.14	15.50	2.81	649.95	16.18	2.01	776.20	17.67	3.79	804.22	17.53	5.6	838.9	17.23	-2.23
1995	775.36	16.16	1.98	722.45	17.74	3.12	816.43	18.86	4.18	835.64	18.06	5.75	930.4	14.93	-2.65

1996	721.60	16.53	2.63	716.54	17.25	2.74	823.21	18.92	4.27	844.02	18.27	6.3	948.2	14.95	-3.13
1997	724.32	15.19	2.68	714.98	17.12	2.69	819.16	18.81	4.20	827.44	17.94	6.04	843.5	15.14	-2.96
1998	671.79	16.45	2.51	663.92	15.75	2.45	811.12	18.64	4.13	836.61	18.32	6.26	1109.6	14.84	-3.17
1999	635.76	16.00	3.39	628.33	15.61	1.96	779.14	17.31	3.82	796.98	17.56	5.75	928.3	15.75	-2.46
2000	624.67	16.60	2.85	619.72	16.42	2.28	768.37	17.28	3.79	802.54	17.71	6.03	947.5	15.36	-2.57
2001	722.51	14.46	3.27	716.43	17.68	3.51	823.65	18.64	4.11	829.11	17.46	5.51	891.9	16.43	-2.39
2002	651.43	15.25	2.26	641.92	16.14	2.49	788.59	17.25	3.72	795.11	17.32	5.18	948	16.04	-2.72
2003	664.07	16.48	3.11	659.53	17.35	3.27	771.64	17.11	3.69	799.33	17.41	5.31	750.2	15.88	-2.18
2004	709.34	15.94	3.15	700.12	14.98	3.61	739.81	18.49	4.08	751.97	17.63	5.59	779.1	15.80	-3.54
2005	642.68	15.10	2.22	638.71	17.27	3.42	775.19	17.18	3.89	779.89	17.72	5.4	810.3	15.95	-2.82
2006	695.21	17.12	2.51	641.32	16.98	3.26	817.43	17.84	4.19	841.12	17.58	5.48	858.2	16.49	-2.27
2007	688.23	16.19	3.07	633.98	16.74	2.95	811.71	17.62	4.11	829.54	17.43	5.46	750.2	15.94	-2.14
2008	721.34	14.48	3.46	713.73	18.19	3.66	832.33	18.25	4.28	848.22	18.25	6.13	986.3	16.64	-2.08
2009	636.21	15.76	2.31	627.45	17.35	3.22	782.21	17.43	3.76	813.41	17.57	5.75	1029.9	16.93	-1.70
2010	629.94	15.09	2.25	621.36	16.28	2.54	769.98	17.26	3.72	799.76	17.42	5.48	1026.7	17.38	-1.59
2011	694.11	15.28	2.29	682.45	17.32	3.26	779.65	17.19	3.71	788.32	17.26	4.95	995	16.81	-1.69
2012	746.82	15.76	2.62	736.71	17.54	3.51	816.32	18.33	4.34	821.13	17.01	5.36	926.1	17.28	-2.60
2013	803.27	17.25	3.11	740.14	18.01	3.57	758.09	17.72	3.99	832.56	17.38	6.02	941.2	18.24	-2.68
2014	744.34	15.41	2.55	673.09	17.41	3.24	756.45	17.55	3.84	836.21	17.62	6.1	893.7	18.53	-2.48
2015	754.98	16.38	2.98	669.54	17.32	2.99	769.32	17.24	3.78	841.83	17.73	6.18	993.8	16.72	-1.92
2016	809.10	17.06	3.26	781.54	16.53	3.37	801.43	18.22	4.15	854.22	18.12	6.39	970.5	17.71	-2.39
2017	742.10	15.99	2.51	729.43	17.15	3.12	762.76	17.35	3.81	816.91	18.04	5.84	890.6	17.21	-1.74
2018	799.10	16.69	3.15	721.98	17.36	3.15	768.54	17.51	3.89	798.22	17.15	5.16	974.5	16.61	-1.93
2019	755.20	16.63	3.07	733.35	18.13	3.61	811.13	18.43	4.25	859.87	18.62	5.67	1048.7	17.48	-1.52

### Anexo 3. Resumen Técnico

---

<b>a) Quinua</b>	
NOMBRE CIENTIFICO	Chenopodium quinoa
ORIGEN	Altiplano del Perú y Bolivia
FAMILIA	Chenopodiceas
ALTITUD	0 - 4000 m.s.n.m
VARIETADES IMPORTANTES	Real blanca, chucapaca, Blanca
REQUERIMIENTO DE SUELO	Francos
DEPARTAMENTOS PRODUCTORES	Puno, Junin, Arequipa y Cusco
CAMPAÑA AGRICOLA	Septiembre - Mayo
TEMPERATURA OPTIMA	min: 0°C máx: 20°C
RIEGO	400 a 1000 mm

---

Fuente: Elaboración propia en base al calendario de siembras y cosechas del MINAGRI, Ficha Técnica de Requerimientos agroclimáticos del cultivo de Quinua SENAMHI.

---

<b>b) CEBADA</b>	
NOMBRE CIENTIFICO	Hordeum vulgare L.
ORIGEN	Antiguo Egipto
FAMILIA	gramíneas
ALTITUD	0 - 4000 msnm
VARIETADES IMPORTANTES	De secano, Tradicional
REQUERIMIENTO DE SUELO	Franco, Franco arenoso
DEPARTAMENTOS PRODUCTORES	Libertad, Puno, Huancavelica , Cusco
CAMPAÑA AGRICOLA	Octubre - Mayo
TEMPERATURA OPTIMA	min:0°C max: 22°C
RIEGO	380 - 800 mm

---

Fuente : Elaboración propia en base al calendario de siembras y cosechas del MINAGRI , Caracterización agroclimática – SENAMHI

---

<b>c) PAPA</b>	
NOMBRE CIENTIFICO	Solanum tuberosum
ORIGEN	Altiplano sur del Perú y el noroccidente de Bolivia
FAMILIA	Solanáceas
ALTITUD	2500 - 4200 msnm
VARIETADES IMPORTANTES	Tambo lomo , thomana, q`ello ochole , Puma chaki , Puma maki
REQUERIMIENTO DE SUELO	Francos, franco-arenosos, franco-arcillosos
DEPARTAMENTOS PRODUCTORES	Puno, Huánuco, La Libertad, Cusco y Apurímac
CAMPAÑA AGRICOLA	Octubre - Abril
TEMPERATURA OPTIMA	min: -4°C Máx :25°C

---

RIEGO 500 - 1160 mm

Fuente: Elaboración propia en base al calendario de siembras y cosechas del MINAGRI, Ficha Técnica de Requerimientos agroclimáticos del cultivo de papa SENAMHI.

#### d) OLLUCO

NOMBRE CIENTIFICO	Ullucus tuberosus
ORIGEN	Altiplano del Perú y Bolivia
FAMILIA	Basellaceae
ALTITUD	2500 - 3800 msnm.
VARIETADES IMPORTANTES	Chucchan lisa, Ckello chuccha, Muru lisa
REQUERIMIENTO DE SUELO	Textura liviana, con pH ligeramente ácido, con alto contenido de materia orgánica.
DEPARTAMENTOS PRODUCTORES	Cusco, Cajamarca, Ayacucho, Puno
CAMPAÑA AGRICOLA	Octubre-Mayo
TEMPERATURA OPTIMA	Min: 1°C - 20°C
RIEGO	600 -1000 mm.

Fuente: Elaboración propia en base al calendario de siembras y cosechas del MINAGRI, Manual Técnico de la producción orgánica de cultivos andinos – FAO (2012)

#### e) ALFALFA

NOMBRE CIENTIFICO	<i>Medicago sativa</i>
ORIGEN	Región oriental del Mediterráneo
FAMILIA	fabáceas
ALTITUD	300 - 3600 msnm
VARIETADES IMPORTANTES	Trifoliadas, pentafoliadas y eptafoliadas
REQUERIMIENTO DE SUELO	Francos, franco-arenosos, franco-arcillosos
DEPARTAMENTOS PRODUCTORES	Ancash, Arequipa, Cajamarca, Cusco, Huancavelica, Huánuco, Junín, Lima, Pasco, Puno
CAMPAÑA AGRICOLA	Todo el año
TEMPERATURA OPTIMA	mínima: -10 máxima: 28
RIEGO	700-1200 mm

Fuente: Elaboración propia en base al calendario de siembras y cosechas del MINAGRI, Manual Técnico de la Agencia Agraria Salcedo DRAP

## Anexo 4. Estadísticas descriptivas para las Variables

### QUINUA

	RENDQUINUA	PRECIP	TMAX	TMIN
Mean	776.7679	652.7105	14.74107	2.140714
Median	788.0000	643.8900	14.92500	2.220000
Maximum	1213.000	809.1000	17.25000	3.470000
Minimum	313.0000	504.9800	12.23000	0.770000
Std. Dev.	278.7368	83.83530	1.445436	0.798997
Skewness	-0.097363	-0.095862	0.013413	-0.060575
Kurtosis	1.662494	2.119388	1.669254	1.797672
Jarque-Bera	4.262627	1.895216	4.133743	3.407294
Probability	0.118681	0.387667	0.126581	0.182018
Sum	43499.00	36551.79	825.5000	119.8800
Sum Sq. Dev.	4273180.	386559.7	114.9107	35.11177
Observations	56	56	56	56

### CEBADA

	RENDCEBADA	PRECIP	TMAX	TMIN
Mean	852.8750	618.2271	15.41000	2.123750
Median	895.0000	626.0300	15.56500	2.000000
Maximum	1176.000	781.5400	18.19000	3.660000
Minimum	372.0000	481.4300	12.46000	0.470000
Std. Dev.	234.4623	79.20508	1.773469	1.007958
Skewness	-0.402634	0.044448	-0.065784	0.007043
Kurtosis	1.903238	1.914807	1.558151	1.620322
Jarque-Bera	4.319804	2.766273	4.891221	4.441990
Probability	0.115336	0.250791	0.086673	0.108501
Sum	47761.00	34620.72	862.9600	118.9300
Sum Sq. Dev.	3023492.	345039.5	172.9856	55.87891
Observations	56	56	56	56

### PAPA

	RENDPAPA	PRECIP	TMAX	TMIN
Mean	7207.661	749.2238	17.23250	3.449107
Median	6403.000	756.3950	17.27000	3.700000
Maximum	13310.00	832.3300	18.92000	4.340000
Minimum	3200.000	663.9800	15.67000	2.320000
Std. Dev.	2952.013	49.88286	0.937075	0.642575
Skewness	0.465823	-0.072191	0.059465	-0.288512
Kurtosis	1.767933	1.841981	2.049145	1.637803
Jarque-Bera	5.567229	3.177658	2.142631	5.106585
Probability	0.061815	0.204165	0.342558	0.077825
Sum	403629.0	41956.53	965.0200	193.1500
Sum Sq. Dev.	4.79E+08	136856.5	48.29605	22.70966
Observations	56	56	56	56

### OLLUCO

	RENDOLLU...	PRECIP	TMAX	TMIN
Mean	4804.363	771.8936	17.11036	4.973036
Median	4605.500	774.9300	17.37000	5.075000
Maximum	7069.000	859.8700	18.62000	6.390000
Minimum	2100.000	682.3500	15.42000	3.700000
Std. Dev.	1557.821	53.21324	0.846032	0.883730
Skewness	0.016791	0.006326	-0.373026	0.004582
Kurtosis	1.531106	1.600617	2.045484	1.509811
Jarque-Bera	5.037145	4.569674	3.424622	5.181741
Probability	0.080575	0.101791	0.180448	0.074955
Sum	269044.3	43226.04	958.1800	278.4900
Sum Sq. Dev.	1.33E+08	155740.7	39.36739	42.95378
Observations	56	56	56	56

### ALFALFA

	RENDALFAL...	PRECIP	TMAX	TMIN
Mean	16699.39	900.8607	16.24143	-2.263036
Median	17912.50	924.5500	16.06294	-2.305000
Maximum	29121.00	1221.800	18.52888	-0.860000
Minimum	4940.000	674.7000	14.35303	-3.540000
Std. Dev.	4797.296	120.2470	0.912990	0.616718
Skewness	0.181493	0.352147	0.305952	0.140138
Kurtosis	2.619355	2.920612	2.590268	2.468046
Jarque-Bera	0.645515	1.172108	1.265384	0.843570
Probability	0.724149	0.556519	0.531160	0.655875
Sum	935165.9	50448.20	909.5201	-126.7300
Sum Sq. Dev.	1.27E+09	795263.3	45.84533	20.91878
Observations	56	56	56	56

