



# UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

## ESCUELA DE POSGRADO

### DOCTORADO EN CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE



#### TESIS

#### EFFECTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA PRODUCCIÓN DE PAPA EN LA REGIÓN PUNO, PERIODO 2000 - 2022

#### PRESENTADA POR:

**WILBER ANTONIO FIGUEROA QUISPE**

#### PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:

**DOCTORIS SCIENTIAE EN CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE**

**PUNO, PERÚ**

**2024**

## Reporte de similitud

NOMBRE DEL TRABAJO

**EFECTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA PRODUCCIÓN DE PAPA EN LA REGIÓN PUNO, PERIODO 2000 - 2022**

AUTOR

**WILBER ANTONIO FIGUEROA QUISPE**

RECuento DE PALABRAS

**38442 Words**

RECuento DE CARACTERES

**212559 Characters**

RECuento DE PÁGINAS

**176 Pages**

TAMAÑO DEL ARCHIVO

**7.8MB**

FECHA DE ENTREGA

**Oct 11, 2024 10:24 AM GMT-5**

FECHA DEL INFORME

**Oct 11, 2024 10:26 AM GMT-5**

### ● 3% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 3% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 2% Base de datos de trabajos entregados
- 0% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

### ● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 12 palabras)



Teófilo Donaires Flores, D.Sc.  
INGENIERO QUIMICO  
CIP. 59551



Wilber Jared Engle Coyá  
ING. ESTADISTICO E INFORMATICO  
CIP. 116625

[Resumen](#)



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**ESCUELA DE POSGRADO**  
**DOCTORADO EN CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO**  
**AMBIENTE**

**TESIS**

**EFFECTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA PRODUCCIÓN DE PAPA EN LA  
REGIÓN PUNO, PERIODO 2000 - 2022**



**PRESENTADA POR:**

**WILBER ANTONIO FIGUEROA QUISPE**

**PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:**

**DOCTORIS SCIENTIAE EN CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE**

**APROBADA POR EL JURADO SIGUIENTE:**

**PRESIDENTE**

  
.....  
Ph.D. JUAN MARCOS ARO ARO

**PRIMER MIEMBRO**

  
.....  
D.Sc. ALCIDES HUAMANI PERALTA

**SEGUNDO MIEMBRO**

  
.....  
D.Sc. JAVIER MAMANI PAREDES

**ASESOR DE TESIS**

  
.....  
D.Sc. TEÓFILO DONAYRES FLORES

Puno, 19 de julio de 2024.

**ÁREA:** Ciencias de la ingeniería.

**TEMA:** Efecto del cambio climático en la producción de papa en la región Puno, periodo 2000 - 2022.

**LÍNEA:** Recursos naturales y medio ambiente.



## DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios en agradecimiento a la vida, la salud e inspiración y a mi padre quien me acompaña cada día desde el cielo.

A mis maestros, en la medida que interactuamos, nos transmiten sus experiencias y conocimientos.

Agradezco a mi familia por la motivación constante que me impulsan a desarrollarme como individuo, y por ser la fuente de mi motivación para alcanzar mis metas

*Wilber Antonio*



## AGRADECIMIENTOS

Agradezco profundamente a la Universidad Nacional del Altiplano y al equipo docente del Programa de Doctorado en Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, quienes con su valiosa orientación y constante apoyo me han proporcionado no solo conocimientos esenciales, sino también la motivación para enfrentar los desafíos del presente y del futuro.

Al Dr. Teofilo Donaires Flores por su valiosa dirección y constante apoyo durante el desarrollo de esta investigación. Asimismo, al M.Sc. Fredy Gonzalo Copari Romero, cuyo acompañamiento fue fundamental, y a todas las personas que contribuyeron de manera significativa para la culminación de este proyecto de investigación.

A la Dirección Agraria Puno – DRAP, INIA, SENAMHI Puno, por brindarme la información respectiva que ha coadyubado en la realización de la investigación. Por otro lado, de manera particular, a los miembros de jurado por su acertada, puntual experiencia y orientación.

*Wilber Antonio*



## ÍNDICE GENERAL

	<b>Pág.</b>
DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS	ii
ÍNDICE GENERAL	iii
ÍNDICE DE TABLAS	v
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
ÍNDICE DE ANEXOS	xii
ACRÓNIMOS	xiv
RESUMEN	1
ABSTRACT	2
INTRODUCCIÓN	3
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>REVISIÓN DE LITERATURA</b>	
1.1 Marco teórico	4
1.1.1 Cambio climático	4
1.1.2 Cultivo de papa	5
1.1.3 Rendimiento y producción de papa	13
1.2 Antecedentes.	18
1.2.1 Internacionales	18
1.2.2 Nacionales	24
1.2.3 Locales	26
<b>CAPÍTULO II</b>	
<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>	
2.1 Identificación del problema	28
2.2 Enunciados del problema	29
2.2.1 Problema general	29
2.2.2 Problemas específicos	29
2.3 Justificación	29
2.4 Objetivos	31
2.4.1 Objetivo general	31
2.4.2 Objetivos específicos	31
2.5 Hipótesis	31
	iii



2.5.1	Hipótesis general	31
2.5.2	Hipótesis específicas	31
<b>CAPÍTULO III</b>		
<b>MATERIALES Y MÉTODOS</b>		
3.1	Lugar de estudio	32
3.2	Población	33
3.3	Muestra	34
3.4	Método de investigación	34
3.4.1	Métodos de recopilación de datos	34
3.4.2	Análisis de los datos	34
3.4.3	Diseño estadístico	35
3.5	Descripción detallada de métodos por objetivos específicos	35
<b>CAPÍTULO IV</b>		
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>		
4.1	Resultados	39
4.1.1	Variabilidad de condiciones climáticas de la región de Puno entre 2000 - 2022	39
4.1.2	Rendimiento en la productividad de <i>Solanum tuberosum</i> en la región Puno entre 2000 - 2022	46
4.1.3	Relaciones estadísticas entre las variables climáticas y rendimiento de <i>Solanum Tuberosum</i>	56
4.2	Discusión	69
	CONCLUSIONES	72
	RECOMENDACIONES	73
	BIBLIOGRAFÍA	74
	ANEXOS	84



## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
1. Escalas de interpretación de coeficiente de correlación	38
2. Datos históricos sobre temperaturas máxima, mínima y precipitaciones de la región de Puno	39
3. Interpretación de resultados de climáticos históricos que abarcan las temperaturas máximas, mínima y precipitaciones entre 2000 - 2022	41
4. Análisis de las condiciones climáticas en la región de Puno, entre 2000 - 2022	41
5. Proyecciones climáticas de temperaturas y precipitación en la región de Puno.	42
6. Datos históricos relacionados con el rendimiento de papa en la región de Puno	46
7. Perspectivas en el rendimiento de la producción del cultivo de papa	48
8. Relación entre los factores climáticos y el rendimiento de la producción del cultivo papa	58
9. Relación entre la precipitación y del rendimiento en la producción del cultivo de papa	60
10. Interpretación de resultados provincia de Azángaro periodo 2000 - 2022	89
11. Análisis de la Temperatura en la provincia de Azángaro, periodo 2000 - 2022	89
12. Proyección de temperatura y precipitación para la provincia de Azángaro.	89
13. Análisis de la Temperatura en la provincia de Carabaya, periodo 2000 - 2022	90
14. Interpretación de resultados en la provincia de Carabaya, periodo 2000 - 2022	91
15. Proyección de temperatura y precipitación para la provincia de Carabaya.	91
16. Análisis de la Temperatura en la provincia de Chucuito, periodo 2000 - 2022	92
17. Interpretación de resultados provincia de Chucuito, periodo 2000 - 2022	93
18. Proyección de temperatura y precipitación para la provincia de Chucuito.	93
19. Análisis de la Temperatura en la provincia de El Collao, periodo 2000 - 2022	94





20.	Interpretación de resultados en la provincia de El Collao, periodo 2000 - 2022	95
21.	Proyección de temperatura y precipitación para la provincia de El Collao.	95
22.	Análisis de la Temperatura en la provincia de Huancané, periodo 2000 - 2022	96
23.	Interpretación de resultados Temperatura en la provincia de Huancané, periodo 2000 - 2022	97
24.	Proyección de temperatura y precipitación para la provincia de Huancané	97
25.	Análisis de la Temperatura en la provincia de Lampa, periodo 2000 - 2022	98
26.	Interpretación de resultados Temperatura en la provincia de Lampa, periodo 2000 - 2022	99
27.	Proyección de temperatura y precipitación para la provincia de Lampa	99
28.	Análisis de la Temperatura en la provincia de Melgar, periodo 2000 - 2022	100
29.	Interpretación de resultados temperatura en la provincia de Melgar, periodo 2000 - 2022	101
30.	Proyección de temperatura y precipitación para la provincia de Melgar	101
31.	Análisis de la Temperatura en la provincia de Moho, periodo 2000 - 2022	102
32.	Interpretación de resultados temperatura en la provincia de Moho, periodo 2000 - 2022	103
33.	Proyección de temperatura y precipitación para la provincia de Moho	103
34.	Análisis de la Temperatura en la provincia de Puno, periodo 2000 - 2022	104
35.	Interpretación de resultados temperatura en la provincia de Puno, periodo 2000 - 2022	105
36.	Proyección de temperatura y precipitación para la provincia de Puno	105
37.	Análisis del comportamiento de la temperatura en la provincia de San Antonio de Putina, periodo 2000 - 2022	106
38.	Interpretación de resultados en la provincia de San Antonio de Putina sobre temperatura periodo 2000 - 2022	107
39.	Proyección en la provincia de San Antonio de Putina sobre temperatura y precipitación	107
40.	Interpretación de resultados temperatura máxima, temperatura mínima en °C y precipitaciones en mm de la provincia de San Román periodo 2000 - 2022	108
41.	Análisis de la Temperatura en la provincia de San Román, periodo 2000 - 2022	109



42.	Proyección de temperatura y precipitación para la provincia de San Román.	109
43.	Interpretación de resultados temperatura máxima, temperatura mínima en °C y precipitaciones en mm de la provincia de Sandia periodo 2000 - 2022	110
44.	Análisis de la Temperatura en la provincia de Sandia, periodo 2000 - 2022	111
45.	Proyección de temperatura y precipitación para la provincia de Sandia.	111
46.	Interpretación de resultados temperatura máxima, temperatura mínima en °C y precipitaciones en mm de la provincia de Yunguyo periodo 2000 - 2022	112
47.	Análisis de la Temperatura en la provincia de Yunguyo, periodo 2000 - 2022	113
48.	Proyección de temperatura y precipitación para la provincia de Yunguyo.	113
49.	Análisis del rendimiento en la producción del cultivo de papa por provincia	116
50.	Modelos de regresión en las provincias de la región Puno, periodo 2000 - 2022	119
51.	Proyecciones en la producción de las provincias de la región de Puno, periodo 2000 - 2022	119
52.	correlación entre los factores climáticos y rendimiento de la producción del cultivo papa en la provincia de Azángaro	121
53.	Correlación entre la precipitación y rendimiento de la producción del cultivo del cultivo papa de la provincia de Azángaro	123
54.	Correlación de variables climáticas y rendimiento de la producción del cultivo papa de la provincia de Carabaya	125
55.	Correlación entre la precipitación y rendimiento de la producción del cultivo de papa de la provincia de Carabaya	126
56.	Correlación entre la precipitación y rendimiento de la producción del cultivo de papa de la provincia de Chucuito	129
57.	Correlación entre variables climáticas y del rendimiento de la producción del cultivo de papa de la provincia de El Collao	131
58.	Correlación entre la precipitación y del rendimiento de la producción del cultivo de papa de la provincia de El Collao	132
59.	Correlación entre variables climáticas y del rendimiento de la producción de papa de la provincia de Huancané	134
60.	Correlación entre la precipitación y del rendimiento de la producción del cultivo de papa de la provincia de Huancané	135
61.	Correlación entre variables climáticas y del rendimiento de la producción del cultivo de papa de la provincia de Lampa	137



62.	Correlación entre la precipitación y del rendimiento de la producción de papa de la provincia de Lampa.	138
63.	Correlación entre variables climáticas y del rendimiento de la producción del cultivo de papa de la provincia de Melgar	140
64.	Correlación entre la precipitación y del rendimiento de la producción del cultivo de papa de la provincia de Melgar	141
65.	Correlación de las variables climáticas y del rendimiento de la producción del cultivo de papa de la provincia de Moho	143
66.	Correlación entre la precipitación y del rendimiento de la producción del cultivo de papa de la provincia de Moho	144
67.	Correlación de las variables climáticas y del rendimiento de la producción del cultivo de papa de la provincia de Puno	146
68.	Correlación entre la precipitación y del rendimiento de la producción del cultivo de papa de la provincia de Puno	147
69.	Correlación de las variables climáticas y del rendimiento de la producción del cultivo de papa de la provincia de San Antonio de Putina	149
70.	Correlación entre la precipitación y del rendimiento de la producción del cultivo de papa de la provincia de San Antonio de Putina	150
71.	Correlación de las variables climáticas y del rendimiento de la producción del cultivo de papa de la provincia de San Román	152
72.	Correlación entre la precipitación y del rendimiento de la producción del cultivo de papa de la provincia de San Román	153
73.	Correlación de las variables climáticas y del rendimiento de la producción del cultivo de papa de la provincia de Sandia	155
74.	Correlación entre la precipitación y del rendimiento de la producción del cultivo de papa de la provincia de Sandia	156
75.	Correlación de las variables climáticas y del rendimiento de la producción del cultivo de papa de la provincia de Yunguyo	159
76.	Correlación entre la precipitación y del rendimiento de la producción del cultivo de papa de la provincia de Yunguyo	160

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
1. Estados de crecimiento de la papa	15
2. Zona de estudio	33
3. Registro histórico de las temperaturas y precipitación en la región de Puno a lo largo del periodo 2000-2022	40
4. Registro histórico del rendimiento productivo de papa en la región de Puno entre los años 2000 - 2022	47
5. Relación entre las temperaturas máximas, mínimas y del rendimiento productivo de la papa en la región de Puno	56
6. Vinculación entre las condiciones de precipitación y rendimientos del cultivo de papa en la región de Puno	59
7. Registro histórico de las temperaturas y las precipitaciones provincia de Azángaro periodo 2000-2022	88
8. Registro histórico de las temperaturas y las precipitaciones provincia de Carabaya periodo 2000 - 2022	90
9. Registro histórico de las temperaturas y las precipitaciones provincia de Chucuito periodo 2000 - 2022	92
10. Registro histórico de las temperaturas y las precipitaciones provincia de El Collao periodo 2000 - 2022	94
11. Registro histórico de las temperaturas y las precipitaciones provincia de Huancané periodo 2000 - 2022	96
12. Registro histórico de las temperaturas y las precipitaciones provincia de Lampa periodo 2000 - 2022	98
13. Registro histórico de las temperaturas y las precipitaciones provincia de Melgar periodo 2000 - 2022	100
14. Registro histórico de las temperaturas y las precipitaciones provincia de Moho periodo 2000 - 2022	102
15. Registro histórico de las temperaturas y las precipitaciones provincia de Puno periodo 2000 - 2022	104
16. Registro histórico de las temperaturas y las precipitaciones provincia de San Antonio de Putina periodo 2000 - 2022	106



17.	Registro histórico de las temperaturas y las precipitaciones provincia de San Román periodo 2000 - 2022	108
18.	Registro histórico de las temperaturas y las precipitaciones provincia de Sandía periodo 2000 - 2022	110
19.	Registro histórico de las temperaturas y las precipitaciones provincia de Yunguyo periodo 2000 - 2022	112
20.	Serie original de las campañas agrícolas del rendimiento de la producción de papa por cada hectárea de las trece provincias de Puno, entre 2000 - 2022	115
21.	Modelos de regresión y proyección de las campañas agrícolas del rendimiento de la producción de papa de las trece provincias de Puno, entre 2000 - 2022	118
22.	Correlación entre las condiciones climáticas y el rendimiento del cultivo de papa provincia de Azángaro	120
23.	Correlación entre precipitación y el rendimiento del cultivo de papa provincia de Azángaro	122
24.	Correlación entre las condiciones climáticas y el rendimiento del cultivo de papa provincia de Carabaya	124
25.	Correlación entre precipitación y el rendimiento del cultivo de papa provincia de Carabaya	126
26.	Correlación entre las condiciones climáticas y el rendimiento del cultivo de papa provincia de Chucuito	127
27.	Relación de las variables climáticas y del rendimiento de la producción de papa en la provincia de Chucuito.	128
28.	Correlación entre precipitación y el rendimiento del cultivo de papa provincia de Chucuito	129
29.	Correlación entre las condiciones climáticas y el rendimiento del cultivo de papa provincia de El Collao	130
30.	Correlación entre precipitación y el rendimiento del cultivo de papa provincia de El Collao	132
31.	Correlación entre las condiciones climáticas y el rendimiento del cultivo de papa provincia de Huancané	133
32.	Correlación entre precipitación y el rendimiento del cultivo de papa provincia de Huancané	135
33.	Correlación entre las condiciones climáticas y el rendimiento del cultivo de papa provincia de Lampa	136



34.	Correlación entre precipitación y el rendimiento del cultivo de papa provincia de Lampa	138
35.	Correlación entre las condiciones climáticas y el rendimiento del cultivo de papa provincia de Melgar	139
36.	Correlación entre precipitación y el rendimiento del cultivo de papa en la provincia de Melgar	141
37.	Correlación entre precipitación y el rendimiento del cultivo de papa en la provincia de Moho	144
38.	Correlación entre las condiciones climáticas y el rendimiento del cultivo de papa provincia de Puno	145
39.	Correlación entre precipitación y el rendimiento del cultivo de papa en la provincia de Puno	147
40.	Correlación entre las condiciones climáticas y el rendimiento del cultivo de papa provincia de San Antonio de Putina	148
41.	Correlación entre precipitación y el rendimiento del cultivo de papa en la provincia de San Antonio de Putina	150
42.	Correlación entre las condiciones climáticas y el rendimiento del cultivo de papa provincia de San Román	151
43.	Correlación entre precipitación y el rendimiento del cultivo de papa provincia de San Román	153
44.	Correlación entre las condiciones climáticas y el rendimiento del cultivo de papa provincia de Sandia	154
45.	Correlación entre precipitación y el rendimiento del cultivo de papa provincia de Sandia	156
46.	Correlación entre las condiciones climáticas y el rendimiento del cultivo de papa provincia de Yunguyo	158
47.	Correlación entre precipitación y el rendimiento del cultivo de papa provincia de Yunguyo	160

## ÍNDICE DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
1. Matriz de consistencia	84
2. Temperatura máxima de las 13 provincias de la región de Puno periodo 2000 – 2022	85
3. Temperatura mínima región de Puno y sus trece provincias periodo 2000 - 2022	86
4. Precipitaciones región de Puno y sus trece provincias periodo 2000 - 2022	87
5. Determinación de los cambios climáticos de la provincia de Azángaro	88
6. Determinación de los cambios climáticos de la provincia de Carabaya	90
7. Determinación de los cambios climáticos de la provincia de Chucuito	92
8. Determinación de los cambios climáticos de la provincia de El Collao	94
9. Determinación de los cambios climáticos de la provincia de Huancané	96
10. Determinación de los cambios climáticos de la provincia de Lampa	98
11. Determinación de los cambios climáticos provincia Melgar	100
12. Determinación de cambios climáticos provincia de Moho	102
13. Determinación de los cambios climáticos de la provincia de Puno	104
14. Determinación de los cambios climáticos provincia San Antonio de Putina	106
15. Determinación de cambios climáticos provincia de San Román	108
16. Determinación de los cambios climáticos de la provincia de Sandía	110
17. Determinación de los cambios climáticos de la provincia de Yunguyo	112
18. Campañas agrícolas del rendimiento de la producción de Papa (kg/ha) por cada hectárea en las 13 Provincias de la región de Puno, periodo 2000 - 2022	114
19. Relación de los factores climáticos y el rendimiento del cultivo de papa provincia de Azángaro	120
20. Relación de los factores climáticos y el rendimiento del cultivo de papa provincia de Carabaya	124
21. Relación de los factores climáticos y el rendimiento del cultivo de papa provincia de Chucuito	127
22. Relación de los factores climáticos y el rendimiento del cultivo de papa provincia de El Collao	130



23.	Relación de los factores climáticos y el rendimiento del cultivo de papa provincia de Huancané	133
24.	Relación de los factores climáticos y el rendimiento del cultivo de papa provincia de Lampa	136
25.	Relación de los factores climáticos y el rendimiento del cultivo de papa provincia de Melgar	139
26.	Relación de los factores climáticos y el rendimiento del cultivo de papa provincia de Moho	142
27.	Relación de los factores climáticos y el rendimiento del cultivo de papa provincia de Puno	145
28.	Relación de los factores climáticos y el rendimiento del cultivo de papa provincia de San Antonio de Putina	148
29.	Relación de los factores climáticos y el rendimiento del cultivo de papa provincia de San Román	151
30.	Relación de los factores climáticos y el rendimiento del cultivo de papa provincia de Sandia	154
31.	Relación de los factores climáticos y el rendimiento del cultivo de papa provincia de Yunguyo	158





## ACRÓNIMOS

%	: Porcentaje
CEPAL	: Comisión Económica para América Latina y el Caribe
DRA	: Gerencia Regional de Desarrollo Agrario
EPG	: Escuela de Posgrado
INIA	: Instituto Nacional de Innovación Agraria
IPCC	: Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático
kg	: Kilogramo
L	: Litro
MINAGRI	: Ministerio de Agricultura y Riego
mm	: Milímetros
msnm	: Metros sobre el nivel del mar
PROCISUR	: Programa Cooperativo Para el Desarrollo Tecnológico Agroalimentario y Agroindustrial del Cono Sur
°C	: Grados centígrados
t	: Tonelada
UNA	: Universidad Nacional del Altiplano

## RESUMEN


La región de Puno afronta retos a causa del cambio climático, afectando especialmente la producción de papa. El objetivo del estudio fue determinar la influencia del cambio climático en la producción de papa en la región de Puno, entre los años 2000 y 2022, utilizando datos de la Dirección Regional Agraria de Puno y Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. Se empleó muestreo no probabilístico y la prueba de correlación de Spearman para determinar cómo los factores climáticos afectan diferentes fases del crecimiento del cultivo, obteniendo los resultados en la Fase de Emergencia, la temperatura máxima está negativamente correlacionada con rendimiento (-0,63), indica que a temperaturas altas reduce el rendimiento de la producción de papa; en la Fase de Brotes Laterales la correlación es positiva (0,44) indica que temperaturas elevadas pueden mejorar el rendimiento; en la Fase de Botón Floral, se observa fuerte correlación positiva (0,92) entre la temperatura máxima y rendimiento; mientras que la precipitación en la Fase de Botón Floral muestra una correlación negativa (-0,58), indicando que un exceso de lluvia puede disminuir el rendimiento. Del análisis en la variabilidad climática en la región de Puno se concluye que las variables climáticas influyen en el rendimiento de la producción de papa y la temperatura máxima presenta un incremento gradual de 0,02 °C/año, la temperatura mínima es ligeramente estable y la precipitación es variable lo que no refleja una tendencia. En relación al rendimiento de la producción de papa muestra una tendencia ascendente en la región Puno.

**Palabras clave:** Climatología, fenología, precipitación, rendimiento, temperatura.

## ABSTRACT

Climate changes affect the production of many crops around the world. The objective of this work was to determine their influence on potato production at Puno, Peru, between 2000 and 2022, employing data from the regional agricultural Office and the National Service of Meteorology and Hydrology. A non-probabilistic sampling and Spearman correlation were utilized to evaluate how climatic variables affect different stages of crop growth. Results shown that there are negative correlation between yielding and both high temperatures and pluvial precipitation during emergency phase (- 0.63) and flower bud stage (- 0.58) respectively, while a strong positive correlation was observed between yielding and high temperatures during lateral bud stage (0.92). Finally, is observed that maximum temperature tended to increase by 0.02 °C/year, that minimum temperatures are stable gradually, that pluvial precipitation is variable, and that potato production at Puno has an increasing trend, despite the natural influences of climatic factors.

**Keywords:** Climatic factors, climatic changes, potato yield crop, precipitation, yield, temperature.



WENCESLAO T. MEDINA ESPINOZA  
Ing. Industrias Alimentarias Reg. CIP. 39643  
Doctor en Ciencias de la Ingeniería

## INTRODUCCIÓN

El cambio climático representa un desafío global con impactos desiguales, donde las naciones en desarrollo, como Perú, enfrentan mayores vulnerabilidades debido a sus limitados recursos. La agricultura, sector clave para la economía y subsistencia de muchas regiones, es particularmente sensible a las alteraciones en el clima, especialmente en términos de temperatura y precipitación. En la región de Puno, estas variaciones climáticas han alterado significativamente las condiciones meteorológicas, provocando fenómenos extremos como heladas y sequías. Estos cambios no solo disminuyen la productividad agrícola, sino que también impactan negativamente en los ingresos y el bienestar de los agricultores de la región.

En este marco, la investigación se enfoca en analizar el impacto que el cambio climático ha tenido sobre la producción de papa en las trece provincias de Puno región, cubriendo un total de 23 campañas agrícolas desde 1999-2000 hasta 2021-2022. La homogeneidad en el manejo agrícola y la campaña anual de producción de papa en estas provincias brinda una perspectiva completa para examinar cómo las variaciones climáticas inciden en el rendimiento de este cultivo, esencial para la economía local.

. Por lo cual, el trabajo se ha estructurado de la siguiente manera: el primer capítulo consiste en una revisión de la literatura, donde se establece el marco teórico y se analizan antecedentes relevantes que contextualizan la investigación. En el segundo capítulo, aborda el planteamiento del problema de investigación. El tercer capítulo detalla los métodos de investigación utilizados. Por último, el cuarto capítulo se enfoca en la presentación y discusión de los resultados obtenidos.

## CAPÍTULO I

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 1.1 Marco teórico

##### 1.1.1 Cambio climático

El cambio climático, según lo conceptualizado por la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, alude a las alteraciones en el sistema climático que resultan de acciones humanas, ya sean directas o indirectas. Estas acciones modifican la composición atmosférica, exacerbando la variabilidad climática natural existente y generando efectos adicionales sobre el equilibrio climático global. Este fenómeno ha emergido como uno de los desafíos socioambientales más discutidos a nivel global, impulsado por la creciente evidencia de sus impactos, como la acelerada reducción de los glaciares y la frecuencia creciente de eventos extremos de calor, que generan una preocupación mundial. Las actividades humanas han sido identificadas como una de las principales causas del actual cambio climático. (Samuelson et al., 2022; IPCC, 2013)

El cambio climático, acelerado en los últimos dos siglos, se debe al incremento de gases de efecto invernadero, resultado de actividades como la quema de combustibles fósiles, la deforestación masiva y las prácticas agrícolas intensivas. Estos gases se acumulan en la atmósfera, atrapando la radiación solar y elevando las temperaturas globales. Este fenómeno altera la composición atmosférica, intensificando la variabilidad climática natural y afectando significativamente variables clave como la temperatura y la precipitación. Como resultado, se producen fenómenos climáticos extremos que impactan negativamente en la salud humana, los recursos hídricos, los ecosistemas y la seguridad alimentaria, manifestándose en temperaturas extremas, olas de calor y cambios en la calidad del aire y el agua. (Cuadros, 2017; Soares et al., 2018; Flores, 2018; Valqui-Valqui et al., 2022a).

El cambio climático es una realidad evidente que constituye una seria amenaza para la agricultura a nivel global. Las condiciones desfavorables asociadas con el calentamiento global impactan negativamente el desarrollo, la

supervivencia y la productividad de los cultivos. Es muy probable que estas condiciones adversas se agraven en el futuro. El cambio climático impacta significativamente la producción mundial de papa al alterar la temperatura, los patrones de precipitación y los eventos climáticos extremos, afectando la productividad agrícola, el crecimiento y la tuberización, lo que requiere medidas estratégicas de adaptación para la sustentabilidad. (Rana et al., 2023; Dushyant et al., 2024)

### 1.1.2 Cultivo de papa

#### A. La Papa

La papa, conocida científicamente como *Solanum tuberosum* y perteneciente a la familia *Solanaceae*, es uno de los cultivos más relevantes a nivel global debido a su alto valor nutricional y su rol clave en la seguridad alimentaria, la economía y el bienestar social, particularmente en un escenario de cambio climático. Cultivo originario de los Andes, específicamente de la región entre Cusco y Puno en América del Sur, esta planta muestra una amplia diversidad genética con más de 6 214 variedades que incluyen tipos dulces y amargos. Las variedades autóctonas se cultivan en altitudes elevadas, entre los 3 500 y los 4 300 metros sobre el nivel del mar, principalmente en países como Perú y Bolivia, donde enfrentan condiciones climáticas extremas, como alta radiación solar, sequías y heladas. Estos cultivos se gestionan de manera sostenible, utilizando abonos orgánicos y limitando el uso de agroquímicos. La papa es una planta herbácea y perenne con un sistema de raíces rizomatoso que produce tubérculos, fundamentales para su producción agrícola. (Helwig et al., 2002; INIA, 2009; Aksoy et al., 2021)

La papa se erige como un cultivo esencial para la nutrición, la seguridad alimentaria y la economía global, ocupando el tercer lugar en importancia detrás del trigo y el arroz. En términos de producción y consumo, las regiones con mayor producción incluyen Puno, Huánuco, Cusco, Cajamarca, Huancavelica y Junín. La superficie cosechada alcanza las 330 790 hectáreas de cultivos y la producción del tubérculo se concentra en un 90 % en sierra y aproximadamente el 60 % de estas

áreas son secas. Desde la perspectiva nutricional, la papa se distingue por su alto contenido proteico en comparación con otros tubérculos, su notable aporte de carbohidratos, principalmente almidón, y su bajo contenido de grasas. Según el calendario agrícola del MINAGRI (2019) la temporada de cultivo abarca de octubre a abril. La papa prospera especialmente en suelos como el franco arenoso y franco limoso, que sean profundos, bien drenados y con una estructura adecuada para el desarrollo óptimo de sus raíces y estolones (Lutaladio y Castaldi, 2009; Perez et al., 2024).

Las condiciones óptimas para el cultivo de papa se caracterizan por precipitaciones anuales de 500 a 1160 mm y temperaturas entre  $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Temperaturas constantemente por encima de los  $28\text{ }^{\circ}\text{C}$  afectan la formación de tubérculos, mientras que una humedad relativa superior al 80 % puede promover enfermedades como la rancharia y la alternaria. La temperatura influye significativamente en el crecimiento de los cultivos al limitar la fotosíntesis y aumentar la respiración, impactando en su rendimiento. La fenología se convierte en una herramienta valiosa para entender mejor a las plantas y sus ciclos de vida, dado que ciclos fenológicos más cortos, provocados por el calor, reducen la exposición solar necesaria para la acumulación de materia seca y, por ende, pueden limitar la producción. Cambios en el clima, suelo y topografía pueden alterar las condiciones óptimas para el desarrollo agrícola, afectando la productividad agrícola de manera positiva o negativa (SENAMHI, 2011; Change et al., 2011; Seijo-Rodríguez et al., 2018).

El período de cultivo de la papa se extiende de octubre a abril y la siembra, ya sea en condiciones de lluvia o seco se lleva a cabo desde la segunda quincena de octubre hasta finales del mes de noviembre. Según el mapa de Pronóstico de Riesgo Agroclimático, noviembre es el mes en el que se concentra el mayor porcentaje de siembras en el altiplano. La cosecha se realiza cuando los tubérculos están completamente maduros, lo cual se verifica cuando la piel no se

desprende al frotarla con los dedos, la cual se efectúa entre marzo y abril (Otiniano, 2018; INIA, 2013; SENAMHI, 2020).

## **B. Clasificación de la Papa**

La papa, considerada el cuarto cultivo alimentario en términos de consumo a nivel mundial, tiene a India como el segundo mayor productor después de China, contribuyendo con aproximadamente el 12,5 % de la producción global. Las diferentes etapas del crecimiento de la papa permiten organizar su cultivo en diversas categorías, características morfológicas y métodos de cultivo. En el altiplano de Puno, se encuentran tanto variedades nativas de papa dulce como papas amargas, estas últimas con altos niveles de glicoalcaloides, lo que las hace no aptas para el consumo fresco. Para ser comestibles, las papas amargas deben pasar por un proceso de transformación, como la producción de chuño negro, tunta o chuño blanco. Las papas nativas se dividen en tres grupos: (1) papas con textura harinosa, como Ccompis, Yana Imilla y Huayro; (2) papas amarillas, como Peruanita, Amarilla del Centro, Tumbay, Huagalina y Limeña; y (3) papas amargas, adaptadas a climas fríos de gran altitud y que requieren deshidratación para su consumo, como en la elaboración de chuño, moraya o tunta (Sunitha et al., 2020; Liu et al., 2020; INIA, 2009)

## **C. Variedades de la Papa**

En la región andina de América del Sur, la papa (*solanum tuberosum*) se cultiva en una diversidad impresionante de variedades, que reflejan tanto su antigua domesticación como su adaptabilidad a diferentes condiciones climáticas. Se calcula que hay aproximadamente 5000 variedades de papa cultivadas en todo el mundo, siendo la mayor parte originaria de los Andes en Perú, Bolivia, Ecuador, Chile y Colombia. Esta rica diversidad incluye tanto variedades silvestres como cultivadas, con más de 180 especies silvestres nativas de América y una amplia gama de variedades cultivadas que se clasifican en nativas y modernas (Egúsqüiza, 2000; Ochoa, 1999)

La región de Puno, situada en el sur de Perú cerca del lago Titicaca, destaca por su excepcional diversidad genética de papas. En



esta área se han identificado más de 6214 variedades nativas, que comprenden tanto papas dulces como amargas. Las papas dulces pertenecen predominantemente a la subespecie *Solanum tuberosum andígena* e incluyen variedades como Imilla Negra, Imilla Blanca y Ccompis. Por otro lado, las papas amargas cultivadas en las zonas agroecológicas específicas de la región comprenden especies como *S. jusepczukii*, *S. curtilobum* y *S. ajanhuiri*, cada una adaptada a condiciones particulares de cultivo (Spooner et al., 2005; Helwig et al., 2002)

A pesar de esta rica diversidad de variedades nativas, el impacto de las variedades mejoradas en la producción de papa es relativamente limitado en Puno. En comparación con otras regiones como Cusco, donde variedades mejoradas como Cica y Chaska tienen una presencia notable, en Puno solo el 6 % del área cultivada utiliza variedades mejoradas. Las variedades nativas dominan la producción, ocupando el 39 % del área cultivada en la región (Helwig et al., 2002; Pradel et al., 2017).

#### **D. Observaciones meteorológicas**

Las observaciones meteorológicas son cruciales para analizar el rendimiento en la producción de papa, dado que aspectos como la temperatura del aire, la duración del fotoperíodo, las precipitaciones y la humedad relativa influyen significativamente en el desarrollo de los cultivos, el rendimiento de los tubérculos y la altura de las plantas. Estos elementos meteorológicos regulan los procesos de crecimiento de la papa, y mediante un modelo agrometeorológico que incorpore variables como la temperatura del aire y la radiación, es posible estimar los rendimientos del cultivo bajo condiciones climáticas específicas (Pereira et al., 2009; Belmont et al., 2008).

#### **E. Climatología**

La climatología, como disciplina científica que estudia el clima y sus complejas interacciones entre la atmósfera, el océano y la superficie terrestre, es esencial para comprender y prever los efectos

del cambio climático, especialmente en contextos de recursos hídricos y producción agrícola (Hartmann, 2015; Sarker, 2022). El cambio climático, caracterizado por variaciones a largo plazo en patrones de temperatura, presión y humedad, impacta directamente en el desarrollo fenológico y el rendimiento de cultivos como la papa, donde el aumento de temperaturas puede acortar los períodos de crecimiento y afectar la formación de tubérculos, lo que a su vez altera la productividad total en diferentes regiones (Ogurtsov et al., 2013; Shams et al., 2023)

## **F. Clima**

El clima, definido como los patrones a largo plazo de temperatura, precipitación y otras condiciones atmosféricas en una región específica, es fundamental para la humanidad y la vida en la Tierra, estableciendo el contexto para la evolución humana y el desarrollo social, político e histórico. En el mundo moderno, el clima influye en la agricultura, la gestión de los recursos hídricos, la salud de la población y consumo de energía. En la producción de papa, las fluctuaciones en temperatura y precipitación afectan de manera directa el rendimiento, la incidencia de enfermedades y la densidad de plagas, afectando la sustentabilidad de los cultivos. Además, el clima más cálido puede modificar los tiempos de siembra y cosecha, aumentando el riesgo de emergencias, maduración y daños por heladas, y, en general, influye en la fenología del cultivo, determinando así el éxito de la producción en diferentes localidades (Hartmann, 2015; Munyuli et al., 2023; Pulatov et al., 2015)

## **G. Precipitación**

La precipitación, medida en litros por metro cuadrado ( $L/m^2$ ) o en milímetros (mm), es crucial para la producción de papa, ya que impacta directamente el crecimiento y rendimiento de los cultivos de *Solanum tuberosum*. La cantidad de agua que cae durante un período específico, en forma de precipitaciones líquidas o sólidas, varía en intensidad y frecuencia a lo largo del tiempo, influenciando el

desarrollo del cultivo papa. En el comienzo de la temporada, la baja precipitación puede afectar negativamente el rendimiento, mientras que una mayor precipitación en etapas posteriores puede tener un efecto positivo. Sin embargo, tanto la sequía como el exceso de humedad pueden causar perturbaciones significativas, con cultivares específicos mostrando respuestas variables a estos cambios en la precipitación (Valqui-Valqui et al., 2022b; Rymuza et al., 2015; INIA, 2009).