## Anexo 5 . Análisis de Estacionalidad- Test de Raíz Unitaria

### a) QUINUA

#### NIVELES

#### - MODELO CON TENDENCIA E INTERCEPTO<sup>2</sup>

Variables del Modelo	RENDQUINUA	PRECIP	PRECIP2	TMAX	TMAX2	TMIN	TMIN2
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-4.151977	-4.023508	-3.990398	-3.144912	-3.09594	-4.059576	-3.588857
Test Critical values:							
1% level	-4.137279	-4.121303	-4.121303	-4.121303	-4.121303	-4.118444	-4.118444
5% level	-3.495295	-3.487845	-3.487845	-3.487845	-3.487845	-3.486509	-3.486509
10% level	-3.176618	-3.172314	-3.172314	-3.172314	-3.172314	-3.171541	-3.171541

#### - MODELO CON INTERCEPTO

Variables del Modelo	RENDQUINUA	PRECIP	PRECIP2	TMAX	TMAX2	TMIN	TMIN2
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-1.217151	-1.414489	-1.367396	-0.40092	-0.284357	-0.551956	-0.768912
Test Critical values:							
1% level	-3.557472	-3.544063	-3.544063	-3.546099	-3.546099	-3.546099	-3.544063
5% level	-2.916566	-2.91086	-2.91086	-2.91173	-2.91173	-2.91173	-2.91086
10% level	-2.596116	-2.59309	-2.59309	-2.593551	-2.593551	-2.593551	-2.59309

#### - MODELO SIN TENDENCIA E INTERCEPTO

Variables del Modelo	RENDQUINUA	PRECIP	PRECIP2	TMAX	TMAX2	TMIN	TMIN2
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-0.253823	0.414665	0.308445	0.512881	0.471845	0.305084	0.35641
Test Critical values:							
1% level	-2.60849	-2.604073	-2.604073	-2.604073	-2.604073	-2.604073	-2.604073
5% level	-1.946996	-1.946348	-1.946348	-1.946348	-1.946348	-1.946348	-1.946348
10% level	-1.612934	-1.613293	-1.613293	-1.613293	-1.613293	-1.613293	-1.613293

### PRIMERAS DIFERENCIAS

#### - MODELO CON TENDENCIA E INTERCEPTO

Variables del Modelo	RENDQUINUA	PRECIP	PRECIP2	TMAX	TMAX2	TMIN	TMIN2
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-6.394616	-6.756046	-6.68602	-8.836819	-9.260156	-8.607149	-8.244918
Test Critical values:							
1% level	-4.140858	-4.121303	-4.121303	-4.121303	-4.121303	-4.121303	-4.121303
5% level	-3.49696	-3.487845	-3.487845	-3.487845	-3.487845	-3.487845	-3.487845
10% level	-3.177579	-3.172314	-3.172314	-3.172314	-3.172314	-3.172314	-3.172314

<sup>2</sup>  $H_0$  = Tiene raíz unitaria , es no Estacionaria  
 $H_a$  = No tiene raíz unitaria , es Estacionaria

- **MODELO CON INTERCEPTO**

<i>Variables del Modelo</i>	<i>RENDQUINUA</i>	<i>PRECIP</i>	<i>PRECIP2</i>	<i>TMAX</i>	<i>TMAX2</i>	<i>TMIN</i>	<i>TMIN2</i>
<i>Augmented Dickey-Fuller test statistic</i>	-6.365614	-6.805118	-6.732065	-8.738098	-9.138846	-8.571762	-8.152379
<b>Test Critical values:</b>							
1% level	-3.560019	-3.546099	-3.546099	-3.546099	-3.546099	-3.546099	-3.546099
5% level	-2.91765	-2.91173	-2.91173	-2.91173	-2.91173	-2.91173	-2.91173
10% level	-2.596689	-2.593551	-2.593551	-2.593551	-2.593551	-2.593551	-2.593551

- **MODELO SIN TENDENCIA E INTERCEPTO**

<i>Variables del Modelo</i>	<i>RENDQUINUA</i>	<i>PRECIP</i>	<i>PRECIP2</i>	<i>TMAX</i>	<i>TMAX2</i>	<i>TMIN</i>	<i>TMIN2</i>
<i>Augmented Dickey-Fuller test statistic</i>	-6.413885	-6.804961	-6.724852	-8.706924	-9.08887	-8.509008	-8.042712
<b>Test Critical values:</b>							
1% level	-2.609324	-2.604746	-2.604746	-2.604746	-2.604746	-2.604746	-2.604746
5% level	-1.947119	-1.946447	-1.946447	-1.946447	-1.946447	-1.946447	-1.946447
10% level	-1.612867	-1.613238	-1.613238	-1.613238	-1.613238	-1.613238	-1.613238

**b) CEBADA**

**NIVELES**

- **MODELO CON TENDENCIA E INTERCEPTO<sup>3</sup>**

<i>Variables del Modelo</i>	<i>RENDCEBADA</i>	<i>PRECIP</i>	<i>PRECIP2</i>	<i>TMAX</i>	<i>TMAX2</i>	<i>TMIN</i>	<i>TMIN2</i>
<i>Augmented Dickey-Fuller test statistic</i>	-4.512718	-4.347065	-4.371984	-4.403447	-4.32237	-4.897968	-2.09416
<b>Test Critical values:</b>							
1% level	-4.140858	-4.105534	-4.105534	-4.105534	-4.105534	-4.105534	-4.105534
5% level	-3.49696	-3.480463	-3.480463	-3.480463	-3.480463	-3.480463	-3.480463
10% level	-3.177579	-3.168039	-3.168039	-3.168039	-3.168039	-3.168039	-3.168039

- **MODELO CON INTERCEPTO**

<i>Variables del Modelo</i>	<i>RENDCEBADA</i>	<i>PRECIP</i>	<i>PRECIP2</i>	<i>TMAX</i>	<i>TMAX2</i>	<i>TMIN</i>	<i>TMIN2</i>
<i>Augmented Dickey-Fuller test statistic</i>	-1.571726	-0.840552	-0.798588	-0.235496	-0.106857	0.661245	2.054856
<b>Test Critical values:</b>							
1% level	-3.557472	-3.534868	-3.534868	-3.536587	-3.536587	-3.536587	-3.536587
5% level	-2.916566	-2.906923	-2.906923	-2.90766	-2.90766	-2.90766	-2.90766
10% level	-2.596116	-2.591006	-2.591006	-2.591396	-2.591396	-2.591396	-2.591396

<sup>3</sup>  $H_0$  = Tiene raíz unitaria , es no Estacionaria  
 $H_a$  = No tiene raíz unitaria , es Estacionaria

- **MODELO SIN TENDENCIA E INTERCEPTO**

<i>Variables del Modelo</i>	<i>RENDCEBADA</i>	<i>PRECIP</i>	<i>PRECIP2</i>	<i>TMAX</i>	<i>TMAX2</i>	<i>TMIN</i>	<i>TMIN2</i>
<i>Augmented Dickey-Fuller test statistic</i>	-0.386855	0.633647	0.579018	1.100942	1.13879	1.099061	1.903893
<b>Test Critical values:</b>							
1% level	-2.60849	-2.601024	-2.601024	-2.601024	-2.601024	-2.601024	-2.601024
5% level	-1.946996	-1.945903	-1.945903	-1.945903	-1.945903	-1.945903	-1.945903
10% level	-1.612934	-1.613543	-1.613543	-1.613543	-1.613543	-1.613543	-1.613543

**PRIMERAS DIFERENCIAS**

- **MODELO CON TENDENCIA E INTERCEPTO**

<i>Variables del Modelo</i>	<i>RENDCEBADA</i>	<i>PRECIP</i>	<i>PRECIP2</i>	<i>TMAX</i>	<i>TMAX2</i>	<i>TMIN</i>	<i>TMIN2</i>
<i>Augmented Dickey-Fuller test statistic</i>	-6.725126	-7.810163	-7.986067	-8.479868	-8.315941	-10.35874	-10.12261
<b>Test Critical values:</b>							
1% level	-4.140858	-4.107947	-4.107947	-4.107947	-4.107947	-4.107947	-4.107947
5% level	-3.49696	-3.481595	-3.481595	-3.481595	-3.481595	-3.481595	-3.481595
10% level	-3.177579	-3.168695	-3.168695	-3.168695	-3.168695	-3.168695	-3.168695

- **MODELO CON INTERCEPTO**

<i>Variables del Modelo</i>	<i>RENDCEBADA</i>	<i>PRECIP</i>	<i>PRECIP2</i>	<i>TMAX</i>	<i>TMAX2</i>	<i>TMIN</i>	<i>TMIN2</i>
<i>Augmented Dickey-Fuller test statistic</i>	-6.696266	-7.803642	-7.968719	-8.47629	-8.284433	-10.13674	-9.400584
<b>Test Critical values:</b>							
1% level	-3.560019	-3.536587	-3.536587	-3.536587	-3.536587	-3.536587	-3.536587
5% level	-2.91765	-2.90766	-2.90766	-2.90766	-2.90766	-2.90766	-2.90766
10% level	-2.596689	-2.591396	-2.591396	-2.591396	-2.591396	-2.591396	-2.591396

- **MODELO SIN TENDENCIA E INTERCEPTO**

<i>Variables del Modelo</i>	<i>RENDCEBADA</i>	<i>PRECIP</i>	<i>PRECIP2</i>	<i>TMAX</i>	<i>TMAX2</i>	<i>TMIN</i>	<i>TMIN2</i>
<i>Augmented Dickey-Fuller test statistic</i>	-6.759986	-7.763002	-7.909992	-8.239739	-8.021293	-9.642954	-8.669266
<b>Test Critical values:</b>							
1% level	-2.609324	-2.601596	-2.601596	-2.601596	-2.601596	-2.601596	-2.601596
5% level	-1.947119	-1.945987	-1.945987	-1.945987	-1.945987	-1.945987	-1.945987
10% level	-1.612867	-1.613496	-1.613496	-1.613496	-1.613496	-1.613496	-1.613496

### c) PAPA

#### NIVELES

##### - MODELO CON TENDENCIA E INTERCEPTO<sup>4</sup>

<i>Variables del Modelo</i>	<i>RENDPAPA</i>	<i>PRECIP</i>	<i>PRECIP2</i>	<i>TMAX</i>	<i>TMAX2</i>	<i>TMIN</i>	<i>TMIN2</i>
<i>Augmented Dickey-Fuller test statistic</i>	-3.927584	-3.788088	-3.727204	-3.534576	-3.477411	-3.064883	-2.560989
Test Critical values:							
1% level	-4.133838	-4.118444	-4.118444	-4.118444	-4.118444	-4.118444	-4.118444
5% level	-3.493692	-3.486509	-3.486509	-3.486509	-3.486509	-3.486509	-3.486509
10% level	-3.175693	-3.171541	-3.171541	-3.171541	-3.171541	-3.171541	-3.171541

##### - MODELO CON INTERCEPTO

<i>Variables del Modelo</i>	<i>RENDPAPA</i>	<i>PRECIP</i>	<i>PRECIP2</i>	<i>TMAX</i>	<i>TMAX2</i>	<i>TMIN</i>	<i>TMIN2</i>
<i>Augmented Dickey-Fuller test statistic</i>	-0.053008	-1.455787	-1.429098	-1.015749	-0.954322	-0.455678	-0.022692
Test Critical values:							
1% level	-3.560019	-3.546099	-3.546099	-3.546099	-3.546099	-3.546099	-3.546099
5% level	-2.91765	-2.91173	-2.91173	-2.91173	-2.91173	-2.91173	-2.91173
10% level	-2.596689	-2.593551	-2.593551	-2.593551	-2.593551	-2.593551	-2.593551

##### - MODELO SIN TENDENCIA E INTERCEPTO

<i>Variables del Modelo</i>	<i>RENDPAPA</i>	<i>PRECIP</i>	<i>PRECIP2</i>	<i>TMAX</i>	<i>TMAX2</i>	<i>TMIN</i>	<i>TMIN2</i>
<i>Augmented Dickey-Fuller test statistic</i>	2.073921	0.735129	0.636189	0.729168	0.644219	1.272077	1.380497
Test Critical values:							
1% level	-2.609324	-2.604073	-2.604073	-2.604073	-2.604073	-2.604073	-2.604073
5% level	-1.947119	-1.946348	-1.946348	-1.946348	-1.946348	-1.946348	-1.946348
10% level	-1.612867	-1.613293	-1.613293	-1.613293	-1.613293	-1.613293	-1.613293

#### PRIMERAS DIFERENCIAS

##### - MODELO CON TENDENCIA E INTERCEPTO

<i>Variables del Modelo</i>	<i>RENDPAPA</i>	<i>PRECIP</i>	<i>PRECIP2</i>	<i>TMAX</i>	<i>TMAX2</i>	<i>TMIN</i>	<i>TMIN2</i>
<i>Augmented Dickey-Fuller test statistic</i>	-8.811956	-7.377648	-7.309752	-10.69173	-10.54492	-9.026005	-8.217125
Test Critical values:							
1% level	-4.140858	-4.124265	-4.124265	-4.121303	-4.121303	-4.121303	-4.121303
5% level	-3.49696	-3.489228	-3.489228	-3.487845	-3.487845	-3.487845	-3.487845
10% level	-3.177579	-3.173114	-3.173114	-3.172314	-3.172314	-3.172314	-3.172314

<sup>4</sup>  $H_0$  = Tiene raíz unitaria, es no Estacionaria  
 $H_a$  = No tiene raíz unitaria, es Estacionaria

- **MODELO CON INTERCEPTO**

<i>Variables del Modelo</i>	<i>RENDPAPA</i>	<i>PRECIP</i>	<i>PRECIP2</i>	<i>TMAX</i>	<i>TMAX2</i>	<i>TMIN</i>	<i>TMIN2</i>
<i>Augmented Dickey-Fuller test statistic</i>	-8.865862	-7.444691	-7.378056	-10.78396	-10.63082	-9.086013	-8.203253
Test Critical values:							
1% level	-3.560019	-3.548208	-3.548208	-3.546099	-3.546099	-3.546099	-3.546099
5% level	-2.91765	-2.912631	-2.912631	-2.91173	-2.91173	-2.91173	-2.91173
10% level	-2.596689	-2.594027	-2.594027	-2.593551	-2.593551	-2.593551	-2.593551

- **MODELO SIN TENDENCIA E INTERCEPTO**

<i>Variables del Modelo</i>	<i>RENDPAPA</i>	<i>PRECIP</i>	<i>PRECIP2</i>	<i>TMAX</i>	<i>TMAX2</i>	<i>TMIN</i>	<i>TMIN2</i>
<i>Augmented Dickey-Fuller test statistic</i>	-8.239955	-8.841156	-8.586473	-10.57253	-10.42629	-8.635981	-7.780919
Test Critical values:							
1% level	-2.609324	-2.604746	-2.604746	-2.604746	-2.604746	-2.604746	-2.604746
5% level	-1.947119	-1.946447	-1.946447	-1.946447	-1.946447	-1.946447	-1.946447
10% level	-1.612867	-1.613238	-1.613238	-1.613238	-1.613238	-1.613238	-1.613238

**d) OLLUCO**

**NIVELES**

- **MODELO CON TENDENCIA E INTERCEPTO<sup>5</sup>**

<i>Variables del Modelo</i>	<i>RENDOLLUCO</i>	<i>PRECIP</i>	<i>PRECIP2</i>	<i>TMAX</i>	<i>TMAX2</i>	<i>TMIN</i>	<i>TMIN2</i>
<i>Augmented Dickey-Fuller test statistic</i>	-4.804075	-3.231711	-3.004451	-2.415189	-2.29097	-2.923926	-2.972969
Test Critical values:							
1% level	-4.133838	-4.118444	-4.118444	-4.118444	-4.118444	-4.118444	-4.118444
5% level	-3.493692	-3.486509	-3.486509	-3.486509	-3.486509	-3.486509	-3.486509
10% level	-3.175693	-3.171541	-3.171541	-3.171541	-3.171541	-3.171541	-3.171541

- **MODELO CON INTERCEPTO**

<i>Variables del Modelo</i>	<i>RENDOLLUCO</i>	<i>PRECIP</i>	<i>PRECIP2</i>	<i>TMAX</i>	<i>TMAX2</i>	<i>TMIN</i>	<i>TMIN2</i>
<i>Augmented Dickey-Fuller test statistic</i>	-0.894533	-0.751037	-0.611883	-0.671667	-0.505514	-1.01862	-1.175261
Test Critical values:							
1% level	-3.557472	-3.544063	-3.544063	-3.546099	-3.546099	-3.546099	-3.544063
5% level	-2.916566	-2.91086	-2.91086	-2.91173	-2.91173	-2.91173	-2.91086
10% level	-2.596116	-2.59309	-2.59309	-2.593551	-2.593551	-2.593551	-2.59309

<sup>5</sup>  $H_0$  = Tiene raíz unitaria, es no Estacionaria  
 $H_a$  = No tiene raíz unitaria, es Estacionaria

- **MODELO SIN TENDENCIA E INTERCEPTO**

<i>Variables del Modelo</i>	<i>RENDOLLUCO</i>	<i>PRECIP</i>	<i>PRECIP2</i>	<i>TMAX</i>	<i>TMAX2</i>	<i>TMIN</i>	<i>TMIN2</i>
<i>Augmented Dickey-Fuller test statistic</i>	0.515753	1.292105	1.268343	1.532956	1.50982	0.858441	0.644218
Test Critical values:							
1% level	-2.60849	-2.604073	-2.604073	-2.604073	-2.604073	-2.604073	-2.604073
5% level	-1.946996	-1.946348	-1.946348	-1.946348	-1.946348	-1.946348	-1.946348
10% level	-1.612934	-1.613293	-1.613293	-1.613293	-1.613293	-1.613293	-1.613293

**PRIMERAS DIFERENCIAS**

- **MODELO CON TENDENCIA E INTERCEPTO**

<i>Variables del Modelo</i>	<i>RENDOLLUCO</i>	<i>PRECIP</i>	<i>PRECIP2</i>	<i>TMAX</i>	<i>TMAX2</i>	<i>TMIN</i>	<i>TMIN2</i>
<i>Augmented Dickey-Fuller test statistic</i>	-13.90674	-7.133849	-6.91765	-8.18693	-8.060673	-7.876112	-7.550516
Test Critical values:							
1% level	-4.137279	-4.121303	-4.121303	-4.121303	-4.121303	-4.121303	-4.121303
5% level	-3.495295	-3.487845	-3.487845	-3.487845	-3.487845	-3.487845	-3.487845
10% level	-3.176618	-3.172314	-3.172314	-3.172314	-3.172314	-3.172314	-3.172314

- **MODELO CON INTERCEPTO**

<i>Variables del Modelo</i>	<i>RENDOLLUCO</i>	<i>PRECIP</i>	<i>PRECIP2</i>	<i>TMAX</i>	<i>TMAX2</i>	<i>TMIN</i>	<i>TMIN2</i>
<i>Augmented Dickey-Fuller test statistic</i>	-14.05495	-7.165132	-6.929576	-8.249767	-8.108724	-7.946301	-7.612245
Test Critical values:							
1% level	-3.557472	-3.546099	-3.546099	-3.546099	-3.546099	-3.546099	-3.546099
5% level	-2.916566	-2.91173	-2.91173	-2.91173	-2.91173	-2.91173	-2.91173
10% level	-2.596116	-2.593551	-2.593551	-2.593551	-2.593551	-2.593551	-2.593551

- **MODELO SIN TENDENCIA E INTERCEPTO**

<i>Variables del Modelo</i>	<i>RENDOLLUCO</i>	<i>PRECIP</i>	<i>PRECIP2</i>	<i>TMAX</i>	<i>TMAX2</i>	<i>TMIN</i>	<i>TMIN2</i>
<i>Augmented Dickey-Fuller test statistic</i>	-14.09362	-6.934758	-6.701158	-7.819527	-7.684562	-7.794207	-7.480817
Test Critical values:							
1% level	-2.60849	-2.604746	-2.604746	-2.604746	-2.604746	-2.604746	-2.604746
5% level	-1.946996	-1.946447	-1.946447	-1.946447	-1.946447	-1.946447	-1.946447
10% level	-1.612934	-1.613238	-1.613238	-1.613238	-1.613238	-1.613238	-1.613238

### e) ALFALFA

#### NIVELES

##### - MODELO CON TENDENCIA E INTERCEPTO<sup>6</sup>

<i>Variables del Modelo</i>	<i>RENDALFALFA</i>	<i>PRECIP</i>	<i>PRECIP2</i>	<i>TMAX</i>	<i>TMAX2</i>	<i>TMIN</i>	<i>TMIN2</i>
<i>Augmented Dickey-Fuller test statistic</i>	-2.845144	-6.557969	-6.351285	-4.102648	-4.052339	-2.969198	-3.439905
Test Critical values:							
1% level	-4.140858	-4.118444	-4.118444	-4.118444	-4.118444	-4.118444	-4.118444
5% level	-3.49696	-3.486509	-3.486509	-3.486509	-3.486509	-3.486509	-3.486509
10% level	-3.177579	-3.171541	-3.171541	-3.171541	-3.171541	-3.171541	-3.171541

##### - MODELO CON INTERCEPTO

<i>Variables del Modelo</i>	<i>RENDALFALFA</i>	<i>PRECIP</i>	<i>PRECIP2</i>	<i>TMAX</i>	<i>TMAX2</i>	<i>TMIN</i>	<i>TMIN2</i>
<i>Augmented Dickey-Fuller test statistic</i>	-2.189217	-5.101848	-5.050108	-2.616351	-2.536672	-2.603454	-3.134389
Test Critical values:							
1% level	-3.557472	-3.544063	-3.544063	-3.544063	-3.544063	-3.544063	-3.544063
5% level	-2.916566	-2.91086	-2.91086	-2.91086	-2.91086	-2.91086	-2.91086
10% level	-2.596116	-2.59309	-2.59309	-2.59309	-2.59309	-2.59309	-2.59309

##### - MODELO SIN TENDENCIA E INTERCEPTO

<i>Variables del Modelo</i>	<i>RENDALFALFA</i>	<i>PRECIP</i>	<i>PRECIP2</i>	<i>TMAX</i>	<i>TMAX2</i>	<i>TMIN</i>	<i>TMIN2</i>
<i>Augmented Dickey-Fuller test statistic</i>	-0.343747	-0.249792	-0.66609	0.119826	0.012385	-1.11948	-1.607355
Test Critical values:							
1% level	-2.60849	-2.604073	-2.604073	-2.604073	-2.604073	-2.604073	-2.604073
5% level	-1.946996	-1.946348	-1.946348	-1.946348	-1.946348	-1.946348	-1.946348
10% level	-1.612934	-1.613293	-1.613293	-1.613293	-1.613293	-1.613293	-1.613293

### PRIMERAS DIFERENCIAS

##### - MODELO CON TENDENCIA E INTERCEPTO

<i>Variables del Modelo</i>	<i>RENDALFALFA</i>	<i>PRECIP</i>	<i>PRECIP2</i>	<i>TMAX</i>	<i>TMAX2</i>	<i>TMIN</i>	<i>TMIN2</i>
<i>Augmented Dickey-Fuller test statistic</i>	-6.20668	-9.770515	-9.424913	-8.910625	-6.906363	-7.543598	-7.490336
Test Critical values:							
1% level	-4.140858	-4.124265	-4.124265	-4.121303	-4.124265	-4.124265	-4.124265
5% level	-3.49696	-3.489228	-3.489228	-3.487845	-3.489228	-3.489228	-3.489228
10% level	-3.177579	-3.173114	-3.173114	-3.172314	-3.173114	-3.173114	-3.173114

<sup>6</sup>  $H_0$  = Tiene raíz unitaria, es no Estacionaria  
 $H_a$  = No tiene raíz unitaria, es Estacionaria