## **H. Temperatura**

La radiación y la temperatura son factores importantes que limitan la producción de papa, afectando directamente el rendimiento de los tubérculos. El rango óptimo de temperatura para la tuberización y el crecimiento de la papa se sitúa entre 15 y 20 °C, con un desempeño ideal entre 15 y 18 °C. Temperaturas superiores a 21 °C impactan negativamente el crecimiento, y un exceso de calor puede producir tubérculos no comercializables, mientras que temperaturas mínimas afectan la calidad y comerciabilidad. El incremento de la temperatura del aire, causado por la absorción de radiación solar y la emisión de calor desde la superficie terrestre, incrementa la evapotranspiración en días cálidos y soleados. La temperatura es un factor esencial en el crecimiento de los cultivos, ya que influye en la fotosíntesis y la respiración. Un aumento en la temperatura ambiente puede restringir la fotosíntesis y aumentar la respiración, acortando el ciclo de crecimiento y disminuyendo el rendimiento potencial. Las papas prosperan en climas templados a fríos, con temperaturas ideales entre 13 y 18 °C, suelos por encima de 7 °C y noches frescas, siendo susceptibles a daños por temperaturas extremas que pueden afectar tanto el desarrollo como la formación de los tubérculos y aumentar la vulnerabilidad a plagas y enfermedades. (Haverkort et al., 2013; Muthoni y Kabira, 2015; Monteith, 1981; Firmansyah et al., 2021)

## **I. La luz**

La calidad de la luz, los ciclos diurnos de fluorescencia de clorofila y el fotoperiodo son factores cruciales en el cultivo de papa, impactando significativamente el rendimiento y el desarrollo de las plantas. Diferentes espectros de luz influyen en la fotosíntesis, la capacidad heterótrofa, y el desarrollo de microtubérculos y plántulas. La radiación solar, el principal factor atmosférico, explica las variaciones de rendimiento entre las condiciones de primavera y otoño, afectando tanto el desarrollo de las plantas como la tuberización. Los períodos de luz más cortos favorecen la tuberización, mientras que los más largos promueven el crecimiento vegetativo, impactando el rendimiento final. En climas cálidos, las variedades de papa que responden a fotoperiodos críticos de entre 13 y 16 horas suelen ser más efectivas. Además, la intensidad de la luz solar influye en la fase de floración y la formación de frutos, contribuyendo al potencial de rendimiento del cultivo de papa (Loayza et al., 2023; Bisognin et al., 2008; Long et al., 2024).

## **J. Humedad**

La cantidad de humedad en el suelo es factor importante para determinar el rendimiento de los cultivos de papa, ya que niveles óptimos de humedad afectan directamente el crecimiento, desarrollo del tubérculo y productividad del cultivo. Un equilibrio adecuado de agua, es indispensable para alcanzar el máximo potencial de rendimiento y calidad del tubérculo a lo largo de todas las etapas de desarrollo. Además, la humedad relativa influye en la eficiencia del uso del agua y el rendimiento general de la planta, especialmente en condiciones variables de temperatura. En regiones áridas, una gestión adecuada de la humedad es crucial para evitar problemas como enfermedades del tubérculo, garantizando así una productividad agrícola óptima (Liao et al., 2016; Shock, 2007; Zhang et al., 2022)

## **K. Heladas**

Las heladas durante el periodo de cultivo, generadas por el balance de radiación nocturna, se alternan con altas temperaturas diurnas y duran solo unas pocas horas, causando daños severos a los cultivos, especialmente a la papa. Aunque en el altiplano existen períodos sin heladas que varían entre 30 y 180 días dependiendo de la proximidad al lago, estos intervalos son limitados y no eliminan completamente el riesgo. Las heladas, particularmente durante las etapas tempranas de crecimiento y floración, pueden reducir drásticamente el rendimiento, con temperaturas bajo cero provocando la congelación y muerte de las plantas. Las heladas intensas pueden dañar entre el 60 % y el 80 % del follaje a  $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$  y destruir hasta el 95 % del cultivo a  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  o menos. Adicionalmente, la zona sur de la región enfrenta fenómenos climáticos adversos, como heladas invernales, sequías estivales y granizadas primaverales, que agravan las pérdidas en la producción agrícola y ganadera (Fairlie y Ortega, 1995; INIA, 2009).

## **L. Suelo**

La productividad de la papa está fuertemente influenciada por las propiedades en el suelo, particularmente del nivel de materia orgánica que contiene, el pH, y la disponibilidad de nutrientes. La materia orgánica mejora la disponibilidad de nutrientes, un efecto parcialmente mediado por la mineralización del nitrógeno, aunque otros mecanismos también contribuyen. La presencia de elementos minerales esenciales como calcio, potasio, fósforo y magnesio es crucial para el crecimiento y la productividad del cultivo. El uso de fertilizantes orgánicos, como estiércol y compost, puede mejorar la fertilidad del suelo, promoviendo un mayor rendimiento. Aunque la papa es adaptable a diversas condiciones de suelo, prefiere suelos arcilloso-silíceos, ligeros, con alto contenido de materia orgánica y un subsuelo profundo. Los suelos compactados o pedregosos pueden obstaculizar el crecimiento de tubérculos, en tanto que la humedad

excesiva puede disminuir la calidad de los tubérculos, haciéndolos más acuosos y menos sabrosos. La papa tolera un pH ácido entre 5,5 y 6, muestra adaptabilidad a la salinidad, aunque un equilibrio adecuado de estas propiedades es fundamental para optimizar la producción.(Rawal et al., 2023; Rachman et al., 2021; Coelho et al., 2022; Kevin et al., 2018).

### **1.1.3 Rendimiento y producción de papa**

#### **A. Rendimiento**

El rendimiento en la producción de papa describe la cantidad de tubérculos recolectados por unidad de superficie, como hectáreas, durante un período específico, generalmente la temporada de cultivo o un año. Este rendimiento está influenciado por factores como la nutrición mineral, la duración de la temporada de crecimiento, las técnicas de siembra y la aplicación adecuada de fertilizantes. El empleo de fertilizantes minerales en dosis precisas, ha demostrado incrementar significativamente el rendimiento, resultando en mayores cantidades de tubérculos cosechados. La precisión en la estimación del rendimiento es fundamental para una planificación efectiva y una adecuada gestión de los cultivos (Kotova et al., 2023; Hurtado, 2008).

#### **B. Producción**

La producción de papa es un proceso completo que abarca tanto el cultivo como la cosecha de este importante tubérculo, reconocido por su relevancia económica y nutricional. Este proceso incluye diversas técnicas, tales como la alternancia de cultivos, el manejo adecuado del suelo, el riego, la mejora genética de variedades, el control de plagas, cosecha, almacenamiento, procesamiento y comercialización. Históricamente, prácticas andinas ejemplifican estos métodos. La medición de la producción se basa en la cantidad obtenida en función de la unidad de análisis y el tiempo, variando desde una familia hasta áreas más amplias como distritos o regiones. Para calcular la

producción total, se multiplica el rendimiento por la superficie cultivada. (Kevin et al., 2018; Hurtado, 2008).

### **C. Zonas Naturales**

De acuerdo con Pulgar Vidal, el departamento de Puno comprende diversas zonas ecológicas, tales como Puna, Suni, Janca (también conocida como cordillera), Circunlacustre, así como Rupa Rupa (Selva Alta) y Omagua (Selva Baja). La papa variedad ocucuri blanco se adapta favorablemente a áreas agroecológicas como el Anillo Circunlacustre, Puna húmeda, Suni y Ceja de Selva, situadas a altitudes que oscilan entre los 3200 y 4000 metros sobre el nivel del mar. Este cultivo se desarrolla óptimamente en climas frescos y húmedos, con precipitaciones que varían entre 600 y 800 mm y temperaturas que oscilan entre 12 y 18 °C.

### **D. Áreas de Producción del cultivo de Papa**

En la región de Puno, los sistemas de producción de papa destacan por su singularidad, ya que constituyen alrededor del 17 % del área total cultivada en Perú, diferenciándose del resto del país debido a la altitud y por factores abióticos, como las heladas y sequías, que restringen la implementación de variedades mejoradas. Más del 90 % del área de papa en esta región está destinada al cultivo de papas nativas, lo que indica la necesidad de estrategias más adaptadas para mejorar las condiciones de vida de los agricultores (Pradel et al., 2017; INIA, 2009),

Las variedades mejoradas de papa han sido desarrolladas para incrementar el rendimiento y enfrentar restricciones productivas como el tizón tardío, virus y sequías. Sin embargo, su éxito en el campo depende de la implementación de un paquete tecnológico completo, que incluye el uso de fertilizantes y buenas prácticas de manejo, aunque esto no siempre se cumple. Además, la biodiversidad de las papas nativas en las zonas andinas, especialmente en Cusco y Puno, es fundamental para la sostenibilidad agrícola. Este proceso de

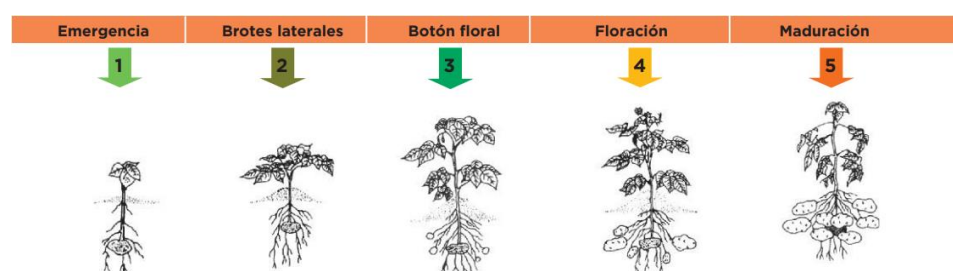
adaptación, iniciado hace más de 8000 años, continua en evolución, con una amplia diversidad genética que genera nuevas variedades de manera espontánea. Estas regiones, cada una con su propia combinación de condiciones climáticas y suelos, son cruciales para la preservación y el desarrollo de la biodiversidad de papas en Puno (Pradel et al., 2017; INIA, 2009; Helwig et al., 2002)

### E. Fases fenológicas del cultivo de la papa

Las fases fenológicas del cultivo de papa abarcan desde la brotación inicial hasta la maduración final, y comprenden etapas cruciales como el desarrollo de hojas, la floración, y la formación de tubérculos. Cada una de estas fases requiere una cantidad específica de unidades térmicas, siendo la temperatura un factor determinante en el tiempo necesario para completar estas etapas. Los factores climáticos, en especial la temperatura y radiación, afectan de manera directa la duración de cada fase fenológica, lo que repercute en el rendimiento del cultivo. En climas más cálidos, el ciclo fenológico tiende a acortarse, lo que puede reducir el potencial de rendimiento, mientras que, en regiones frías, el ciclo puede extenderse considerablemente. El entendimiento de estas fases es fundamental para optimizar el manejo del cultivo, incluyendo decisiones sobre riego y fertilización, adaptando las prácticas según la variedad de papa y las condiciones agroclimáticas locales. (Sifuentes et al., 2023; Shams et al., 2023; Vignola et al., 2017).

#### Figura 1

*Estados de crecimiento de la papa*



*Nota.* Extraído de (Senamhi, 2011)



- La fase de emergencia o brotación de la papa se caracteriza por el alargamiento de las hojas del tallo principal, que comienzan a emerger y desplazarse sobre la superficie del suelo. Durante esta etapa, las primeras hojas se hacen visibles sobre el terreno. Esta fase se inicia tras la preparación del suelo y la colocación de las semillas de papa en los surcos. La duración de esta etapa varía según las condiciones de almacenamiento, la variedad de papa utilizada y el estado de brotación de la semilla. Los cambios bioquímicos en la semilla dan lugar a la formación de una nueva planta, comenzando con un rápido crecimiento de las raíces, seguido por la emergencia de los tallos y hojas (SENAMHI, 2017b, 2017a; MIDAGRI, 2017; Vignola et al., 2017).
- Fase de Desarrollo de Brotes Laterales en la Papa: Durante esta etapa, el tallo principal de la planta de papa inicia un proceso de ramificación, generando nuevas extensiones que se expanden horizontalmente hasta cubrir el área del cultivo. Estos brotes no solo emergen en la parte aérea de la planta, sino que también se forman en el sistema subterráneo, contribuyendo al desarrollo integral de la planta. Los brotes aéreos contribuyen a la formación del follaje, mientras que los brotes subterráneos se transforman en rizomas, que eventualmente engrosan en su porción distal para formar los tubérculos (SENAMHI, 2017b, 2017a; MIDAGRI, 2017).
- En esta etapa posterior a la emergencia de la plántula, la planta empieza a llevar a cabo el proceso de fotosíntesis, promoviendo el desarrollo de tallos, ramas y hojas. Paralelamente, en la parte subterránea, los estolones se expanden, preparándose para el desarrollo de los futuros tubérculos (SENAMHI, 2017b, 2017a; MIDAGRI, 2017; Vignola et al., 2017)
- Fase de Inicio de la Tuberización: Botón Floral. Durante la fase de inicio de la tuberización, se observan los primeros botones florales en la inflorescencia del tallo principal. En esta etapa, la planta continúa su crecimiento vegetativo en la parte aérea, desarrollando

hojas, ramas y tallos. Simultáneamente, en la parte subterránea, los tubérculos comienzan a formarse en las puntas de los estolones, marcando el inicio de su desarrollo (SENAMHI, 2017b, 2017a; MIDAGRI, 2017; Vignola et al., 2017).

- Fase floración: En esta etapa, se produce la apertura de las primeras flores, marcando el inicio de la floración en algunas variedades de papa. Durante esta etapa, las células de los tubérculos se expanden debido a la acumulación de agua, nutrientes y carbohidratos. Es en este momento cuando los tubérculos absorben la mayor cantidad de nutrientes y carbohidratos disponibles para la planta (SENAMHI, 2017b, 2017a).
- El pedúnculo floral y la inflorescencia crecen una vez que el tallo principal ha completado su crecimiento, dando lugar a la "Primera Floración". Paralelamente, comienza el crecimiento de una nueva rama o se acelera el crecimiento de un tallo secundario, que culmina en otra inflorescencia, creando la apariencia de una "Segunda Floración". La cantidad y duración de la floración están determinadas por el crecimiento de los tallos y ramas (Vignola et al., 2017; Egúsquiza, 2000)
- Fase de Maduración: La fase de maduración de la papa se identifica por el cambio de color de las hojas, que indica la maduración del tubérculo. Al inspeccionar la base de las plantas, se puede confirmar que la piel de los tubérculos está completamente adherida y no presenta desprendimientos, lo que refleja un nivel óptimo de madurez y calidad en el desarrollo del cultivo. Una papa se considera madura cuando, al ser presionada con los dedos, no pierde su cáscara. (SENAMHI, 2017b, 2017a; MIDAGRI, 2017)

En esta fase final del desarrollo, se observa una notable reducción tanto en el crecimiento de la planta como en su capacidad fotosintética, disminuyendo de manera significativa en comparación con etapas anteriores. Las hojas se vuelven amarillas de forma gradual hasta llegar a la senescencia total. En este período, el

tubérculo madura completamente, formando una piel externa robusta y alcanzando el máximo contenido de materia seca, lo que indica que está listo para la cosecha (Vignola et al., 2017)

## 1.2 Antecedentes.

### 1.2.1 Internacionales

Según Galera y Gonzáñez (2014) los períodos de sequía ejercerán un impacto considerable sobre la fertilidad y productividad del suelo. Un aumento en las temperaturas máximas durante estas estaciones secas tendrá efectos negativos sobre la calidad del suelo, haciendo que los cultivos sean más susceptibles a las altas temperaturas, lo cual resultará en pérdidas de producción y, consecuentemente, en una disminución del valor del suelo. Por otro lado, la temperatura mínima durante las estaciones secas también influirá en la calidad del suelo. Un incremento en esta variable será beneficioso para el suelo, ya que temperaturas extremadamente bajas pueden afectar negativamente la productividad al provocar heladas o dañar el crecimiento de los cultivos. En síntesis, los periodos de sequía y las fluctuaciones en las temperaturas extremas durante estos períodos son determinantes críticos para la calidad y productividad del suelo, afectando tanto negativamente (a través del aumento de las temperaturas máximas) como positivamente (con un aumento en las temperaturas mínimas).

Dushyant et al. (2024) destacan que el cambio climático está afectando de manera significativa la producción de papa en Europa, con sequías, calor y anegamientos que han generado impactos negativos en países como Alemania, Suiza y Austria, lo que ha llevado a la adopción de variedades más resistentes. A nivel global, las alteraciones en la temperatura, los regímenes de precipitación y el aumento de eventos climáticos extremos están poniendo en riesgo la producción de papa, un cultivo esencial para la seguridad alimentaria.. Estos cambios alteran los procesos fisiológicos del cultivo, afectando su crecimiento y tuberización, con algunas regiones siendo más vulnerables que otras. Para mitigar estos efectos, es esencial implementar técnicas agronómicas innovadoras, planes sostenibles de manejo del agua y desarrollar variedades de papa adaptadas al clima. Además, un manejo coordinado de enfermedades y

plagas, junto con la educación de los agricultores y la cooperación internacional, es vital para enfrentar los desafíos climáticos y asegurar la sostenibilidad de este cultivo esencial.

Adekanmbi et al. (2024) señalan que el cambio climático está impactando negativamente la producción agrícola en Nigeria, debido a un aumento de temperatura y precipitaciones, así como a la falta de recursos e información adecuada. Estas condiciones climáticas adversas también afectan la producción de papa a nivel global, ya que factores como el calor, las precipitaciones y el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) atmosférico influyen significativamente en su crecimiento y rendimiento. Además, la aplicación de modelos de simulación de cultivos (CSM) es fundamental para evaluar los efectos y desarrollar estrategias de adaptación. Sin embargo, la revisión destaca que existen brechas importantes en la disponibilidad de datos y en las herramientas de modelado, esto representa un reto fundamental para asegurar la sostenibilidad de la producción de papa en un contexto de cambio climático.

Salan et al. (2022) concluyen que el cambio climático tiene un impacto significativo en la producción de papa en Bangladesh, donde factores como la temperatura, la humedad, las precipitaciones y la luz solar afectan directamente las tasas de rendimiento, mientras que la velocidad del viento no muestra influencia. Utilizando un modelo ANOVA en un marco espacio-temporal, determinaron que la variabilidad regional influye más en la producción que la variación temporal. Estos resultados destacan la relevancia de implementar estrategias de adaptación y desarrollar variedades de papa con mayor resiliencia climática, siendo esto crucial para asegurar la sostenibilidad agrícola en medio de los desafíos impuestos por el cambio climático.

Adesina y Thomas (2020) evaluaron cómo el cambio climático afecta la producción de papa en el Reino Unido, destacando que la sequía, las altas temperaturas y la variabilidad de las precipitaciones han provocado pérdidas significativas en rendimiento y calidad. Con proyecciones climáticas recientes, se anticipa que estos desafíos se intensificarán, especialmente en regiones clave productoras de papa, lo que demandará un aumento en el riego y la adopción de estrategias de adaptación para mitigar los efectos adversos sobre la industria.

Adesina y Thomas (2020) proyectan que el cambio climático en el Reino Unido aumentará las temperaturas en las regiones productoras de papa, lo que probablemente generará sequías, pérdida de rendimiento y calidad, y dificultades en la preparación del suelo y la cosecha. Analizando datos meteorológicos recientes, el estudio muestra que las condiciones extremas, como altas temperaturas y precipitaciones prolongadas, han afectado negativamente el rendimiento y la calidad del cultivo de papa en el pasado y podrían exacerbar estos problemas en el futuro. Se prevé que el cambio climático aumentará la demanda de agua y el riego, así como la evapotranspiración, y que las áreas de cultivo regadas podrían duplicarse para 2050 - 2080. El estudio resalta la imperiosa necesidad de adoptar estrategias de adaptación para contrarrestar estos impactos en la producción de papa.

Früh et al. (2016) señalan que el cambio climático ha causado un aumento de aproximadamente  $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  en la temperatura global hacia finales del siglo XX, afectando regionalmente los patrones de humedad, viento, radiación y precipitación. Utilizando el proyecto GLOWA-Danubio, los investigadores redujeron la escala de las proyecciones climáticas globales a 45 km con el modelo MM5 y luego a 1 km con AtmoMM5, mejorando la precisión de las simulaciones climáticas regionales. Las modificaciones realizadas permitieron un entendimiento más profundo de los impactos regionales del cambio climático, aunque dichas fluctuaciones no se manifiestan de forma homogénea en todas las zonas del planeta.

Según Maccracken (2009) el cambio climático ha incrementado las temperaturas globales a una tasa de aproximadamente  $0,1$  a  $0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$  por década, impulsado principalmente por la quema de combustibles fósiles y el aumento de gases de efecto invernadero. Este calentamiento, que ha elevado la temperatura global en unos  $0,8\text{ }^{\circ}\text{C}$  desde el periodo preindustrial, ha exacerbado fenómenos como el deshielo en el Ártico y el ascenso del nivel del mar. Las proyecciones indican que, si no se implementan reducciones significativas en las emisiones, las temperaturas podrían aumentar aún más, alcanzando un incremento de  $0,2$  a  $0,3\text{ }^{\circ}\text{C}$  por década en las próximas décadas, con graves repercusiones para los sistemas ambientales y sociales. Para limitar el calentamiento a  $2 - 2,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  sobre los niveles preindustriales, es esencial llevar

a cabo disminuciones sustanciales en las emisiones de gases de efecto invernadero para 2050, con la meta de lograr niveles cercanos a cero para 2100.

Maccracken (2009) destaca que el aumento de la temperatura global de aproximadamente 0,8 °C durante el último siglo y medio, principalmente debido a la quema de combustibles fósiles, no puede explicarse por variaciones climáticas naturales. Este calentamiento, que se ha intensificado en las últimas tres décadas, se atribuye en gran medida a la acumulación de CO<sub>2</sub> atmosférico, que ha causado un desequilibrio energético en la Tierra. Aunque el calentamiento radiativo teórico por duplicación del CO<sub>2</sub> es de 1,2 °C, el efecto real es mayor debido a las retroalimentaciones climáticas, como el aumento del vapor de agua. La influencia de los aerosoles, que tiende a enfriar el clima, introduce incertidumbre en las estimaciones del forzamiento neto, que oscila entre 0,6 y 2,4 W/m<sup>2</sup>. La sensibilidad climática y las respuestas a estos forzamientos son cruciales para entender el futuro calentamiento.

Chowdhuri y Gupta (2023) subrayan que el cambio climático, causado por la actividad humana y fenómenos naturales como tormentas y erupciones volcánicas, está provocando un aumento considerable en las temperaturas globales, con una proyección de incremento de 1,5 °C para finales de este siglo. Este calentamiento global repercute negativamente en la biodiversidad, los ecosistemas y la seguridad alimentaria, además de alterar las relaciones entre plantas y polinizadores. La investigación también examina la influencia de los gases de efecto invernadero y aerosoles en el calentamiento y analiza las estrategias de mitigación necesarias para abordar estos desafíos.

Manole y Bazgă (2011) proyectan que para 2050, las temperaturas globales podrían aumentar entre 1,5 y 4,5 °C debido al incremento de gases de efecto invernadero, con India experimentando un calentamiento superior al promedio global. Este aumento de temperatura, junto con la expansión demográfica y el riesgo climático, ejerce una influencia significativa sobre la agricultura, la seguridad alimentaria y el avance del desarrollo sostenible. El estudio subraya el efecto negativo del cambio climático en los rendimientos de los cultivos y su contribución a la intensificación de problemas como la

proliferación de enfermedades y plagas, lo que genera desafíos importantes para garantizar la producción agrícola en entornos emergentes y vulnerables.

cómo el cambio climático impacta negativamente los rendimientos de los cultivos y exacerba problemas como la propagación de plagas y enfermedades, lo que plantea desafíos significativos para mantener la producción agrícola en contextos emergentes y vulnerables.

Hijmans (2003) proyecta que el cambio climático aumentará la temperatura promedio global entre 2,1 y 3,2 °C para el período 2040 - 2069, lo que podría reducir los rendimientos de papa entre un 18 % y un 32 % en ausencia de medidas adaptativas, y entre un 9 % y un 18 % con adaptación. El estudio, basado en simulaciones climáticas y análisis de datos históricos y futuros, sugiere que el calentamiento global impactará significativamente la producción de papa. No obstante, estrategias como la modificación del calendario de siembra y el uso de variedades de papa resistentes al calor pueden mitigar parcialmente estos efectos negativos.

Scott et al. (2019) proyectan un aumento significativo en la producción de papa en India para 2030 debido al cambio climático, con incrementos que podrían variar entre 24 y 37 millones de toneladas métricas dependiendo del escenario considerado. El estudio, que emplea un modelo económico agrícola vinculado con modelos climáticos y de recursos hídricos, destaca que, a pesar de un enfoque predominante en los cultivos de cereales, el crecimiento potencial de la producción de papa podría influir de manera significativa en la seguridad alimentaria y el progreso socioeconómico. Además, se destaca la relevancia de diseñar políticas y estrategias que potencien el rendimiento del cultivo y fomenten el crecimiento del sector de la papa en India.

Vishwavidyalaya y Raipur (2023) señalan que el cambio climático, especialmente el aumento de las temperaturas, puede reducir la duración del ciclo de cultivo de papa, lo que conlleva una disminución potencial en los rendimientos. Esta reducción en la duración del cultivo y el impacto negativo en la productividad resaltan la urgencia de adoptar medidas adaptativas para garantizar la continuidad de la producción agrícola en un entorno de cambio climático.

Krüger y van der Waals (2020) destacan que las variaciones en las condiciones climáticas, especialmente el incremento de las temperaturas, podrían disminuir la producción de papa en África en hasta un 50 % para el año 2050. Este impacto afectaría tanto al manejo de enfermedades como a la calidad de las semillas. A medida que la papa se convierte en un alimento básico crucial en la región, los retos incluyen la gestión de enfermedades como el virus de la papa y otros patógenos, que requieren sistemas de producción y certificación de semillas más efectivos. El estudio sugiere que, a pesar de los avances tecnológicos, como pruebas sensibles y modelos predictivos, es fundamental mejorar la calidad de las semillas y adaptar la gestión a las condiciones locales son esenciales para contrarrestar los efectos adversos del cambio climático.

Kołoszycz (2020) sostiene que el cambio climático reduce tanto la cantidad como la calidad de la producción de papa debido al aumento de las temperaturas. Este impacto negativo hace que las medidas de adaptación sean esenciales para mitigar los efectos adversos en las explotaciones agrícolas. El estudio revela que, además de los problemas generales como la disminución de la resistencia a enfermedades y plagas, los agricultores se enfrentan a dificultades en la adopción de estrategias de adaptación, influenciadas por su percepción del cambio climático y las barreras asociadas. Las medidas adaptativas, tanto a nivel de finca como externas, son cruciales para mantener la productividad y calidad en la producción agrícola.

Bukharov et al. (2023) destacan que el cambio climático, al elevar las temperaturas, impacta negativamente la producción de papa al alterar los procesos fisiológicos, la actividad enzimática y los rendimientos de los cultivos. La reducción en la calidad y el volumen de producción se debe a factores como sequías, salinidad y el aumento de plagas y enfermedades. Para superar estos retos, es crucial desarrollar genotipos de papa resistentes al calor e implementar estrategias adaptativas, como el manejo sostenible del agua y técnicas adecuadas de manejo del suelo, para mantener la productividad y calidad en condiciones climáticas adversas.



### 1.2.2 Nacionales

Según SENAMHI (2011) las condiciones ideales para el cultivo de papas comprenden precipitaciones que oscilan entre 500 y 1160 mm, y temperaturas óptimas que varían entre -4 °C como mínimo y 25 °C como máximo. Se advierte que temperaturas superiores a 28 °C pueden inhibir el proceso de formación de tubérculos, potencialmente impidiendo su desarrollo si se mantienen constantemente altas. Asimismo, una humedad relativa que excede el 80 % orece el desarrollo de enfermedades foliares, como la alternaria y rancha, representando riesgos significativos para la producción de papas.

Zevallos et al. (2023) destacan que el cambio climático, particularmente el estrés por sequía, afecta de manera desigual a las razas locales de papa en los Andes Centrales del Perú, subrayando la importancia de la diversidad genética. Mientras algunas variedades muestran una notable resiliencia y productividad, otras son significativamente vulnerables. Esta variabilidad sugiere la necesidad de estudios complementarios para identificar y conservar las razas con mayor tolerancia a condiciones adversas, lo cual es fundamental para garantizar la disponibilidad de alimentos en la región andina.

Sayre et al. (2017) explican cómo los agricultores quechuas en los Andes del Perú están utilizando su conocimiento tradicional junto con la investigación liderada por la comunidad para enfrentar los desafíos del cambio climático en la producción de papa. A través de la colaboración con la Asociación Quechua ANDES, han desarrollado estrategias adaptativas, incluyendo la gestión colectiva del Parque de la Papa como un Territorio de Patrimonio Biocultural y la creación de la Pluriversidad, un espacio para intercambiar conocimientos y encontrar soluciones innovadoras para mitigar los impactos negativos del cambio climático, reforzando de esta manera la resiliencia comunitaria y la protección de sus sistemas alimentarios tradicionales.

Sanabria y Lhomme (2013) señalan que el cambio climático en el Altiplano peruano resultará en una siembra más temprana y ciclos de cultivo más cortos, lo que afectará negativamente los rendimientos de la papa andina (*Solanum tuberosum*) y la papa amarga (*Solanum juzepczukii*). Utilizando

proyecciones climáticas para 2071 - 2100, se prevé un incremento en la temperatura y modificaciones en los patrones de precipitación, que llevarán a déficits de rendimiento significativos, especialmente para la papa andina bajo escenarios de altas emisiones de CO<sub>2</sub>, lo que podría comprometer el desempeño productivo en la región.

Manuel et al. (2019) destacan que el aumento de temperaturas debido al cambio climático está afectando negativamente el rendimiento de la papa en Perú. Para enfrentar este desafío, el desarrollo de nuevos clones de papa tolerantes al calor y con alto valor parental para rasgos de rendimiento es fundamental. Estos clones, que muestran resistencia al tizón tardío y adaptación a temperaturas elevadas, son esenciales dentro de las iniciativas de mejora agrícola orientadas a desarrollar variedades capaces de rendir de manera eficiente en un contexto de cambio climático.

Lozano-Povis (2023) destaca que la productividad de la papa en Perú se ve afectada por eventos climáticos extremos, cambios en la temperatura y la disponibilidad de agua, lo que subraya la necesidad de estrategias de adaptación para garantizar la sostenibilidad agrícola. Además, se enfatiza la importancia de implementar programas de extensión agrícola y asistencia técnica, además, de la necesidad de fomentar el uso responsable de los recursos hídricos y adaptar los cultivos a las condiciones específicas de las regiones con diversas altitudes

Lozano-Povis et al. (2021) exponen que el cambio climático está impactando la producción agrícola en los Andes, incluyendo la papa en Perú, debido a la tendencia hacia temperaturas más bajas, lo que afecta negativamente el rendimiento de estos cultivos. La revisión de estudios sobre la agricultura andina muestra cómo el cambio climático está intensificando la degradación del suelo y el derretimiento de los glaciares, junto con alteraciones en la dinámica de los cultivos, o que subraya la fragilidad de estos sistemas agrícolas ante estos fenómenos.

### 1.2.3 Locales

Helwig et al. (2002) reportan que, en la región de Puno, durante el período de 1981 a 2000, se registró un promedio anual de cosecha de 29 839 hectáreas, con un rendimiento medio de 6,1 toneladas por hectárea. Sin embargo, este nivel de producción se vio considerablemente afectado por las variaciones frecuentes en las condiciones climáticas adversas, como sequías, heladas, inundaciones y granizadas, lo que provocó una reducción tanto en el área de cultivo como en la producción total.

Quispe et al. (2021) analizaron los factores climáticos que influyen en el rendimiento y la producción de papa en el distrito de Juli entre 2000 y 2018, utilizando datos de la Dirección Regional Agraria y del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología de Puno. El estudio, basado en un modelo econométrico log-log, reveló que tanto las temperaturas extremas, bajas y altas, inciden favorablemente en el rendimiento y la productividad de la papa, en tanto las precipitaciones afectan negativamente. Estas variables climáticas explican el 97,96 % y 97,95 % de la variación en el rendimiento y la producción, respectivamente.

Belizario (2015) realizó un estudio en la cuenca Ramis, destacando la vulnerabilidad del altiplano ante la variabilidad climática y su impacto en la agricultura local. El modelo desarrollado para el cultivo de papa reveló una significativa asociación, con un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de 0,44 indicando que el 44 % de las variaciones en el cultivo están relacionadas con fluctuaciones en las precipitaciones y temperaturas. Se observó que las temperaturas máximas ejercen una influencia notable, mientras que las precipitaciones no afectan de manera significativa. Específicamente, el aumento en las temperaturas máximas contribuyó a un incremento de 83,41 kg/ha en la producción de papa, evidenciando su efecto positivo en este cultivo.

Arizaca (2013) argumenta cómo el cambio climático está causando transformaciones significativas en la agricultura, especialmente en cultivos como la papa en la región cercana al lago Titicaca. Debido a las variaciones en las temperaturas, se ha observado un cambio en las prácticas de siembra hacia mayores altitudes para adaptarse a condiciones climáticas más extremas. Este

fenómeno ha resultado en estaciones más marcadas, con aumento de heladas y sequías, y una mayor incidencia de plagas y enfermedades debido a las fluctuaciones térmicas. El estudio reveló que aumento de entre 1 °C a 2 °C en la temperatura máxima durante el día se correlaciona con una reducción en los rendimientos de la papa. Los modelos analizados indican una posible disminución del 11 % al 15 % en un escenario intermedio y de entre 11 % y 23 % en un escenario severo. Además, el efecto adverso sobre la quinua también es evidente en el altiplano puneño, donde la reducción de precipitaciones y el incremento de las temperaturas intensifican estos impactos. Estas condiciones podrían acelerar la desertificación y la degradación del suelo, generando consecuencias adversas continuas para la producción agrícola.

Arrieta-Carrasco et al. (2023) indican que la producción de papa en el Altiplano de Puno está significativamente afectada por factores climáticos, incluyendo la precipitación y la temperatura. Por otro lado, las condiciones climáticas favorables favorecen el rendimiento de la producción, las condiciones extremas, como la reducción de precipitaciones, afectan negativamente los cultivos. El estudio sugiere que el cambio climático impacta de manera variable según las estaciones y destaca la necesidad de desarrollar variedades de cultivos y tecnologías más resistentes a la sequía para mitigar estos efectos.

Reátegui et al. (2019) identifican que las variables climáticas como eventos extremos, cambios de temperatura y disponibilidad de agua son determinantes en el rendimiento de la producción de papa en Perú, destacando la necesidad de estrategias de adaptación para asegurar la sostenibilidad agrícola. Al comparar cuatro variedades de papa en la región altiplánica del Perú, se encontró que la variedad *Subsp. andigenum Hawkes* presentó el mayor rendimiento en términos de número y peso de tubérculos, dentro de un ciclo fenológico semitardío de entre 169 y 183 días.

## CAPÍTULO II

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

#### 2.1 Identificación del problema

El cambio climático, resultado directo de nuestras actividades energéticas y de producción, representa un reto crucial a nivel mundial, con repercusiones profundas en sectores clave como la agricultura, la economía, la pesca y el bienestar social. En las últimas décadas, se ha registrado un incremento continuo en las temperaturas a nivel planetario, acompañado de la reducción del hielo ártico, lo que plantea serios problemas para diversos sectores económicos, especialmente la agricultura.

La agricultura se encuentra entre los sectores más susceptibles a los efectos del cambio climático, dado que depende directamente de las variables climáticas. El incremento en las temperaturas, las alteraciones en los regímenes de lluvias y el aumento en los niveles de dióxido de carbono atmosférico ejercen una influencia significativa en el desarrollo de los cultivos. Además, las actividades agrícolas, como la deforestación y el empleo de combustibles fósiles, contribuyen a intensificar la emisión de gases de efecto invernadero, exacerbando aún más el problema climático.

En la región de Puno, los efectos del cambio climático se reflejan en fluctuaciones extremas de temperatura y cambios irregulares en los patrones de precipitación, lo que tiene un impacto directo sobre la producción agrícola. La presencia recurrente de heladas y sequías en el altiplano amenaza tanto la agricultura como la ganadería, actividades fundamentales para la economía local y la subsistencia de numerosas familias. Esta creciente vulnerabilidad compromete no solo la seguridad alimentaria, sino también la capacidad de los cultivos para adaptarse y resistir ante las adversidades climáticas.

La papa en Puno, es un alimento básico en la región, está siendo particularmente afectado por estos cambios climáticos. A pesar de ser un cultivo relativamente resistente, las fluctuaciones extremas de temperatura y los cambios en la precipitación están afectando su rendimiento. La papa puede cultivarse en un rango de temperaturas específicas, pero las condiciones climáticas extremas dificultan su producción efectiva.

Dada la relevancia del cultivo de papa para la autosuficiencia alimentaria y el desarrollo económico de la región, es crucial investigar cómo el cambio climático está influyendo en su producción. Esta tesis se enfoca en analizar la correlación entre las variables de temperaturas, las precipitaciones y rendimiento en la productividad de la papa en Puno durante las últimas dos décadas. El levantamiento de información sobre las precipitaciones mensuales, las temperaturas promedio y el rendimiento del cultivo permitirá identificar tendencias y desarrollar estrategias de adaptación que mitiguen los impactos negativos del cambio climático sobre la actividad agrícola regional.