- **MODELO CON INTERCEPTO**

<i>Variables del Modelo</i>	<i>RENDALFALFA</i>	<i>PRECIP</i>	<i>PRECIP2</i>	<i>TMAX</i>	<i>TMAX2</i>	<i>TMIN</i>	<i>TMIN2</i>
<i>Augmented Dickey-Fuller test statistic</i>	-6.25381	-9.774799	-9.432848	-8.846471	-8.881013	-7.558878	-7.547796
<b>Test Critical values:</b>							
1% level	-3.560019	-3.548208	-3.548208	-3.546099	-3.546099	-3.548208	-3.548208
5% level	-2.91765	-2.912631	-2.912631	-2.91173	-2.91173	-2.912631	-2.912631
10% level	-2.596689	-2.594027	-2.594027	-2.593551	-2.593551	-2.594027	-2.594027

- **MODELO SIN TENDENCIA E INTERCEPTO**

<i>Variables del Modelo</i>	<i>RENDALFALFA</i>	<i>PRECIP</i>	<i>PRECIP2</i>	<i>TMAX</i>	<i>TMAX2</i>	<i>TMIN</i>	<i>TMIN2</i>
<i>Augmented Dickey-Fuller test statistic</i>	-6.292748	-10.6591	-10.41329	-8.89543	-8.926256	-7.356035	-7.710892
<b>Test Critical values:</b>							
1% level	-2.609324	-2.604746	-2.604746	-2.604746	-2.604746	-2.604746	-2.604746
5% level	-1.947119	-1.946447	-1.946447	-1.946447	-1.946447	-1.946447	-1.946447
10% level	-1.612867	-1.613238	-1.613238	-1.613238	-1.613238	-1.613238	-1.613238

## Anexo 6. Estimación del Modelo

### a) QUINUA

Dependent Variable: RENDQUINUA  
Method: ARMA Conditional Least Squares (BFGS / Marquardt steps)  
Date: 09/28/20 Time: 11:02  
Sample (adjusted): 1965 2019  
Included observations: 55 after adjustments  
Failure to improve likelihood (non-zero gradients) after 26 iterations  
Coefficient covariance computed using outer product of gradients

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-4151.968	868.7578	-4.779201	0.0000
PRECIP	14.35234	2.754154	5.211160	0.0000
PRECIP2	-0.010234	0.002168	-4.721249	0.0000
AR(1)	0.832178	0.080284	10.36540	0.0000

R-squared	0.812175	Mean dependent var	774.5273
Adjusted R-squared	0.801126	S.D. dependent var	280.7964
S.E. of regression	125.2220	Akaike info criterion	12.56800
Sum squared resid	799707.6	Schwarz criterion	12.71399
Log likelihood	-341.6200	Hannan-Quinn criter.	12.62445
F-statistic	73.50958	Durbin-Watson stat	2.545388
Prob(F-statistic)	0.000000		

Dependent Variable: RENDQUINUA  
Method: ARMA Conditional Least Squares (BFGS / Marquardt steps)  
Date: 09/15/20 Time: 21:10  
Sample (adjusted): 1974 2019  
Included observations: 46 after adjustments  
Failure to improve likelihood (non-zero gradients) after 12 iterations  
Coefficient covariance computed using outer product of gradients

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-11272.92	1646.199	-6.847846	0.0000
TMAX	1500.379	218.5468	6.865251	0.0000
TMAX2	-45.94100	7.213364	-6.368873	0.0000
AR(1)	0.742637	0.101192	7.338859	0.0000
AR(10)	-0.292043	0.113069	-2.582876	0.0135

R-squared	0.870194	Mean dependent var	816.2391
Adjusted R-squared	0.857531	S.D. dependent var	273.4359
S.E. of regression	103.2087	Akaike info criterion	12.21371
Sum squared resid	436733.8	Schwarz criterion	12.41247
Log likelihood	-275.9152	Hannan-Quinn criter.	12.28816
F-statistic	68.71429	Durbin-Watson stat	2.278188
Prob(F-statistic)	0.000000		

Dependent Variable: RENDQUINUA  
Method: ARMA Conditional Least Squares (BFGS / Marquardt steps)  
Date: 09/16/20 Time: 12:24  
Sample (adjusted): 1966 2019  
Included observations: 54 after adjustments  
Convergence achieved after 41 iterations  
Coefficient covariance computed using outer product of gradients

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	358.7307	296.3541	1.210480	0.2320
TMIN	526.7691	114.0152	4.620166	0.0000
TMIN2	-121.9928	24.50836	-4.977600	0.0000
DUM	-389.1969	105.9288	-3.674135	0.0006
AR(1)	0.563367	0.140393	4.012789	0.0002
AR(2)	0.370554	0.142015	2.609266	0.0121

R-squared	0.827403	Mean dependent var	770.3519
Adjusted R-squared	0.809424	S.D. dependent var	281.7043
S.E. of regression	122.9779	Akaike info criterion	12.56633
Sum squared resid	725931.2	Schwarz criterion	12.78732
Log likelihood	-333.2908	Hannan-Quinn criter.	12.65156
F-statistic	46.02099	Durbin-Watson stat	1.864647
Prob(F-statistic)	0.000000		

Dependent Variable: RENDQUINUA  
Method: ARMA Conditional Least Squares (BFGS / Marquardt steps)  
Date: 09/16/20 Time: 12:47  
Sample (adjusted): 1965 2019  
Included observations: 55 after adjustments  
Failure to improve likelihood (non-zero gradients) after 17 iterations  
Coefficient covariance computed using outer product of gradients

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-10342.57	1500.535	-6.892590	0.0000
TMAX	1372.502	201.0408	6.826980	0.0000
TMAX2	-42.46946	6.598811	-6.435927	0.0000
TMIN	261.6685	87.25577	2.998868	0.0042
TMIN2	-65.69535	18.84678	-3.485760	0.0010
AR(1)	0.823343	0.083852	9.819005	0.0000

R-squared	0.899898	Mean dependent var	774.5273
Adjusted R-squared	0.889684	S.D. dependent var	280.7964
S.E. of regression	93.26341	Akaike info criterion	12.01140
Sum squared resid	426205.1	Schwarz criterion	12.23038
Log likelihood	-324.3135	Hannan-Quinn criter.	12.09608
F-statistic	88.10036	Durbin-Watson stat	2.584612
Prob(F-statistic)	0.000000		

Dependent Variable: RENDQUINUA  
Method: ARMA Conditional Least Squares (BFGS / Marquardt steps)  
Date: 09/28/20 Time: 11:11  
Sample (adjusted): 1965 2019  
Included observations: 55 after adjustments  
Failure to improve likelihood (non-zero gradients) after 23 iterations  
Coefficient covariance computed using outer product of gradients

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-9473.300	1812.978	-5.225270	0.0000
PRECIP	5.454395	3.061499	1.781609	0.0813
PRECIP2	-0.003958	0.002328	-1.700401	0.0957
TMAX	1030.073	310.7875	3.314397	0.0018
TMAX2	-31.75314	10.00817	-3.172723	0.0027
TMIN	238.2366	87.48174	2.723272	0.0090
TMIN2	-59.59860	19.18537	-3.106461	0.0032
AR(1)	0.841817	0.082433	10.21214	0.0000

R-squared	0.903006	Mean dependent var	774.5273
Adjusted R-squared	0.888560	S.D. dependent var	280.7964
S.E. of regression	93.73707	Akaike info criterion	12.05259
Sum squared resid	412972.0	Schwarz criterion	12.34456
Log likelihood	-323.4462	Hannan-Quinn criter.	12.16550
F-statistic	62.50962	Durbin-Watson stat	2.530246
Prob(F-statistic)	0.000000		

**b) CEBADA**

Dependent Variable: RENDCEBADA  
Method: ARMA Conditional Least Squares (BFGS / Marquardt steps)  
Date: 09/16/20 Time: 13:37  
Sample (adjusted): 1965 2019  
Included observations: 55 after adjustments  
Convergence achieved after 32 iterations  
Coefficient covariance computed using outer product of gradients

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-4646.287	723.4459	-6.422439	0.0000
PRECIP	16.94072	2.340829	7.237056	0.0000
PRECIP2	-0.012798	0.001886	-6.785117	0.0000
DUM	476.9751	76.03830	6.272827	0.0000
AR(1)	0.840078	0.079932	10.50992	0.0000

R-squared	0.861398	Mean dependent var	852.0182
Adjusted R-squared	0.850310	S.D. dependent var	236.5348
S.E. of regression	91.51476	Akaike info criterion	11.95739
Sum squared resid	418747.6	Schwarz criterion	12.13987
Log likelihood	-323.8281	Hannan-Quinn criter.	12.02795
F-statistic	77.68652	Durbin-Watson stat	2.409343
Prob(F-statistic)	0.000000		

Dependent Variable: RENDCEBADA  
Method: ARMA Conditional Least Squares (BFGS / Marquardt steps)  
Date: 12/09/20 Time: 20:54  
Sample (adjusted): 1965 2019  
Included observations: 55 after adjustments  
Failure to improve likelihood (non-zero gradients) after 13 iterations  
Coefficient covariance computed using outer product of gradients

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-7722.664	1357.973	-5.686904	0.0000
TMAX	1043.772	175.6584	5.942057	0.0000
TMAX2	-31.20561	5.638350	-5.534529	0.0000
DM	-388.1695	79.54666	-4.879772	0.0000
AR(1)	0.633994	0.109786	5.774825	0.0000

R-squared	0.855447	Mean dependent var	852.0182
Adjusted R-squared	0.843882	S.D. dependent var	236.5348
S.E. of regression	93.45903	Akaike info criterion	11.99943
Sum squared resid	436729.5	Schwarz criterion	12.18192
Log likelihood	-324.9844	Hannan-Quinn criter.	12.07000
F-statistic	73.97318	Durbin-Watson stat	2.241680
Prob(F-statistic)	0.000000		

Dependent Variable: RENDCEBADA  
Method: ARMA Conditional Least Squares (BFGS / Marquardt steps)  
Date: 12/13/20 Time: 17:20  
Sample (adjusted): 1965 2019  
Included observations: 55 after adjustments  
Convergence achieved after 24 iterations  
Coefficient covariance computed using outer product of gradients

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	186.4369	95.00043	1.962485	0.0553
TMIN	621.4507	75.36101	8.246317	0.0000
TMIN2	-117.3390	16.22570	-7.231680	0.0000
DM	-408.1268	70.61327	-5.779747	0.0000
AR(1)	0.750391	0.100000	7.503894	0.0000

R-squared	0.873870	Mean dependent var	852.0182
Adjusted R-squared	0.863780	S.D. dependent var	236.5348
S.E. of regression	87.30035	Akaike info criterion	11.86309
Sum squared resid	381067.6	Schwarz criterion	12.04558
Log likelihood	-321.2351	Hannan-Quinn criter.	11.93366
F-statistic	86.60417	Durbin-Watson stat	2.369702
Prob(F-statistic)	0.000000		

Dependent Variable: RENDCEBADA  
Method: ARMA Conditional Least Squares (BFGS / Marquardt steps)  
Date: 12/13/20 Time: 17:24  
Sample (adjusted): 1965 2019  
Included observations: 55 after adjustments  
Failure to improve likelihood (non-zero gradients) after 23 iterations  
Coefficient covariance computed using outer product of gradients

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-3795.769	2066.673	-1.836657	0.0725
TMAX	516.6786	275.3923	1.876155	0.0667
TMAX2	-15.43608	8.633242	-1.787982	0.0801
TMIN	376.9261	137.2881	2.745512	0.0085
TMIN2	-72.00366	27.94223	-2.576876	0.0131
DM	-399.9337	71.83807	-5.567155	0.0000
AR(1)	0.709553	0.106125	6.686007	0.0000

R-squared	0.880353	Mean dependent var	852.0182
Adjusted R-squared	0.865397	S.D. dependent var	236.5348
S.E. of regression	86.78055	Akaike info criterion	11.88306
Sum squared resid	361481.5	Schwarz criterion	12.13853
Log likelihood	-319.7840	Hannan-Quinn criter.	11.98185
F-statistic	58.86331	Durbin-Watson stat	2.279737
Prob(F-statistic)	0.000000		

Dependent Variable: RENDCEBADA  
Method: ARMA Conditional Least Squares (BFGS / Marquardt steps)  
Date: 09/16/20 Time: 13:19  
Sample (adjusted): 1965 2019  
Included observations: 55 after adjustments  
Failure to improve likelihood (non-zero gradients) after 56 iterations  
Coefficient covariance computed using outer product of gradients

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-5292.882	2857.090	-1.852543	0.0702
PRECIP	3.460222	3.628837	0.953535	0.3452
PRECIP2	-0.002135	0.002987	-0.714798	0.4783
TMAX	570.8533	330.2328	1.728639	0.0904
TMAX2	-17.01117	10.39108	-1.637094	0.1083
TMIN	203.6446	183.2089	1.111543	0.2720
TMIN2	-54.18722	40.00980	-1.354349	0.1821
AR(1)	0.769108	0.099978	7.692770	0.0000

R-squared	0.830558	Mean dependent var	852.0182
Adjusted R-squared	0.805322	S.D. dependent var	236.5348
S.E. of regression	104.3645	Akaike info criterion	12.26738
Sum squared resid	511922.0	Schwarz criterion	12.55936
Log likelihood	-329.3530	Hannan-Quinn criter.	12.38029
F-statistic	32.91169	Durbin-Watson stat	2.407275
Prob(F-statistic)	0.000000		

c) PAPA

Dependent Variable: RENDPAPA  
Method: ARMA Conditional Least Squares (BFGS / Marquardt steps)  
Date: 09/28/20 Time: 18:39  
Sample (adjusted): 1965 2019  
Included observations: 55 after adjustments  
Failure to improve likelihood (non-zero gradients) after 21 iterations  
Coefficient covariance computed using outer product of gradients

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-197483.8	47315.89	-4.173731	0.0001
PRECIP	514.2769	54.62156	9.415274	0.0000
PRECIP2	-0.338765	0.036767	-9.213944	0.0000
DUM	1526.859	623.7007	2.448064	0.0179
AR(1)	1.010187	0.041418	24.38990	0.0000

R-squared	0.936208	Mean dependent var	7275.073
Adjusted R-squared	0.931104	S.D. dependent var	2935.398
S.E. of regression	770.4829	Akaike info criterion	16.21842
Sum squared resid	29682192	Schwarz criterion	16.40090
Log likelihood	-441.0065	Hannan-Quinn criter.	16.28899
F-statistic	183.4484	Durbin-Watson stat	2.447947
Prob(F-statistic)	0.000000		

Dependent Variable: RENDPAPA  
Method: ARMA Conditional Least Squares (BFGS / Marquardt steps)  
Date: 09/29/20 Time: 11:16  
Sample (adjusted): 1967 2019  
Included observations: 53 after adjustments  
Failure to improve likelihood (non-zero gradients) after 3 iterations  
Coefficient covariance computed using outer product of gradients

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-488235.1	74679.65	-6.537726	0.0000
TMAX	55935.50	8492.635	6.586354	0.0000
TMAX2	-1573.101	242.1843	-6.495468	0.0000
AR(1)	0.524132	0.119470	4.387132	0.0001
AR(3)	0.413214	0.128212	3.222907	0.0023

R-squared	0.807970	Mean dependent var	7404.321
Adjusted R-squared	0.791968	S.D. dependent var	2909.208
S.E. of regression	1326.907	Akaike info criterion	17.30868
Sum squared resid	84512686	Schwarz criterion	17.49455
Log likelihood	-453.6799	Hannan-Quinn criter.	17.38016
F-statistic	50.49026	Durbin-Watson stat	2.011474
Prob(F-statistic)	0.000000		

Dependent Variable: RENDPAPA  
Method: ARMA Conditional Least Squares (BFGS / Marquardt steps)  
Date: 12/13/20 Time: 17:46  
Sample (adjusted): 1967 2019  
Included observations: 53 after adjustments  
Failure to improve likelihood (non-zero gradients) after 24 iterations  
Coefficient covariance computed using outer product of gradients

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-26946.00	50724.69	-0.531221	0.5977
TMIN	11408.84	2502.816	4.558401	0.0000
TMIN2	-1502.985	347.0304	-4.330988	0.0001
AR(1)	0.669231	0.113733	5.884256	0.0000
AR(3)	0.344437	0.124656	2.763104	0.0081

R-squared	0.929750	Mean dependent var	7404.321
Adjusted R-squared	0.923896	S.D. dependent var	2909.208
S.E. of regression	802.5613	Akaike info criterion	16.30308
Sum squared resid	30917020	Schwarz criterion	16.48896
Log likelihood	-427.0317	Hannan-Quinn criter.	16.37456
F-statistic	158.8192	Durbin-Watson stat	2.012567
Prob(F-statistic)	0.000000		

Dependent Variable: RENDPAPA  
Method: ARMA Conditional Least Squares (BFGS / Marquardt steps)  
Date: 12/13/20 Time: 17:53  
Sample (adjusted): 1965 2019  
Included observations: 55 after adjustments  
Failure to improve likelihood (non-zero gradients) after 21 iterations  
Coefficient covariance computed using outer product of gradients

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-92527.78	76888.32	-1.203405	0.2346
TMAX	11696.78	5296.081	2.208573	0.0319
TMAX2	-361.4850	149.8126	-2.412914	0.0196
TMIN	9178.258	2879.001	3.188001	0.0025
TMIN2	-1035.769	386.3467	-2.680932	0.0100
AR(1)	0.991700	0.039647	25.01341	0.0000

R-squared	0.959183	Mean dependent var	7275.073
Adjusted R-squared	0.955018	S.D. dependent var	2935.398
S.E. of regression	622.5675	Akaike info criterion	15.80825
Sum squared resid	18991922	Schwarz criterion	16.02723
Log likelihood	-428.7269	Hannan-Quinn criter.	15.89293
F-statistic	230.2960	Durbin-Watson stat	2.119741
Prob(F-statistic)	0.000000		

Dependent Variable: RENDPAPA  
Method: ARMA Conditional Least Squares (BFGS / Marquardt steps)  
Date: 09/30/20 Time: 19:50  
Sample (adjusted): 1965 2019  
Included observations: 55 after adjustments  
Failure to improve likelihood (non-zero gradients) after 41 iterations  
Coefficient covariance computed using outer product of gradients

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-140647.4	55812.60	-2.519994	0.0152
PRECIP	178.3747	89.27126	1.998121	0.0515
PRECIP2	-0.112809	0.058412	-1.931256	0.0595
TMAX	10242.71	5092.818	2.011207	0.0501
TMAX2	-315.5543	144.3113	-2.186623	0.0338
TMIN	2098.362	3904.141	0.537471	0.5935
TMIN2	-176.0283	511.0867	-0.344420	0.7321
AR(1)	0.987996	0.035012	28.21849	0.0000

R-squared	0.964476	Mean dependent var	7275.073
Adjusted R-squared	0.959185	S.D. dependent var	2935.398
S.E. of regression	593.0317	Akaike info criterion	15.74210
Sum squared resid	16529269	Schwarz criterion	16.03407
Log likelihood	-424.9076	Hannan-Quinn criter.	15.85501
F-statistic	182.2910	Durbin-Watson stat	2.055091
Prob(F-statistic)	0.000000		

### d) OLLUCO

Dependent Variable: RENDOLLUCO  
Method: ARMA Conditional Least Squares (BFGS / Marquardt steps)  
Date: 09/30/20 Time: 07:37  
Sample (adjusted): 1966 2019  
Included observations: 54 after adjustments  
Failure to improve likelihood (non-zero gradients) after 22 iterations  
Coefficient covariance computed using outer product of gradients

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-98142.67	52769.77	-1.859828	0.0690
PRECIP	251.0479	37.69753	6.659532	0.0000
PRECIP2	-0.158985	0.024528	-6.481684	0.0000
DUM	1015.275	402.2791	2.523807	0.0150
AR(1)	0.732060	0.128942	5.677437	0.0000
AR(2)	0.272278	0.127639	2.133189	0.0380

R-squared	0.920887	Mean dependent var	4860.080
Adjusted R-squared	0.912646	S.D. dependent var	1541.259
S.E. of regression	455.5292	Akaike info criterion	15.18524
Sum squared resid	9960329.	Schwarz criterion	15.40623
Log likelihood	-404.0014	Hannan-Quinn criter.	15.27047
F-statistic	111.7458	Durbin-Watson stat	1.563930
Prob(F-statistic)	0.000000		

Dependent Variable: RENDOLLUCO  
Method: ARMA Conditional Least Squares (BFGS / Marquardt steps)  
Date: 09/16/20 Time: 19:11  
Sample (adjusted): 1965 2019  
Included observations: 55 after adjustments  
Failure to improve likelihood (non-zero gradients) after 3 iterations  
Coefficient covariance computed using outer product of gradients

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-242098.4	40241.41	-6.016150	0.0000
TMAX	27908.35	4682.951	5.959564	0.0000
TMAX2	-786.0984	136.1814	-5.772435	0.0000
AR(1)	0.773762	0.090954	8.507144	0.0000

R-squared	0.807975	Mean dependent var	4853.533
Adjusted R-squared	0.796679	S.D. dependent var	1527.693
S.E. of regression	688.8544	Akaike info criterion	15.97788
Sum squared resid	24200537	Schwarz criterion	16.12387
Log likelihood	-435.3918	Hannan-Quinn criter.	16.03434
F-statistic	71.52993	Durbin-Watson stat	2.387535
Prob(F-statistic)	0.000000		

Dependent Variable: RENDOLLUCO  
Method: ARMA Conditional Least Squares (BFGS / Marquardt steps)  
Date: 09/16/20 Time: 19:30  
Sample (adjusted): 1965 2019  
Included observations: 55 after adjustments  
Convergence achieved after 30 iterations  
Coefficient covariance computed using outer product of gradients

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-7704.109	3682.267	-2.092219	0.0414
TMIN	4579.818	1431.080	3.200254	0.0024
TMIN2	-395.4101	139.1655	-2.841293	0.0064
AR(1)	0.809551	0.078993	10.24838	0.0000

R-squared	0.834969	Mean dependent var	4853.533
Adjusted R-squared	0.825261	S.D. dependent var	1527.693
S.E. of regression	638.6028	Akaike info criterion	15.82639
Sum squared resid	20798493	Schwarz criterion	15.97238
Log likelihood	-431.2257	Hannan-Quinn criter.	15.88284
F-statistic	86.01092	Durbin-Watson stat	2.355667
Prob(F-statistic)	0.000000		

Dependent Variable: RENDOLLUCO  
Method: ARMA Conditional Least Squares (BFGS / Marquardt steps)  
Date: 09/30/20 Time: 11:24  
Sample (adjusted): 1965 2019  
Included observations: 55 after adjustments  
Failure to improve likelihood (non-zero gradients) after 14 iterations  
Coefficient covariance computed using outer product of gradients

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-154369.7	39984.91	-3.860700	0.0003
TMAX	16495.03	4893.193	3.371015	0.0015
TMAX2	-491.9120	140.6041	-3.498562	0.0010
TMIN	7974.086	1789.135	4.456950	0.0000
TMIN2	-713.5023	168.4412	-4.235912	0.0001
AR(1)	0.830159	0.088177	9.414683	0.0000

R-squared	0.858315	Mean dependent var	4853.533
Adjusted R-squared	0.843857	S.D. dependent var	1527.693
S.E. of regression	603.6668	Akaike info criterion	15.74659
Sum squared resid	17856267	Schwarz criterion	15.96557
Log likelihood	-427.0312	Hannan-Quinn criter.	15.83127
F-statistic	59.36743	Durbin-Watson stat	2.269261
Prob(F-statistic)	0.000000		

Dependent Variable: RENDOLLUCO  
Method: ARMA Conditional Least Squares (BFGS / Marquardt steps)  
Date: 09/30/20 Time: 11:12  
Sample (adjusted): 1965 2019  
Included observations: 55 after adjustments  
Failure to improve likelihood (non-zero gradients) after 21 iterations  
Coefficient covariance computed using outer product of gradients

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-131483.7	45322.91	-2.901044	0.0056
PRECIP	-150.1111	95.50000	-1.571844	0.1227
PRECIP2	0.100665	0.061251	1.643493	0.1070
TMAX	20099.84	7941.506	2.530985	0.0148
TMAX2	-594.4167	229.7545	-2.587182	0.0128
TMIN	8614.242	1967.558	4.378140	0.0001
TMIN2	-799.6692	187.5290	-4.264242	0.0001
AR(1)	0.758120	0.103530	7.322687	0.0000