En resumen, el cambio climático está alterando las condiciones agrícolas en Puno, afectando especialmente el cultivo de papa. Comprender estas dinámicas resulta clave para establecer enfoques y soluciones agrícolas que fomenten la resiliencia y el equilibrio sostenible en la región, frente a los desafíos climáticos futuros.

## 2.2 Enunciados del problema

### 2.2.1 Problema general

- ¿Cuál es la influencia del cambio climático en el rendimiento de la producción de *Solanum tuberosum* en la región durante el período 2000 - 2022?

### 2.2.2 Problemas específicos

- ¿Cuál es la variabilidad de las condiciones climáticas en la región en el periodo 2000 - 2022?
- ¿Cuál es el Rendimiento de la producción de *Solanum tuberosum* en la región Puno en el periodo 2000 - 2022?
- ¿Cuáles son las relaciones estadísticas respecto a las variables climáticas del rendimiento en la producción de *Solanum tuberosum*?

## 2.3 Justificación

En el altiplano peruano, incluida la región de Puno, las heladas y sequías representan un desafío considerable para la agricultura y la ganadería, que son fundamentales para el sustento de muchas familias. Estos eventos climáticos extremos

pueden disminuir drásticamente la productividad agrícola, como ocurre con el cultivo de papa, que frecuentemente experimenta significativas pérdidas debido a estas condiciones adversas. Esta realidad pone de manifiesto la necesidad urgente de desarrollar estrategias efectivas que reduzcan los impactos del cambio climático y promuevan la sustentabilidad agrícola en la región.

Comprender cómo el cambio climático afecta las regiones cuya producción agrícola depende de las precipitaciones es fundamental para tomar acciones preventivas y prepararse para situaciones desfavorables. La estrecha relación entre agricultura y clima, sumada a la falta de herramientas precisas para prever el clima a largo plazo, hace que el sector agrícola sea altamente vulnerable. Los agricultores enfrentan una gran incertidumbre en la cosecha, ya que cualquier alteración climática puede resultar en pérdidas totales. Además, las fluctuaciones en temperatura, calidad del suelo, humedad y composición atmosférica fomentan la expansión de plagas y hongos, agravando los desafíos del sector.

Estas condiciones han llevado a muchos agricultores a abandonar la actividad agrícola, buscar otras formas de ingreso y enfrentar un deterioro en sus condiciones de vida debido a las pérdidas en la producción. Los seguros agrícolas se vuelven menos accesibles y representan un riesgo para las instituciones financieras, ya que los agricultores a menudo no pueden cumplir con sus obligaciones financieras, resultando en pérdidas de capital o aumentos en las tasas de interés.

Por estas razones, seleccionar un modelo predictivo adecuado es ventajoso para anticipar la producción del cultivo de papa de la región. La investigación planteada contribuirá significativamente a entender el rendimiento de la producción de papa, proporcionando datos valiosos para productores, consumidores y autoridades gubernamentales. Estos hallazgos serán cruciales en la determinación de acciones y para el desarrollo de planes y proyectos destinados a adaptarse y reducir los efectos del cambio climático. Además, la investigación se enfocará en verificar los niveles de precipitación y temperatura, permitiendo evaluar el posible alcance de los daños en los cultivos andinos en las trece provincias de Puno, permitiendo la elaboración de medidas para minimizar los posibles efectos en el sector agrícola en los años venideros.

## 2.4 Objetivos

### 2.4.1 Objetivo general

- Evaluar la influencia del cambio climático en el rendimiento de la producción de *Solanum tuberosum* en la región de Puno durante el período 2000 – 2022.

### 2.4.2 Objetivos específicos

- Determinar la variabilidad de las condiciones climáticas en la región en el periodo 2000 – 2022.
- Estimar el rendimiento en la producción de *Solanum tuberosum* en la región en el periodo 2000 – 2022.
- Establecer relaciones estadísticas entre las variables climáticas del rendimiento de la producción de *Solanum tuberosum*.

## 2.5 Hipótesis

### 2.5.1 Hipótesis general

- Existe una influencia significativa del cambio climático en el rendimiento de la producción de *Solanum tuberosum* en la región de Puno durante el período 2000 – 2022.

### 2.5.2 Hipótesis específicas

- Existe una variabilidad en las condiciones climáticas de la región de Puno durante el período 2000 – 2022.
- Existe una alta producción de *Solanum tuberosum* en la región Puno en el periodo 2000 – 2022.
- Existe una relación significativa en cuanto al cambio climático y el rendimiento de *Solanum tuberosum*, en la región Puno en el periodo 2000 - 2022.



## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Lugar de estudio

La región Puno con 13 provincias: Puno, Yunguyo, Azángaro, Carabaya, El Collao, Chucuito, Huancané, Melgar, Lampa, San Román, Sandía, San Antonio de Putina, y Moho, de topografía accidentada, con la mayor parte de las ciudades localizadas en áreas elevadas de la cordillera (INEI, 2023; IGN, 2024). La región abarca alrededor de 75 627,65 kilómetros cuadrados de extensión territorial, lo que equivale al 5,6 % del área total del país. Este territorio incluye aproximadamente 14,50 kilómetros cuadrados de lagos e islas, mientras que una extensión de 4 996,28 kilómetros cuadrados corresponde al Lago Titicaca en la parte peruana, la actividad agrícola se lleva a cabo en una superficie de 333,924 hectáreas, de las cuales el 94,56 % son tierras de cultivo que operan bajo condiciones de secano. (INEI, 2023; IGN, 2024).

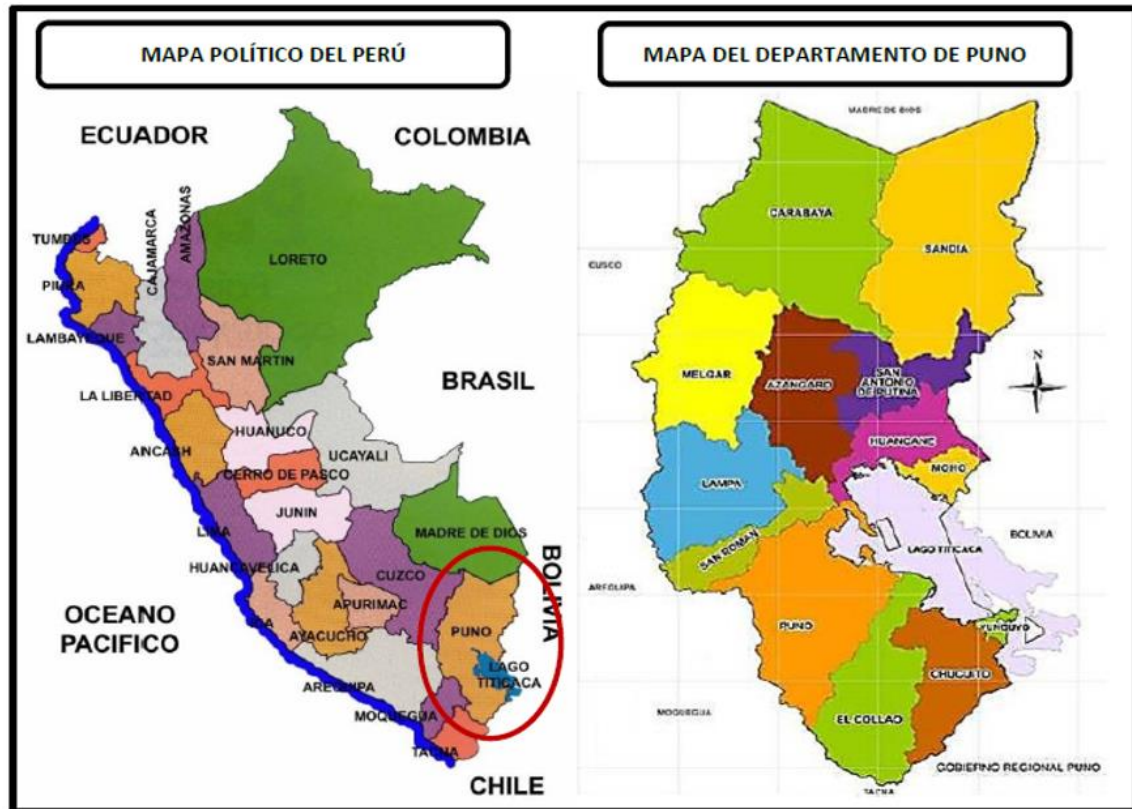
Los límites geográficos de la región Puno son los siguientes, por el:

- Al norte, comparte frontera con Madre de Dios.
- Al sur, comparte frontera con Tacna.
- Al este, comparte frontera con la República de Bolivia.
- Al oeste, está rodeada con los departamentos de Cusco, Arequipa y Moquegua.

La ubicación geográfica se especifica entre las coordenadas 13°00'00" y 17°17'30" de latitud sur, y entre los 71°06'57" y 68°48'46" de longitud oeste del meridiano de Greenwich (INEI, 2023; IGN, 2024).

**Figura 2**

*Zona de estudio*



*Nota.* Extraído de Google

Las provincias que han sido considerados para el estudio son las trece provincias considerando una campaña agrícola y el mismo tipo de manejo concordantes a los datos emitidos por la DRA – Puno, e información climática de la región de Puno correspondiente al período de estudio 2000 - 2022.

### 3.2 Población

La población de este estudio está conformada por los datos aportados por la Dirección Regional Agraria de Puno, que detallan el rendimiento en la producción anual del cultivo de papa en la región, complementados con los registros meteorológicos del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), los cuales incluyen información sobre la temperatura máxima, mínima y las precipitaciones desde el año 2000 hasta el 2022.

### **3.3 Muestra**

En esta investigación, se emplea el muestreo no probabilístico que se basa en criterios específicos relacionados con el rendimiento de la producción de papa de las campañas agrícolas, además, se toman en cuenta los registros de temperatura máxima, mínima y precipitación correspondientes al periodo 2000 - 2022 en las 13 provincias que conforman la región de Puno.

### **3.4 Método de investigación**

Para llevar a cabo la evaluación del impacto del cambio climático en la producción de papa en Puno, se utilizará un enfoque cuantitativo que recopila y analiza datos numéricos provistos por la DRA Puno y SENAMHI. Este enfoque facilita la evaluación precisa de fenómenos observables y sus relaciones con las variables climáticas mediante técnicas estadísticas. El estudio sigue un diseño descriptivo-analítico, detallando tanto las condiciones climáticas como su influencia sobre el rendimiento de la producción de papa.

#### **3.4.1 Métodos de recopilación de datos**

Para llevar a cabo este estudio, se recopilaron datos estadísticos de la Dirección Regional Agraria de Puno, que abarcan el rendimiento de la producción de papa en kg/ha en diferentes campañas agrícolas. Asimismo, se incluyeron los registros del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), que detallan las temperaturas máximas, mínimas y las precipitaciones, expresadas en grados Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ), correspondientes a las 13 provincias de la región de Puno.

#### **3.4.2 Análisis de los datos**

El procesamiento de los datos en este estudio se realizó utilizando las herramientas R-Studio y Python. Es importante señalar que, en cuanto a las temperaturas máxima y mínima, se utilizaron los promedios mensuales, los cuales están expresados en grados Celsius en relación a las precipitaciones en mm, en relación al rendimiento de la producción de papa se toma campañas agrícolas desde la siembra hasta la cosecha en kg/ha.

### 3.4.3 Diseño estadístico

El método empleado en esta investigación es de naturaleza descriptiva y aplicada, haciendo uso de gráficos, así como los promedios y las fluctuaciones máximas y mínimas de las variables analizadas, presentes en cada etapa del proceso de construcción de los modelos. A través del paquete estadístico Python.

## 3.5 Descripción detallada de métodos por objetivos específicos

### A. Diseño de muestreo

Se emplea un enfoque de muestreo no probabilístico.

### B. Descripción precisa del uso de materiales, equipos, insumos, entre otros.

Con el propósito de analizar el efecto del cambio climático sobre la producción del cultivo de papa en la región de Puno, se adopta un enfoque cuantitativo centrado en el análisis de datos numéricos. La investigación se fundamenta en la recopilación de información climática y de producción de papa proporcionada por el DRA Puno y SENAMHI para el periodo de 2000 a 2022. Seguidamente se describen los equipos y materiales que se emplearon en la investigación.:

1. **Datos Climáticos:** Se utilizo registros históricos de temperatura y precipitación proporcionados por el DRA Puno y SENAMHI. Estos datos abarcan el periodo de 2000 a 2022 datos que son fundamentales para analizar variabilidad climática en la región y su efecto sobre la producción agrícola.
2. **Datos de rendimiento en la producción de papa:** Se procedió con la recolección de datos vinculados al rendimiento de la producción del cultivo de papa en la región durante el período de 2000 a 2022, obtenidos de registros agrícolas y estadísticas del DRA Puno.
3. **Herramientas para el Análisis Estadístico:** Se utilizo programas de análisis estadístico como R-Studio y Python para procesar y examinar los

datos. Estos programas permiten realizar análisis descriptivos, pruebas de hipótesis y modelos estadísticos para explorar la relación entre el rendimiento de la producción de papa y las variables climáticas.

4. **Recursos Bibliográficos:** Se consulto estudios previos y literatura relevante relacionada con el cambio climático y sus efectos en la agricultura, particularmente en zonas afines. Estos recursos apoyarán el desarrollo del marco teórico y metodológico del estudio.

La combinación de estos materiales y equipos permitirá una evaluación exhaustiva de cómo las condiciones climáticas han contribuido con el rendimiento sobre la producción del cultivo de papa en Puno, facilitando la identificación de patrones y la formulación de recomendaciones basadas en los datos recopilados.

### C. Detalle de las variables a ser estudiadas en el objetivo específico.

En el ámbito de esta investigación, se analizó las siguientes variables:

1. **Temperatura Máxima:** Se refiere al valor más alto registrado de la temperatura del aire durante un día específico, esta variable se cuantifica en grados Celsius (°C).
2. **Temperatura Mínima:** Expresa el valor más bajo registrado de la temperatura del aire durante un día específico, es variable es expresada en grados Celsius (°C).
3. **Precipitación:** Relaciona la cantidad de agua que se presenta en diversas formas de precipitación, como de lluvia, nieve, granizo u otras formas sobre una superficie durante un período de tiempo específico, expresada en milímetros (mm).

Se aplicarán pruebas estadísticas inferenciales con el fin de examinar las relaciones entre las variables climáticas y el rendimiento del cultivo de papa. Estas pruebas permitirán identificar y cuantificar las asociaciones significativas entre los factores climáticos y las etapas de crecimiento fenológico de la papa, proporcionando una base sólida para las conclusiones del estudio.

Aplicación de prueba estadística inferencial.

Con el propósito de identificar las relaciones estadísticas entre variables climáticas y la producción del cultivo papa en la región, se sigue los siguientes pasos:

a. Formulación de hipótesis

**Hipótesis Nula (H<sub>0</sub>):** No hay correlación entre la producción de papa y las temperaturas en la región de Puno.

- Matemáticamente, esto se expresa como  $\rho=0$ , donde  $\rho$  es el coeficiente de correlación de Spearman.

**Hipótesis Alternativa (H<sub>1</sub>):** Existe una correlación (positiva o negativa) entre la producción de papa y las temperaturas en la región de Puno.

- Esto implica que  $\rho \neq 0$ , lo que indica que el coeficiente de correlación de Spearman tiene un valor diferente de cero.

b. Nivel de significancia:  $5\% = 0,05$

c. Estadístico de prueba

Dado que estamos interesados en la correlación entre dos variables no paramétricas (Rendimiento de la producción de papa, temperaturas y precipitaciones), Se uso el coeficiente de Spearman para examinar la conexión entre ambas variables.

e. Toma de decisión:

La correlación entre variables puede variar en magnitud y dirección, influenciadas por las características de los datos y por la relación subyacente que las conecta. A continuación, se presenta las escalas comunes de interpretación para el coeficiente de correlación:

### Tabla 1

#### *Escalas de interpretación de coeficiente de correlación*

Variación de $\rho$	Análisis de la escala de variación en la correlación
0 a 0,2	Correlación muy débil o inexistente.
0,2 a 0,4	Correlación débil.
0,4 a 0,6	Correlación moderada.
0,6 a 0,8	Correlación fuerte.
0,8 a 1,0	Correlación muy fuerte.
-1,0 a -0,8	Correlación inversa muy fuerte.
-0,8 a -0,6	Correlación inversa fuerte.
-0,6 a -0,4	Correlación inversa moderada.
-0,4 a -0,2	Correlación inversa débil.
-0,2 a 0	Correlación muy débil o inexistente (negativa).

*Nota.* (Hernández et al., 2014)

La interpretación de los valores se ha expresado por diversos autores en escalas, siendo una de las más utilizadas la que se presenta (Hernández et al., 2014) .

## CAPÍTULO IV

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

## 4.1 Resultados

## 4.1.1 Variabilidad de condiciones climáticas de la región de Puno entre 2000 - 2022

Para realizar análisis, discusión e interpretación de las condiciones climáticas de la región de Puno, se cuenta con los datos proporcionados por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), lo que permite obtener una visión integral del clima en las 13 provincias de la región, información que se presenta en la tabla siguiente:

**Tabla 2**

*Datos históricos sobre temperaturas máxima, mínima y precipitaciones de la región de Puno*

Años	Temperatura máxima (°C)	Temperatura mínima (°C)	Precipitación (mm)
2000	16,11	1,80	758,54
2001	15,81	2,32	997,26
2002	15,89	2,78	968,44
2003	16,31	1,77	820,74
2004	16,23	1,87	750,20
2005	16,72	1,60	724,64
2006	16,57	2,07	762,73
2007	16,75	2,44	720,22
2008	16,76	1,25	712,85
2009	17,08	1,77	685,64
2010	16,87	1,46	733,28
2011	16,40	1,10	970,35
2012	16,25	2,26	859,65
2013	16,58	2,16	802,83
2014	16,83	2,33	737,32
2015	16,86	2,35	733,25
2016	16,71	2,32	775,99
2017	16,89	2,48	732,51
2018	16,80	2,10	728,15
2019	16,89	2,04	712,48
2020	17,15	2,19	734,36
2021	17,20	2,53	817,22
2022	17,18	2,37	808,02

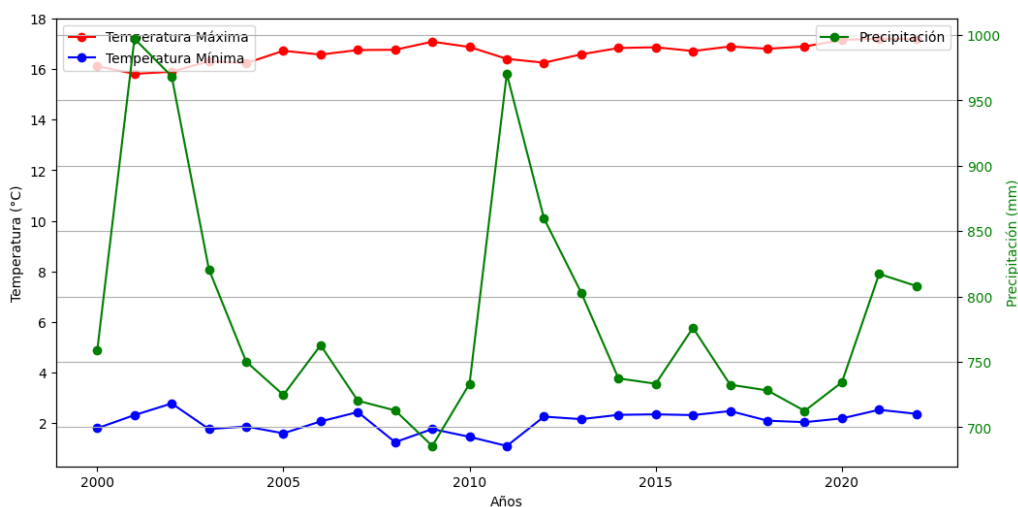
*Nota:* SENAMHI. (2020). <https://www.senamhi.gob.pe/>



La Tabla 2 proporciona registro histórico de las variables climáticas de la región de Puno, abarcando las temperaturas máximas, mínimas y los niveles de precipitación desde el año 2000 hasta 2022. A lo largo de este período, se ha identificado una tendencia general al alza tanto en las temperaturas máximas como en las mínimas, mientras que los patrones de precipitación muestran una notable variabilidad. Específicamente, la temperatura mínima alcanzó su punto más bajo en 2011 con 1,10 °C, mientras que la más alta fue de 2,78 °C en 2002. Por otro lado, la temperatura máxima más baja se registró en 2011 con 15,81 °C, y la más alta en 2021, alcanzando los 17,20 °C; en los años 2000 y 2021, se evidenció un aumento en la temperatura máxima media anual, subiendo de 16,11 °C a 17,20 °C, mientras que la temperatura mínima media anual subió de 1,80 °C a 2,53 °C en el mismo intervalo. En contraste, la precipitación anual muestra fluctuaciones destacadas, con valores que oscilan entre un mínimo de 685,64 mm en 2009 y un máximo de 997,26 mm en 2001. A pesar de algunos picos notables, no se observa una tendencia estable que indique un aumento o disminución sostenido de las precipitaciones en el transcurso del tiempo estudiado. Estos datos sugieren una tendencia progresiva en el calentamiento de las temperaturas, mientras que los patrones de precipitación parecen ser más erráticos, lo que podría tener implicaciones significativas para el análisis climático y la planificación de recursos en la región.

### Figura 3

*Registro histórico de las temperaturas y precipitación en la región de Puno a lo largo del periodo 2000-2022*



A través de la Figura 3, se observa el comportamiento de las temperaturas máximas, mínimas y los patrones de precipitación en la región de Puno a lo largo de 22 años. Se observa que las temperaturas, tanto máximas como mínimas, han mantenido una tendencia relativamente estable, cuyos valores obtenidos se presentan en la Tabla 3. Por otro lado, la precipitación presenta una mayor variabilidad, con años más húmedos y otros más secos. Esto sugiere que los patrones de lluvia han sido menos consistentes en comparación con las temperaturas. En general, la gráfica indica una estabilidad en las temperaturas y una variabilidad significativa en la precipitación durante el período analizado.

**Tabla 3**

*Interpretación de resultados de climáticos históricos que abarcan las temperaturas máximas, mínima y precipitaciones entre 2000 - 2022*

Variable	Tendencia	Interpretación
Temperatura Máxima	Aumento gradual (0,02 °C/año)	Refleja un posible calentamiento global a largo plazo.
Temperatura Mínima	Ligeramente estable	Menor cambio, pero aún en línea con las proyecciones de cambio climático.
Precipitación	Variable	No refleja una tendencia.

**Tabla 4**

*Análisis de las condiciones climáticas en la región de Puno, entre 2000 - 2022*

Análisis	Año	valor
Temperatura mínima más baja	2011	1,10 °C
Temperatura mínima más alta	2002	2,78°C
Promedio de temperatura mínima	$\bar{X}$	2,06
Temperatura máxima más baja	2001	15,81 °C
Temperatura máxima más alta	2021	17,20 °C
Promedio de temperatura máxima	$\bar{X}$	16,64
El año más seco o menor precipitación	2009	685,64 mm
el año más lluvioso	2001	997,26mm
Promedio de precipitaciones	$\bar{X}$	784,64

Las proyecciones para los años 2023 y 2024 se muestra en el modelo de regresión:

$$\text{Temperatura máxima} = 16,62 + 0,05 * \text{Índice-Año}$$

$$\text{Temperatura mínima} = 1,78 + 0,01 * \text{Índice} - \text{Año}$$

$$\text{Precipitación} = 747,79 + 2,09 * \text{Índice} - \text{Año}$$

En la siguiente tabla se muestran las proyecciones para los dos años venideros.

**Tabla 5**

*Proyecciones climáticas de temperaturas y precipitación en la región de Puno.*

Año	Temperatura máxima	Temperatura mínima	Precipitación
2023	17,77 °C	2,01 °C	795,86 mm
2024	17,81 °C	2,02 °C	797,95 mm

En la Tabla 4, se realiza el análisis y proyección de las temperaturas y precipitaciones para la región, con los resultados correspondientes organizados en la Tabla 5, de las proyecciones para los años 2023 y 2024 en la región de Puno, derivadas del modelo de regresión, sugieren un ligero aumento en las variables climáticas clave que podrían influir en el entorno agrícola y ecológico de la región.

**Temperatura Máxima:** Se proyecta que la temperatura máxima aumente de 16,11 °C en el año 2000 a 17,77 °C en 2023 y 17,81 °C en 2024. Este incremento de aproximadamente 1,19 °C en el período proyectado indica una tendencia de calentamiento, lo que podría tener implicaciones para la adaptación de los cultivos y la gestión de recursos hídricos. Un aumento en la temperatura máxima puede afectar la fenología de las plantas y la incidencia de plagas y enfermedades.

**Temperatura Mínima:** La temperatura mínima se proyecta que aumente de 1,78°C a 2,01 °C en 2023 y a 2,02 °C en 2024. Aunque el incremento es más moderado en comparación con la temperatura máxima, su tendencia ascendente sigue reflejando un patrón de calentamiento general. Este aumento podría influir en el periodo de crecimiento de los cultivos y en el estrés térmico de las especies agrícolas.

**Precipitación:** La precipitación se proyecta que aumente de 758,54 mm en el año 2000 a 795,86 mm en 2023 y a 797,95 mm en 2024. El aumento en la precipitación, que se traduce en un incremento de aproximadamente 50,16 mm

en el período proyectado, sugiere una tendencia hacia mayores lluvias. Este aumento podría ser beneficioso para la agricultura, proporcionando más agua para los cultivos; sin embargo, también podría incrementar el riesgo de inundaciones y afectar la planificación agrícola.

En resumen, las proyecciones indican una ligera tendencia de calentamiento tanto en temperaturas máximas como mínimas, acompañada de un incremento en las precipitaciones. Estos cambios podrían influir significativamente en la producción agrícola, la gestión hídrica y la capacidad de los sistemas agroecológicos para adaptarse en la región de Puno. Resulta importante que tanto los productores agrícolas como los responsables de la gestión de recursos consideren estos cambios para ajustar sus prácticas y estrategias de manejo de manera adecuada.

Estos hallazgos son consistentes con estudios globales que han identificado tendencias similares en diversas regiones del mundo. Tales como, MacCracken (2009) señaló que el cambio climático ha provocado un aumento de la temperatura global a una tasa de 0,1 a 0,2 °C por década desde el período preindustrial, lo que ha exacerbado fenómenos como el deshielo del Ártico y el aumento del nivel del mar. Este incremento, motivado en gran parte por la quema de combustibles fósiles y el aumento en las concentraciones de gases de efecto invernadero, ha tenido un impacto significativo en los patrones climáticos regionales y globales.

Por otra parte, en una investigación utilizaron simulaciones de 18 modelos CMIP5 para examinar el impacto del cambio climático en Asia bajo distintos escenarios RCP. Los hallazgos sugieren que la temperatura media podría incrementarse entre 2,3 °C y 6,0 °C, con un calentamiento más pronunciado en latitudes altas. La precipitación media podría incrementarse entre 4,4 % y 13,0 %, con variaciones regionales notables. Se prevé un aumento en eventos de calor extremo y una disminución en fríos extremos, así como mayor variabilidad en las precipitaciones extremas. Estos efectos resaltan la importancia de considerar las implicaciones del cambio climático en regiones como Puno, donde la agricultura ya enfrenta desafíos por la variabilidad climática (Xu et al., 2017).

Por otro lado, se investigaron los efectos del cambio climático en la producción de cítricos y papas en los Estados Unidos mediante simulaciones que combinaron tres regímenes de aumento de temperatura (+1,5°C, +2,5°C y +5°C) con tres niveles de dióxido de carbono (1440, 530 y 600 ppm). Las simulaciones también incluyeron fechas de siembra adaptativas para evaluar sus efectos en los rendimientos. Los resultados mostraron que la producción de cítricos podría trasladarse ligeramente hacia el norte en los estados del sur, aunque podría disminuir en Florida y Tehuacán debido al calor excesivo en invierno. El aumento de CO<sub>2</sub> podría mitigar parcialmente la disminución de los rendimientos de cítricos. Por otro lado, la producción de papa en otoño es vulnerable al aumento de temperatura en los estados del norte, con cambios en el CO<sub>2</sub> y en las fechas de siembra que tienen efectos compensatorios mínimos en los rendimientos simulados (Rosenzweig et al., 1996).

La agricultura climáticamente inteligente (CSA) ofrece a los agricultores la oportunidad de adaptarse y contribuir a la mitigación del cambio climático, pero a menudo se prioriza la adaptación debido a la alta tasa de descuento. Este artículo de revisión identifica dos áreas clave que faltan en la literatura: (i) la comprensión de cómo las prácticas de adaptación pueden también ofrecer beneficios de mitigación colaterales, y (ii) el papel crucial de las redes sociales para implementar rápidamente la CSA a gran escala. La revisión destaca la necesidad de más investigación sobre cómo utilizar las redes sociales y el capital social para acelerar la adopción de prácticas CSA, lo que permitiría una adaptación efectiva a corto plazo y contribuiría a la mitigación a largo plazo, beneficiando a los pequeños agricultores y apoyando un futuro con un aumento de temperatura de 1,5 °C (Martinez-Baron et al., 2018).

Früh et al. (2016) aportaron un análisis regional detallado, utilizando modelos climáticos de alta resolución para evaluar los impactos del cambio climático en diferentes regiones. Los hallazgos de su investigación mostraron un incremento de 0,5 °C en la temperatura global hacia finales del siglo XX, con efectos desiguales en los patrones de humedad, viento, radiación y precipitación. Estos cambios no son uniformes a nivel global, pero evidencian de la complejidad de los efectos del cambio climático en diferentes regiones, como es el caso de Puno.

Por su parte, Manole y Bazgă (2011) proyectaron que para el año 2050, las temperaturas globales podrían aumentar entre 1,5 y 4,5 °C debido al incremento de gases de efecto invernadero, lo que tendría graves implicaciones para la agricultura global, particularmente en regiones vulnerables como Puno. Este aumento de temperatura podría exacerbar la propagación de plagas y enfermedades, y reducir significativamente los rendimientos agrícolas, si no se implementan medidas de adaptación adecuadas.

En conclusión, la variabilidad climática en la región de Puno refleja un patrón global de cambio climático, con repercusiones importantes en la agricultura, especialmente en la producción de papa. Las proyecciones de incremento de temperatura y cambios en la precipitación sugieren la necesidad de implementar estrategias de adaptación para reducir los impactos negativos en la producción agrícola. Estos hallazgos enfatizan la importancia de continuar investigando y desarrollando estrategias adaptativas que aseguren la sostenibilidad agrícola en un entorno de cambio climático, además la presente investigación se complementa y muestra el análisis pormenorizado del cambio climático región de Puno correspondiente a sus 13 provincias, presentado en los anexos de la presente investigación, proporcionando un análisis detallado de las variaciones en temperatura, precipitaciones y otros indicadores climáticos. Este enfoque proporciona una comprensión más detallada de cómo cada provincia experimenta el cambio climático, lo que ayuda a identificar patrones regionales y a desarrollar estrategias más efectivas para mitigar sus repercusiones.

#### 4.1.2 Rendimiento en la productividad de *Solanum tuberosum* en la región Puno entre 2000 - 2022

Se presenta a continuación los datos originales correspondientes a la serie histórica de las campañas del rendimiento de la producción de papa por cada hectárea correspondiente a las 13 provincias de la región de Puno, correspondiente al periodo 2000 - 2022.

**Tabla 6**

*Datos históricos relacionados con el rendimiento de papa en la región de Puno*

Año	Rendimiento (Kg./Ha.)	Producción
2000	9 316,27	397 255,00
2001	8 456,60	314 095,00
2002	10 183,74	479 644,00
2003	10 235,65	477 698,00
2004	9 229,03	433 100,00
2005	10 420,17	503 857,00
2006	9 884,20	481 766,00
2007	9 898,02	485 785,00
2008	9 624,25	465 246,00
2009	10 145,44	506 227,00
2010	11 132,87	576 638,00
2011	11 386,93	589 615,00
2012	11 036,81	567 612,00
2013	11 579,54	643 035,18
2014	11 702,77	669 492,00
2015	12 243,90	721 618,80
2016	11 588,66	691 784,86
2017	12 441,99	742 923,75
2018	13 310,33	798 367,00
2019	13 832,48	840 046,67
2020	13 822,61	854 970,00
2021	15 411,23	957 129,90
2022	15 826,61	998 975,85

*Nota.* DRA-PUNO <https://www.agropuno.gob.pe/estadistica-agraria-informatica/agricola/>

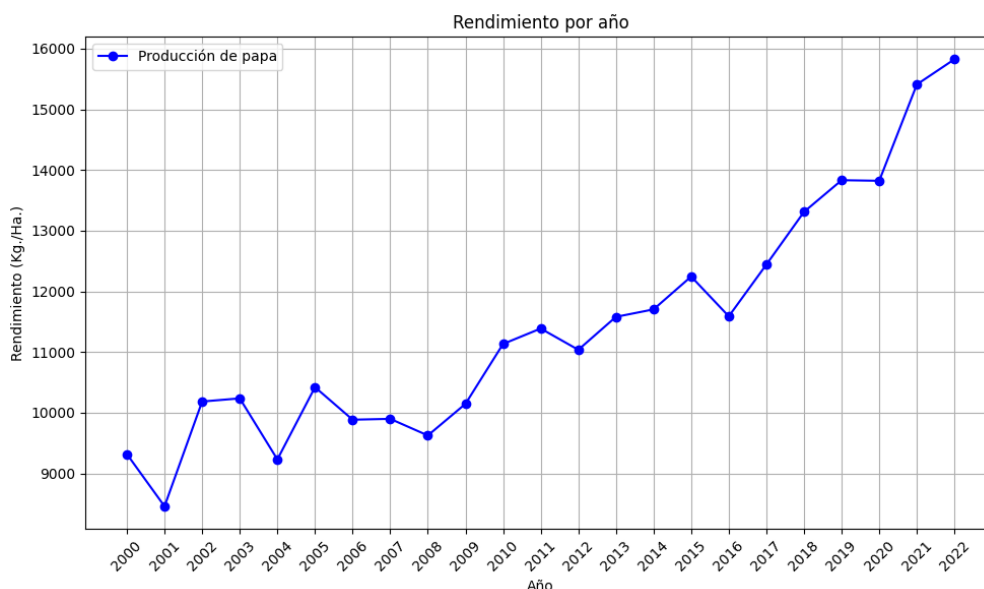
La Tabla 6 presenta los datos históricos relativos a la producción de papa en la región de Puno, abarcando desde el año 2000 hasta el 2022. El análisis de estos datos históricos se enfoca en el rendimiento y la producción de papa durante este periodo, lo cual revela una notable tendencia ascendente tanto en el rendimiento por hectárea como en la producción total. A partir del

año 2000, el rendimiento promedio fue de 9 316,27 kg/ha con una producción total de 397 255 toneladas.

Durante los primeros diez años del siglo XXI, se evidenció una fluctuación tanto en rendimientos y la producción, con mínimos en 2001 y picos en 2005 y 2006. A partir de 2010, la región comenzó a experimentar un incremento sostenido en el rendimiento, alcanzando los 13 310,33 kg/ha en 2018, y superando los 15 000 kg/ha en 2021 y 2022, con picos de producción de 957 129,90 toneladas y 998975,85 toneladas, respectivamente. Este aumento progresivo en el rendimiento y la producción, que alcanzó un incremento total del 70,3 % en el rendimiento y del 151,9 % en la producción desde el inicio del período analizado, puede estar vinculado a mejoras en las técnicas agrícolas, avances tecnológicos y políticas de apoyo a la agricultura en la región. Estos resultados reflejan una sólida capacidad de crecimiento y adaptación del sector agropecuario en Puno, sugiriendo un potencial continuo para la optimización de la producción de papa en el futuro.

#### Figura 4

*Registro histórico del rendimiento productivo de papa en la región de Puno entre los años 2000 - 2022*



A partir de la Figura 4, se puede apreciar una **tendencia positiva** en el rendimiento de la producción de papa a lo largo del tiempo



De la Figura 4, se observa que el rendimiento de la producción de papa tiene una **tendencia positiva** a lo largo del tiempo, reflejando un crecimiento general durante los 22 años evaluados, con algunas fluctuaciones anuales. Esto indica que se han logrado mejoras en las técnicas de cultivo, variedades de papa y posiblemente en las condiciones climáticas, lo que ha permitido obtener mayores rendimientos por hectárea. Sin embargo, es importante destacar que el rendimiento no ha aumentado de manera constante cada año, sino que ha experimentado altibajos, lo que sugiere que factores como las condiciones climáticas, plagas, enfermedades y prácticas agrícolas pueden influir significativamente en la producción anual. En general, la tendencia al alza en el rendimiento es una señal positiva para el sector agrícola, pero es fundamental continuar investigando y aplicando nuevas tecnologías para asegurar la sostenibilidad de estos incrementos en el futuro.

Las proyecciones para los años 2023 y 2024 se muestra en el modelo de regresión:

$$\text{Rendimiento} = 8285,77 + 397,46 \times \text{Indice} - \text{Año}$$

En la siguiente tabla se muestran las proyecciones para los dos años venideros.

**Tabla 7**

*Perspectivas en el rendimiento de la producción del cultivo de papa*

Año	Rendimiento kg/ha
2023	17 427,35
2024	17 824,81

En la tabla 7, se muestra las proyecciones de la producción del cultivo de papa en la región de Puno, derivadas a partir del modelo de regresión y como se muestran en la Figura 4 poseen tendencia a un incremento significativo en la productividad en los años 2023 y 2024. De acuerdo con el modelo, el rendimiento de la papa se prevé que aumente de 9 316,27 kg/ha en el año 2000 a 17 427,35 kg/ha en 2023 y a 17 824,81 kg/ha en 2024.

Este notable incremento en el rendimiento proyectado, de aproximadamente 9 141,58 kg/ha entre el año base y 2024, evidencia una clara tendencia ascendente en la productividad de la papa en la región. La ecuación

de regresión utilizada para estas proyecciones indica que, con cada aumento en el índice de año, el rendimiento de la producción de papa se incrementa en 397,46 kg/ha. Este resultado puede ser interpretado como una respuesta favorable a las mejoras en las prácticas agrícolas, la implementación de nuevas técnicas de cultivo, o condiciones climáticas más propicias que han favorecido el aumento en la producción

El aumento proyectado en el rendimiento puede tener implicaciones significativas fortaleciendo la seguridad alimentaria y dinamizando la economía agrícola local. Un incremento en el rendimiento puede mejorar la rentabilidad de los cultivos de papa, ofrecer oportunidades para el desarrollo económico y reducir la presión sobre otros recursos agrícolas. Sin embargo, es crucial considerar que estos aumentos también podrían estar sujetos a variaciones en factores externos, como cambios climáticos imprevistos, fluctuaciones en los precios de los insumos, o desafíos en el manejo de plagas y enfermedades.

Estos hallazgos se alinean con estudios previos en diversas regiones montañosas de los Andes, donde se ha observado que el cambio climático, si bien genera desafíos, también ha promovido ajustes en las prácticas de cultivo y una respuesta favorable en ciertos ecosistemas de altura. La variabilidad en el rendimiento de diferentes especies de papa y otros tubérculos andinos, atribuyendo estas diferencias en parte a la eficiencia en el uso de la luz y la adaptación a las condiciones climáticas locales; el cambio climático está aumentando las temperaturas en las zonas tradicionales de producción de papa, afectando así el rendimiento de los tubérculos; para solucionar este problema se está desarrollando una población de semillas adaptada a estas nuevas condiciones, siendo más tolerante a las altas temperaturas entre 15,25 a 27,20°C (Condori et al., 2008).

Sin embargo, es esencial contextualizar estos resultados en un panorama global, donde el cambio climático impone restricciones significativas a la producción agrícola. Kleinwechter et al. (2016) subrayan que, aunque los parámetros de los cultivares pueden adaptarse a diferentes entornos, las limitaciones impuestas por factores ambientales como la

radiación solar y la temperatura son críticas. Este estudio, que utiliza modelos de crecimiento para evaluar cultivares en diversos climas, resalta que, en regiones tropicales y subtropicales, las variaciones climáticas pueden limitar el rendimiento potencial de los cultivos, a diferencia de las regiones templadas.

En un contexto similar, investigaciones en Finlandia, Ahrari et al. (2024) identifican que los eventos extremos de precipitación y temperatura tienen un impacto significativo en la variabilidad del rendimiento de la papa, explicando aproximadamente el 48 % de esta variabilidad en el rendimiento. Estos resultados sugieren que, aunque la región de Puno ha experimentado un crecimiento sostenido en la producción de papa, es crucial considerar los riesgos asociados con el cambio climático, tales como la ocurrencia de eventos climáticos extremos que podrían revertir esta tendencia positiva.

Además, Dushyant et al. (2024) y Adesina y Thomas (2020) destacan cómo las sequías y las altas temperaturas han afectado negativamente la producción de papa en Europa y el Reino Unido, respectivamente, indicando que la resiliencia del cultivo en Puno podría ser puesta a prueba bajo escenarios climáticos más extremos. Estos estudios refuerzan la necesidad de desarrollar y adoptar variedades de papa más resistentes al cambio climático, así como de optimizar las prácticas agronómicas para garantizar la sostenibilidad de la producción en la región.

Para un futuro no se va depender de las lluvias si no que se va tener que utilizar nuevas tecnologías para irrigar los cultivos tal como indica en su estudio que demuestra que los sistemas de riego inteligente basados en datos de humedad del suelo en tiempo real son una herramienta prometedora para mejorar la gestión del agua y aumentar la eficiencia de la producción agrícola en invernaderos (Liao et al., 2016b).

En cuanto a la producción agrícola, Rosenzweig et al. (1996) demostraron que la producción de papa es particularmente vulnerable al aumento de la temperatura, especialmente en regiones de climas fríos, como los estados del norte de los Estados Unidos. Sus simulaciones sugieren que, aunque el aumento de CO<sub>2</sub> podría mitigar parcialmente la disminución de los

rendimientos, el calentamiento podría superar los efectos positivos, resultando en una reducción neta de la producción.

Por otro lado, Olesen y Bindi (2002) destacan que el cambio climático en Europa podría expandir las áreas de cultivo hacia el norte y acortar el periodo de crecimiento de cultivos determinados. El aumento de CO<sub>2</sub> mejorará la productividad y la eficiencia de recursos. En el norte, se anticipan beneficios como la introducción de nuevas especies, pero también desafíos como la necesidad de mayor protección de cultivos y la lixiviación de nutrientes. En el sur, se prevén efectos negativos, como escasez de agua y eventos climáticos extremos que reducirán rendimientos y áreas cultivables. La política agrícola europea debe adaptarse para apoyar la flexibilidad en el uso de la tierra y estrategias de mitigación, mientras que la investigación futura debe centrarse en los efectos del cambio climático en la producción y calidad de los cultivos (Olesen y Bindi, 2002).

El estudio de Tooley et al. (2021) evaluó el impacto del cambio climático en la producción de papa y cebada en Maine, EE.UU., para el periodo 2050 - 2079, utilizando el modelo DSSAT v4.7. Los resultados indicaron que, sin niveles elevados de CO<sub>2</sub>, las variedades de papa Atlantic y las cebadas Robust y Newdale podrían sufrir disminución en el rendimiento entre un 6 % y un 27 %, mientras que la variedad Russet Burbank podría aumentar un 5 %. Con altos niveles de CO<sub>2</sub>, todos los rendimientos mejoraron o se mantuvieron estables. La fecha de siembra óptima no cambió en los diferentes escenarios, sugiriendo que ajustar la siembra podría no ser una estrategia efectiva de adaptación. El estudio destacó que el CO<sub>2</sub> elevado favoreció el crecimiento de los cultivos, aunque no se consideraron efectos sobre la calidad ni pérdidas por enfermedades y plagas (Tooley et al., 2021).

Souza et al. (2019) identifican que uno de los principales desafíos actuales es asegurar la producción alimentaria en un clima cambiante. Para mantener los rendimientos, los agricultores deben ajustar sus prácticas de cultivo, fechas de siembra o incluso cambiar de ubicación. En un estudio realizado en Minnesota (2015 - 2016), se compararon distintos aditivos, incluidos inhibidores y bioestimulantes, con el fin de optimizar el rendimiento

del cultivo de papa. El uso bioestimulantes mejoraron el rendimiento en un 10%, aunque también contribuyeron a un aumento en las emisiones de gases responsables del cambio climático. Los inhibidores en cambio, redujeron estas emisiones y aumentaron el contenido de amonio en el suelo sin afectar mucho el nitrógeno inorgánico. Sin embargo, durante periodos de alta lixiviación, los bioestimulantes aumentaron la pérdida de nitrógeno. Estos resultados sugieren que los bioestimulantes pueden tener efectos negativos y necesitan más investigación para su uso en diferentes contextos agrícolas (Souza et al., 2019).

Paul et al. (2016) investigaron los efectos de diferentes abonos orgánicos y consorcios microbianos en cultivos de papa en el Himalaya entre 2007 y 2011. La combinación de estiércol de granja con fertilizantes químicos y consorcios microbianos demostró ser la más efectiva, aumentando el rendimiento de los tubérculos a 23,4 toneladas por hectárea y mejorando su calidad. Esta mezcla también optimizó la absorción de nutrientes y la salud del suelo logrando una rentabilidad de aproximadamente 1 939 dólares por hectárea. En contraste, el uso exclusivo de abonos orgánicos, como el estiércol de granja, mostró menor rendimiento debido a la lenta mineralización. Así, la combinación recomendada para mejorar la productividad y sostenibilidad en estas condiciones es el estiércol de granja con fertilizantes químicos y consorcios microbianos (Paul et al., 2016).

La investigación se centró en examinar cómo el cambio climático afecta el ciclo hidrológico y su repercusión en la producción en China para la década de 2020. Utilizando el modelo de circulación general HADCM2, se proyectó que en el sur de China disminuirá la demanda de agua agrícola, así como la insuficiencia de humedad del suelo. En tanto que, el norte aumentará la demanda de agua y el déficit de humedad. Además, se espera que la escorrentía superficial aumente en algunas áreas montañosas del suroeste y en zonas costeras del sur, lo que afectará la productividad agrícola. Los cultivos de secano en el norte y noreste de China enfrentarán desafíos significativos debido a la mayor demanda de agua, déficits de humedad y disminuciones en las precipitaciones (Tao et al., 2003).

El cambio climático está intensificando los impactos sobre la agricultura, aumentando la inseguridad alimentaria en regiones como Pakistán, donde la papa es un cultivo clave. Este estudio utiliza el modelo de máxima entropía para predecir la distribución espacial futura de la papa en Pakistán bajo dos perspectivas climáticas RCP 4.5 y RCP 8.5 hacia el año 2070, utilizando datos de modelos CMIP5 y variables bioclimáticas, de suelo, elevación y riego. Los resultados muestran una ligera reducción en las áreas adecuadas para el cultivo de papa en RCP 4.5 y una reducción considerable en RCP 8.5. El análisis del modelo, con un valor AUC de 0,85, sugiere que es adecuado para predecir la idoneidad climática para la papa en Pakistán. Se destaca la necesidad de prácticas agrícolas sostenibles para mejorar la productividad y la gestión de recursos en países en desarrollo (Khalil et al., 2021).

Según señala que la agricultura peruana está sufriendo modificaciones en los patrones de lluvia y temperatura, lo que ha llevado a los agricultores a enfrentar esas condiciones anormales en un cultivo, mediante el uso de cuatro enfoques agrícolas: a) técnicas que disminuyen la degradación del suelo, b) aquellos que conservan el agua, c) la utilización de fertilizantes inorgánico, y d) empleo de pesticidas y herbicidas; de estas cuatro técnicas los resultados muestran que: a) tras un año de lluvias intensas, los agricultores tienden a disminuir la adopción de técnicas de conservación del suelo, aunque períodos prolongados de sequía aumentan significativamente su uso; b) la tasa de pesticidas aumenta ocho punto porcentuales tras un año de sequía, sin embargo, este aumento no varía significativamente frente a períodos prolongados de estrés hídrico. Por lo tanto, según los resultados obtenidos en la presente investigación el incremento del rendimiento de la producción de papa no solo debe al cambio climático sino a otros factores (Samuelson et al., 2022b).

Un estudio de campo en el Himalaya templado noroccidental, realizado entre 2007 y 2011, evaluó el impacto de diferentes abonos orgánicos (estiércol de granja, estiércol de pollo y vermicompost) y consorcios microbianos en el rendimiento del cultivo. Los hallazgos mostraron que la aplicación combinada de estiércol de granja ( $10 \text{ t ha}^{-1}$ ) con fertilizantes químicos y consorcios microbianos optimizó el rendimiento de los tubérculos, su calidad, y la

rentabilidad. Esta mezcla también mejoró la absorción de nutrientes y la salud del suelo. A pesar de que los tratamientos orgánicos mejoraron tanto el contenido de materia orgánica como la actividad microbiana en el suelo, no alcanzaron rendimientos comerciales adecuados por sí solos. Por lo tanto, la combinación de estiércol de granja, fertilizantes químicos y microbios se considera la mejor opción para mantener la productividad y calidad en estas condiciones agroecológicas (Raymundo et al., 2018).

Por otro lado, el cambio climático, particularmente la sequía, el calor y el anegamiento, está impactando negativamente la producción de papa en Europa. Un estudio basado en encuestas a productores de Alemania, Suiza y Austria revela que casi todos los encuestados consideran que su producción ha sido influenciada por el cambio climático en los últimos diez años. La sequía ha sido el factor más crítico, seguido por el calor y el aumento de plagas y patógenos. La adaptación preferida es la plantación de variedades adaptadas. Austria, con un acceso limitado al riego, ha experimentado un impacto más severo debido a la sequía, además de enfrentar desafíos como heladas tardías, inundaciones y erosión del suelo. El estudio destaca la necesidad de estrategias de mitigación específicas para cada país y tipo de producción, considerando los desafíos locales (Bomers et al., 2024).

Arizaca (2013) resaltó cómo el cambio climático está transformando las prácticas agrícolas en la región del altiplano, forzando a los agricultores a desplazar sus cultivos a altitudes mayores para evitar las temperaturas extremas. Los hallazgos del estudio indicaron que hay una correlación directa entre el incremento de las temperaturas máximas y la disminución en los rendimientos de papa, lo que podría agravar la situación si no se toman medidas adaptativas oportunas.

Por otro lado, investigaciones en el Altiplano de Puno, como la de Arrieta-Carrasco et al. (2023) y en otras regiones de Perú como lo indica Reátegui et al. (2019) confirman que las condiciones climáticas óptimas son fundamentales para maximizar el rendimiento de la papa, pero también resaltan la vulnerabilidad de este cultivo a las fluctuaciones extremas en la temperatura y las precipitaciones. La diversidad genética, como la resaltada por Zevallos et



al. (2023). es un factor crucial para la resiliencia, sugiriendo la importancia de conservar variedades locales que puedan adaptarse mejor a las condiciones cambiantes.

En conclusión, aunque la región de Puno ha mostrado un notable desarrollo en la producción de papa durante las últimas dos décadas, la sostenibilidad futura de este cultivo estará fuertemente vinculada a la capacidad de mitigar los impactos del cambio climático mediante la implementación de innovaciones en las técnicas agrícolas y la conservación de la diversidad genética. La combinación de conocimientos científicos y tradicionales será clave para superar los retos que impone el cambio climático y garantizar la sostenibilidad de la producción del cultivo de papa de la región, además a la presente investigación se complementa y se muestra la producción de papa de las 13 provincias en el anexo 18 de la presente investigación, proporcionando una visión integral del rendimiento en diferentes regiones. Esta información detallada no solo ilustra las variaciones en la producción entre provincias, sino que también facilita la identificación de las zonas con mayor capacidad de crecimiento y aquellas que enfrentan mayores desafíos.



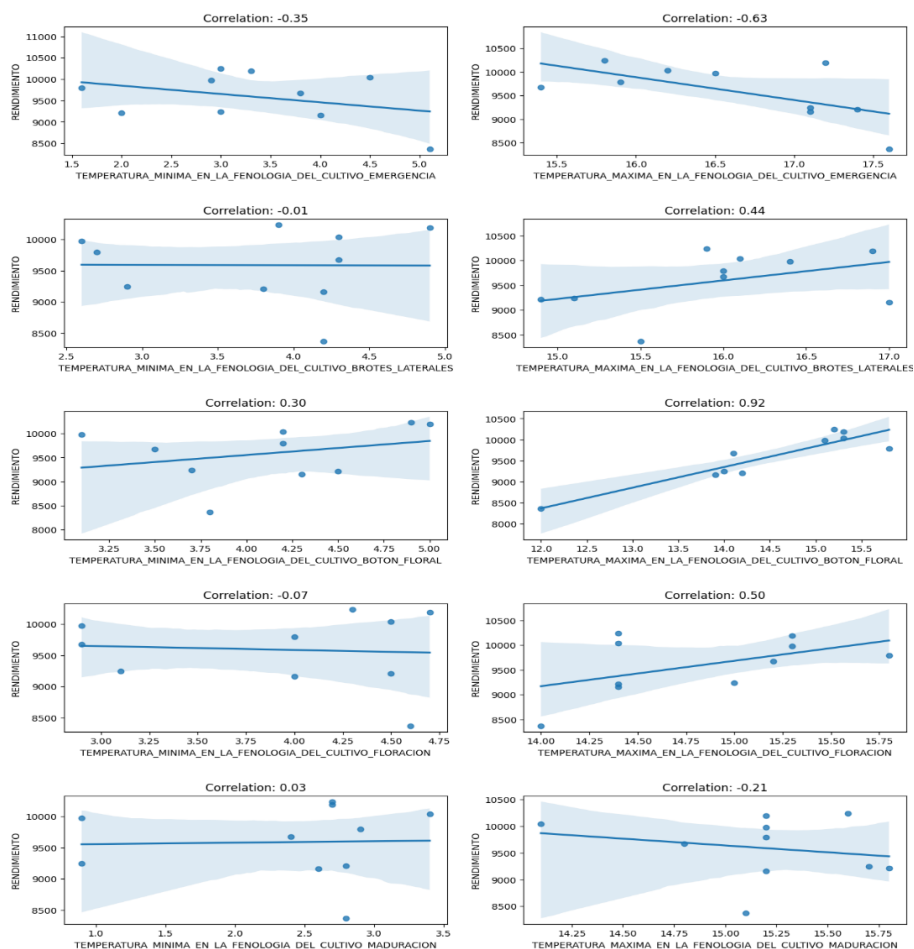
### 4.1.3 Relaciones estadísticas entre las variables climáticas y rendimiento de *Solanum Tuberosum*

Para ver la relación entre las variables climáticas con el rendimiento del cultivo de papa en la región de Puno, se utilizó los registros de la temperatura máxima, temperatura mínima, precipitación proporcionados por el SENAMHI y el rendimiento en la producción de papa proporcionado por la Dirección Regional Agraria de la región de Puno.

En la siguiente figura, se presenta la correlación observada entre las temperaturas en diferentes etapas fenológicas del cultivo y su rendimiento en la producción de papa.

**Figura 5**

*Relación entre las temperaturas máximas, mínimas y del rendimiento productivo de la papa en la región de Puno*



La figura 5, muestra una relación variable entre el rendimiento del cultivo de papa y las temperaturas extremas (mínimas y máximas) en diferentes etapas fenológicas del cultivo, cuyos hallazgos son detallados en la Tabla 8. En general, se aprecia una mayor influencia de las temperaturas máximas que las mínimas sobre el rendimiento, especialmente durante la etapa de botón floral. Temperaturas máximas más altas en esta etapa se asocian fuertemente con mayores rendimientos. Sin embargo, la relación no es lineal y depende de la etapa fenológica. Temperaturas mínimas más bajas durante la emergencia pueden favorecer ligeramente el rendimiento, mientras que temperaturas máximas más bajas durante la maduración también pueden tener un efecto positivo, aunque menos marcado. Estos resultados sugieren que optimizar las temperaturas durante las diferentes etapas fenológicas, especialmente durante el botón floral, podría ser una estrategia para mejorar la producción de papa. No obstante, Es importante destacar que la temperatura constituye solo una de las muchas variables que afectan en el rendimiento, y que la interacción entre estos factores puede ser compleja.

**Tabla 8**

*Relación entre los factores climáticos y el rendimiento de la producción del cultivo papa*

<b>Variable Climática</b>	<b>Coefficiente de Correlación</b>
Temperatura mínima en la fenología del cultivo: emergencia	-0,35
Temperatura máxima en la fenología del cultivo: emergencia	-0,63
Temperatura mínima en la fenología del cultivo: brotes laterales	-0,01
Temperatura máxima en la fenología del cultivo: brotes laterales	0,44
Temperatura mínima en la fenología del cultivo: botón floral	0,30
Temperatura máxima en la fenología del cultivo: botón floral	0,92
Temperatura mínima en la fenología del cultivo: floración	-0,07
Temperatura máxima en la fenología del cultivo: floración	0,50
Temperatura mínima en la fenología del cultivo: maduración	0,03
Temperatura máxima en la fenología del cultivo: maduración	-0,21

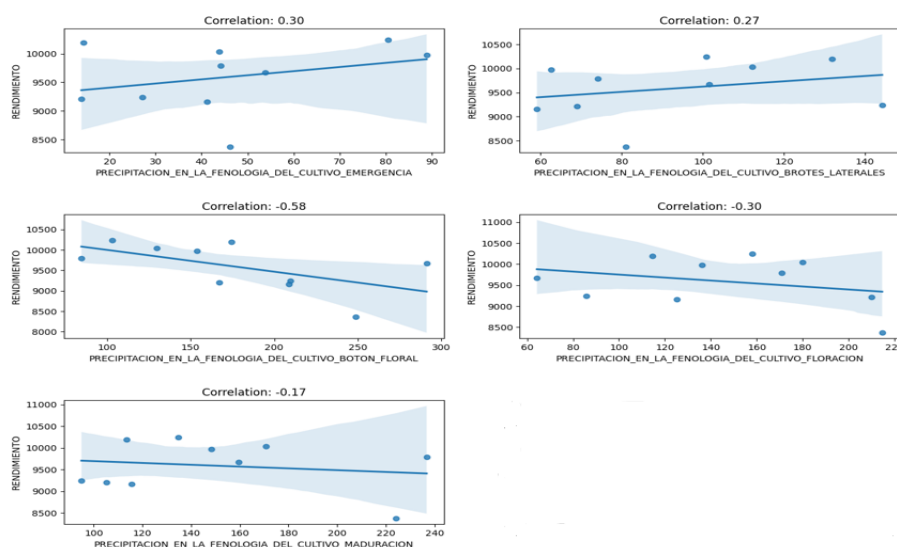
En la tabla 8, presenta la correlación entre las climáticas y el rendimiento de la producción del cultivo de papa en la región de Puno, se observa a través de los coeficientes de correlación para distintas fases de la fenología del cultivo, estos coeficientes reflejan cómo las distintas temperaturas, tanto mínimas como máximas, influyen en el rendimiento de la papa durante su ciclo de crecimiento. Esto resalta la necesidad de tener en cuenta las condiciones climáticas específicas para mejorar la producción en la

región. A continuación, se presenta un análisis de correlación y su interpretación para las distintas fases de la fenología del cultivo.

- **Fase de Emergencia:** Una mayor temperatura máxima durante la fase de Emergencia (-0,63) está vinculada a la reducción en el rendimiento.
- **Fase de Brotes Laterales:** Una mayor temperatura máxima durante la fase de Brotes Laterales (0,44) se asocia con un aumento en el rendimiento.
- **Fase de Botón Floral:** Una mayor temperatura máxima durante Botón Floral (0,92) se asocia con un aumento en el rendimiento.
- **Fase de Floración:** Una mayor temperatura máxima durante la fase de Floración (0,50) se asocia con un aumento en el rendimiento.

**Figura 6**

*Vinculación entre las condiciones de precipitación y rendimientos del cultivo de papa en la región de Puno*



La Figura 6, ilustra la relación entre la precipitación y rendimiento de la producción de la papa durante las diferentes etapas de crecimiento cuyos hallazgos se evidencia en Tabla 9. En términos generales, se evidencia que un exceso de precipitación, especialmente durante la etapa de botón floral, puede impactar de manera adversa el rendimiento, probablemente debido a condiciones de humedad excesiva que favorecen el desarrollo de enfermedades y dificultan la polinización. Sin embargo, durante las etapas iniciales del

cultivo (emergencia y brotes laterales), una mayor precipitación puede favorecer ligeramente el crecimiento, aunque la relación es débil. En las etapas finales (floración y maduración), la observa que la correlación entre la precipitación y el rendimiento tiende a ser negativa pero muy débil, lo que sugiere que un exceso de agua en estas etapas puede tener un ligero efecto perjudicial. Estos resultados indican que el manejo adecuado del riego es crucial para optimizar el rendimiento de la papa, evitando tanto el estrés hídrico como el encharcamiento.

**Tabla 9**

*Relación entre la precipitación y del rendimiento en la producción del cultivo de papa*

Variable Climática	Coefficiente de Correlación
Precipitación en la fenología del cultivo: emergencia	0,30
Precipitación en la fenología del cultivo: brotes laterales	0,27
Precipitación en la fenología del cultivo: botón floral	-0,58
Precipitación en la fenología del cultivo: floración	-0,30
Precipitación en la fenología del cultivo: maduración	0,17

La Tabla 9 presenta la correlación entre la precipitación y el rendimiento de la producción del cultivo de papa en la región de Puno, mostrando variaciones a lo largo de las diferentes fases fenológicas del cultivo. En la fase de botón floral, una mayor precipitación durante Botón Floral (-0,58) está asociado con una reducción del rendimiento.

El análisis de los datos recopilados durante el período 2000 - 2022 y analizados en esta investigación indica una relación significativa entre las variables climáticas y el rendimiento papa en la región, de acuerdo a la fase de crecimiento y las condiciones climáticas. En la Fase de Emergencia, temperaturas máximas más altas están negativamente correlacionadas

indicando una disminución en el rendimiento. En la Fase de Brotes Laterales, una correlación positiva lo cual indica que temperaturas más altas pueden mejorar el rendimiento. Durante la Fase de Botón Floral, se evidencia una sólida correlación positiva entre la temperatura máxima y el rendimiento de la producción., aunque más precipitación en esta fase tiene una correlación negativa, lo que sugiere que un exceso de lluvia puede reducir el rendimiento.

Estos hallazgos se alinean a la investigación cuyos resultados obtenidos en este estudio muestran la influencia directa entre las variaciones climáticas y el rendimiento, destacando una correlación positiva con respecto a la temperatura máxima y el rendimiento durante la fase de floración. Las temperaturas óptimas varían a lo largo de las distintas etapas fenológicas del cultivo, ya que la germinación y emergencia requieren temperaturas más bajas, mientras que el crecimiento vegetativo y la tuberización son favorecidos por temperaturas moderadas. Sin embargo, temperaturas extremas o fluctuaciones fuera del rango óptimo de 15°C a 18°C pueden afectar negativamente el proceso de tuberización, reduciendo el tamaño y la cantidad de los tubérculos (Caldiz, 2004).

Los resultados de este estudio coinciden con hallazgos de la investigación, y en particular, Hijmans (2003) amplía esta perspectiva al destacar que la variabilidad térmica desempeña un papel crucial en la distribución global del cultivo de papa. En aquellas regiones donde las temperaturas mínimas y máximas exceden los rangos óptimos, se observa una disminución considerable en el rendimiento. Esto pone de relieve la elevada sensibilidad del cultivo de papa a las fluctuaciones térmicas, evidenciando su impacto directo en la productividad y subrayando la necesidad de un monitoreo climático adecuado para mitigar los efectos adversos en la producción.

Los hallazgos de Bois et al. (2006) sobre cómo la temperatura afecta la germinación, fenología, crecimiento y tolerancia al congelamiento en *Chenopodium quinoa* pueden ofrecer una perspectiva adicional para entender cómo temperaturas bajas pueden influir en el cultivo de la papa. En su estudio, encontraron que las temperaturas bajas retrasaron la germinación sin impedirla, estableciendo una temperatura base para este proceso oscila entre -1,9 y +0,2

°C. Aunque este estudio se centró en quinua, los principios biológicos subyacentes pueden aplicarse a la papa, sugiriendo que los cultivares de papa también podrían mostrar variabilidad en la germinación y crecimiento en respuesta a las temperaturas bajas, dependiendo de la adaptación local y la selección varietal.

Devaux et al. (2014) amplían esta discusión al analizar cómo las precipitaciones irregulares afectan diferentes etapas fenológicas. Según estos autores, la falta de agua durante la tuberización puede reducir drásticamente el rendimiento, mientras que las lluvias excesivas en la etapa de maduración pueden provocar pudriciones y pérdida de calidad en los tubérculos. La precipitación, por lo tanto, debe ser gestionada cuidadosamente, y en regiones con patrones de lluvia impredecibles, se recomienda la implementación de riego complementario o sistemas de drenaje adecuados.

El estudio de Beltrán et al. (2019) sobre la *Chenopodium quinoa* en Burkina Faso proporciona un ejemplo relevante de cómo la gestión del riego y la fertilización pueden influir en la eficiencia del uso del agua (CWP) y el rendimiento en un entorno de cultivo con restricciones hídricas. Aunque la papa y la quinua son diferentes en muchos aspectos, las estrategias de riego deficitario y la manipulación de la fertilización pueden implementarse para optimizar el manejo del cultivo de papa bajo condiciones de estrés hídrico. La relación entre el riego y las temperaturas medias, que favorecieron el crecimiento de la quinua en su estudio, también podría tener implicaciones para la papa, especialmente en climas donde la temperatura durante el ciclo de crecimiento se aproxima a los 25 °C.

Sifuentes et al. (2015) destacan que la agricultura depende en gran medida del clima, así como de la presencia de plagas, enfermedades, eficiencia en el uso de nutrientes y demanda de agua. La fenología, que estudia las etapas de desarrollo de los cultivos a lo largo del tiempo, puede ser una herramienta clave para gestionar los cultivos de manera más precisa, siempre y cuando no haya factores externos que alteren su desarrollo, como el estrés hídrico o la deficiencia de nutrientes. En su estudio, se presentan métodos para predecir la fenología de la papa, usando grados día para seis variedades sembradas en

Sinaloa. Esta información ayuda a establecer las pautas de riego y determinar la cantidad adecuada de agua requerida en cada fase del cultivo. La programación del riego basada en el tiempo térmico permite estimar en tiempo real los requerimientos hídricos, mientras que la fenología también facilita la identificación de las etapas críticas para la absorción de nutrientes, que a menudo coinciden con los períodos de mayor demanda de agua.

Por otro lado, en una investigación en el norte de China analizaron cómo la precipitación afecta el rendimiento de la papa, probando diferentes fechas de siembra durante cuatro años. El estudio reveló que el rendimiento de la papa está estrechamente relacionado con la relación entre precipitación y evapotranspiración durante la tuberización, y con la precipitación efectiva durante el engorde de los tubérculos. La radiación solar total también influyó positivamente en el rendimiento, especialmente en la etapa previa a la formación de tubérculos, mientras que la temperatura máxima tuvo un efecto negativo. Estos elementos fueron responsables del 71 % de la variabilidad observada en el rendimiento de la papa. Las fechas óptimas de siembra varían según las condiciones climáticas, siendo generalmente desde finales de mayo hasta principios de junio en años húmedos, desde principios hasta finales de mayo en años normales, y desde principios de abril hasta principios de mayo en años secos (Tang et al., 2018).

Por otro lado, en otro estudio revisa exhaustivamente cómo el cambio climático puede impactar el almacenamiento del cultivo de papa, un cultivo esencial para garantizar la seguridad alimentaria global. La revisión señala que el cambio climático tiene el potencial de impactar adversamente el almacenamiento de las papas, especialmente aumentando la brotación de los tubérculos y la incidencia de enfermedades en las cámaras de almacenamiento. Se observa que valores bajos del coeficiente de Sielianinov (indicativos de condiciones secas y cálidas) durante la temporada de crecimiento pueden acelerar la brotación de los tubérculos almacenados, reduciendo la latencia en 15 a 25 días dependiendo de la temperatura de almacenamiento. Además, valores altos del coeficiente podrían agravar los problemas de enfermedades. El estudio destaca la necesidad de más investigaciones para llenar las lagunas



de conocimiento actuales sobre los efectos del cambio climático en el almacenamiento de la papa (Zhang et al., 2024).

Bolivia, reconocido como uno de los centros más importantes de biodiversidad y domesticación de plantas, ha realizado una investigación con el objeto de crear un modelo de crecimiento para tubérculos andinos en áreas por encima de 3000 m de altitud. Se investigaron tres especies de papa (*Solanum tuberosum* ssp. *andigenum*, ssp. *tuberosum*, y *Solanum juzepczukii*) en condiciones de campo optimizadas entre 1993 y 2003. Los resultados mostraron que la papa *S. juzepczukii* tiene una alta tasa de crecimiento relativo (RGR) y masa foliar, sin embargo, su rendimiento de tubérculos es inferior debido a una baja tasa de asimilación neta (NAR) y un índice de cosecha (HI) reducido. Las papas *S. tuberosum* ssp. *tuberosum* presentan un rendimiento mayor en comparación con su índice de área foliar (LAI). El análisis también reveló que la eficiencia de uso de luz (LUE) es más alta en las papas que en otros tubérculos andinos, y se observaron diferencias en la relación entre el índice de área foliar y la cobertura vegetal en comparación con resultados en otras latitudes (Condori et al., 2008b).

Adavi et al. (2018) simularon el impacto del cambio climático en la producción de papa en Isfahán, Irán, evaluando estrategias como la fecha de siembra y la elección de variedades. Utilizando modelos climáticos y el generador meteorológico LARS-WG, los resultados evidenciaron que el cambio climático afectará negativamente el índice de área foliar, el tiempo hasta la formación de tubérculos, el tiempo hasta la cosecha y el rendimiento de la papa. Retrasar la siembra hasta finales de mayo mejoraría el rendimiento bajo futuras condiciones climáticas, mientras que sembrar a finales de abril intensificaría los efectos negativos. Las variedades de maduración temprana y media mostraron un rendimiento superior en comparación con las de maduración tardía. Por lo tanto, para contrarrestar los efectos negativos del cambio climático en la producción de papa, se sugiere retrasar la siembra y elegir variedades de maduración temprana como estrategias efectivas.

Zhou et al. (2017) realizaron un metaanálisis de 12 experimentos de campo en un clima templado húmedo para estudiar cómo la variabilidad

climática y la aplicación de nitrógeno afectan la producción de materia seca en papas entre 2003 y 2014. Encontraron que tanto la temperatura como el nitrógeno influyen significativamente en la producción. Las temperaturas más altas provocan una disminución en la producción de materia seca, ya que reduce la eficiencia en el aprovechamiento de la radiación solar, resultando una pérdida del 10 % por cada grado Celsius adicional. El impacto de la temperatura es más significativo desde la emergencia hasta la formación de tubérculos, en comparación con la etapa posterior hasta alcanzar la madurez. El uso de nitrógeno aumenta la producción de materia seca al mejorar la acumulación de radiación interceptada, sin que esto influya en la eficiencia del uso de dicha radiación. aunque no afecta la eficiencia en el uso de la radiación. En temporadas cálidas, se recomienda reducir la dosis de nitrógeno para optimizar la producción de materia seca.

Por otro, en un estudio evaluó cómo las condiciones meteorológicas afectan la morfología de cultivares de papa en A Limia a lo largo de tres años. Los periodos de alta temperatura y sequía (2016) produjeron plantas con más folíolos pero de menor longitud. En contraste, el ciclo con temperaturas más bajas y más precipitaciones (2014) resultó en plantas más altas, con mayor floración y longitud del pedúnculo floral, pero menos pares de folíolos. Las variedades Kennebec y Fontane mostraron menor variabilidad morfológica. A través de un análisis de componentes principales, se determinó que el 80,1 % de la varianza de los datos. Las correlaciones de rangos de Spearman indicaron que la temperatura influyó significativamente en las características foliares, y un análisis de regresión lineal múltiple, que incluyó la temperatura media, explicó el 64 % de la variabilidad en el tamaño de las hojas (Escuredo et al., 2020).

Por otro lado, Se han evaluado los impactos del cambio climático en las necesidades de riego y el rendimiento de las papas (*Solanum tuberosum*) en Inglaterra, utilizando el modelo SUBSTOR-Potato del programa DSSAT junto con modelos de circulación general (GCM) para simular escenarios de emisiones (SRES A1FI y B1) para la década de 2050. Los resultados muestran que, con los datos validados en cuatro sitios, los rendimientos de referencia del cultivo aumentarían marginalmente (3 - 6 %) debido al cambio climático,

debido a limitaciones en la disponibilidad de nitrógeno. Sin embargo, los rendimientos potenciales futuros podrían aumentar entre un 13 y un 16 % si no hay restricciones de agua ni fertilizantes. Se proyecta que las demandas de riego en el futuro incrementarán entre un 14 y un 30 %, y la infraestructura de riego actual no sería suficiente para cubrir las necesidades máximas en casi el 50 % de los años. Se exploran opciones de adaptación para enfrentar estos desafíos (Daccache et al., 2011).

De Temmerman et al. (2002) investigaron cómo el aumento de ozono ( $O_3$ ) y dióxido de carbono ( $CO_2$ ) afecta el cultivo de papa en Europa entre 1998 y 1999. Utilizando experimentos en cámaras abiertas y sistemas de enriquecimiento de  $CO_2$ , el estudio encontró una amplia gama de condiciones climáticas durante el crecimiento, con temperaturas medias entre 13,8 y 19,9 °C y radiación global entre 12,0 y 21,3 MJ/m<sup>2</sup> por día. Los suelos, generalmente bien nutridos, permitieron un crecimiento óptimo. Las variaciones en  $O_3$  y  $CO_2$  reflejaron diferentes exposiciones a estos gases. Los rendimientos de tubérculos comercializables aumentaron en latitudes más altas, atribuibles a temperaturas más bajas, menor déficit de presión de vapor y días más largos, lo que resultó en temporadas de crecimiento prolongadas (De Temmerman et al., 2002).

En 11 ensayos de campo en Ruanda, Túnez y los Países Bajos, se analizó la producción total de materia seca y la generación de tubérculos de ocho variedades de papa, tomando en cuenta la intercepción de la radiación y la eficiencia en su utilización. El periodo de duración de la temporada de crecimiento resultó ser el factor principal que explica las variaciones en la producción total de materia seca y de tubérculos entre cultivares y sitios. La intercepción de radiación fue el factor más influyente, ya que la eficiencia de uso de la radiación se correlacionó negativamente con la intensidad de la radiación. La variación en el índice de cosecha tuvo menor impacto. Las variaciones en la duración de la temporada de crecimiento, están vinculadas con la duración del día y la temperatura, afectaron la longitud del ciclo de crecimiento, con días más cortos y temperaturas más altas resultando en ciclos más cortos. Estos efectos climáticos influyeron en la producción de materia seca de tubérculos y variaron entre cultivares (Kooman ah et al., 1996).