R-squared	0.867099	Mean dependent var	4853.533
Adjusted R-squared	0.847305	S.D. dependent var	1527.693
S.E. of regression	596.9653	Akaike info criterion	15.75532
Sum squared resid	16749275	Schwarz criterion	16.04729
Log likelihood	-425.2713	Hannan-Quinn criter.	15.86823
F-statistic	43.80649	Durbin-Watson stat	2.250149
Prob(F-statistic)	0.000000		

e) ALFALFA

Dependent Variable: RENDALFALFA  
Method: ARMA Conditional Least Squares (BFGS / Marquardt steps)  
Date: 09/27/20 Time: 08:45  
Sample (adjusted): 1966 2019  
Included observations: 54 after adjustments  
Convergence achieved after 28 iterations  
Coefficient covariance computed using outer product of gradients

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	32968.50	18803.79	1.753290	0.0858
PRECIP	-45.61463	41.03904	-1.111494	0.2718
PRECIP2	0.030227	0.022232	1.359631	0.1802
AR(1)	0.407342	0.133463	3.052093	0.0037
AR(2)	0.370470	0.135614	2.731792	0.0087

R-squared	0.547212	Mean dependent var	16614.18
Adjusted R-squared	0.510250	S.D. dependent var	4861.855
S.E. of regression	3402.430	Akaike info criterion	19.19039
Sum squared resid	5.67E+08	Schwarz criterion	19.37455
Log likelihood	-513.1405	Hannan-Quinn criter.	19.26141
F-statistic	14.80463	Durbin-Watson stat	1.885508
Prob(F-statistic)	0.000000		

Inverted AR Roots	.85	-.44
-------------------	-----	------

Dependent Variable: RENDALFALFA  
Method: ARMA Conditional Least Squares (BFGS / Marquardt steps)  
Date: 09/30/20 Time: 20:28  
Sample (adjusted): 1965 2019  
Included observations: 55 after adjustments  
Convergence achieved after 17 iterations  
Coefficient covariance computed using outer product of gradients

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-65204.99	150711.1	-0.432649	0.6671
TMAX	9533.126	18305.11	0.520790	0.6048
TMAX2	-274.4552	554.8097	-0.494683	0.6230
DUMM	-6031.517	4100.811	-1.470811	0.1476
AR(1)	0.690700	0.112812	6.122593	0.0000

R-squared	0.506942	Mean dependent var	16675.74
Adjusted R-squared	0.467497	S.D. dependent var	4838.216
S.E. of regression	3530.580	Akaike info criterion	19.26282
Sum squared resid	6.23E+08	Schwarz criterion	19.44531
Log likelihood	-524.7276	Hannan-Quinn criter.	19.33339
F-statistic	12.85199	Durbin-Watson stat	2.236028
Prob(F-statistic)	0.000000		

Dependent Variable: RENDALFALFA  
Method: ARMA Conditional Least Squares (BFGS / Marquardt steps)  
Date: 09/27/20 Time: 16:48  
Sample (adjusted): 1977 2019  
Included observations: 43 after adjustments  
Convergence achieved after 38 iterations  
Coefficient covariance computed using outer product of gradients

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	25326.59	16722.55	1.514518	0.1382
TMIN	-1704.613	4248.836	-0.401195	0.6905
TMIN2	-1005.886	929.5426	-1.082130	0.2860
AR(1)	0.696279	0.113568	6.130961	0.0000
AR(13)	0.215442	0.117445	1.834409	0.0744

R-squared	0.565605	Mean dependent var	17589.93
Adjusted R-squared	0.519879	S.D. dependent var	4931.079
S.E. of regression	3416.783	Akaike info criterion	19.21973
Sum squared resid	4.44E+08	Schwarz criterion	19.42452
Log likelihood	-408.2242	Hannan-Quinn criter.	19.29525
F-statistic	12.36948	Durbin-Watson stat	2.112521
Prob(F-statistic)	0.000002		

Dependent Variable: RENDALFALFA  
Method: ARMA Conditional Least Squares (BFGS / Marquardt steps)  
Date: 09/27/20 Time: 16:57  
Sample (adjusted): 1965 2019  
Included observations: 55 after adjustments  
Convergence achieved after 24 iterations  
Coefficient covariance computed using outer product of gradients

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	21528.95	142408.9	0.151177	0.8805
TMAX	-865.0891	17268.75	-0.050096	0.9602
TMAX2	36.37737	523.2829	0.069518	0.9449
TMIN	-2058.752	4411.754	-0.468652	0.6428
TMIN2	-925.3413	958.4029	-0.965503	0.3390
AR(1)	0.655268	0.111589	5.872151	0.0000

R-squared	0.509923	Mean dependent var	16675.74
Adjusted R-squared	0.459915	S.D. dependent var	4838.216
S.E. of regression	3555.629	Akaike info criterion	19.29312
Sum squared resid	6.19E+08	Schwarz criterion	19.51210
Log likelihood	-524.5608	Hannan-Quinn criter.	19.37780
F-statistic	10.19685	Durbin-Watson stat	2.189354
Prob(F-statistic)	0.000001		

Dependent Variable: RENDALFALFA  
Method: ARMA Conditional Least Squares (BFGS / Marquardt steps)  
Date: 09/27/20 Time: 17:03  
Sample (adjusted): 1965 2019  
Included observations: 55 after adjustments  
Convergence achieved after 43 iterations  
Coefficient covariance computed using outer product of gradients

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-92035.65	140733.6	-0.653971	0.5163
PRECIP	17.04675	41.68917	0.408901	0.6845
PRECIP2	-0.004254	0.022629	-0.187988	0.8517
TMAX	10825.88	16696.05	0.648410	0.5199
TMAX2	-299.6726	504.8301	-0.593611	0.5556
TMIN	-1573.636	4236.655	-0.371434	0.7120
TMIN2	-588.6693	925.4531	-0.636088	0.5278
AR(1)	0.631343	0.115080	5.486118	0.0000

R-squared	0.572712	Mean dependent var	16675.74
Adjusted R-squared	0.509074	S.D. dependent var	4838.216
S.E. of regression	3389.950	Akaike info criterion	19.22874
Sum squared resid	5.40E+08	Schwarz criterion	19.52072
Log likelihood	-520.7904	Hannan-Quinn criter.	19.34165
F-statistic	8.999454	Durbin-Watson stat	2.273279
Prob(F-statistic)	0.000001		

## Anexo 7. Prueba de Heterocedasticidad - Test de White

### a) Quinua

Heteroskedasticity Test: White			
F-statistic	2.489117	Prob. F(35,19)	0.0189
Obs*R-squared	45.15257	Prob. Chi-Square(35)	0.1169
Scaled explained SS	25.84507	Prob. Chi-Square(35)	0.8699

### b) Cebada

Heteroskedasticity Test: White			
F-statistic	5.441331	Prob. F(35,19)	0.0001
Obs*R-squared	50.01066	Prob. Chi-Square(35)	0.0480
Scaled explained SS	54.97072	Prob. Chi-Square(35)	0.0171

### c) Papa

Heteroskedasticity Test: White			
F-statistic	5.294435	Prob. F(35,19)	0.0002
Obs*R-squared	49.88510	Prob. Chi-Square(35)	0.0492
Scaled explained SS	53.45749	Prob. Chi-Square(35)	0.0237

### d) Olluco

Heteroskedasticity Test: White			
F-statistic	1.200073	Prob. F(34,20)	0.3391
Obs*R-squared	36.90863	Prob. Chi-Square(34)	0.3360
Scaled explained SS	27.75756	Prob. Chi-Square(34)	0.7663

### e) Alfalfa

Heteroskedasticity Test: White			
F-statistic	2.407496	Prob. F(35,19)	0.0225
Obs*R-squared	44.88015	Prob. Chi-Square(35)	0.1224
Scaled explained SS	41.36686	Prob. Chi-Square(35)	0.2125

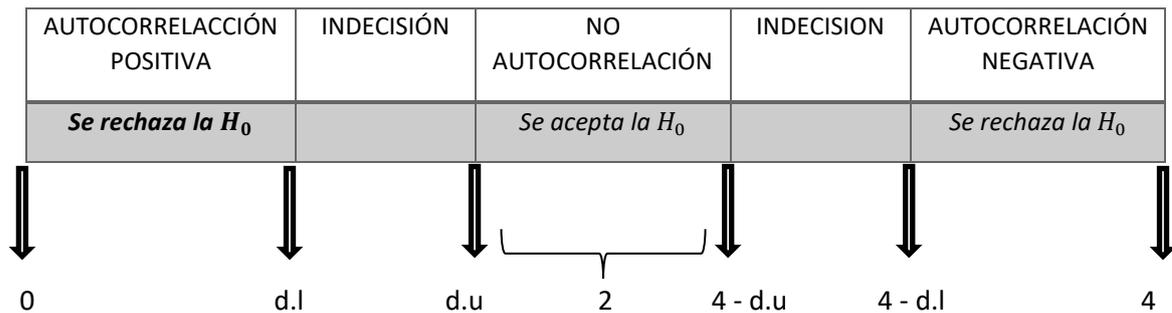
<sup>7</sup>  $H_0 =$  Los errores no tienen heterocedasticidad  
 $H_a =$  Los errores tienen heterocedasticidad

### Anexo 8. Prueba de Durbin- Watson

En las Tablas de Dubin-Watson, se obtienen los límites inferior y superior al 95% de confianza, con un tamaño de muestra igual a 55, es decir observaciones y con un  $k^*$  igual al número de variables explicativas excluyendo el término constante, es así que se tiene:

<b>DURBIN WATSON</b>			
<b>n</b>	<b><math>k^*</math></b>	<b>Límite Inferior (d.l)</b>	<b>Limite Superior (d.u)</b>
55	2	1.490	1.641
55	3	1.452	1.681
55	4	1.414	1.724
55	5	1.374	1.768
55	6	1.334	1.814

Este criterio nos permite determinar la región a la que corresponde el resultado que se tiene, de la siguiente forma:



## Anexo 9. Prueba de Correlación - Medida de Besley, Kuck y Welsch

### a) Quinoa

Principal Components Analysis  
Date: 06/23/21 Time: 06:06  
Sample: 1964 2025  
Included observations: 62  
Computed using: Ordinary correlations  
Extracting 3 of 3 possible components

Eigenvalues: (Sum = 3, Average = 1)					
Number	Value	Difference	Proportion	Cumulative Value	Cumulative Proportion
1	2.570645	2.281800	0.8569	2.570645	0.8569
2	0.288845	0.148334	0.0963	2.859490	0.9532
3	0.140510	—	0.0468	3.000000	1.0000

Eigenvectors (loadings):			
Variable	PC 1	PC 2	PC 3
PRECIP	0.568842	-0.702209	0.428160
TMAX	0.594706	-0.008407	-0.303899
TMIN	0.568105	0.711921	0.412826

Ordinary correlations:			
	PRECIP	TMAX	TMIN
PRECIP	1.000000		
TMAX	0.822976	1.000000	
TMIN	0.711172	0.820146	1.000000

### b) Cebada en grano

Principal Components Analysis  
Date: 06/23/21 Time: 06:25  
Sample: 1964 2025  
Included observations: 62  
Computed using: Ordinary correlations  
Extracting 3 of 3 possible components

Eigenvalues: (Sum = 3, Average = 1)					
Number	Value	Difference	Proportion	Cumulative Value	Cumulative Proportion
1	2.824995	2.689676	0.9417	2.824995	0.9417
2	0.135320	0.095635	0.0451	2.960315	0.9868
3	0.039685	—	0.0132	3.000000	1.0000

Eigenvectors (loadings):			
Variable	PC 1	PC 2	PC 3
PRECIP	0.567168	0.820207	0.074705
TMAX	0.580886	-0.462676	0.669704
TMIN	0.583860	-0.336440	-0.738862

Ordinary correlations:			
	PRECIP	TMAX	TMIN
PRECIP	1.000000		
TMAX	0.881356	1.000000	
TMIN	0.895955	0.959541	1.000000

### c) Papa

Principal Components Analysis  
Date: 06/23/21 Time: 06:38  
Sample: 1964 2025  
Included observations: 62  
Computed using: Ordinary correlations  
Extracting 3 of 3 possible components

Eigenvalues: (Sum = 3, Average = 1)					
Number	Value	Difference	Proportion	Cumulative Value	Cumulative Proportion
1	2.853838	2.746745	0.9513	2.853838	0.9513
2	0.107093	0.068024	0.0357	2.960931	0.9870
3	0.039069	—	0.0130	3.000000	1.0000