Según modelos de simulación WOFOST e InfoCrop para evaluar el impacto del cambio climático en tres cultivares de papa en Bihar (Kufri Badshah, Kufri Jyoti y Kufri Pukhraj) bajo escenarios futuros (2030, 2050 y 2080) con vías de concentración representativas (RCP) 4,5 y 6,0. Los rendimientos base fueron 43,80 t/ha para Kufri Badshah, 43,6 t/ha para Kufri Pukhraj y 41,5 t/ha para Kufri Jyoti. Según el RCP 4,5, un aumento en CO<sub>2</sub> puede mejorar la productividad, pero el efecto combinado de CO<sub>2</sub> y temperatura muestra variaciones en el rendimiento, con pequeñas pérdidas en 2050 y aumentos en 2080. Para el RCP 6,0, el efecto combinado también mitiga algunas pérdidas, con menores cambios en el rendimiento. Se recomienda la selección de cultivares adecuados, ajuste en la fecha de siembra y prácticas óptimas de riego y manejo de nitrógeno para contrarrestar las pérdidas de rendimiento (Rana et al., 2023).

La investigación que analiza cómo los factores ambientales influyen en el rendimiento de los tubérculos de papa a la precipitación durante la temporada de crecimiento, centrado en tres ubicaciones dentro de la zona de transición climática del noroeste de China, donde se cultivaron papas de secano. Los hallazgos indican que, si bien un aumento en la precipitación puede favorecer el rendimiento de la papa, un exceso de lluvias puede generar efectos adversos. Se identificaron variables críticas, como la evapotranspiración potencial, la radiación y la temperatura, que afectan tanto la eficiencia en el uso del agua como el rendimiento de los cultivos. El artículo subraya la necesidad de una gestión adecuada de los recursos hídricos y prácticas agrícolas ajustadas para optimizar la producción de papa en un entorno climático variable (Zhao et al., 2024).

Condori et al. (2008) subrayaron la necesidad de desarrollar cultivares de papa más resistentes a las altas temperaturas, una medida adaptativa crucial ante el aumento proyectado de las temperaturas en las zonas tradicionales de cultivo. Según sus estudios, indican que las temperaturas ideales para el crecimiento de la papa oscilan entre 15,25 °C y 27,20 °C; sin embargo, el cambio climático está llevando estas temperaturas más allá de los límites óptimos, afectando negativamente el rendimiento de los cultivos.

La relación existente entre los factores climáticos y el rendimiento de la producción de papa ha sido objeto de numerosos estudios. Caldiz (2004) y Devaux et al. (2014) presentan modelos estadísticos que relacionan la temperatura y la precipitación con la producción en diferentes etapas fenológicas. Caldiz (2004) encuentra una fuerte correlación entre temperaturas subóptimas durante la tuberización y una disminución en el rendimiento de la producción. Devaux et al. (2014), por su parte, destacan la importancia de la precipitación durante la etapa de floración, señalando que precipitaciones insuficientes pueden reducir la fertilidad de las flores y, en consecuencia, el número de tubérculos formados.

En el estudio de Bois et al. (2006) sobre la quinua, se observó que temperaturas extremas durante el desarrollo fenológico pueden afectar negativamente el crecimiento y la tolerancia al frío. Aunque la papa tiene diferentes requisitos térmicos, la evidencia sugiere que temperaturas extremas pueden ser perjudiciales en ambas especies, destacando la importancia de seleccionar cultivares adaptados a las condiciones climáticas locales.

Este estudio revela una correlación significativa entre las variables climáticas consideradas y el rendimiento en la producción de papa. Las temperaturas subóptimas, tanto mínimas como máximas, y las precipitaciones irregulares han demostrado tener un impacto significativo en cada una de las etapas fenológicas del cultivo, alineándose con los hallazgos de Caldiz (2004) y Devaux et al. (2014).

Por ejemplo, se observó que las temperaturas por encima de los 25 °C durante la tuberización resultaron en una disminución notable del rendimiento, lo que es consistente con los resultados reportados por Caldiz (2004). Asimismo, las precipitaciones excesivas durante la maduración llevaron a un aumento en la incidencia de enfermedades, corroborando los estudios de Devaux et al. (2014). Del mismo modo, el estudio de Alvar Beltrán et al. (2019) sobre la quinua muestra que el manejo adecuado del riego y la fertilización es crucial para mantener la eficiencia del uso del agua y optimizar el rendimiento bajo condiciones de estrés hídrico.

Es importante destacar que los resultados obtenidos en este estudio corroboran en gran medida las predicciones realizadas por Devaux et al. (2014) en cuanto a los impactos del cambio climático en las regiones andinas, subrayando la necesidad urgente de implementar medidas de adaptación para mitigar los efectos negativos sobre la producción de papa en la región de Puno.

Finalmente, estos resultados subrayan la necesidad de una gestión climática adecuada para maximizar la producción de papa, especialmente en regiones donde la variabilidad climática es un desafío constante. Las estrategias adaptativas, como el uso de variedades resistentes y la adopción de prácticas adecuadas de gestión del agua, son fundamentales para contrarrestar los efectos adversos del clima en la producción agrícola. A la presente investigación se complementa y muestra la correlación entre variables climáticas y la producción de papa correspondiente a las 13 provincias de la región como se muestra en el anexo 19 de la presente investigación, proporcionando un análisis detallado que permite identificar patrones y tendencias regionales. Estos anexos ofrecen datos esenciales para entender de qué manera variables como las temperaturas y las precipitaciones inciden en el rendimiento en distintas fases fenológicas del cultivo, facilitando la formulación de estrategias específicas para optimizar la producción y adaptarse a las condiciones climáticas particulares de cada provincia.

## 4.2 Discusión

MacCracken (2009) señaló que el cambio climático ha provocado un aumento de la temperatura global a una tasa de 0.1 a 0.2°C por década desde el período preindustrial, lo que ha exacerbado fenómenos como el deshielo del Ártico y el aumento del nivel del mar. Este aumento, impulsado principalmente por la quema de combustibles fósiles y el incremento de gases de efecto invernadero, ha tenido un impacto significativo en los patrones climáticos regionales y globales.

Por su parte, Manole y Bazgă (2011) proyectaron que para el año 2050, las temperaturas globales podrían aumentar entre 1.5 y 4.5°C debido al incremento de gases de efecto invernadero, lo que tendría graves implicaciones para la agricultura global, particularmente en regiones vulnerables como Puno. Este aumento de temperatura podría exacerbar la propagación de plagas y enfermedades, y reducir

significativamente los rendimientos agrícolas, si no se implementan medidas de adaptación adecuadas.

Por otro lado, se investigaron los efectos del cambio climático en la producción de cítricos y papas en los Estados Unidos mediante simulaciones que combinaron tres regímenes de aumento de temperatura (+1,5°C, +2,5°C y +5°C) con tres niveles de dióxido de carbono (1440, 530 y 600 ppm). Las simulaciones también incluyeron fechas de siembra adaptativas para evaluar sus efectos en los rendimientos. Los resultados mostraron que la producción de cítricos podría trasladarse ligeramente hacia el norte en los estados del sur, aunque podría disminuir en Florida y Tehuacán debido al calor excesivo en invierno. El aumento de CO<sub>2</sub> podría mitigar parcialmente la disminución de los rendimientos de cítricos. Por otro lado, la producción de papa en otoño es vulnerable al aumento de temperatura en los estados del norte, con cambios en el CO<sub>2</sub> y en las fechas de siembra que tienen efectos compensatorios mínimos en los rendimientos simulados (Rosenzweig et al., 1996).

Es esencial contextualizar estos resultados en un panorama global, donde el cambio climático impone restricciones significativas a la producción agrícola. Kleinwechter et al. (2016) subrayan que, aunque los parámetros de los cultivares pueden adaptarse a diferentes entornos, las limitaciones impuestas por factores ambientales como la radiación solar y la temperatura son críticas. Este estudio, que utiliza modelos de crecimiento para evaluar cultivares en diversos climas, resalta que, en regiones tropicales y subtropicales, las variaciones climáticas pueden limitar el rendimiento potencial de los cultivos, a diferencia de las regiones templadas.

Los hallazgos de Bois et al. (2006) sobre cómo la temperatura afecta la germinación, fenología, crecimiento y tolerancia al congelamiento en *Chenopodium quinoa* pueden ofrecer una perspectiva adicional para entender cómo temperaturas bajas pueden influir en el cultivo de la papa. En su estudio, encontraron que las temperaturas bajas retrasaron la germinación sin impedirla, estableciendo una temperatura base para este proceso oscila entre -1,9 y +0,2 °C. Aunque este estudio se centró en quinua, los principios biológicos subyacentes pueden aplicarse a la papa, sugiriendo que los cultivares de papa también podrían mostrar variabilidad en la germinación y crecimiento en respuesta a las temperaturas bajas, dependiendo de la adaptación local y la selección varietal.



Devaux et al. (2014) amplían esta discusión al analizar cómo las precipitaciones irregulares afectan diferentes etapas fenológicas. Según estos autores, la falta de agua durante la tuberización puede reducir drásticamente el rendimiento, mientras que las lluvias excesivas en la etapa de maduración pueden provocar pudriciones y pérdida de calidad en los tubérculos. La precipitación, por lo tanto, debe ser gestionada cuidadosamente, y en regiones con patrones de lluvia impredecibles, se recomienda la implementación de riego complementario o sistemas de drenaje adecuados.



## CONCLUSIONES

- El análisis de la variabilidad climática en la región de Puno durante el periodo de estudio evidencia la existencia de variabilidad en las temperaturas máxima, mínima y precipitación en la región de Puno; la temperatura mínima más baja fue 1,10 °C en el año 2011 y la temperatura mínima más alta fue de 2,78 en el año 2002; por otro lado, la temperatura máxima más baja fue de 15,81°C y la temperatura máxima más alta fue de 17,20°C en el 2021. En cuanto a la precipitación, el año con menor precipitación fue el 2006 con 685,64 mm y el año más lluvioso se tuvo en el año 2001 con 997,26. Además, el análisis indica una tendencia de incremento gradual en la temperatura máxima de 0,02 °C por año, mientras que la temperatura mínima es ligeramente estable y la precipitación es variable lo que no refleja una tendencia.
- El comportamiento del rendimiento de la producción de papa presenta un incremento sostenido durante los 22 años estudiados, sobre todo en la provincia de Carabaya presentando en el año 2000 un rendimiento de 9803,85kg/ha con una producción de 63 176,00 toneladas mostrando un crecimiento constante, alcanzando aproximadamente 17 913,49 kg/ha en 2022 con una producción de 220 783,75 t, evidenciando un aumento sostenido. El estudio de la variabilidad de la producción de papa revela que en la región de Puno se observa una tendencia ascendente en los niveles de producción a lo largo del tiempo.
- En el análisis de diversas localidades en la región de Puno respecto a las correlaciones entre las variables climáticas y el rendimiento de la producción de papa, se evidencia que temperaturas más altas son beneficiosas durante las etapas de Brotes Laterales, Botón Floral y Floración, tienen un efecto adverso durante la Fase de Emergencia. Por otro lado, una mayor precipitación durante la fase de Botón Floral está asociada con una disminución en el rendimiento.

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda a los investigadores que amplíen su análisis e incluyan variables climáticas adicionales, como la velocidad de las corrientes de aire, los niveles de humedad relativa y la incidencia de radiación solar, entre otras que posibiliten el análisis más integral del impacto climático en el rendimiento de la producción de papa en la región.
- Se recomienda realizar un análisis de la fase cálida y fría concerniente a las componentes oceánicas de ENOS, para evaluar su influencia sobre las variables climáticas, como la temperatura y la precipitación, y su impacto en el rendimiento de la producción de papa.
- Se recomienda realizar estudios más detallados de la variabilidad de las temperaturas extremas en zonas donde se presentan temperaturas y precipitaciones mínimas que afectan el cultivo, con el objeto de realizar estudios sobre el mejoramiento genético de la papa y afrontar la variabilidad de temperaturas.
- Se sugiere se utilicen diferentes técnicas estadísticas con el fin de asegurar una muestra representativa y realizar estudios sobre sectores específicos a fin de incidir en sus estimaciones y análisis de datos sectorizados, a través de modelos de machine learning.

## BIBLIOGRAFÍA

- Adavi, Z., Moradi, R., Saeidnejad, A. H., Tadayon, M. R., & Mansouri, H. (2018). Assessment of potato response to climate change and adaptation strategies. *Scientia Horticulturae*, 228, 91–102. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.10.017>
- Aksoy, E., Demirel, U., Bakhsh, A., Bakar, M., Naem, M., Saeed, F., Caliskan, S., & Caliskan, M. (2021). *Advances in Plant Breeding Strategies: Vegetable Crops*. [https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-030-66965-2\\_10](https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-030-66965-2_10)
- Alvar Beltrán, J., Dao, A., Marta, A. D., Saturnin, C., Casini, P., Sanou, J., & Orlandini, S. (2019). Effect of drought, nitrogen fertilization, temperature, and photoperiodicity on quinoa plant growth and development in the Sahel. *Agronomy*, 9(10), 607–618 <https://doi.org/10.3390/agronomy9100607>
- Arizaca, J. E. (2013). *Efectos del cambio climático en la producción de cultivos en la vertiente del Lago Titicaca* [Tesis doctoral, Universidad Nacional del Altiplano].
- Belizario, G. (2015). Efectos del cambio climático en la agricultura de la cuenca Ramis, Puno-Perú. *Rev. Investig. Altoandin.*, 17(1), 47–52. DOI: <http://dx.doi.org/10.18271/ria.2015.77>.
- Belmont Pereira, A., Augusto Villa Nova, N., Josué Ramos, V., & Roberto Pereira, A. (2008). Potato potencial yield based on climatic elements and cultivar characteristics. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, 16(2), 175–183
- Bois, J. F., Winkel, T., Lhomme, J. P., Raffaillac, J. P., & Rocheteau, A. (2006). Response of some Andean cultivars of quinoa (*Chenopodium quinoa Willd.*) to temperature: Effects on germination, phenology, growth and freezing. *European Journal of Agronomy*, 25(4), 299–308. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2006.06.007>
- Bomers, S., Ribarits, A., Kamptner, A., Tripolt, T., von Gehren, P., Prat, N., & Söllinger, J. (2024). Survey of Potato Growers' Perception of Climate Change and Its Impacts on Potato Production in Germany, Switzerland, and Austria. *Agronomy*, 14(7), 1399. <https://doi.org/10.3390/agronomy14071399>

- Coelho, A. R. F., Daccak, D., Marques, A. C., Luís, I. C., Pessoa, C. C., Silva, M. M., Simões, M., Reboredo, F. H., Pessoa, M. F., Legoinha, P., Ramalho, J. C., Campos, P. S., Pais, I. P., Semedo, J. N., & Lidon, F. C. (2022). Comparison of Soils of Two Fields for Potato Production Located in the Same Region of Portugal. *Agronomy*, *12*(184). <https://doi.org/10.3390/iocag2022-12184>
- Condori, B., Mamani, P., Botello, R., Patiño, F., Devaux, A., & Ledent, J. F. (2008). Agrophysiological characterisation and parametrisation of Andean tubers: Potato (*Solanum* sp.), oca (*Oxalis tuberosa*), isaño (*Tropaeolum tuberosum*) and papalisa (*Ullucus tuberosus*). *European Journal of Agronomy*, *28*(4), 526–540. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2007.12.002>
- Daccache, A., Weatherhead, E. K., Stalham, M. A., & Knox, J. W. (2011). Impacts of climate change on irrigated potato production in a humid climate. *Agricultural and Forest Meteorology*, *151*(12), 1641–1653. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2011.06.018>
- De Temmerman, L., Wolf, J., Colls, J., Bindi, M., Fangmeier, A., Finnan, J., Ojanperä, K., & Pleijel, H. (2002). Effect of climatic conditions on tuber yield (*Solanum tuberosum* L.) in the European “CHIP” experiments. *European Journal of Agronomy*, *17*(4), 243–255. [https://doi.org/10.1016/S1161-0301\(02\)00041-5](https://doi.org/10.1016/S1161-0301(02)00041-5)
- Dushyant, Roy, S., Mahan, N., Rani, D. V., Kumar, R., Gupta, D. K., Sharma, K. K., & Kumar, M. (2024). Impact of Climate Change on Global Potato Production: A Review. *Journal of Global Agriculture and Ecology*, *16*(2), 14–28. <https://doi.org/10.56557/jogae/2024/v16i28590>
- Egúsquiza, B. (2000). *La papa producción, transformación y comercialización* (1ra ed.). Fondo Editorial de la Pontificia Universidad Católica del Perú. [https://books.google.com.pe/books/about/La\\_papa.html?hl=es&id=6ciGbBX0uFwC&redir\\_esc=y](https://books.google.com.pe/books/about/La_papa.html?hl=es&id=6ciGbBX0uFwC&redir_esc=y)
- Escuredo, O., Seijo-Rodríguez, A., Shantal Rodríguez-Flores, M., Meno, L., & Carmen Seijo, M. (2020). Changes in the morphological characteristics of potato plants attributed to seasonal variability. *Agriculture (Switzerland)*, *10*(4), Article 95. <https://doi.org/10.3390/agriculture10040095>

- Fairlie, T. E., & Ortega, A. (1995). *Revista Latinoamericana de la Papa* (Vol. 7, Issue 8). <https://doi.org/https://doi.org/10.37066/ralap.v7i1.73>
- Firmansyah, I., Sevirasari, N., Sulistyaningsih, E., & Pertiwi, M. D. (2021). Identification of the accumulation of excess temperature during one growing season as a basis for determining suitability for potato plant (*Solanum tuberosum* L.) in a tropical region. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 653(1), Article 012133. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/653/1/012133>
- Galera, K., & González, 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*, Vol.5(num.1), 231–242.
- Hartmann, D. L. (2015). Climate and Climate Change: Overview. In *Encyclopedia of Atmospheric Sciences: Second Edition* (pp. 1–9). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-382225-3.00024-4>
- Helwig, N. E., Hong, S., & Hsiao-weckler, E. T. (2002). *Varietades Nativas y mejoradas de papas nativa en Puno*. (p. 120).
- Hernández, R. H., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6ta ed.). McGraw-Hill.
- Hurtado, F. (2008). *Elementos para la planificación agropecuaria en los andes sur Peruanos* (1ra ed., p. 282). Centro de Estudios Regionales Andinos Bartolomé de Las Casas.
- IGN. (2024). *Instituto Geográfico Nacional*. <https://www.idep.gob.pe/>
- INEI. (2023). *Compendio estadístico*. <https://www.gob.pe/institucion/inei/informes-publicaciones/5373689-compendio-estadistico-puno-2023>
- IPCC. (2013). *Gestión de los riesgos de fenómenos meteorológicos extremos y desastres para mejorar la adaptación al cambio climático*. [https://archive.ipcc.ch/pdf/special-reports/srex/IPCC\\_SREX\\_ES\\_web.pdf](https://archive.ipcc.ch/pdf/special-reports/srex/IPCC_SREX_ES_web.pdf)

- Kevin, N. J., Lenah, N., Amos, A. O. M., Samuel, N., Joshua, O. O., & Lawrence, K. (2018). Response of potato to different soils and fecal matter fertilizers. *African Journal of Agricultural Research*, 13(36), 1880–1887. <https://doi.org/10.5897/ajar2018.13279>
- Khalil, T., Asad, S. A., Khubaib, N., Baig, A., Atif, S., Umar, M., Kropp, J. P., Pradhan, P., & Baig, S. (2021). Climate change and potential distribution of potato (*Solanum tuberosum*) crop cultivation in Pakistan using Maxent. *AIMS Agriculture and Food*, 6(2), 663–676. <https://doi.org/10.3934/agrfood.2021039>
- Kooman ah, P., Fahem, M., & Haverkort, A. (1996). Effects of climate on different potato genotypes 1. Radiation interception, total and tuber dry matter production. In *European Journal of Agronomy*, 5, 193–205.
- Kotova, Z. P., Danilova, T. A., Spesivtsev, V. A., & Tyukalov, Y. A. (2023). Potato yield forecasting based on a fuzzy-possibility model. *Agrarian Scientific Journal*, 12, 46–52. <https://doi.org/10.28983/asj.y2023i12pp46-52>
- Liao, X., Su, Z., Liu, G., Zotarelli, L., Cui, Y., & Snodgrass, C. (2016a). Impact of soil moisture and temperature on potato production using seepage and center pivot irrigation. *Agricultural Water Management*, 165, 230–236. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.10.023>
- Liao, X., Su, Z., Liu, G., Zotarelli, L., Cui, Y., & Snodgrass, C. (2016b). Impact of soil moisture and temperature on potato production using seepage and center pivot irrigation. *Agricultural Water Management*, 165, 230–236. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.10.023>
- Liu, N., Zhao, R., Qiao, L., Zhang, Y., Li, M., Sun, H., Xing, Z., & Wang, X. (2020). Growth stages classification of potato crop based on analysis of spectral response and variables optimization. *Sensors (Switzerland)*, 20(14), 1–20. <https://doi.org/10.3390/s20143995>
- Martinez-Baron, D., Orjuela, G., Renzoni, G., Loboguerrero Rodríguez, A. M., & Prager, S. D. (2018). 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. In *Current Opinion in Environmental Sustainability*; 31, 112–119. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2018.02.013>
- MIDAGRI. (2017). Condiciones agroclimáticas del cultivo de la papa. *Ministerio de agricultura*.  
[http://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/condiciones\\_agroclimaticas\\_papa\\_0\\_2.pdf](http://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/condiciones_agroclimaticas_papa_0_2.pdf)
- Munyuli, T., Ombeni, J., Bashi, B., & Bisusa, A. (2023). Ability of farmers to correctly estimate the seasonal impacts of climatic factors and environmental-friendly farm habitat management practices on the variability in potato (*Solanum tuberosum* L.) yield, yield loss, disease incidence and pest population density dynamic in kalehe territory, south-kivu province, eastern drongo. *International Journal of Agriculture, Environment and Bioreserch*, 08(06), 62–129. <https://doi.org/10.35410/ijaeb.2023.5867>
- Muthoni, J., & Kabira, J. N. (2015). Potato Production in the Hot Tropical Areas of Africa: Progress Made in Breeding for Heat Tolerance. *Journal of Agricultural Science*, 7(9). <https://doi.org/10.5539/jas.v7n9p220>
- Ñaupas, H., Marcelino, P., Valdivia, R., Jesús, D., Palacios, J., Hugo, V., & Delgado, E. R. (2018). *Metodología de la investigación cuantitativa-cualitativa y redacción de la tesis* (5a ed.). Bogotá-México, DF.
- Ogurtsov, M. G., Lindholm, M., & Jalkane, R. (2013). Global Warming - Scientific Facts, Problems and Possible Scenarios. In *Climate Variability - Regional and Thematic Patterns*. InTech. <https://doi.org/10.5772/56077>
- Olesen, J. E., & Bindi, M. (2002). Consequences of climate change for European agricultural productivity, land use and policy. In *European Journal of Agronomy* 16, 239–262. [https://doi.org/10.1016/S1161-0301\(02\)00004-7](https://doi.org/10.1016/S1161-0301(02)00004-7)
- Paul, J., Choudhary, A. K., Sharma, S., Savita, Bohra, M., Dixit, A. K., & Kumar, P. (2016). Potato production through bio-resources: Long-term effects on tuber productivity, quality, carbon sequestration and soil health in temperate Himalayas. *Scientia Horticulturae*, 213, 152–163. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.10.022>

- Pereira, A. B., Villa Nova, N. A., & Pereira, A. R. (2009). Potato production as affected by crop parameters and meteorological elements in IFIP International Federation for Information. In *Computer and Computing Technologies in Agriculture II* (Vol. 293, pp. 1-10). Springer.
- Perez, E., Rafael Rutte, R. R., & Osorio, G. (2024). Estrés hídrico en el crecimiento y rendimiento de cultivares comerciales de papa (*Solanum tuberosum* L.) en la región centro del Perú. *Revista de Investigaciones Altoandinas - Journal of High Andean Research*, 26(1), 46–55. <https://doi.org/10.18271/ria.2024.587>
- Pulatov, B., Linderson, M. L., Hall, K., & Jönsson, A. M. (2015). Modeling climate change impact on potato crop phenology, and risk of frost damage and heat stress in northern Europe. *Agricultural and Forest Meteorology*, 214–215, 281–292. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2015.08.266>
- Rachman, L. M., Hazra, F., Baskoro, D. P. T., Riskawati, R., & Putri, S. K. (2021). Soil management development of suboptimal soil to improve the growth and production of potato (*Solanum tuberosum* L.). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 807(4). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/807/4/042036>
- Rana, A., Dua, V. K., Chauhan, N., Chaukhande, P., & Kumari, M. (2023). Climate change impact on potato (*Solanum tuberosum*) productivity and relative adaptation strategies. *Journal of Agrometeorology*, 25(3), 410–418. <https://doi.org/10.54386/jam.v25i3.2181>
- Rawal, A., Lankau, R. A., & Ruark, M. D. (2023). *How does Soil Organic Matter affect Potato Productivity on Sandy Soil? Evidence from a Greenhouse Study*. *Research Square*. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2870268/v1>
- Raymundo, R., Asseng, S., Robertson, R., Petsakos, A., Hoogenboom, G., Quiroz, R., Hareau, G., & Wolf, J. (2018). Climate change impact on global potato production. *European Journal of Agronomy*, 100, 87–98. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2017.11.008>



- Rosenzweig, C., Phillips, J., Goldberg, R., Carrollh, J., & Hodges', T. (1996). Potential Impacts of Climate Change on Citrus and Potato Production in the US. *Agricultural Systems*, 52(1), 1–22. ELSEVIER.
- Rymuza, K., Radzka, E., & Lenartowicz, T. (2015). The impact of precipitation conditions on medium-early cultivars of potato yielding. *Journal of Ecological Engineering*, 16(3), 206–210. <https://doi.org/10.12911/22998993/2958>
- Samuelson, O. E., Endurance, E. O., Evidence, O. E., Ohikhuare, O., Raphael, U. O., Michael, O. O., & Osaruyi, O.-E. (2022a). Climate Change; Our Impact on the Climate and its Consequences; A Cross-sectional Study. *International Journal Of Scientific Advances*, 3(3). <https://doi.org/10.51542/ijscia.v3i3.23>
- Samuelson, O. E., Endurance, E. O., Evidence, O. E., Ohikhuare, O., Raphael, U. O., Michael, O. O., & Osaruyi, O.-E. (2022b). Climate Change; Our Impact on the Climate and its Consequences; A Cross-sectional Study. *International Journal Of Scientific Advances*, 3(3). <https://doi.org/10.51542/ijscia.v3i3.23>
- Sarker, S. (2022). Fundamentals of Climatology for Engineers: Lecture note. In *Eng* (Vol. 3, Issue 4, pp. 573–595). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/eng3040040>
- Seijo-Rodríguez, A., Escuredo, O., Rodríguez-Flores, M. S., & Seijo, M. C. (2018). Improving the use of aerobiological and phenoclimatological data to forecast the risk of late blight in a potato crop. *Aerobiologia*, 34(3), 315–324. <https://doi.org/10.1007/s10453-018-9515-9>
- SENAMHI. (2011). *Caracterización agroclimática de la región Cusco*. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú
- SENAMHI. (2017a). *Ficha técnica agroclimática*. <https://hdl.handle.net/20.500.12542/272>.
- SENAMHI. (2017b). Requerimientos agroclimáticos del cultivo de la papa. <https://repositorio.midagri.gob.pe/bitstream/20.500.13036/612/1/ficha-tecnica01-cultivo-papa.pdf>

- Shams, S., Saleem Jamily, A., Yousofzai, W., Dadrasi, A., & Sarhadi, W. A. (2023a). Evaluation of the Past Climate Change Effects on Potato Growth and Yield by Modeling. In *Journal of Natural Science Review* (Vol. 1, Issue 1). <https://kujnsr.com/index.php/JNSR>
- Shams, S., Saleem Jamily, A., Yousofzai, W., Dadrasi, A., & Sarhadi, W. A. (2023b). Evaluation of the Past Climate Change Effects on Potato Growth and Yield by Modeling. In *Journal of Natural Science Review* 1(1). <https://kujnsr.com/index.php/JNSR>
- Shock, C. C. (2007). The canon of potato science: 31. Irrigation. In *Potato Research* (Vol. 50, Issues 3–4, pp. 331–333). <https://doi.org/10.1007/s11540-008-9072-7>
- Sifuentes, E., Del, J., Ruelas, R., Cervantes, J. M., Talamantes, I., Palacios, C. A., & Valenzuela López, B. E. (2015). Fenología y tiempo en el manejo del riego y fertilización del cultivo de papa. *Biotecnia*, 17(1), 24-32. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=672971117007>
- Souza, E. F. C., Rosen, C. J., & Venterea, R. T. (2019). Contrasting effects of inhibitors and biostimulants on agronomic performance and reactive nitrogen losses during irrigated potato production. *Field Crops Research*, 240, 143–153. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2019.05.001>
- Sunitha, S., Gupta, V. K., Anil, S. R., & Kumar, J. S. (2020). Performance of Heat Tolerant Clones of Potato in Tropical Coastal Region of India. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 9(8), 2961–2967. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2020.908.332>
- Tang, J., Wang, J., Wang, E., Yu, Q., Yin, H., He, D., & Pan, X. (2018). Identifying key meteorological factors to yield variation of potato and the optimal planting date in the agro-pastoral ecotone in North China. *Agricultural and Forest Meteorology*, 256–257, 283–291. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2018.03.022>
- Tao, F., Yokozawa, M., Hayashi, Y., & Lin, E. (2003). Future climate change, the agricultural water cycle, and agricultural production in China. *Agriculture*,

*Ecosystems & Environment*, 95(1), 203-215. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(02\)00093-2](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(02)00093-2)

Tooley, B. E., Mallory, E. B., Porter, G. A., & Hoogenboom, G. (2021). Predicting the response of a potato-grain production system to climate change for a humid continental climate using DSSAT. *Agricultural and Forest Meteorology*, 307. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2021.108452>

Valqui-Valqui, L., Valqui, L., Bobadilla, L. G., Vigo, C. N., Vásquez, H. V., & Arbizu, C. I. (2022a). *Impact of temperature and precipitation on Solanum tuberosum cultivation using climate scenarios to 2100. Preprints.* <https://doi.org/10.20944/preprints202205.0109.v1>

Valqui-Valqui, L., Valqui, L., Bobadilla, L. G., Vigo, C. N., Vásquez, H. V., & Arbizu, C. I. (2022b). *Impact of temperature and precipitation on Solanum tuberosum cultivation using climate scenarios to 2100.* <https://doi.org/10.20944/preprints202205.0109.v1>

Vignola, R., Watler, W., Vargas, A., & Morales, M. (2017). *Ficha técnica cultivo de papa.* Ministerio de Agricultura y Ganadería de Costa Rica. <https://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/F01-8214.pdf>

Zhang, P., Yang, X., Manevski, K., Li, S., Wei, Z., Andersen, M. N., & Liu, F. (2022). Physiological and Growth Responses of Potato (*Solanum tuberosum* L.) to Air Temperature and Relative Humidity under Soil Water Deficits. *Plants*, 11(9). <https://doi.org/10.3390/plants11091126>

Zhang, S., Wang, X., Kinay, P., & Dau, Q. (2024). Climate Change Impacts on Potato Storage. In *Foods* (Vol. 13, Issue 7). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/foods13071119>

Zhao, F., Zhang, Q., Lei, J., Wang, H., Zhang, K., & Qi, Y. (2024). Environmental factors influence the responsiveness of potato tuber yield to growing season precipitation. *Crop and Environment*, 3(2), 112–122. <https://doi.org/10.1016/j.crope.2024.02.002>

Zhou, Z., Plauborg, F., Kristensen, K., & Andersen, M. N. (2017). Dry matter production, radiation interception and radiation use efficiency of potato in



response to temperature and nitrogen application regimes. *Agricultural and Forest Meteorology*, 232, 595–605.

<https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2016.10.017>

## ANEXOS

### Anexo 1. Matriz de consistencia

EFECTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA PRODUCCIÓN DE PAPA EN LA REGIÓN DE PUNO, PERIODO 2000-2022				METODOLOGIA	
PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	
<b>PROBLEMA GENERAL</b>	<b>OBJETIVO GENERAL</b>	<b>HIPOTESIS GENERAL</b>	<b>Variable Independiente:</b> Cambio Climático	Temperatura Precipitación	<b>Tipo:</b> Cuantitativa Aplicada <b>Método:</b> Descriptiva y aplicada <b>Diseño:</b> No Experimental <b>Población:</b> Producción anual de papa en la región de Puno Temperatura y precipitación. <b>Muestra:</b> Muestreo no probabilístico. <b>Instrumento:</b> -Data SENAMHI -Data Dirección Regional Agraria Puno (DRA PUNO)
¿Cuál es la influencia del cambio climático en el rendimiento de la producción de papa Solanum Tuberosum (papa) en la región de Puno durante el periodo 2000-2022?	Determinar la influencia del cambio climático en el rendimiento y la producción de Solanum Tuberosum (papa) en la región de Puno durante el periodo 2000-2022.	Existe una influencia significativa del cambio climático en el rendimiento de la producción de Solanum Tuberosum (papa) en la región de Puno durante el periodo 2000-2022			
<b>PROBLEMAS ESPECIFICOS</b>	<b>OBJETIVOS ESPECIFICOS</b>	<b>HIPOTESIS ESPECIFICAS</b>	<b>Variable Dependiente:</b> Rendimiento de la producción	Rendimiento de la producción de papa	
¿Cuál es la variabilidad de las condiciones climáticas en la región de Puno durante el periodo 2000-2022?	Evaluar la variabilidad de las condiciones climáticas en la región de Puno durante el periodo 2000-2022.	Existe una variabilidad de condiciones climáticas en la región de Puno durante el periodo 2000-2022			
¿Cuál es el rendimiento y producción de papa en la región Puno en el periodo 2000 - 2022?	Estimar el rendimiento de la producción de papa en la región Puno en el periodo 2000 - 2022.	Existe una alta producción de papa en la región Puno en el periodo 2000 - 2022.			
¿Cuáles son las relaciones estadísticas entre las variables climáticas del rendimiento de la producción de papa?	Establecer relaciones estadísticas entre las variables climáticas del rendimiento de la producción de papa, utilizando métodos de análisis de datos apropiados	Existe una relación significativa entre el cambio climático y el rendimiento de papa, en la región Puno en el periodo 2000 - 2022, lo que afecta negativamente la producción.			

**Anexo 2. Temperatura máxima de las 13 provincias de la región de Puno periodo 2000 – 2022**

Año	Azángaro	Carabaya	Chucuito	El Collao	Huancané	Lampa	Melgar	Moho	Puno	San Antonio de Putina	San Román	Sandia	Yunguyo
2000	16,73	11,40	13,49	14,92	15,13	16,30	16,46	14,24	16,14	16,81	17,79	25,51	14,45
2001	16,05	10,93	13,24	14,66	14,88	16,10	16,99	14,06	15,28	16,95	16,30	25,70	14,37
2002	16,02	11,07	13,58	14,64	14,92	16,13	16,43	14,07	15,44	17,11	16,93	26,05	14,23
2003	17,04	11,57	13,72	15,04	15,34	16,48	17,44	14,42	15,79	16,74	17,53	26,07	14,83
2004	17,14	11,48	13,64	15,00	15,51	16,28	17,25	14,84	15,78	15,97	17,66	26,13	14,32
2005	17,66	12,23	14,08	15,35	15,80	16,81	17,36	15,49	16,27	16,85	17,68	27,02	14,82
2006	17,36	11,90	13,77	15,76	15,43	16,67	17,14	15,22	15,93	17,08	17,59	26,88	14,72
2007	17,33	12,04	13,89	16,18	15,58	16,88	17,23	15,22	16,18	17,26	17,83	27,05	15,02
2008	17,40	12,02	13,94	15,71	15,43	16,85	17,51	15,11	16,26	17,18	17,73	27,81	14,96
2009	17,58	12,29	14,26	15,83	16,05	17,08	17,79	15,48	16,47	17,64	17,84	28,55	15,21
2010	18,52	12,11	14,11	16,94	16,21	17,21	16,30	14,82	15,13	16,51	17,36	28,36	15,79
2011	17,18	11,95	14,15	15,08	16,35	17,35	16,10	14,72	14,88	16,65	17,14	26,66	15,00
2012	16,66	12,05	14,21	12,46	16,51	17,51	16,13	15,02	14,92	16,81	17,23	26,97	14,73
2013	16,93	12,15	14,25	14,32	16,65	17,65	16,48	14,96	15,34	16,95	17,51	27,27	15,12
2014	17,10	12,21	14,31	15,86	16,81	17,81	16,28	15,21	15,51	17,11	17,79	27,58	15,19
2015	16,98	12,25	14,35	16,94	16,95	17,95	16,81	15,79	15,80	17,25	16,30	26,89	14,90
2016	17,81	12,31	14,41	15,08	17,11	18,11	16,67	15,00	15,43	17,41	16,10	26,19	15,58
2017	17,45	12,35	14,45	16,46	17,25	18,25	16,88	14,73	15,58	17,55	16,13	27,50	14,97
2018	16,96	12,41	14,51	14,32	17,41	18,41	16,85	15,12	15,43	17,71	16,96	27,80	14,48
2019	17,57	12,45	14,55	15,86	17,55	18,55	17,08	15,19	16,05	16,05	17,57	26,11	15,01
2020	18,02	12,51	14,61	16,18	17,71	18,71	17,21	14,90	16,21	16,21	18,02	27,41	15,26
2021	17,47	12,55	14,65	15,71	17,85	18,85	17,35	15,58	16,35	16,35	17,47	28,72	14,71
2022	17,87	12,61	14,71	16,47	18,11	19,11	17,51	14,97	16,51	16,51	17,87	26,03	15,03
<b><math>\bar{X}</math></b>	<b>17,25</b>	<b>12,04</b>	<b>14,13</b>	<b>15,43</b>	<b>16,37</b>	<b>17,44</b>	<b>16,92</b>	<b>14,96</b>	<b>15,77</b>	<b>16,90</b>	<b>17,32</b>	<b>26,97</b>	<b>14,90</b>

*Nota:* SENAMHI (2020) <https://www.senamhi.gob.pe/>

**Anexo 3. Temperatura mínima región de Puno y sus trece provincias periodo 2000 - 2022**

Año	Azángaro	Carabaya	Chucuito	El Collao	Huancané	Lampa	Melgar	Moho	Puno	San Antonio de Putina	San Román	Sandia	Yunguyo
2000	1,25	-1,78	1,82	2,11	0,82	0,00	-0,28	2,29	2,63	-0,30	-2,50	15,44	1,88
2001	1,52	-1,51	2,78	2,71	1,22	0,65	0,35	2,67	3,18	0,20	-1,50	15,59	2,32
2002	1,96	-0,77	3,42	3,03	1,81	1,35	1,29	2,93	3,59	-0,10	-0,67	15,75	2,58
2003	0,50	-1,58	2,93	1,76	-0,09	-0,45	0,42	2,47	3,00	-0,39	-2,74	14,97	2,22
2004	0,87	-1,73	3,16	1,82	-0,99	-0,43	0,06	2,37	3,25	0,55	-1,79	15,24	1,89
2005	0,92	-2,23	2,81	1,66	-2,12	-0,30	-0,48	1,96	3,06	-0,12	-1,79	15,86	1,55
2006	1,08	-1,98	2,98	2,28	0,93	-0,03	-0,02	1,79	3,13	-0,20	-0,27	15,78	1,37
2007	1,73	-1,83	3,35	1,30	1,35	0,67	0,44	1,94	3,42	0,69	0,43	16,45	1,80
2008	0,22	-2,36	2,43	-0,73	-0,05	-1,58	-1,03	1,23	2,56	-0,86	-1,09	17,03	0,49
2009	0,88	-1,89	2,74	-0,39	0,36	-1,03	-0,19	1,63	2,74	-0,11	-0,44	18,34	0,34
2010	1,18	-2,12	3,08	-6,96	0,78	-0,58	-0,39	1,50	3,10	0,40	-0,80	18,70	1,07
2011	1,11	-1,99	3,22	-6,74	-0,21	-0,33	0,18	1,40	3,20	-0,30	-2,50	19,20	-1,92
2012	0,47	-2,25	2,88	2,42	0,50	0,15	1,13	1,40	3,30	0,20	-1,50	19,50	1,22
2013	1,35	-1,91	3,03	1,80	0,08	-0,60	0,25	1,30	3,15	-0,10	-1,70	19,80	1,66
2014	1,26	-1,78	3,40	2,12	-0,42	-0,58	-0,11	1,30	3,05	0,60	-0,20	20,10	1,53
2015	1,05	-2,28	2,56	2,28	0,72	-0,45	-0,54	1,20	3,25	-0,50	0,60	20,40	2,24
2016	0,89	-2,03	2,89	1,30	0,43	-0,18	-0,09	1,20	3,35	0,00	-1,00	20,70	2,72
2017	1,97	-1,88	3,03	-0,73	0,89	0,52	0,37	1,10	3,40	0,30	-0,40	21,00	2,74
2018	1,94	-2,41	3,19	-0,39	0,62	-1,73	-0,83	1,10	3,00	-0,20	-0,90	21,30	2,58
2019	1,89	-1,94	2,78	-1,96	-0,13	-1,18	-0,09	1,00	2,90	0,10	-1,20	21,60	2,75
2020	4,14	-2,17	2,94	-2,74	0,25	-0,73	-0,56	1,00	2,80	-0,40	-0,50	21,90	2,50
2021	1,74	-2,04	3,31	2,42	0,68	-0,48	-0,11	0,90	3,05	0,50	-1,80	22,20	2,48
2022	0,67	-2,30	2,68	1,80	0,18	0,05	0,34	0,9	3,15	-0,6	-0,3	22,5	1,75
<b>X̄</b>	<b>1,33</b>	<b>-1,95</b>	<b>2,93</b>	<b>0,44</b>	<b>0,33</b>	<b>-0,31</b>	<b>0,01</b>	<b>1,59</b>	<b>3,10</b>	<b>-0,03</b>	<b>-1,07</b>	<b>18,67</b>	<b>1,73</b>

Fuente: SENAMHI (2020) <https://www.senamhi.gob.pe/>

**Anexo 4. Precipitaciones región de Puno y sus trece provincias periodo 2000 - 2022**

Año	Azángaro	Carabaya	Chucuito	El Collao	Huancané	Lampa	Melgar	Moho	Puno	San Antonio de	San Román	Sandia	Yunguyo
2000	527,6	600,8	894,3	732,8	539,8	760	702,7	698,3	740,6	690,8	750,6	1417	805,7
2001	777,1	633,4	1142,8	974,6	851,1	1050	684,2	1159	1006,8	887,7	1006,8	1753	1037,9
2002	970,3	696,2	1001,9	1097,9	955,7	850,2	843,1	1142,3	908,8	760,4	802,2	1653,3	907,4
2003	630,8	645,1	940,8	838,2	756,7	656,1	735,4	1027,8	714,1	731	646,1	1570,8	776,7
2004	611,7	612,2	847	752,6	697,2	658,8	860,3	677,8	678,4	662,3	618,8	1313,2	762,3
2005	524,9	578,2	743,1	602,8	606,1	720,8	706,4	822,2	674,5	466,9	720,8	1545,1	708,5
2006	525,3	771,5	1040,3	691,6	620,7	621,3	702,3	711,4	775	537	621,3	1505,6	792,2
2007	636,7	546,6	849,6	637,6	698,4	647,8	647,4	689,9	814,2	590,9	647,8	1371,8	584,2
2008	538	510,6	778,2	640,8	585,4	680,7	631,6	810,4	661,3	542,1	650,7	1598,1	639,2
2009	551	574	968,3	670,3	433,8	610,6	622,3	587,8	798,1	486,9	599,6	1411,5	599,1
2010	527,6	600,8	894,3	732,8	539,8	760	702,7	698,3	455,4	690,8	618,8	1417	894,3
2011	777	633,4	1142,8	974,6	851,1	1050	684,2	1159	838,2	887,7	720,8	1753	1142,8
2012	570,3	696,2	1001,9	326,3	955,7	850,2	843,1	1142,3	752,6	760,4	621,3	1653,3	1001,9
2013	630,8	645,1	940,8	550,9	756,7	656,1	735,4	1027,8	602,8	731	647,8	1570,8	940,8
2014	611,7	612,2	847	455,4	697,2	658,8	860,3	677,8	691,6	662,3	650,7	1313,2	847
2015	524,9	578,2	743,1	838,2	606,1	720,8	706,4	822,2	637,6	466,9	599,6	1545,1	743,1
2016	525,3	771,5	1040,3	752,6	620,7	621,3	702,3	711,4	640,8	537	618,8	1505,6	1040,3
2017	636,7	546,6	849,6	602,8	698,4	647,8	647,4	689,9	670,3	590,9	720,8	1371,8	849,6
2018	538	510,6	778,2	691,6	585,4	680,7	631,6	810,4	699,8	542,1	621,3	1598,1	778,2
2019	551	574	968,3	637,6	433,8	610,6	622,3	587,8	762,3	486,9	647,8	1411,5	968,3
2020	527,6	600,8	894,3	640,8	539,8	656,1	647,4	689,9	708,5	590,9	650,7	1505,6	894,3
2021	777	633,4	1142,8	670,3	851,1	658,8	631,6	810,4	792,2	542,1	599,6	1371,8	1142,8
2022	670,3	696,2	1001,9	699,8	955,7	720,8	622,3	587,8	670,3	486,9	792,2	1598,1	1001,9
<b>X̄</b>	<b>615,7</b>	<b>620,3</b>	<b>932,7</b>	<b>704,9</b>	<b>688,5</b>	<b>719,5</b>	<b>703,2</b>	<b>814,9</b>	<b>725,8</b>	<b>623,1</b>	<b>677,2</b>	<b>1511,1</b>	<b>863,4</b>

Nota: SENAMHI (2020) <https://www.senamhi.gob.pe/>

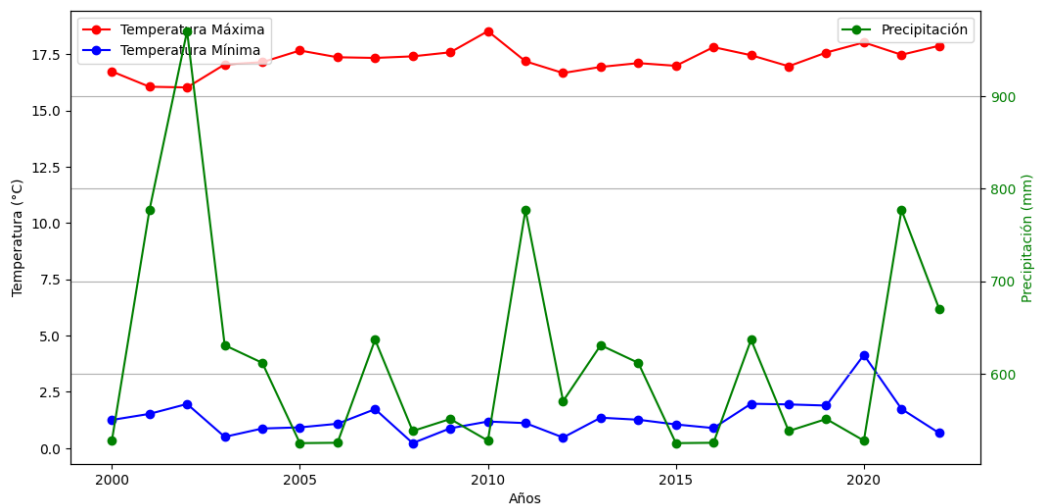


## Anexo 5. Determinación de los cambios climáticos de la provincia de Azángaro

De los datos del anexo 2, anexo 3 y anexo 4 se procede a realizar el análisis de los datos de la temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación para la provincia de Azángaro – región de Puno durante el período 2000 - 2022, en cual se muestra en la Figura 7:

### Figura 7

*Registro histórico de las temperaturas y las precipitaciones provincia de Azángaro periodo 2000-2022*



El análisis de los registros climáticos de temperaturas (máxima, mínima) y precipitación en la provincia de Azángaro - región de Puno correspondiente al período 2000 – 2022, muestra tendencias significativas que reflejan la variabilidad climática de la región. Los resultados indican cambios notables en las temperaturas y precipitaciones que pueden tener importantes implicaciones para el medio ambiente y la agricultura.

**Tabla 10**

*Interpretación de resultados provincia de Azángaro periodo 2000 - 2022*

Variable	Tendencia	Interpretación
Temperatura Máxima	Aumento gradual (0,05° C/año)	Refleja un posible calentamiento global a largo plazo, ya que la temperatura máxima ha evidenciado un ascenso constante, con un incremento promedio de aproximadamente 1,34°C desde el año 2000 hasta el 2022.
Temperatura Mínima	Ligeramente ascendente	Menor cambio, pero aún en línea con las proyecciones de cambio climático.
Precipitación	Variable	sin una tendencia clara de aumento o disminución constante.

**Tabla 11**

*Análisis de la Temperatura en la provincia de Azángaro, periodo 2000 - 2022*

Análisis	Año	valor
Temperatura mínima más baja	2008	0,22 °C
Temperatura mínima más alta	2020	4,14 °C
Temperatura máxima más baja	2002	16,02 °C
Temperatura máxima más alta	2010	18,52 °C
El año más seco	2005	524,9 mm
el año más lluvioso	2022	970,3 mm

Las proyecciones para los años 2023 y 2024 se muestra en el modelo de regresión:

$$\text{Temperatura máxima} = 16,97 + 0,04 * \text{Índice-Año}$$

$$\text{Temperatura mínima} = 1,10 + 0,01 * \text{Índice- Año}$$

$$\text{Precipitación} = 576,76 - 0,08 * \text{Índice-Año}$$

En la siguiente tabla se muestran sus proyecciones.

**Tabla 12**

*Proyección de temperatura y precipitación para la provincia de Azángaro.*

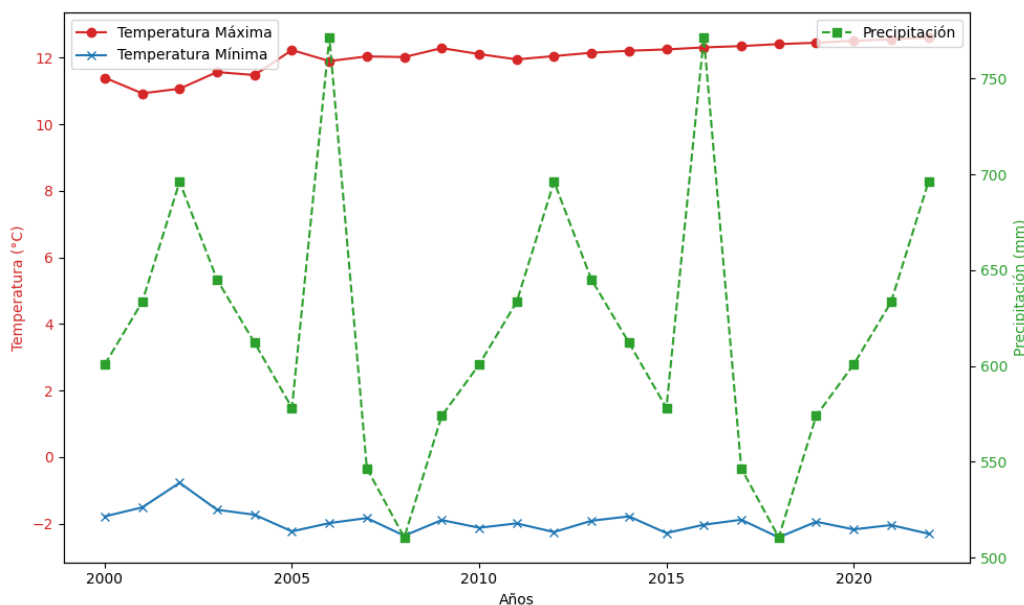
Año	Temperatura máxima	Temperatura mínima	Precipitación
2023	17,85 °C	1,67 °C	574,92 mm
2024	17,96 °C	1,72 °C	574,84 mm

## Anexo 6. Determinación de los cambios climáticos de la provincia de Carabaya

A partir de la información contenida en los Anexos 2, 3 y 4, se lleva a cabo el análisis de los datos referentes a las temperaturas (máxima, mínima) y precipitación en la provincia de Carabaya – región Puno durante el período 2000 - 2022, presentado en la Figura 8:

**Figura 8**

*Registro histórico de las temperaturas y las precipitaciones provincia de Carabaya periodo 2000 - 2022*



El estudio de los registros de temperaturas (máxima, mínima) y de precipitación para la Provincia de Carabaya durante el período 2000 - 2022 revela tendencias significativas que reflejan la variabilidad climática de la región.

**Tabla 13**

*Análisis de la Temperatura en la provincia de Carabaya, periodo 2000 - 2022*

Análisis	Año	valor
Temperatura mínima más baja	2018	-2,41 °C
Temperatura mínima más alta	2002	-0,77 °C
Temperatura máxima más baja	2001	10,93 °C
Temperatura máxima más alta	2022	12,61 °C
El año más seco o menor precipitación	2008	510,6 mm
el año más lluvioso	2016	771,5 mm

**Tabla 14**

*Interpretación de resultados en la provincia de Carabaya, periodo 2000 - 2022*

Variable	Tendencia	Interpretación
Temperatura Máxima	Aumento gradual (0,0548 °C/año)	Refleja un posible calentamiento global a largo plazo
Temperatura Mínima	Ligeramente descendente	Menor cambio, pero aún en línea con las proyecciones de cambio climático.
Precipitación	Variable	sin una tendencia clara de aumento o disminución constante.

Las proyecciones para los años 2023 y 2024 se muestra en el modelo de regresión:

$$\text{Temperatura máxima} = 11,99 + 0,02 * \text{Índice-Año}$$

$$\text{Temperatura mínima} = -2,00 + 0,02 * \text{Índice- Año}$$

$$\text{Precipitación} = 630,11 - 0,032 * \text{Índice-Año}$$

En la siguiente tabla se muestran sus proyecciones.

**Tabla 15**

*Proyección de temperatura y precipitación para la provincia de Carabaya.*

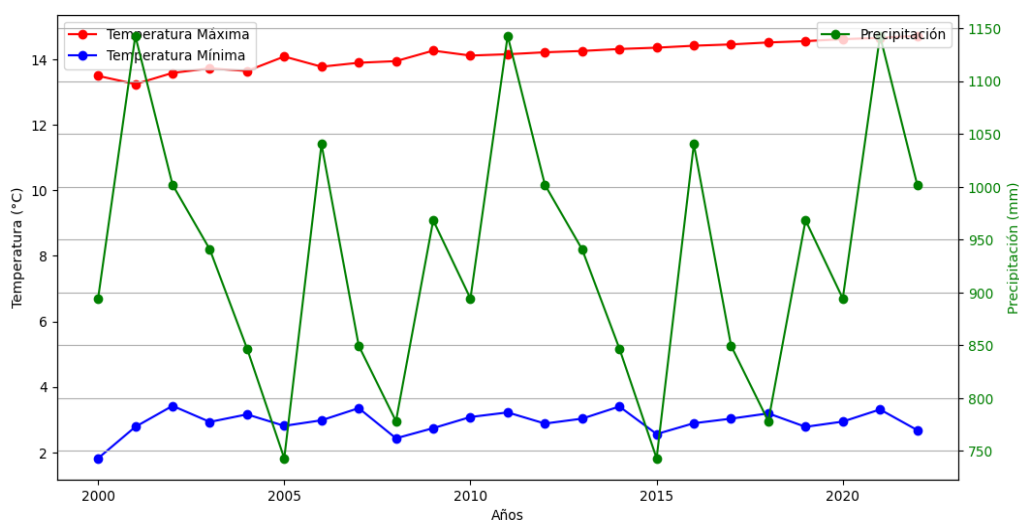
Año	Temperatura máxima	Temperatura mínima	Precipitación
2023	12,47 °C	-1,52 °C	629,342 mm
2024	12,49 °C	-1,50 °C	629,31 mm

## Anexo 7. Determinación de los cambios climáticos de la provincia de Chucuito

A partir de la información contenida en los Anexos 2, 3 y 4, se lleva a cabo el análisis de los datos referentes a las temperaturas (máxima, mínima) y precipitación en la provincia de Chucuito – región Puno durante el período 2000 - 2022, presentado en la Figura 9:

**Figura 9**

*Registro histórico de las temperaturas y las precipitaciones provincia de Chucuito periodo 2000 - 2022*



A partir de la gráfica se puede apreciar que tanto la temperatura (máxima, mínima) han mostrado variaciones mínimas a lo largo de los años, con un incremento sutil en los años recientes. La precipitación, por otro lado, muestra fluctuaciones más significativas, con picos notables en los años 2001, 2011 y 2021.

**Tabla 16**

*Análisis de la Temperatura en la provincia de Chucuito, periodo 2000 - 2022*

Análisis	Año	valor
Temperatura mínima más baja	2000	1,82 °C
Temperatura mínima más alta	2002	3,42 °C
Temperatura máxima más baja	2001	13,24 °C
Temperatura máxima más alta	2022	14,71 °C
El año más seco o menor precipitación	2005	743,1 mm
el año más lluvioso	2006, 2016, 2021	1142,8 mm

**Tabla 17***Interpretación de resultados provincia de Chucuito, periodo 2000 - 2022*

Variable	Tendencia	Interpretación
Temperatura Máxima	Aumento gradual (0,01 °C/año)	Refleja un leve aumento de temperatura por año
Temperatura Mínima	Estable	Se mantiene estables durante ciertos periodos de años.
Precipitación	Variable	sin una tendencia clara de aumento o disminución constante.

Las proyecciones para los años 2023 y 2024 se muestra en el modelo de regresión:

$$\text{Temperatura máxima} = 13,34 + 0,03 * \text{Índice-Año}$$

$$\text{Temperatura mínima} = 2,63 + 0,01 * \text{Índice- Año}$$

$$\text{Precipitación} = 914,08 - 0,08 * \text{Índice-Año}$$

Y la proyección para los dos siguientes años se muestra en la siguiente tabla.

**Tabla 18***Proyección de temperatura y precipitación para la provincia de Chucuito.*

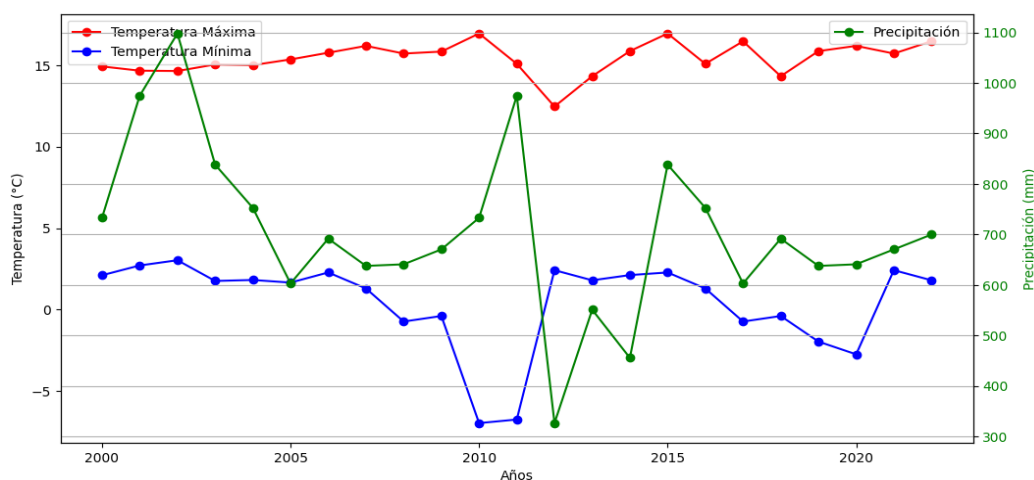
Año	Temperatura máxima	Temperatura mínima	Precipitación
2023	14,06 °C	2,87 °C	912,16 mm
2024	14,09 °C	2,88 °C	915,08 mm

## Anexo 8. Determinación de los cambios climáticos de la provincia de El Collao

A partir de la información contenida en los Anexos 2, 3 y 4, se lleva a cabo el análisis de los datos referentes a las temperaturas (máxima, mínima) y precipitación en la provincia de El Collao – región Puno durante el período 2000 - 2022, presentado en la Figura 10:

**Figura 10**

*Registro histórico de las temperaturas y las precipitaciones provincia de El Collao periodo 2000 - 2022*



Se observan años con precipitaciones muy altas y otros con valores más bajos, indicando una variabilidad climática marcada, no se identifica una tendencia clara de incremento o descenso de la precipitación a través del tiempo, pero sí una notable fluctuación.

**Tabla 19**

*Análisis de la Temperatura en la provincia de El Collao, periodo 2000 - 2022*

Análisis	Año	valor
Temperatura mínima más baja	2010	-6,96 °C
Temperatura mínima más alta	2002	3,03 °C
Temperatura máxima más baja	2012	12,46 °C
Temperatura máxima más alta	2015	16,94 °C
El año más seco o menor precipitación	2012	326,3 mm
el año más lluvioso	2002	1097,9 mm

**Tabla 20**

*Interpretación de resultados en la provincia de El Collao, periodo 2000 - 2022*

Variable	Tendencia	Interpretación
Temperatura Máxima	Aumento gradual (0,04 °C/año)	Refleja un leve aumento de temperatura por año.
Temperatura Mínima	Fluctuante	Con una ligera tendencia a la baja. muestra fluctuaciones significativas a lo largo del período analizado, sin una tendencia clara de aumento o disminución.
Precipitación	Variable	

Las proyecciones para los años 2023 y 2024 se muestra en el modelo de regresión:

$$\text{Temperatura máxima} = 14,75 + 0,04 * \text{Índice-Año}$$

$$\text{Temperatura mínima} = 0,61 - 0,01 * \text{Índice-Año}$$

$$\text{Precipitación} = 559,36 + 0,25 * \text{Índice-Año}$$

Y la proyección para los dos siguientes años se muestra en la siguiente tabla.

**Tabla 21**

*Proyección de temperatura y precipitación para la provincia de El Collao.*

Año	Temperatura máxima	Temperatura mínima	Precipitación
2023	15,71 °C	0,37 °C	565,36 mm
2024	15,75 °C	0,36 °C	565,61 mm

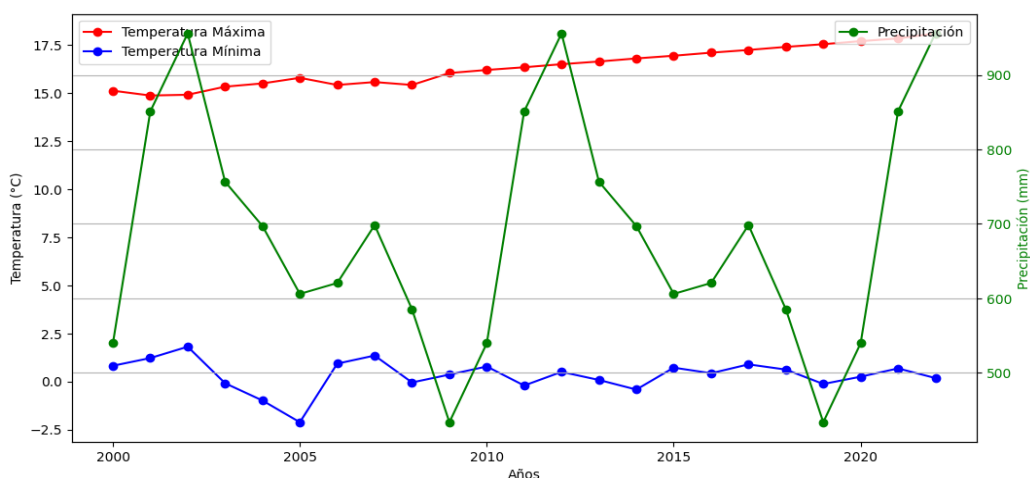


## Anexo 9. Determinación de los cambios climáticos de la provincia de Huancané

A partir de la información contenida en los Anexos 2, 3 y 4, se lleva a cabo el análisis de los datos referentes a las temperaturas (máxima, mínima) y precipitación en la provincia de Huancané – región Puno durante el período 2000 - 2022, presentado en la Figura 11:

**Figura 11**

*Registro histórico de las temperaturas y las precipitaciones provincia de Huancané periodo 2000 - 2022*



Se llevó a cabo un análisis de los registros históricos de temperatura máxima, mínima y precipitación en la provincia de Huancané entre 2000 y 2022. Esta información fue recopilada y examinada para detectar patrones y tendencias en el comportamiento climático de la región.

**Tabla 22**

*Análisis de la Temperatura en la provincia de Huancané, periodo 2000 - 2022*

Análisis	Año	valor
Temperatura mínima más baja	2005	-2,12 °C
Temperatura mínima más alta	2002	1,81 °C
Temperatura máxima más baja	2022	18,11 °C
Temperatura máxima más alta	2001	14,88 °C
El año más seco o menor precipitación	2009	433,8 mm
el año más lluvioso	2002	955,7 mm

**Tabla 23**

*Interpretación de resultados Temperatura en la provincia de Huancané, periodo 2000 - 2022*

Variable	Tendencia	Interpretación
Temperatura Máxima	Aumento gradual (0,03 °C/año)	Refleja un leve aumento de temperatura por año. Tendencia general de enfriamiento leve hasta 2005, seguida de fluctuaciones anuales. En años recientes, la temperatura mínima ha mostrado una ligera tendencia al aumento, aunque con variaciones estacionales significativas.
Temperatura Mínima	Fluctuante	Muestra fluctuaciones significativas a lo largo del período analizado, sin una tendencia clara de aumento o disminución.
Precipitación	Variable	

Las proyecciones para los años 2023 y 2024 se muestra en el modelo de regresión:

$$\text{Temperatura máxima} = 15,07 + 0,10 * \text{Índice-Año}$$

$$\text{Temperatura mínima} = 0,72 + 0,01 * \text{Índice- Año}$$

$$\text{Precipitación} = 813,16 - 0,08 * \text{Índice-Año}$$

Y la proyección para los dos siguientes años se muestra en la siguiente tabla.

**Tabla 24**

*Proyección de temperatura y precipitación para la provincia de Huancané*

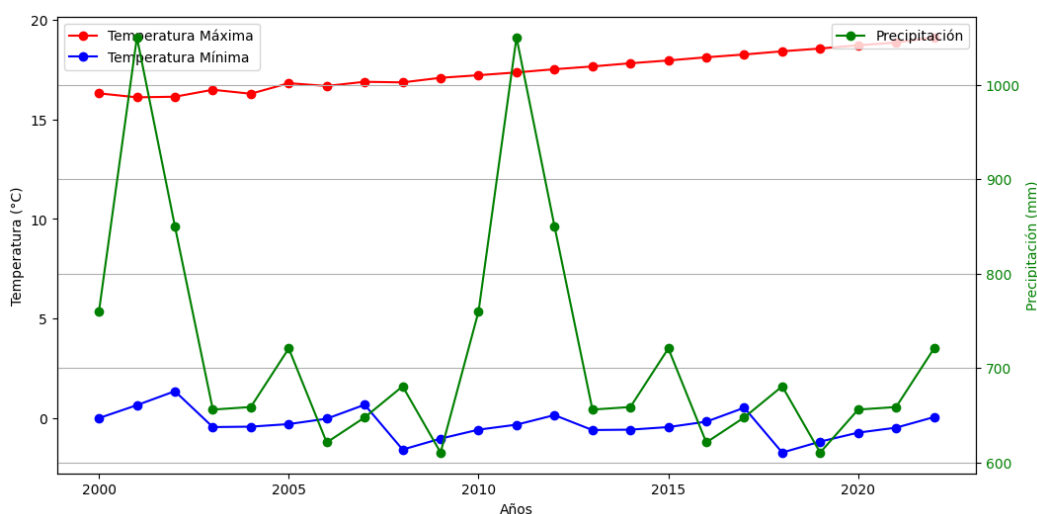
Año	Temperatura máxima	Temperatura mínima	Precipitación
2023	17,47 °C	0,96 °C	811,24 mm
2024	17,57 °C	0,97 °C	811,16 mm

## Anexo 10. Determinación de los cambios climáticos de la provincia de Lampa

A partir de la información contenida en los Anexos 2, 3 y 4, se lleva a cabo el análisis de los datos referentes a las temperaturas (máxima, mínima) y precipitación en la provincia de Lampa – región Puno durante el período 2000 - 2022, presentado en la Figura 12:

**Figura 12**

*Registro histórico de las temperaturas y las precipitaciones provincia de Lampa periodo 2000 - 2022*



La figura ilustra un incremento en la temperatura máxima, junto con una leve reducción en la precipitación a lo largo de los años, evidenciando una escasa correlación entre ambas variables.

**Tabla 25**

*Análisis de la Temperatura en la provincia de Lampa, periodo 2000 - 2022*

Análisis	Año	valor
Temperatura mínima más baja	2018	-1.73 °C
Temperatura mínima más alta	2019	-1.18 °C
Temperatura máxima más baja	2000	16.3 °C
Temperatura máxima más alta	2022	19.1 °C
El año más seco o menor precipitación	2019	610 mm
el año más lluvioso	2001, 2011	1000 mm

**Tabla 26**

*Interpretación de resultados Temperatura en la provincia de Lampa, periodo 2000 - 2022*

Variable	Tendencia	Interpretación
Temperatura Máxima	Aumento gradual (0,13 °C/año)	Refleja un leve aumento de temperatura por año. La temperatura mínima en 2000 era 0,00 °C y en 2022 era 0,05 °C, lo que refleja un incremento muy pequeño en 22 años. La tasa de aumento anual promedio es muy baja, de aproximadamente 0,002 °C por año.
Temperatura Mínima	Ligero Aumento	En 2000, la precipitación fue de 760 mm y en 2022 fue de 720,8 mm, indicando una ligera disminución en total.
Precipitación	Ligera disminución	

Las proyecciones para los años 2023 y 2024 se muestran en el modelo de regresión:

$$\text{Temperatura máxima} = 16,16 + 0,09 * \text{Índice-Año}$$

$$\text{Temperatura mínima} = -0,14 + 0,03 * \text{Índice- Año}$$

$$\text{Precipitación} = 805,27 - 0,10 * \text{Índice-Año}$$

Y la proyección para los dos siguientes años se muestra en la siguiente tabla.

**Tabla 27**

*Proyección de temperatura y precipitación para la provincia de Lampa*

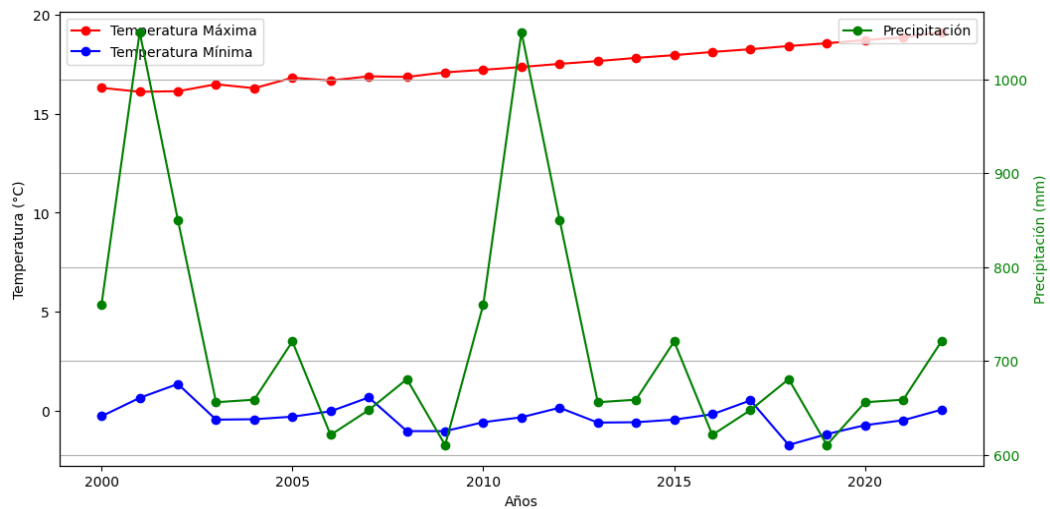
Año	Temperatura máxima	Temperatura mínima	Precipitación
2023	18,32 °C	0,58 °C	802,87 mm
2024	18,41 °C	0,61 °C	802,77 mm

## Anexo 11. Determinación de los cambios climáticos provincia Melgar

A partir de la información contenida en los Anexos 2, 3 y 4, se lleva a cabo el análisis de los datos referentes a las temperaturas (máxima, mínima) y precipitación en la provincia de Melgar – región Puno durante el período 2000 - 2022, presentado en la Figura 13:

**Figura 13**

*Registro histórico de las temperaturas y las precipitaciones provincia de Melgar periodo 2000 - 2022*



Del gráfico Hay una tendencia leve al alza en la temperatura máxima a lo largo de los años, lo que puede ser un indicio de un ligero calentamiento en el periodo analizado; Aunque la temperatura mínima muestra una ligera tendencia al alza, las fluctuaciones son mayores en comparación con la temperatura máxima; La precipitación muestra una ligera disminución en el periodo analizado con una alta variabilidad interanual. No se observa una tendencia clara en el largo plazo.

**Tabla 28**

*Análisis de la Temperatura en la provincia de Melgar; periodo 2000 - 2022*

Análisis	Año	valor
Temperatura mínima más baja	2008	-1,03 °C
Temperatura mínima más alta	2002	1,29 °C
Temperatura máxima más baja	2011	16,10 °C
Temperatura máxima más alta	2009	17,79 °C
El año más seco o menor precipitación	2009	622,3 mm
el año más lluvioso	2014	860,3 mm

**Tabla 29**

*Interpretación de resultados temperatura en la provincia de Melgar, periodo 2000 - 2022*

Variable	Tendencia	Interpretación
Temperatura Máxima	Aumento gradual (0,048 °C/año)	Refleja un leve aumento de temperatura por año.
Temperatura Mínima	Ligero Aumento	La temperatura presenta un aumento anual promedio de aproximadamente 0,03 °C.
Precipitación	Ligera disminución	Indicando una ligera disminución en la precipitación total durante este período.

Las proyecciones para los años 2023 y 2024 se muestra en el modelo de regresión:

$$\text{Temperatura máxima} = 16,90 + 0,06 * \text{Índice-Año}$$

$$\text{Temperatura mínima} = 0,06 + 0,01 * \text{Índice- Año}$$

$$\text{Precipitación} = 766,93 - 0,05 * \text{Índice-Año}$$

Y la proyección para los dos siguientes años se muestra en la siguiente tabla.