Eigenvectors (loadings):			
Variable	PC 1	PC 2	PC 3
PRECIP	0.576123	-0.626017	0.525533
TMAX	0.571954	0.768089	0.287937
TMIN	0.583910	-0.134693	-0.800567

Ordinary correlations:			
	PRECIP	TMAX	TMIN
PRECIP	1.000000		
TMAX	0.894803	1.000000	
TMIN	0.952635	0.933009	1.000000

### d) Olluco

Principal Components Analysis  
Date: 06/23/21 Time: 06:42  
Sample: 1964 2025  
Included observations: 62  
Computed using: Ordinary correlations  
Extracting 3 of 3 possible components

Eigenvalues: (Sum = 3, Average = 1)					
Number	Value	Difference	Proportion	Cumulative Value	Cumulative Proportion
1	2.757828	2.602422	0.9193	2.757828	0.9193
2	0.155406	0.068641	0.0518	2.913235	0.9711
3	0.086765	—	0.0289	3.000000	1.0000

Eigenvectors (loadings):			
Variable	PC 1	PC 2	PC 3
PRECIP	0.580118	-0.456786	0.674395
TMAX	0.569782	0.819240	0.064764
TMIN	0.582074	-0.346688	-0.735525

Ordinary correlations:			
	PRECIP	TMAX	TMIN
PRECIP	1.000000		
TMAX	0.857210	1.000000	
TMIN	0.912814	0.866378	1.000000

### e) Alfalfa

Principal Components Analysis  
Date: 06/23/21 Time: 06:48  
Sample: 1964 2025  
Included observations: 62  
Computed using: Ordinary correlations  
Extracting 3 of 3 possible components

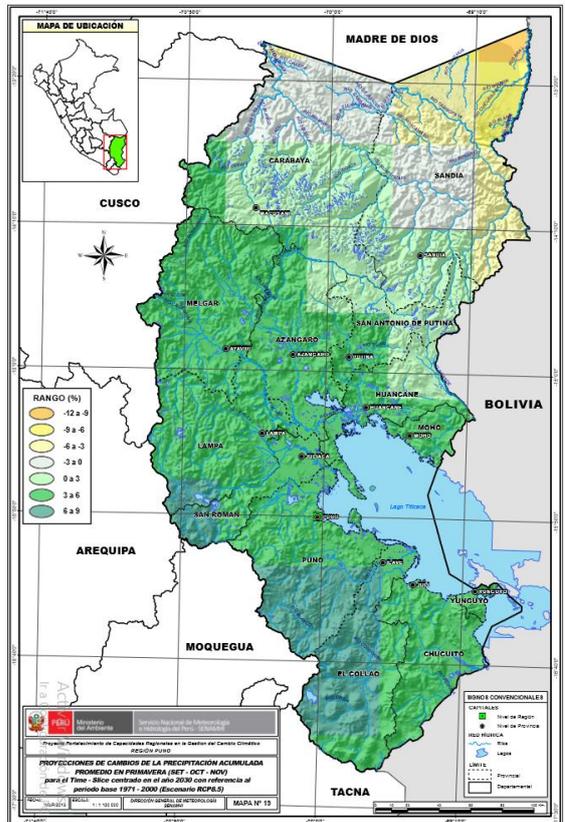
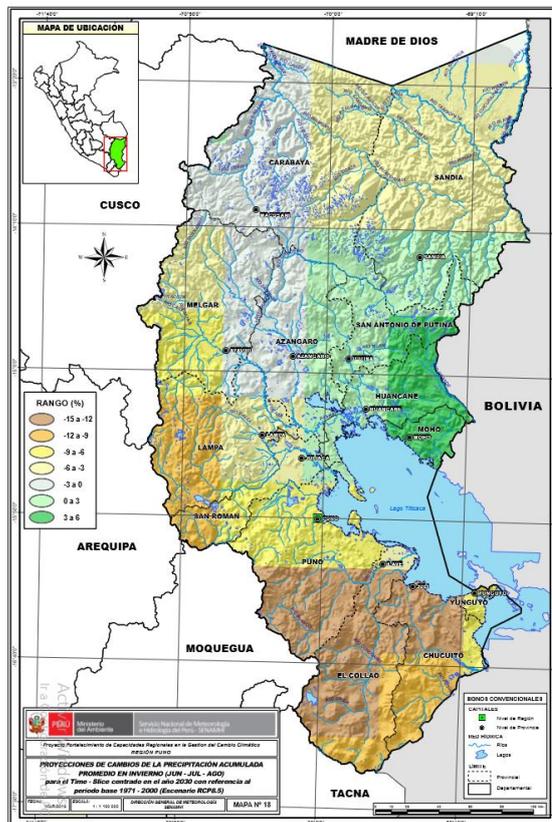
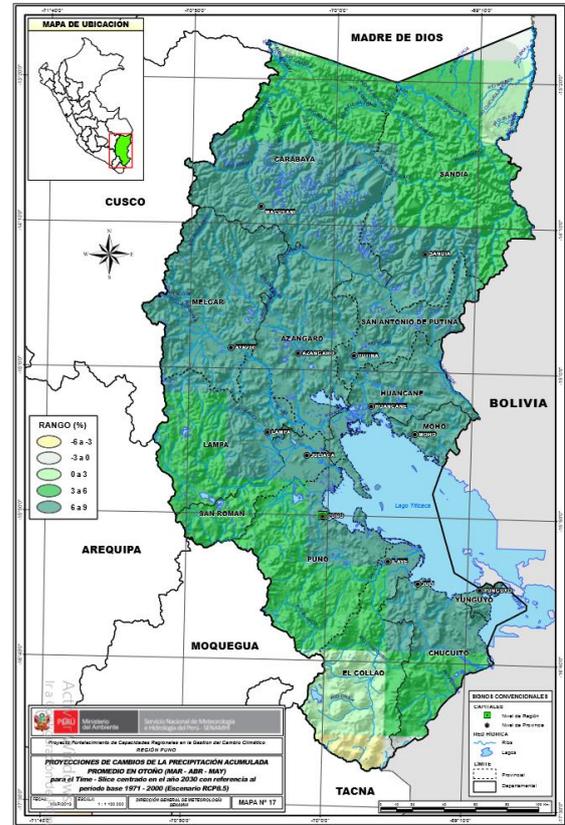
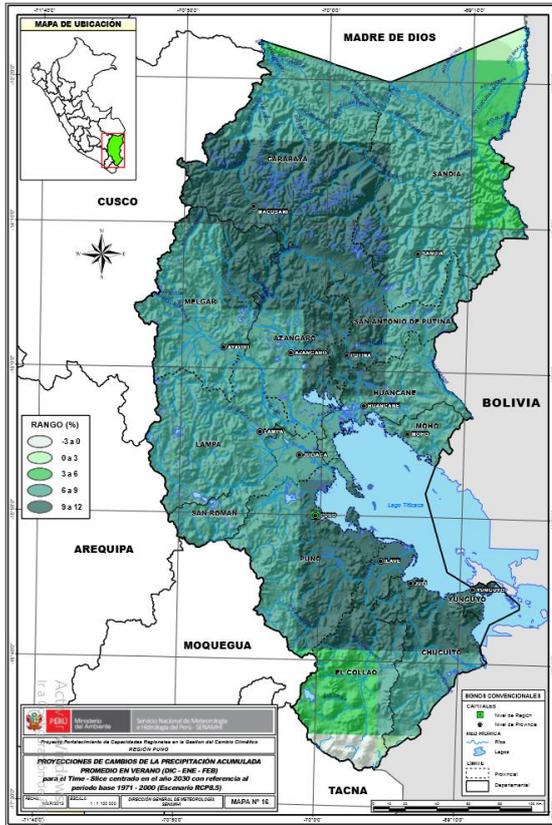
Eigenvalues: (Sum = 3, Average = 1)					
Number	Value	Difference	Proportion	Cumulative Value	Cumulative Proportion
1	1.823593	0.983879	0.6079	1.823593	0.6079
2	0.839713	0.503019	0.2799	2.663306	0.8878
3	0.336694	—	0.1122	3.000000	1.0000

Eigenvectors (loadings):			
Variable	PC 1	PC 2	PC 3
PRECIP	0.430781	0.877558	0.210523
TMAX	0.613051	-0.456752	0.645336
TMIN	0.662266	-0.148937	-0.734317

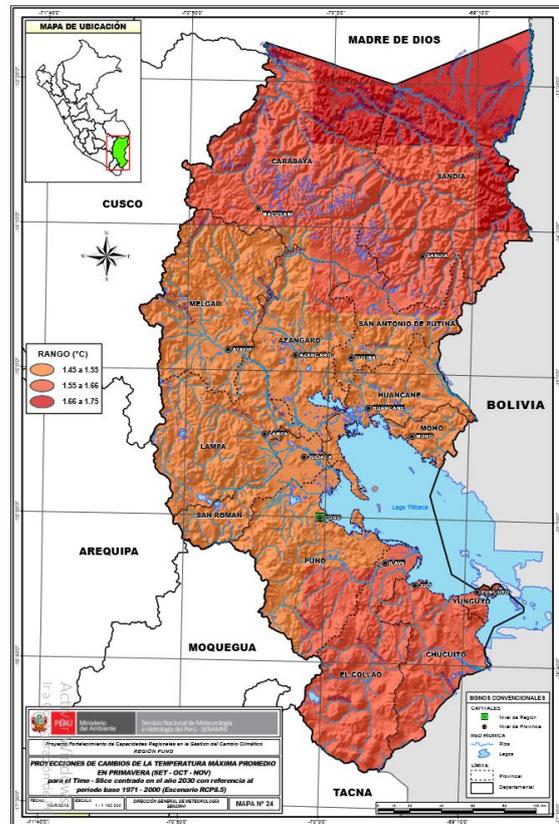
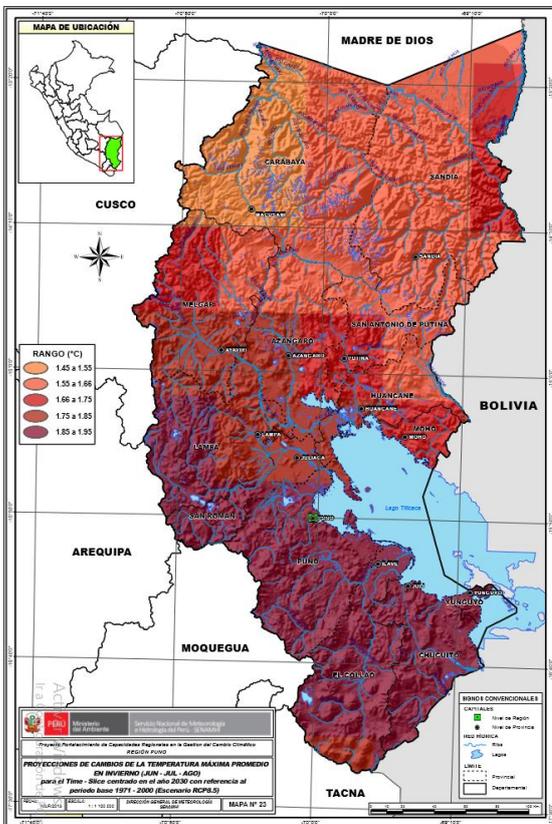
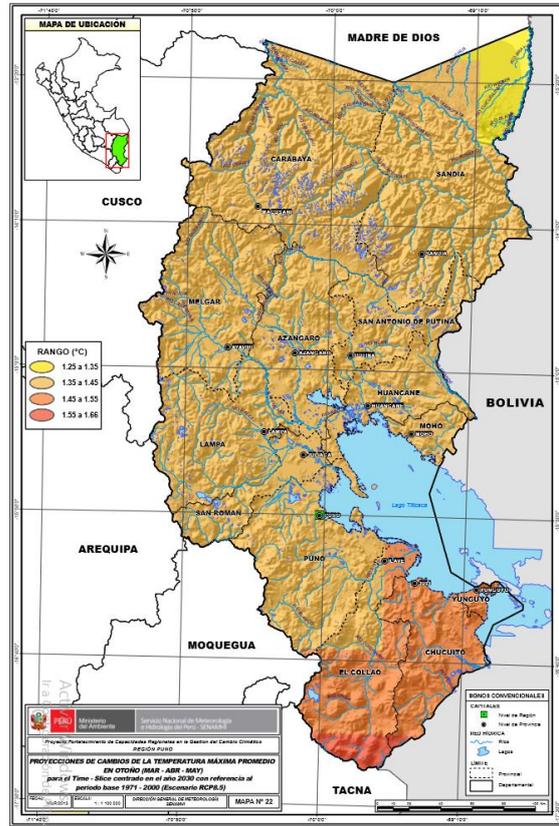
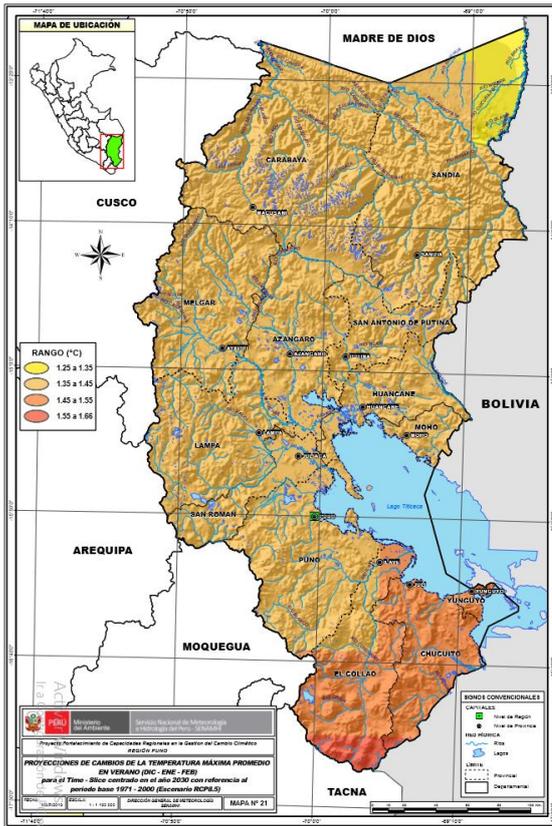
Ordinary correlations:			
	PRECIP	TMAX	TMIN
PRECIP	1.000000		
TMAX	0.191494	1.000000	
TMIN	0.358454	0.637829	1.000000