**Tabla 30**

*Proyección de temperatura y precipitación para la provincia de Melgar*

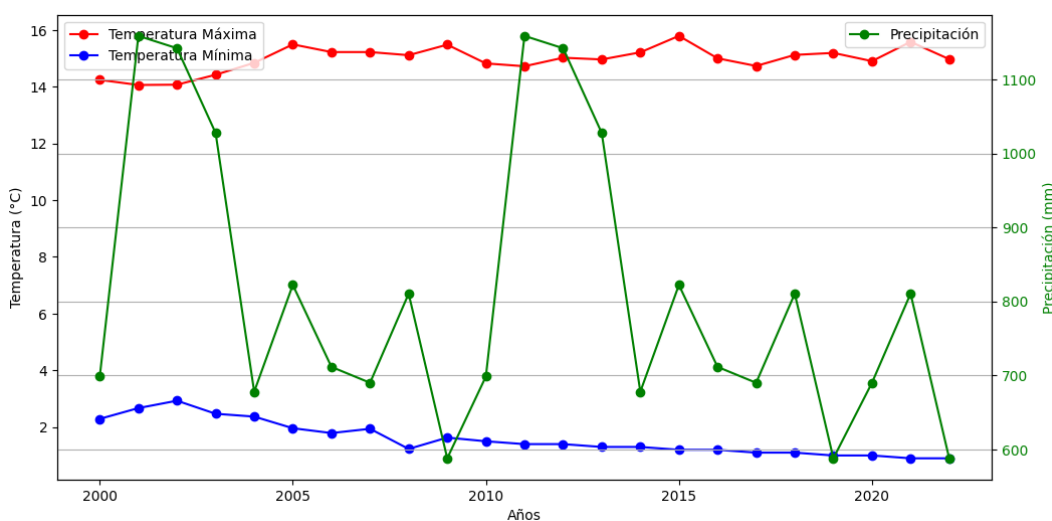
Año	Temperatura máxima	Temperatura mínima	Precipitación
2023	18,34 °C	0,3 °C	765,73 mm
2024	18,40 °C	0,31 °C	765,68 mm

## Anexo 12. Determinación de cambios climáticos provincia de Moho

De los datos del anexo 2, anexo 3 y anexo 4 se procede a realizar el análisis de los datos de la temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación para la provincia de Moho – región de Puno durante el período 2000 - 2022, en cual se muestra en la Figura 14:

**Figura 14**

*Registro histórico de las temperaturas y las precipitaciones provincia de Moho periodo 2000 - 2022*



**Tabla 31**

*Análisis de la Temperatura en la provincia de Moho, periodo 2000 - 2022*

Análisis	Año	valor
Temperatura mínima más baja	2021	0,9 °C
Temperatura mínima más alta	2002	2,93 °C
Temperatura máxima más baja	2001	14,06 °C
Temperatura máxima más alta	2015	15,79 °C
El año más seco o menor precipitación	2009	622,3 mm
el año más lluvioso	2014	860,3 mm

Durante el período analizado, la temperatura máxima de los años 2000 a 2022, la temperatura máxima osciló entre aproximadamente 14,06 °C (en 2001) y 15,79 °C (en 2015). Esto indica una cierta variabilidad, aunque en términos generales se puede observar una leve tendencia al incremento desde inicios de la década de 2000 hasta mediados de la década de 2010, seguido por fluctuaciones menores.

**Tabla 32**

*Interpretación de resultados temperatura en la provincia de Moho, periodo 2000 - 2022*

Variable	Tendencia	Interpretación
Temperatura Máxima	Aumento gradual (0,001 °C/año)	Refleja un leve aumento de temperatura por año.
Temperatura Mínima	Ligera disminución	La temperatura presenta un descenso anual promedio de aproximadamente 0,03 °C.
Precipitación	variable	Precipitaciones muy altas y otros con niveles más bajos, con variabilidad interanual significativa.

Las proyecciones para los años 2023 y 2024 se muestra en el modelo de regresión:

$$\text{Temperatura máxima} = 14,87 + 0,03 * \text{Índice-Año}$$

$$\text{Temperatura mínima} = 2,28 - 0,01 * \text{Índice-Año}$$

$$\text{Precipitación} = 1145,66 - 0,24 * \text{Índice-Año}$$

Y la proyección para los dos siguientes años se muestra en la siguiente tabla.

**Tabla 33**

*Proyección de temperatura y precipitación para la provincia de Moho*

Año	Temperatura máxima	Temperatura mínima	Precipitación
2023	15,59 °C	2,04 °C	1139,90 mm
2024	15,62 °C	2,03 °C	1139,66 mm

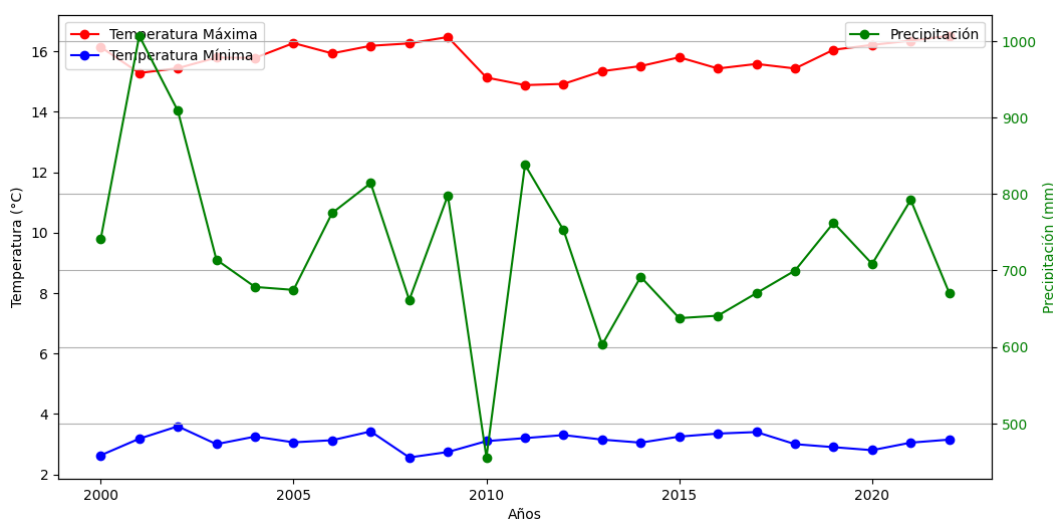


### Anexo 13. Determinación de los cambios climáticos de la provincia de Puno

A partir de la información contenida en los Anexos 2, 3 y 4, se lleva a cabo el análisis de los datos referentes a las temperaturas (máxima, mínima) y precipitación en la provincia de Puno – región Puno durante el período 2000 - 2022, presentado en la Figura 15:

**Figura 15**

*Registro histórico de las temperaturas y las precipitaciones provincia de Puno periodo 2000 - 2022*



**Tabla 34**

*Análisis de la Temperatura en la provincia de Puno, periodo 2000 - 2022*

Análisis	Año	valor
Temperatura mínima más baja	2008	2,56 °C
Temperatura mínima más alta	2002	3,59 °C
Temperatura máxima más baja	2011	14,88 °C
Temperatura máxima más alta	2022	16,51 °C
El año más seco o menor precipitación	2010	455,4 mm
el año más lluvioso	2001	1006,8 mm

**Tabla 35**

*Interpretación de resultados temperatura en la provincia de Puno, periodo 2000 - 2022*

Variable	Tendencia	Interpretación
Temperatura Máxima	Variable	Entre 2011 y 2022, la temperatura máxima anual se mantiene en un rango de aproximadamente 14,88 °C a 16,51 °C. Hay una variación significativa a lo largo de los años, aunque no se evidencia una tendencia clara de incremento o reducción en este período específico.
Temperatura Mínima	variable	La temperatura mínima anual varía desde alrededor de 2,56 °C (en 2008) hasta 3,59 °C (en 2002). Similar a la temperatura máxima, no hay una tendencia clara de cambio significativo en la temperatura mínima a lo largo de estos años.
Precipitación	variable	La precipitación anual varía considerablemente, desde aproximadamente 455,4 mm (en 2010) hasta 1006,8 mm (en 2001). Esto muestra una gran variabilidad interanual en los patrones de precipitación.

Las proyecciones para los años 2023 y 2024 se muestra en el modelo de regresión:

$$\text{Temperatura máxima} = 15,10 + 0,10 * \text{Índice-Año}$$

$$\text{Temperatura mínima} = 2,95 + 0,01 * \text{Índice- Año}$$

$$\text{Precipitación} = 950,69 - 0,18 * \text{Índice-Año}$$

En la siguiente tabla se muestran sus proyecciones.

**Tabla 36**

*Proyección de temperatura y precipitación para la provincia de Puno*

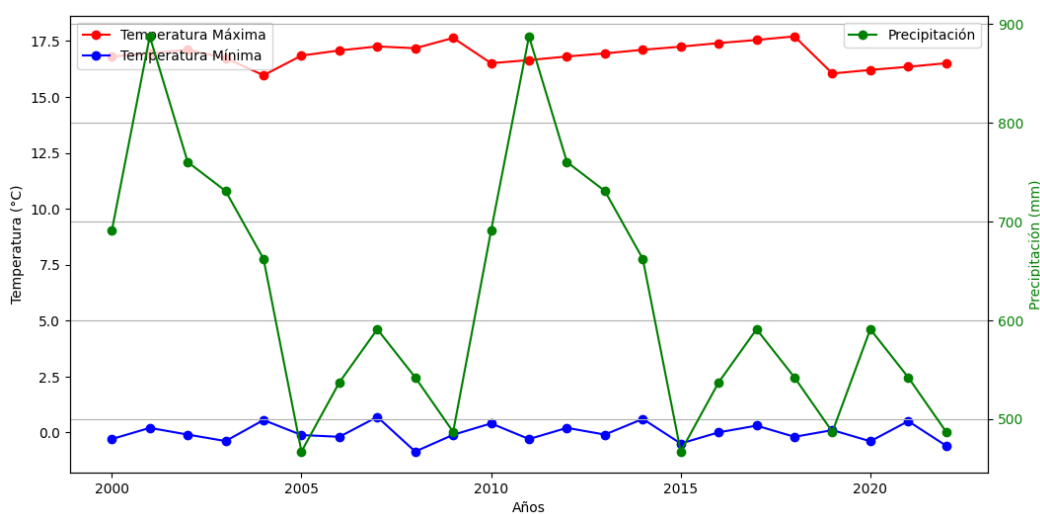
Año	Temperatura máxima	Temperatura mínima	Precipitación
2023	17,5 °C	3,19 °C	946,37 mm
2024	17,6 °C	3,20 °C	946,19 mm

## Anexo 14. Determinación de los cambios climáticos provincia San Antonio de Putina

A partir de la información contenida en los Anexos 2, 3 y 4, se lleva a cabo el análisis de los datos referentes a las temperaturas (máxima, mínima) y precipitación en la provincia de San Antonio de Putina – región Puno durante el período 2000 - 2022, presentado en la Figura 16:

**Figura 16**

*Registro histórico de las temperaturas y las precipitaciones provincia de San Antonio de Putina periodo 2000 - 2022*



**Tabla 37**

*Análisis del comportamiento de la temperatura en la provincia de San Antonio de Putina, periodo 2000 - 2022*

Análisis	Año	valor
Temperatura mínima más baja	2008	-0,86 °C
Temperatura mínima más alta	2007	0,69 °C
Temperatura máxima más baja	2004	15,97 °C
Temperatura máxima más alta	2018	17,71 °C
El año más seco o menor precipitación	2015	466,9 mm
el año más lluvioso	2011	887,7 mm

**Tabla 38**

*Interpretación de resultados en la provincia de San Antonio de Putina sobre temperatura periodo 2000 - 2022*

Variable	Tendencia	Interpretación
Temperatura Máxima	Aumento gradual (0,03 °C/año)	Refleja un posible calentamiento global a largo plazo.
Temperatura Mínima	Ligeramente ascendente (0,01 °C/año)	Menor cambio, pero aún en línea con las estimaciones del cambio climático.
Precipitación	Aumento ligero (0,36 mm/año)	El aumento registrado en las precipitaciones sugiere posibles cambios en los patrones de precipitación

Las proyecciones para los años 2023 y 2024 se muestra en el modelo de regresión:

$$\text{Temperatura máxima} = 16,74 + 0,08 * \text{Índice-Año}$$

$$\text{Temperatura mínima} = 1,02 - 0,01 * \text{Índice-Año}$$

$$\text{Precipitación} = 784,61 - 0,17 * \text{Índice-Año}$$

En la siguiente tabla se muestran sus proyecciones.

**Tabla 39**

*Proyección en la provincia de San Antonio de Putina sobre temperatura y precipitación*

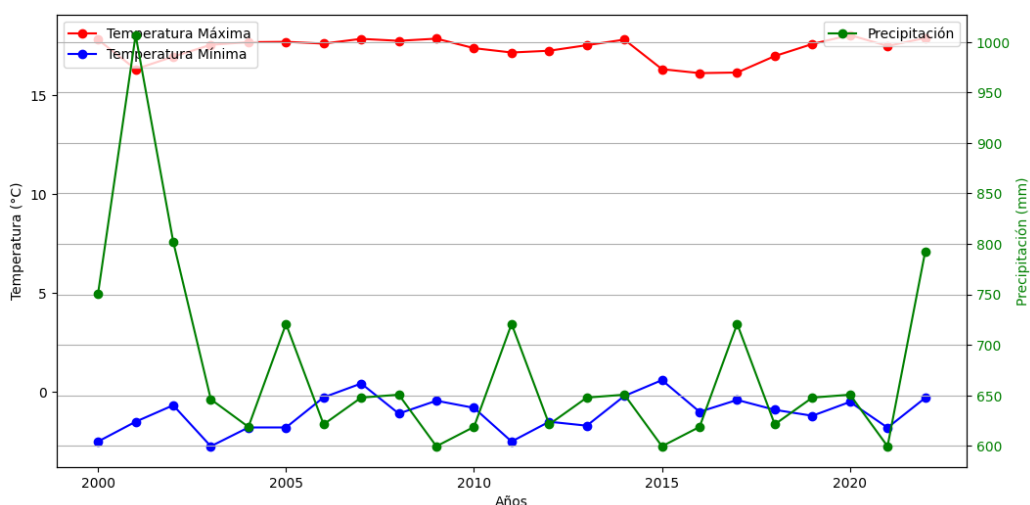
Año	Temperatura máxima	Temperatura mínima	Precipitación
2023	18,66 °C	0,78 °C	780,53 mm
2024	18,74 °C	0,77 °C	780,36 mm

## Anexo 15. Determinación de cambios climáticos provincia de San Román

A partir de la información contenida en los Anexos 2, 3 y 4, se lleva a cabo el análisis de los datos referentes a las temperaturas (máxima, mínima) y precipitación en la provincia de San Román – región Puno durante el período 2000 - 2022, presentado en la Figura 17:

**Figura 17**

*Registro histórico de las temperaturas y las precipitaciones provincia de San Román periodo 2000 - 2022*



**Tabla 40**

*Interpretación de resultados temperatura máxima, temperatura mínima en °C y precipitaciones en mm de la provincia de San Román periodo 2000 - 2022*

Variable	Tendencia	Interpretación
Temperatura Máxima	Aumento gradual (0,04 °C/año)	Refleja un posible calentamiento global a largo plazo.
Temperatura Mínima	Ligeramente ascendente (0,05 °C/año)	Menor cambio, pero aún en línea con las estimaciones del cambio climático.
Precipitación	Aumento ligero (0,59 mm/año)	Aumento en las precipitaciones, posible señal de alteraciones en los regímenes de precipitación.

**Tabla 41**

*Análisis de la Temperatura en la provincia de San Román, periodo 2000 - 2022*

Análisis	Año	valor
Temperatura mínima más baja	2003	-2,74 °C
Temperatura mínima más alta	2015	0,60°C
Temperatura máxima más baja	2001	16,30 °C
Temperatura máxima más alta	2020	18,02 °C
El año más seco o menor precipitación	2009	599,6 mm
el año más lluvioso	2001	1006,8 mm

Las proyecciones para los años 2023 y 2024 se muestra en el modelo de regresión:

$$\text{Temperatura máxima} = 16,89 + 0,04 * \text{Índice-Año}$$

$$\text{Temperatura mínima} = -1,17 - 0,04 * \text{Índice- Año}$$

$$\text{Precipitación} = 795,88 - 0,08 * \text{Índice-Año}$$

En la siguiente tabla se muestran sus proyecciones.

**Tabla 42**

*Proyección de temperatura y precipitación para la provincia de San Román.*

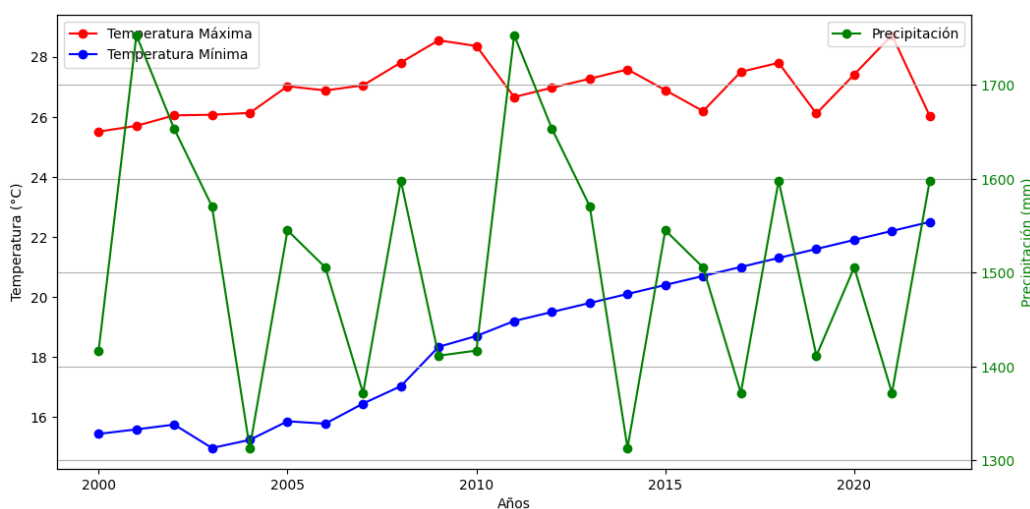
Año	Temperatura máxima	Temperatura mínima	Precipitación
2023	17,89 °C	-0,33 °C	793.96 mm
2024	17,89 °C	-0,28 °C	793,88 mm

## Anexo 16. Determinación de los cambios climáticos de la provincia de Sandia

A partir de la información contenida en los Anexos 2, 3 y 4, se lleva a cabo el análisis de los datos referentes a las temperaturas (máxima, mínima) y precipitación en la provincia de Sandia – región Puno durante el período 2000 - 2022, presentado en la Figura 18:

**Figura 18**

*Registro histórico de las temperaturas y las precipitaciones provincia de Sandia periodo 2000 - 2022*



**Tabla 43**

*Interpretación de resultados temperatura máxima, temperatura mínima en °C y precipitaciones en mm de la provincia de Sandia periodo 2000 - 2022*

Variable	Tendencia	Interpretación
Temperatura Máxima	Aumento gradual (0,06 °C/año)	Refleja un posible calentamiento global a largo plazo.
Temperatura Mínima	Ligeramente ascendente (0,32 °C/año)	Menor cambio, pero aún en línea con las estimaciones futuras.
Precipitación	Aumento ligero (4,8 mm/año)	Aumento en las precipitaciones, posible señal de variaciones en los patrones pluviométricos.

**Tabla 44***Análisis de la Temperatura en la provincia de Sandia, periodo 2000 - 2022*

Análisis	Año	valor
Temperatura mínima más baja	2003	14,97 °C
Temperatura mínima más alta	2022	22,50°C
Temperatura máxima más baja	2000	25,51 °C
Temperatura máxima más alta	2021	28,72 °C
El año más seco o menor precipitación	2014	1313,2 mm
el año más lluvioso	2001	1753 mm

Las proyecciones para los años 2023 y 2024 se muestra en el modelo de regresión:

$$\text{Temperatura máxima} = 26,54 + 0,04 * \text{Índice-Año}$$

$$\text{Temperatura mínima} = 16,76 + 1,07 * \text{Índice- Año}$$

$$\text{Precipitación} = 1413 + 0,3 * \text{Índice-Año}$$

Y la proyección para los dos siguientes años se muestra en la siguiente tabla.

**Tabla 45***Proyección de temperatura y precipitación para la provincia de Sandia.*

Año	Temperatura máxima	Temperatura mínima	Precipitación
2023	26,34 °C	22,70 °C	1498,0 mm
2024	28,06 °C	22,95 °C	1530,7 mm

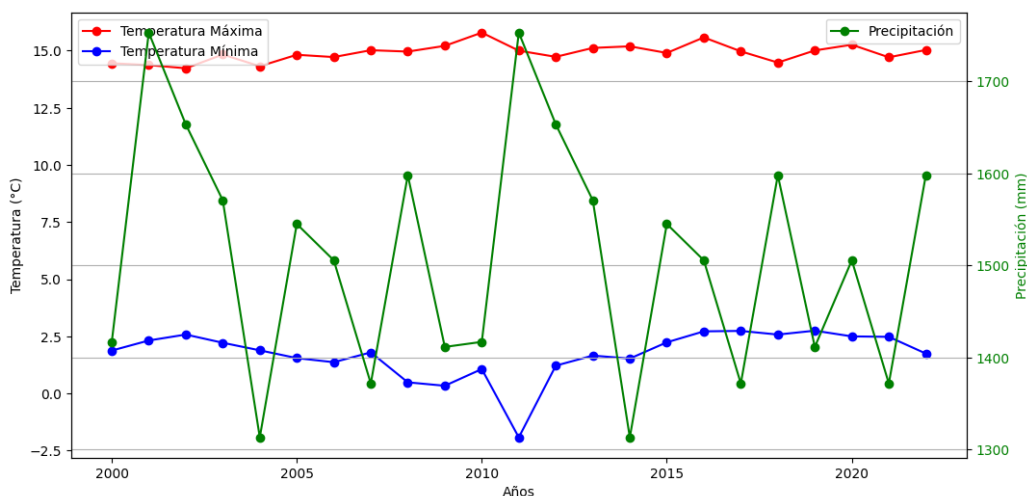


## Anexo 17. Determinación de los cambios climáticos de la provincia de Yunguyo

A partir de la información contenida en los Anexos 2, 3 y 4, se lleva a cabo el análisis de los datos referentes a las temperaturas (máxima, mínima) y precipitación en la provincia de Yunguyo – región Puno durante el período 2000 - 2022, presentado en la Figura 19:

**Figura 19**

*Registro histórico de las temperaturas y las precipitaciones provincia de Yunguyo periodo 2000 - 2022*



**Tabla 46**

*Interpretación de resultados temperatura máxima, temperatura mínima en °C y precipitaciones en mm de la provincia de Yunguyo periodo 2000 - 2022*

Variable	Tendencia	Interpretación
Temperatura Máxima	Aumento gradual (0,012 °C/año)	Refleja un posible calentamiento global a largo plazo.
Temperatura Mínima	Ligeramente descendente (0,001 °C/año)	Menor cambio, pero aún en línea con las estimaciones del cambio climático.
Precipitación	descenso ligero (4,8 mm/año)	Descenso en las precipitaciones, posible señal de cambios en las alteraciones en los regímenes de precipitación.

**Tabla 47**

*Análisis de la Temperatura en la provincia de Yunguyo, periodo 2000 - 2022*

Análisis	Año	valor
Temperatura mínima más baja	2011	-1,92 °C
Temperatura mínima más alta	2019	2,75°C
Temperatura máxima más baja	2002	14,23 °C
Temperatura máxima más alta	2010	15,01 °C
El año más seco o menor precipitación	2004	1313,2 mm
el año más lluvioso	2001	1753 mm

Las proyecciones para los años 2023 y 2024 se muestra en el modelo de regresión:

$$\text{Temperatura máxima} = 14.68 + 0.05 * \text{Índice-Año}$$

$$\text{Temperatura mínima} = 1.70 + 0.03 * \text{Índice- Año}$$

$$\text{Precipitación} = 753.27 + 2.19 * \text{Índice-Año}$$

Y la proyección para los dos siguientes años se muestra en la siguiente tabla.

**Tabla 48**

*Proyección de temperatura y precipitación para la provincia de Yunguyo.*

Año	Temperatura máxima	Temperatura mínima	Precipitación
2023	15,21 °C	2,09 °C	1474,59 mm
2024	15,23 °C	2,12 °C	14,7155 mm

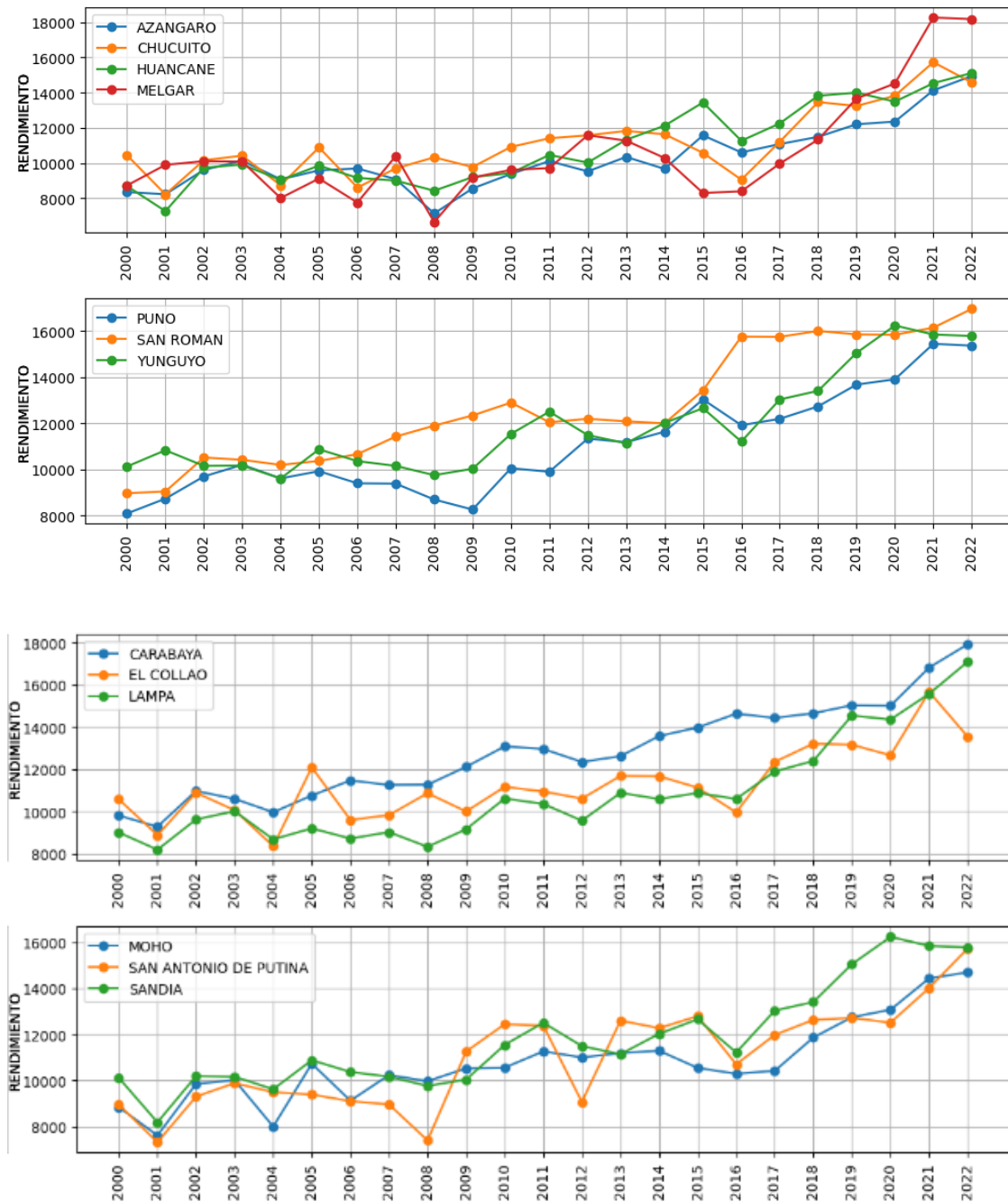
**Anexo 18. Campañas agrícolas del rendimiento de la producción de Papa (kg/ha) por cada hectárea en las 13 Provincias de la región de Puno, periodo 2000 - 2022**

AÑO	AZANGARO	CARABAYA	CHUCUITO	EL COLLAO	HUANCANE	LAMPA	MELGAR	MOHO	PUNO	SAN ANTONIO DE PUTINA	SAN ROMAN	SANDIA	YUNGUYO
2000	8 350	9 803,85	10 440,76	10 571,29	8 687,03	9 003,49	8 724,70	8 829,84	8 096,96	8 937,50	8 973,14	9 198,12	10 104,09
2001	8 225	9 278,68	8 217,08	8 877,68	7 266,33	8 188,95	9 894,29	7 977,50	7 601,60	8 738,50	7 305,68	9 049,89	8 174,61
2002	9 608	10 970,07	10 157,18	10 886,14	9 727,10	9 621,23	10 104,09	9 889,07	9 845,34	9 698,19	9 291,87	10 519,29	10 184,19
2003	10 132	10 596,34	10 416,33	10 058,66	9 915,36	10 013,68	10 079,23	10 632,96	10 005,42	10 205,27	9 878,32	10 420,66	10 158,10
2004	9 071	9 963,22	8 733,15	8 354,90	9 033,85	8 680,12	8 010,76	10 334,20	7 988,24	9 615,82	9 482,10	10 199,14	9 611,30
2005	9 581	10 756,61	10 882,34	12 088,61	9 849,21	9 199,73	9 115,17	10 722,61	10 361,12	9 926,42	9 383,45	10 371,90	10 873,52
2006	9 690	11 469,28	8 607,54	9 599,49	9 157,07	8 717,32	7 755,10	12 112,75	9 136,52	9 402,23	9 094,01	10 664,75	10 364,00
2007	9 079	11 254,97	9 692,13	9 827,30	9 000,00	9 022,02	10 397,77	10 227,55	8 882,46	9 387,59	8 954,99	11 427,37	10 157,00
2008	7 135	11 265,45	10 321,63	10 864,03	8 424,34	8 326,34	6 644,24	9 962,34	9 456,21	8 700,00	7 383,11	11 898,38	9 755,41
2009	8 555	12 113,81	9 771,15	9 999,80	9 197,15	9 158,87	9 176,62	10 521,24	9 290,96	8 266,15	11 251,88	12 341,18	10 033,82
2010	9 378	13 081,65	10 914,34	11 165,90	9 428,70	10 613,55	9 606,28	10 551,60	10 103,57	10 055,51	12 441,30	12 897,26	11 542,56
2011	10 105	12 958,37	11 403,23	10 943,66	10 457,99	10 356,82	9 712,64	11 257,60	10 796,56	9 904,50	12 376,64	12 046,87	12 503,80
2012	9 525	12 344,81	11 572,19	10 608,50	10 022,92	9 563,88	11 576,92	10 996,37	11 424,25	11 338,07	9 061,15	12 196,12	11 488,23
2013	10 344	12 617,25	11 820,39	11 682,80	11 318,36	10 880,03	11 269,51	11 182,74	11 258,76	11 180,49	12 595,18	12 086,74	11 136,24
2014	9 664	13 570,36	11 633,24	11 666,98	12 117,88	10 589,37	10 284,44	11 285,71	11 150,00	11 637,61	12 269,24	11 999,20	12 020,30
2015	11 569	13 974,56	10 578,39	11 128,58	13 435,24	10 874,29	8 297,62	10 539,75	11 117,56	13 035,14	12 788,78	13 425,06	12 654,90
2016	10 602	14 629,33	9 054,95	9 956,91	11 262,56	10 594,06	8 391,22	10 283,61	9 629,77	11 919,02	10 696,36	15 755,13	11 207,79
2017	11 074	14 430,84	11 204,19	12 348,89	12 246,31	11 896,45	9 965,85	10 413,77	10 406,43	12 193,98	11 975,61	15 744,27	13 033,67
2018	11 485	14 649,53	13 460,40	13 210,93	13 818,71	12 393,80	11 329,91	11 859,97	12 626,40	12 733,72	12 628,25	16 000,95	13 406,38
2019	12 199	15 029,81	13 238,85	13 157,54	13 994,63	14 545,15	13 660,58	12 744,32	13 383,57	13 677,67	12 714,23	15 851,34	15 050,65
2020	12 351	15 007,28	13 818,01	12 659,45	13 484,41	14 352,05	14 517,06	13 069,12	13 096,06	13 907,14	12 506,58	15 835,02	16 235,45
2021	14 126	16 813,77	15 724,52	15 667,39	14 531,58	15 570,98	18 260,26	14 433,53	14 990,47	15 442,86	14 015,58	16 141,65	15 847,16
2022	14 938	17 913,49	14 571,29	13 538,08	15 110,66	17 087,81	18 172,99	14 694,49	15 291,72	15 364,24	15 731,46	16 954,43	15 780,95

Nota: DRA-PUNO (2022) <https://www.agropuno.gob.pe>

**Figura 20**

*Serie original de las campañas agrícolas del rendimiento de la producción de papa por cada hectárea de las trece provincias de Puno, entre 2000 - 2022*



**Tabla 49**

*Análisis del rendimiento en la producción del cultivo de papa por provincia*

<b>Provincia</b>	<b>Tendencia</b>	<b>Interpretación</b>
<b>Azángaro</b>	Aumento del rendimiento de 8350 kg/ha en 2000 y aproximadamente 14 938 kg/ha en 2022.	La provincia ha experimentado fluctuaciones anuales, pero con una tendencia al alza notable.
<b>Carabaya</b>	Exhibe un rendimiento robusta y constante de 9 803 kg/ha en 2000, el rendimiento ha aumentado consistentemente, alcanzando aproximadamente 17 913 kg/ha en 2022.	Esta provincia destaca por tener uno de los índices de crecimiento más elevados en comparación con las demás provincias analizadas.
<b>Chucuito</b>	A través del tiempo, se observa una variabilidad notable en los niveles de rendimiento del cultivo de papa. Iniciando cerca de 10 440 kg/ha en 2000, el rendimiento ha experimentado fluctuaciones significativas, con picos y valles en diferentes años.	En 2022, la producción fue de aproximadamente 14 571 toneladas, mostrando un patrón de crecimiento general, pero con variaciones anuales marcadas.
<b>El Collao</b>	Comenzó con un rendimiento de alrededor de 10 571 kg/ha en 2000 y ha mostrado un patrón de crecimiento estable hasta 2022, alcanzando aproximadamente 15 110 kg/ha.	Aunque ha habido años de variabilidad, la tendencia general es de crecimiento, reflejando un entorno agrícola relativamente estable.
<b>Huancané</b>	Ha experimentado variabilidad en el rendimiento de papa, con fluctuaciones más pronunciadas en comparación con otras provincias. Iniciando alrededor de 8 687 kg/ha en 2000, el rendimiento ha alcanzado aproximadamente 15 570 kg/ha en 2022.	Las fluctuaciones anuales sugieren posibles desafíos en términos de condiciones climáticas u otros factores locales.
<b>Lampa</b>	Muestra un rendimiento inicial de aproximadamente 9 003 kg/ha en 2000, con fluctuaciones significativas en los primeros años. Sin embargo, a partir de mediados de la década de 2000, el rendimiento ha mostrado una tendencia al alza constante, alcanzando aproximadamente 17 087 kg/ha en 2022.	Esta provincia se ha distinguido por tener uno de los mayores niveles de crecimiento de la producción de papa en la región.
<b>Melgar</b>	Inició con alrededor de 8 724 kg/ha en 2000 y ha mostrado un patrón de crecimiento constante, alcanzando aproximadamente 18 261 kg/ha en 2022.	La provincia ha sido relativamente estable en términos de rendimiento, con un crecimiento gradual y consistente a lo largo de los años.

<b>Moho</b>	Comenzó con un rendimiento de alrededor de 8 829 kg/ha en 2000 y ha mostrado fluctuaciones anuales significativas. El rendimiento alcanzó aproximadamente 15 292 kg/ha en 2022.	La provincia ha enfrentado desafíos en términos de variabilidad climática, lo que se refleja en las fluctuaciones observadas en el rendimiento del cultivo de papa.
<b>Puno</b>	Una de las provincias más grandes en términos de rendimiento. Comenzó con alrededor de 8 097 kg/ha en 2000 y ha mostrado un crecimiento constante, alcanzando aproximadamente 15 364 kg/ha en 2022.	A lo largo de los años, la provincia ha mostrado un crecimiento constante, reflejando condiciones agrícolas favorables y una infraestructura robusta.
<b>San Román</b>	Ha mostrado un crecimiento estable en el rendimiento de producción de papa desde 2000. Comenzó con alrededor de 8 973 kg/ha y ha alcanzado aproximadamente 17 913 kg/ha en 2022.	La provincia ha evidenciado una notable capacidad para sostener un crecimiento continuo en su producción agrícola a través del tiempo.
<b>Sandia</b>	Sandia muestra un rendimiento de la producción inicial de alrededor de 9 198 kg/ha en 2000, con fluctuaciones significativas en los primeros años. El rendimiento ha alcanzado aproximadamente 15 731 kg/ha en 2022. La provincia ha enfrentado desafíos en términos de variabilidad climática y condiciones agrícolas locales, lo que se refleja en las fluctuaciones observadas en el rendimiento del cultivo de papa.	La provincia ha enfrentado desafíos en términos de variabilidad climática y condiciones agrícolas locales, lo que se refleja en las fluctuaciones observadas en el rendimiento del cultivo de papa.
<b>Yunguyo</b>	Ha mostrado un rendimiento inicial de alrededor de 10 104 kg/ha en 2000, con fluctuaciones anuales notables. El rendimiento alcanzó aproximadamente 15781 kg/ha en 2022	La provincia ha mostrado variaciones en el rendimiento de la producción de papa, afectadas por elementos como las condiciones climáticas y las técnicas agrícolas empleadas en la región.