<sup>8</sup>  $H_0 =$  La serie no presenta multicolinealidad  
 $H_a =$  La serie presenta multicolinealidad

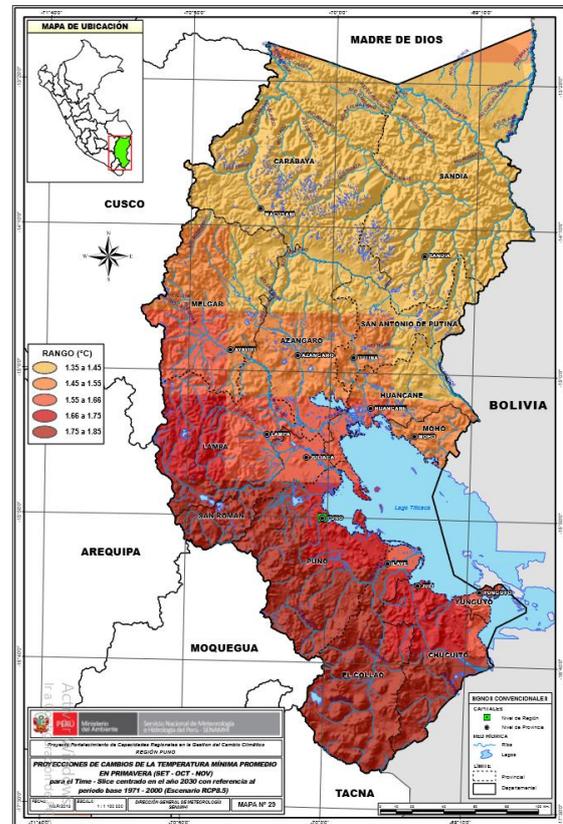
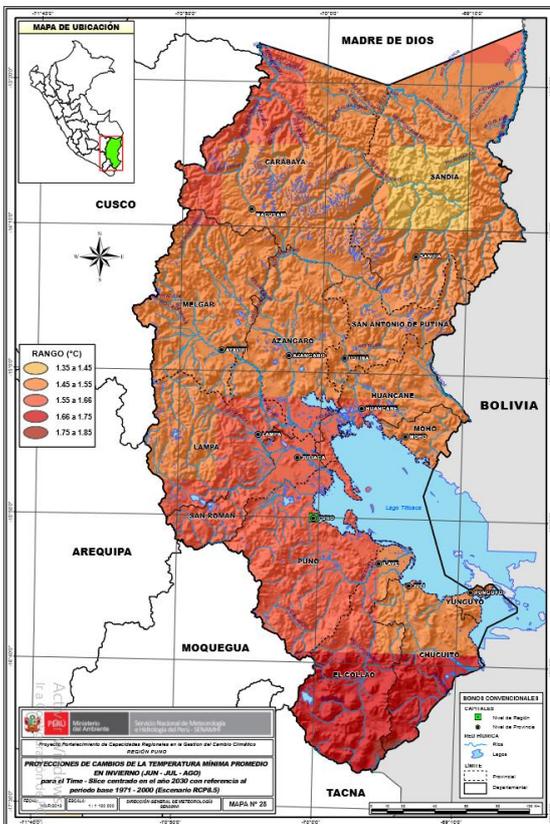
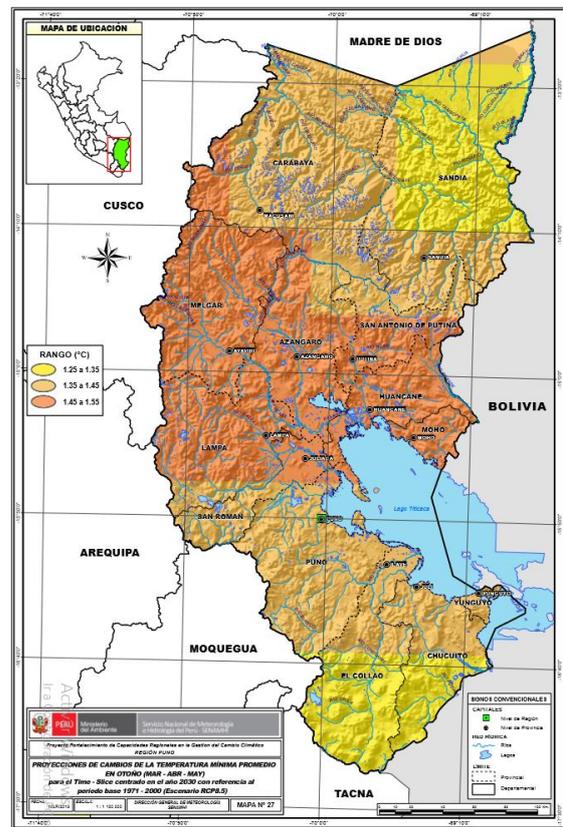
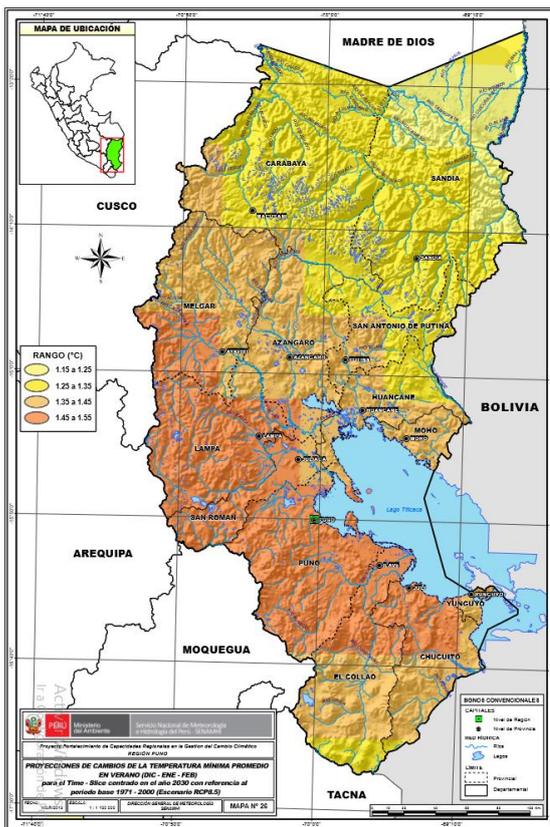
### Anexo 10. Mapas Proyecciones PRECIPITACIONES PLUVIALES



TEMPERATURA MÁXIMA



TEMPERATURA MÍNIMA



**Anexo 11. Producción total por Provincias campaña de 1996-1997 a 2017-2018  
(TM)**

PROVINCIA	CEREALES		TUBERCULOS		FORRAJE
	QUINUA	CEBADA	PAPA	OLLUCO	ALFALFA
PUNO	83511	80056	860699	18751	1107678
AZANGARO	<b>124583</b>	<b>109647</b>	1501397	38140	1554498
CARABAYA	879	3534	<b>2290676</b>	<b>42815</b>	
CHUCUITO	82996	85192	1016146	5046	136770
HUANCANÉ	53127	106809	1128155	35639	1539305
LAMPA	38206	19340	419251	12889	956081
MELGAR	18769	9633	231879	6531	<b>2730906</b>
MOHO	2942	9255	335058	8502	12733
PUTINA	8317	5195	274458	5168	31481
SAN ROMÁN	71736	33123	490106	18169	888442
YUNGUYO	8452	22719	672013	15412	4281
EL COLLAO	106064	89605	1111564	1945	423139
SANDIA			1128309		

Fuente: Elaboración propia en base a Dirección Regional Agraria – Puno

<https://www.agropuno.gob.pe/estadistica-agricola/>

### Anexo 12. Matriz de Consistencia

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES
¿Cuál es el efecto del cambio climático (temperatura, precipitación) en el rendimiento de los principales cultivos de la Región Puno en el periodo 1964-2019?	Analizar el efecto del cambio climático (temperatura, precipitación) en el rendimiento de los principales cultivos de la Región Puno en el periodo 1964-2019.	El efecto que tiene el cambio climático (aumento de la temperatura) en el rendimiento de los principales cultivos en la Región Puno, al principio son positivos; pasados los límites de temperatura óptima son negativos.	<b>Variable Dependiente :</b> -Rendimiento <b>Variable Independiente:</b> -Precipitación Pluvial -Temperatura máxima -Temperatura mínima	<b>-Kg./Ha</b> <b>- milímetros</b> <b>- Centígrados</b>
¿Cuál es el comportamiento del Rendimiento de los principales cultivos en la Región Puno en el periodo 1964-2019? ¿Son estacionarias?	Analizar el Rendimiento de los principales cultivos en la Región Puno en el periodo 1964-2019 y su Estacionariedad.	El comportamiento de los principales cultivos en la Región Puno en el periodo 1964-2019 fluctúan de manera creciente y sus variables tienen relación a largo plazo	Rendimiento agrícola	<b>-Kg./Ha</b>
¿Existe un nivel en el comportamiento de las precipitaciones pluviales y temperaturas extremas que sean críticos para el rendimiento de los principales cultivos en la Región de Puno durante el periodo de estudio?	Determinar los umbrales de precipitaciones pluviales, temperatura máxima y mínima a los que el rendimiento de los principales cultivos de la Región de Puno alcanza niveles críticos.	Existe un umbral de precipitaciones pluviales y temperatura máxima que maximiza el rendimiento de los cultivos.	<b>Variable Dependiente :</b> -Rendimiento <b>Variable Independiente:</b> -Precipitación pluvial -Temperatura máxima -Temperatura mínima	<b>-Kg./Ha</b> <b>- milímetros</b> <b>- Centígrados</b>

<p>¿Cuál será el Rendimiento de los principales cultivos de la Región Puno en el periodo 2020 al 2025?</p>	<p>Determinar el Rendimiento de los principales cultivos de la Región Puno en el periodo 2020 al 2025</p>	<p>El rendimiento de los principales cultivos de la Región Puno en el periodo 2020 al 2025 , presenta una tendencia decreciente , expresada en la reducción del rendimiento de cultivos</p>	<p>Rendimiento agrícola</p>	<p><b>-Kg./Ha</b></p>
--	---	---	-----------------------------	-----------------------