---

**Figura 21**

*Modelos de regresión y proyección de las campañas agrícolas del rendimiento de la producción de papa de las trece provincias de Puno, entre 2000 - 2022*



El análisis de los gráficos revela que la gran mayoría de las provincias presenta una **tendencia positiva** en el rendimiento de la producción de papa a lo largo del tiempo. Las proyecciones para 2023 y 2024 sugieren que esta tendencia se mantendrá en la mayoría de las provincias.

**Tabla 50**

*Modelos de regresión en las provincias de la región Puno, periodo 2000 - 2022*

Provincia	Pendiente	Intercepto	R <sup>2</sup>	Modelo
Azángaro	188,23	8192,96	0,66	Rendimiento=8192,96+188,23xIndice_Año
Carabaya	478,73	9484,87	0,93	Rendimiento=9484,87+478,73xIndice_Año
Chucuito	199,89	9868,59	0,61	Rendimiento=9868,59+199,89xIndice_Año
El Collao	331,31	10033,76	0,58	Rendimiento=10033,76+331,31xIndice_Año
Huancané	226,75	8625,18	0,82	Rendimiento=8625,18+226,75xIndice_Año
Lampa	428,14	8716,23	0,73	Rendimiento=8716,23+428,14xIndice_Año
Melgar	303,97	8633,2	0,45	Rendimiento=8633,2+303,97xIndice_Año
Moho	234,66	8661,53	0,72	Rendimiento=8661,53+234,66xIndice_Año
Puno	352,59	8447,64	0,81	Rendimiento=8447,64+352,59xIndice_Año
San Antonio De Putina	414,11	8191,73	0,69	Rendimiento=8191,73+414,11xIndice_Año
San Román	297,53	9357,53	0,91	Rendimiento=9357,53+297,53xIndice_Año
Sandia	380,24	8741,83	0,80	Rendimiento=8741,83+380,24xIndice_Año
Yunguyo	237,99	10130,91	0,75	Rendimiento=10130,91+237,99xIndice_Año

**Tabla 51**

*Proyecciones en la producción de las provincias de la región de Puno, periodo 2000 - 2022*

Provincia	2023	2024
Azángaro	13190,5	13398,7
Carabaya	20974,4	21453,1
Chucuito	14666	14865,8
El Collao	17985,2	18316,5
Huancané	14067,2	14293,9
Lampa	18991,6	19419,7
Melgar	15928,5	16232,5
Moho	14293,4	14528
Puno	16909,8	17262,4
San Antonio De Putina	18130,4	18544,5
San Román	16498,3	16795,8
Sandia	17867,6	18247,8
Yunguyo	15842,7	16080,7

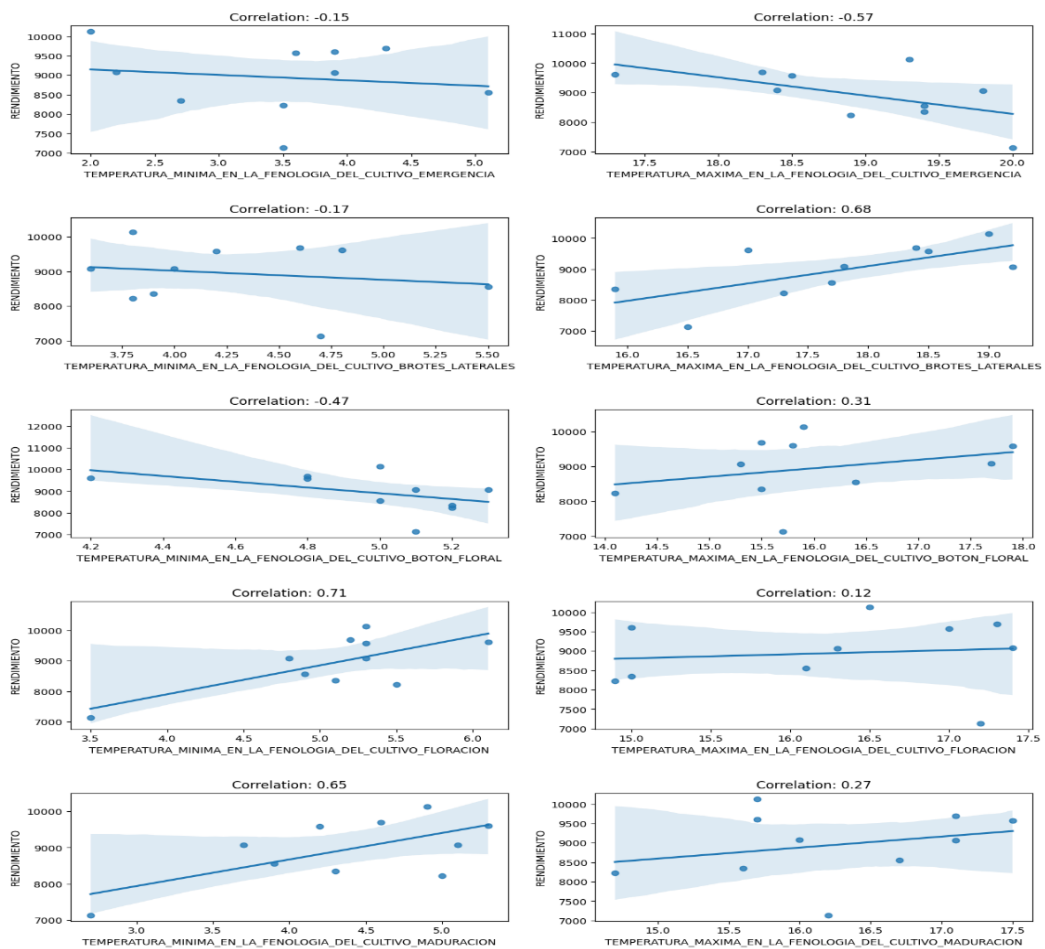


## Anexo 19. Relación de los factores climáticos y el rendimiento del cultivo de papa provincia de Azángaro

La correlación observada entre las temperaturas en diferentes etapas fenológicas del cultivo y su rendimiento en la producción de papa se muestra en la siguiente figura:

**Figura 22**

*Correlación entre las condiciones climáticas y el rendimiento del cultivo de papa provincia de Azángaro*



**Tabla 52**

*correlación entre los factores climáticos y rendimiento de la producción del cultivo papa en la provincia de Azángaro*

Variable Climática	Coefficiente de Correlación
Temperatura mínima en la fenología del cultivo: emergencia	-0,148
Temperatura máxima en la fenología del cultivo: emergencia	-0,569
Temperatura mínima en la fenología del cultivo: brotes laterales	-0,173
Temperatura máxima en la fenología del cultivo: brotes laterales	0,678
Temperatura mínima en la fenología del cultivo: botón floral	-0,472
Temperatura máxima en la fenología del cultivo: botón floral	0,308
Temperatura mínima en la fenología del cultivo: floración	0,708
Temperatura máxima en la fenología del cultivo: floración	0,118
Temperatura mínima en la fenología del cultivo: Maduración	0,650
Temperatura máxima en la fenología del cultivo: Maduración	0,275

### **Análisis de Correlación**

La tabla anterior muestra los coeficientes de correlación que existen entre el rendimiento de la papa y las temperaturas (mínimas, máximas) durante las diversas fases fenológicas. Los coeficientes positivos indican que un aumento en la temperatura está asociado con un incremento en el rendimiento, mientras que los coeficientes negativos indican una asociación inversa.

#### **Fase de Emergencia:**

Una mayor temperatura máxima durante la emergencia (-0.569) se relaciona con una reducción en el rendimiento.

#### **Fase de Brotes Laterales:**

Una mayor temperatura máxima durante los brotes laterales (0.678) se asocia con un aumento en el rendimiento.

#### **Fase de Botón Floral:**

Una mayor temperatura mínima durante el botón floral (-0.472) se vincula con una reducción en el rendimiento.

### Fase de Floración:

Las temperaturas mínimas durante la floración (0.708) indican una fuerte correlación positiva con respecto al rendimiento.

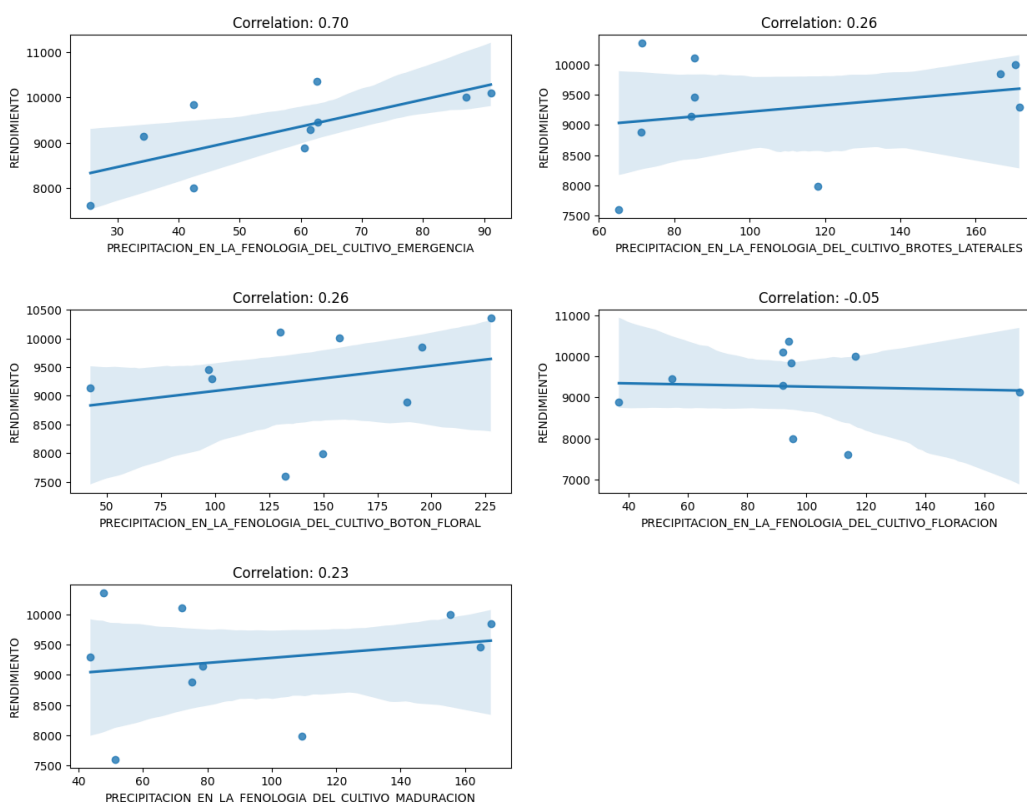
### Fase de Maduración:

Las temperaturas mínimas durante la maduración (0.650) también muestran una fuerte correlación positiva con el rendimiento.

Estos resultados muestran que las temperaturas en diferentes fases fenológicas son cruciales para optimizar el rendimiento del cultivo de papa. Las temperaturas mínimas durante las fases críticas de floración y maduración son especialmente importantes para maximizar el rendimiento.

### Figura 23

*Correlación entre precipitación y el rendimiento del cultivo de papa provincia de Azángaro*



### Tabla 53

*Correlación entre la precipitación y rendimiento de la producción del cultivo del cultivo papa de la provincia de Azángaro*

Variable Climática	Coefficiente de Correlación
Precipitación en la fenología del cultivo: emergencia	0,70
Precipitación en la fenología del cultivo: brotes laterales	0,26
Precipitación en la fenología del cultivo: botón floral	0,26
Precipitación en la fenología del cultivo: floración	-0,05
Precipitación en la fenología del cultivo: maduración	0,23

### Análisis de Correlación

#### Fase de Emergencia:

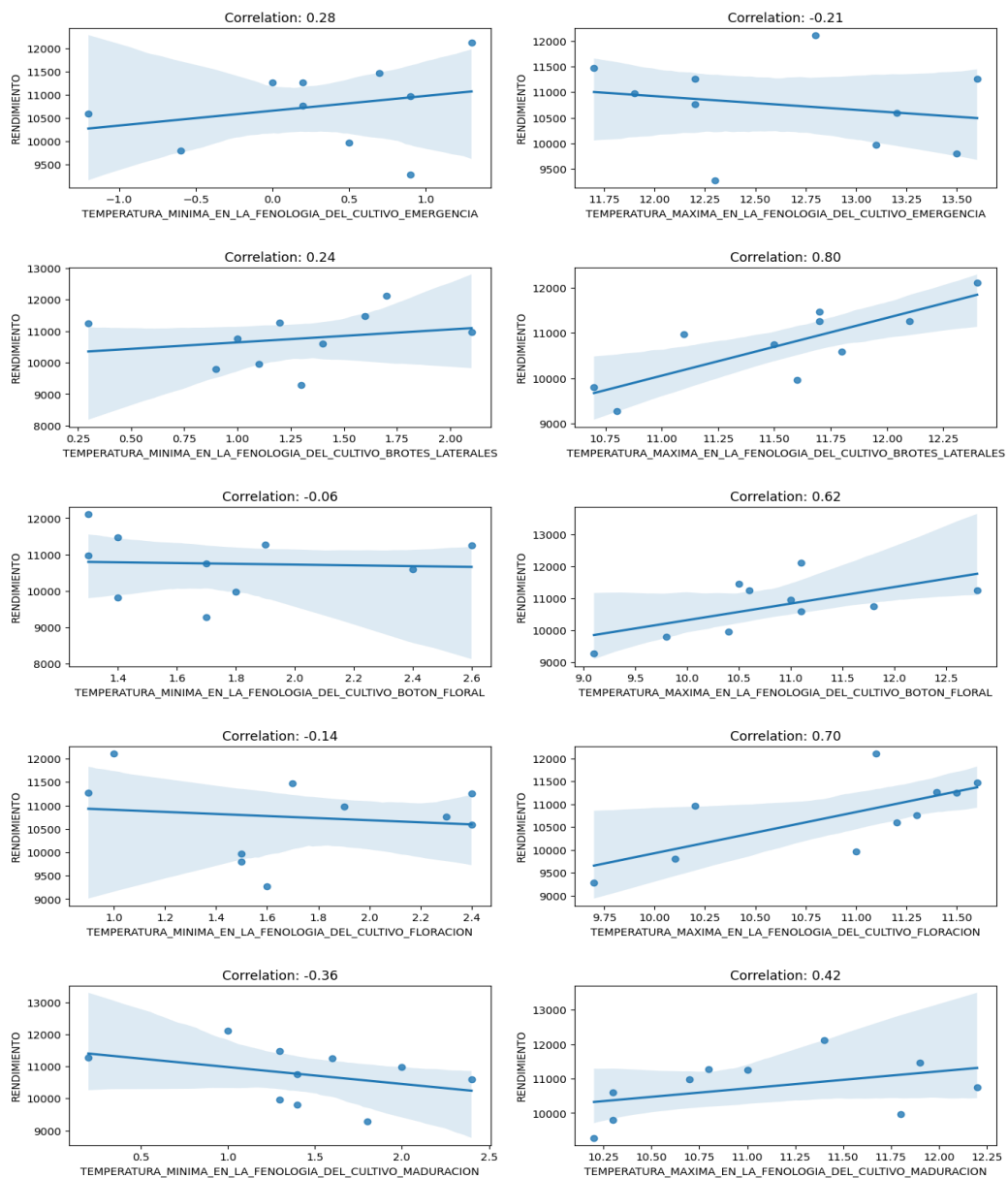
Una mayor precipitación durante Emergencia (0.70) se asocia con un aumento en el rendimiento.

## Anexo 20. Relación de los factores climáticos y el rendimiento del cultivo de papa provincia de Carabaya

La correlación observada entre las temperaturas en diferentes etapas fenológicas del cultivo y su rendimiento en la producción de papa se presenta en la figura siguiente:

**Figura 24**

*Correlación entre las condiciones climáticas y el rendimiento del cultivo de papa provincia de Carabaya*



**Tabla 54**

*Correlación de variables climáticas y rendimiento de la producción del cultivo papa de la provincia de Carabaya*

Variable Climática	Coefficiente de Correlación
Temperatura mínima en la fenología del cultivo: emergencia	0,28
Temperatura máxima en la fenología del cultivo: emergencia	-0,21
Temperatura mínima en la fenología del cultivo: brotes laterales	0,24
Temperatura máxima en la fenología del cultivo: brotes laterales	0,80
Temperatura mínima en la fenología del cultivo: botón floral	-0,06
Temperatura máxima en la fenología del cultivo: botón floral	0,62
Temperatura mínima en la fenología del cultivo: floración	-0,14
Temperatura máxima en la fenología del cultivo: floración	0,70
Temperatura mínima en la fenología del cultivo: maduración	-0,36
Temperatura máxima en la fenología del cultivo: maduración	0,42

### **Análisis de Correlación**

#### **Fase de Brotes Laterales:**

Una mayor temperatura máxima durante los brotes laterales (0.80) se asocia con un aumento en el rendimiento.

#### **Fase de Botón Floral:**

Una mayor temperatura máxima durante el botón floral (0.62) se asocia con un aumento en el rendimiento.

#### **Fase de Floración:**

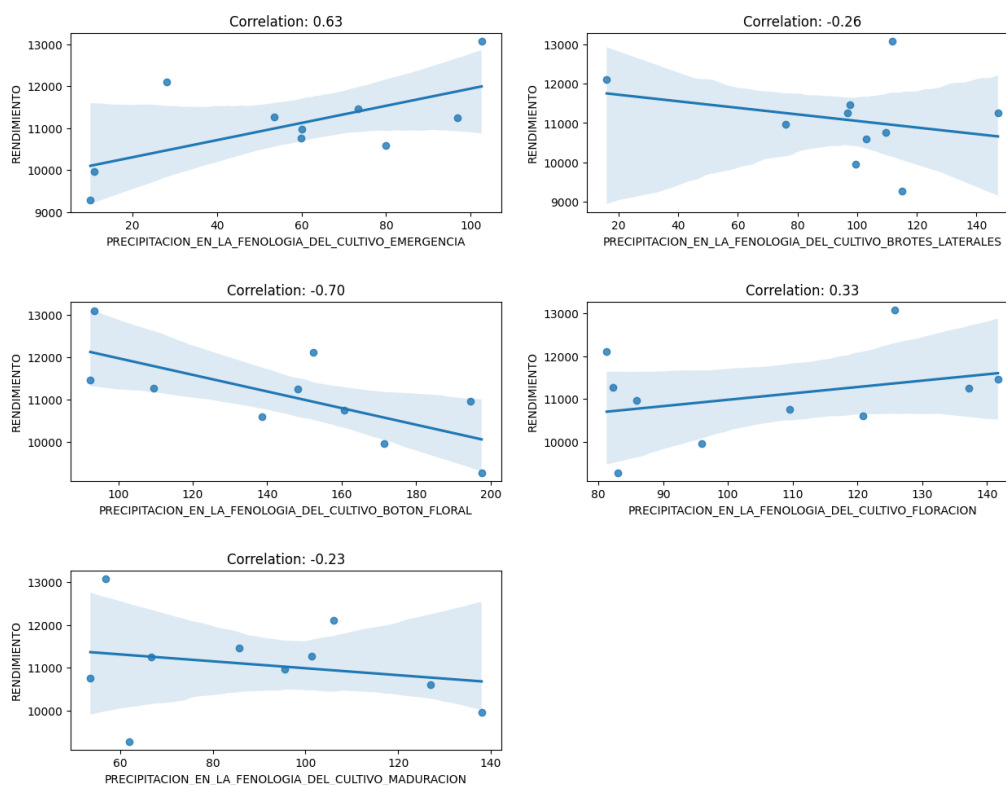
Las temperaturas máximas durante la floración (0.708) reflejan una fuerte correlación positiva sobre el rendimiento.

#### **Fase de Maduración:**

Las temperaturas máximas durante la maduración (0.42) también muestran una correlación positiva con el rendimiento.

**Figura 25**

*Correlación entre precipitación y el rendimiento del cultivo de papa provincia de Carabaya*



**Tabla 55**

*Correlación entre la precipitación y rendimiento de la producción del cultivo de papa de la provincia de Carabaya*

Variable Climática	Coefficiente de Correlación
Precipitación en la fenología del cultivo: emergencia	0,63
Precipitación en la fenología del cultivo: brotes laterales	-0,26
Precipitación en la fenología del cultivo: botón floral	-0,70
Precipitación en la fenología del cultivo: floración	0,33
Precipitación en la fenología del cultivo: maduración	-0,23

**Análisis de Correlación**

Una mayor precipitación durante la fase Emergencia (0.63) se asocia con un aumento en el rendimiento.

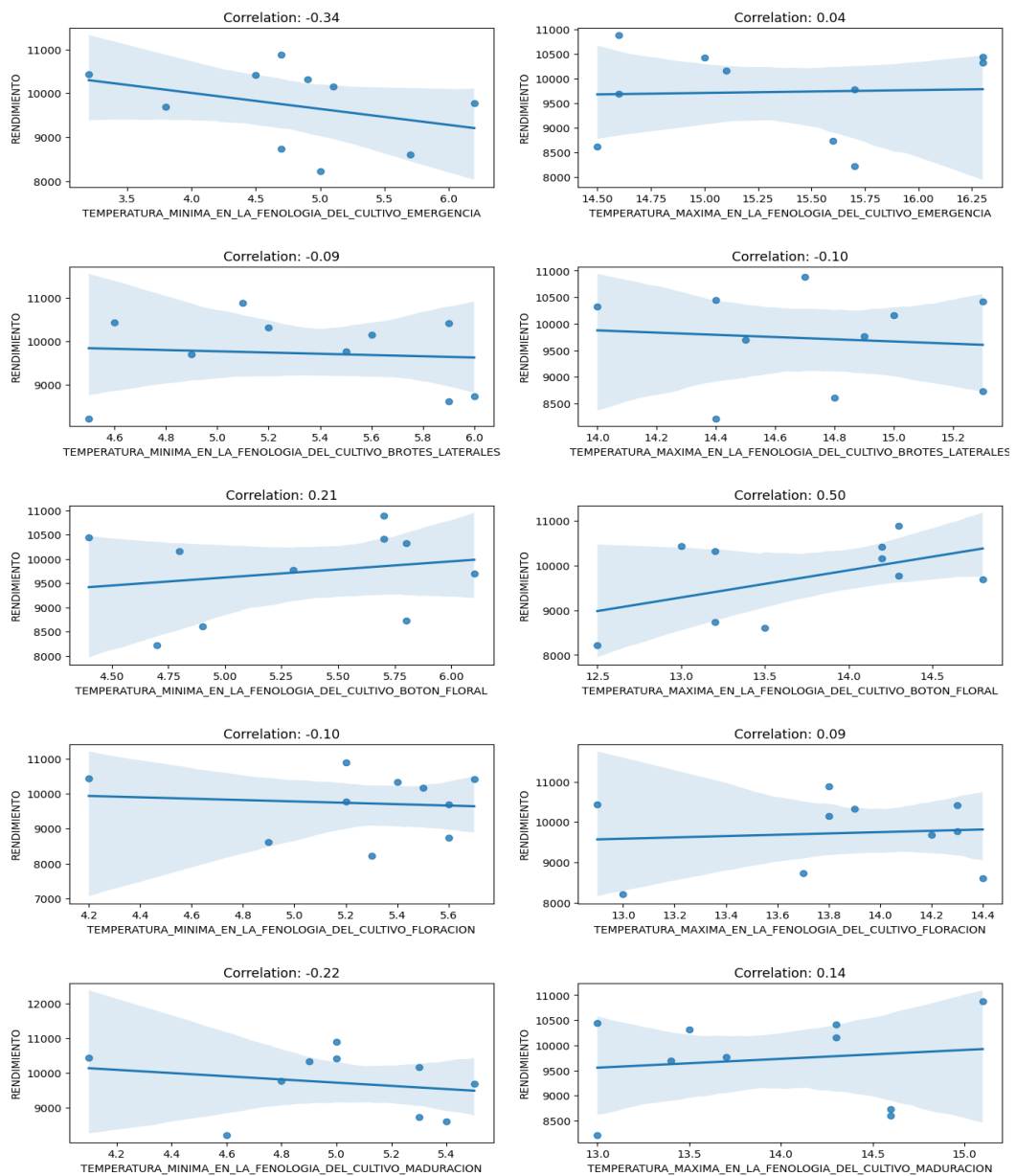
Una mayor precipitación durante la fase Botón Floral (-0.70) se relaciona con un descenso en el rendimiento.

## Anexo 21. Relación de los factores climáticos y el rendimiento del cultivo de papa provincia de Chucuito

La correlación observada entre las temperaturas en diferentes etapas fenológicas del cultivo y su rendimiento en la producción de papa se presenta en la figura siguiente:

**Figura 26**

*Correlación entre las condiciones climáticas y el rendimiento del cultivo de papa provincia de Chucuito*





### Figura 27

*Relación de las variables climáticas y del rendimiento de la producción de papa en la provincia de Chucuito.*

Variable Climática	Coefficiente de Correlación
Temperatura mínima en la fenología del cultivo: emergencia	-0,34
Temperatura máxima en la fenología del cultivo: emergencia	0,04
Temperatura mínima en la fenología del cultivo: brotes laterales	-0,09
Temperatura máxima en la fenología del cultivo: brotes laterales	-0,10
Temperatura mínima en la fenología del cultivo: botón floral	0,21
Temperatura máxima en la fenología del cultivo: botón floral	0,50
Temperatura mínima en la fenología del cultivo: floración	-0,10
Temperatura máxima en la fenología del cultivo: floración	0,09
Temperatura mínima en la fenología del cultivo: maduración	-0,22
Temperatura máxima en la fenología del cultivo: maduración	0,14

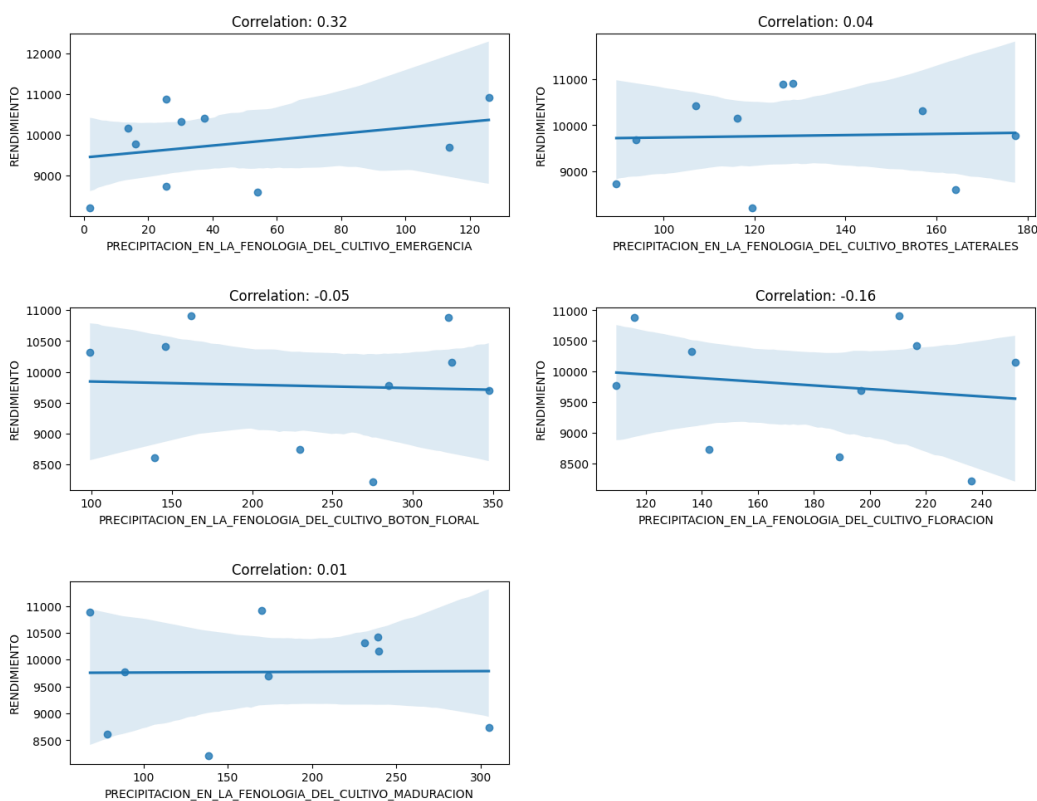
### Análisis de Correlación

#### Fase de Botón Floral:

Una mayor temperatura máxima durante el botón floral (0.50) se asocia con un aumento en el rendimiento, quiere decir a medida crece la temperatura máxima crece la producción de papa.

**Figura 28**

*Correlación entre precipitación y el rendimiento del cultivo de papa provincia de Chucuito*



**Tabla 56**

*Correlación entre la precipitación y rendimiento de la producción del cultivo de papa de la provincia de Chucuito*

Variable Climática	Coefficiente de Correlación
Precipitación en la fenología del cultivo: emergencia	0,32
Precipitación en la fenología del cultivo: brotes laterales	0,04
Precipitación en la fenología del cultivo: botón floral	-0,05
Precipitación en la fenología del cultivo: floración	-0,16
Precipitación en la fenología del cultivo: maduración	0,01

**Análisis de Correlación**

**Fase de Emergencia:**

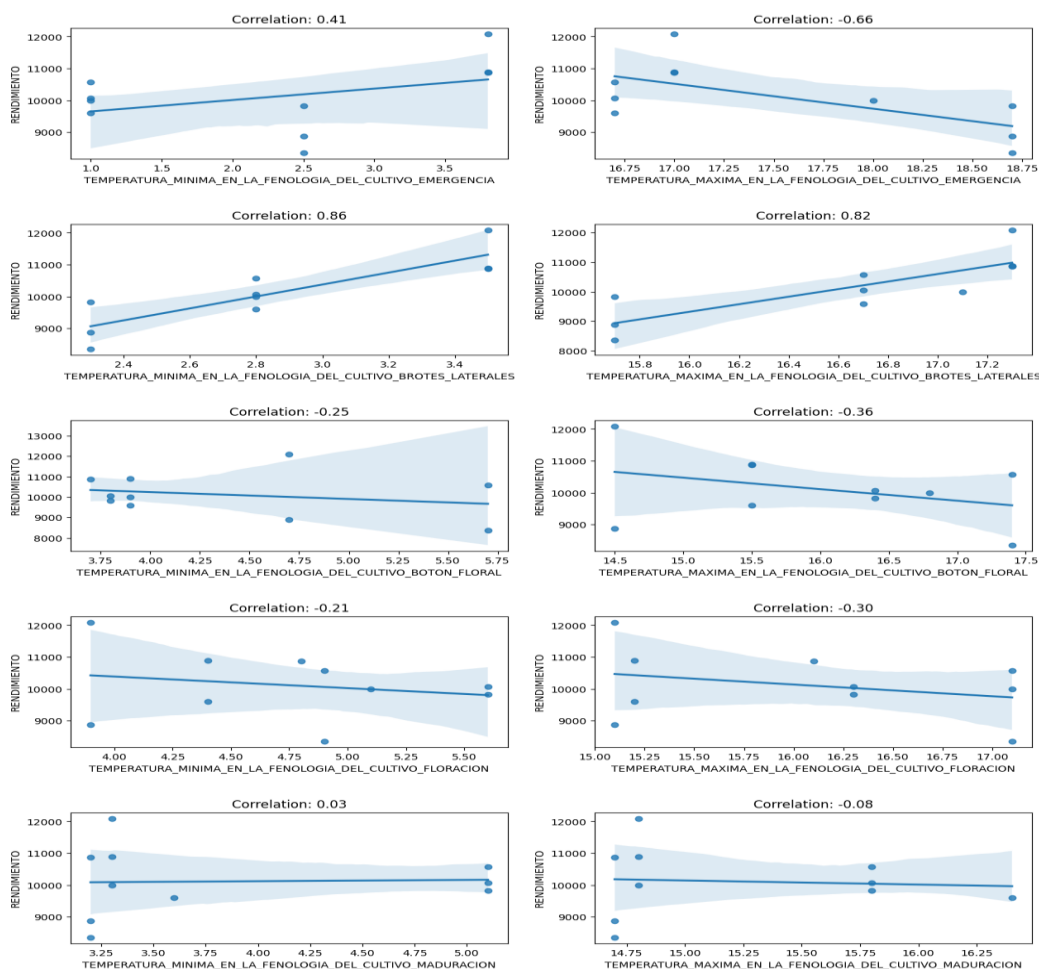
Una mayor precipitación durante la fase Emergencia (0.32) se asocia con un aumento en el rendimiento.

## Anexo 22. Relación de los factores climáticos y el rendimiento del cultivo de papa provincia de El Collao

La correlación observada entre las temperaturas en diferentes etapas fenológicas del cultivo y su rendimiento en la producción de papa se presenta en la figura siguiente:

**Figura 29**

*Correlación entre las condiciones climáticas y el rendimiento del cultivo de papa provincia de El Collao*



**Tabla 57**

*Correlación entre variables climáticas y del rendimiento de la producción del cultivo de papa de la provincia de El Collao*

<b>Variable Climática</b>	<b>Coefficiente de Correlación</b>
Temperatura mínima en la fenología del cultivo: emergencia	0,41
Temperatura máxima en la fenología del cultivo: emergencia	-0,66
Temperatura mínima en la fenología del cultivo: brotes laterales	0,86
Temperatura máxima en la fenología del cultivo: brotes laterales	0,82
Temperatura mínima en la fenología del cultivo: botón floral	-0,25
Temperatura máxima en la fenología del cultivo: botón floral	-0,36
Temperatura mínima en la fenología del cultivo: floración	-0,21
Temperatura máxima en la fenología del cultivo: floración	-0,30
Temperatura mínima en la fenología del cultivo: maduración	0,03
Temperatura máxima en la fenología del cultivo: maduración	-0,08

### **Análisis de Correlación**

#### **Fase de Emergencia:**

Una mayor temperatura máxima durante la emergencia (-0.66) se asocia con una disminución en el rendimiento.

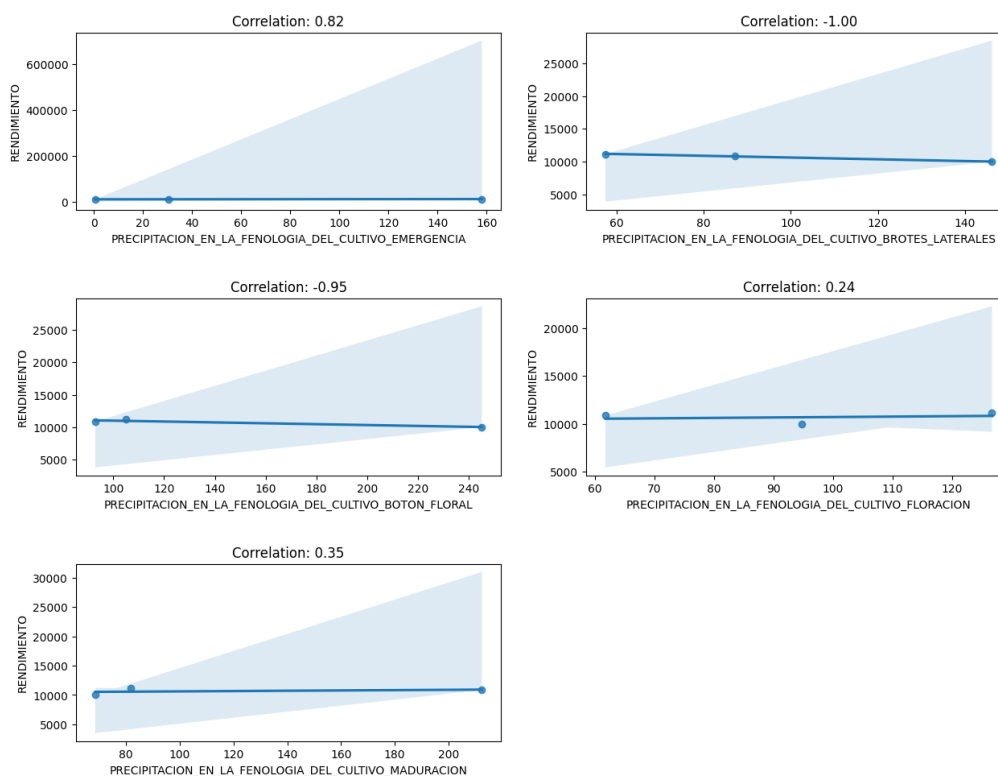
#### **Fase de Brotes Laterales:**

Una mayor temperatura máxima durante los brotes laterales (0.82) se asocia con un aumento en el rendimiento.

Una mayor temperatura mínima durante los brotes laterales (0.86) se asocia con un aumento en el rendimiento.

**Figura 30**

*Correlación entre precipitación y el rendimiento del cultivo de papa provincia de El Collao*



**Tabla 58**

*Correlación entre la precipitación y del rendimiento de la producción del cultivo de papa de la provincia de El Collao*

Variable Climática	Coficiente de Correlación
Precipitación en la fenología del cultivo: emergencia	0,82
Precipitación en la fenología del cultivo: brotes laterales	-1,00
Precipitación en la fenología del cultivo: botón floral	-0,92
Precipitación en la fenología del cultivo: floración	0,24
Precipitación en la fenología del cultivo: maduración	0,35

**Análisis de Correlación**

Una mayor precipitación durante la fase Emergencia (0.82) se asocia con un aumento en el rendimiento.

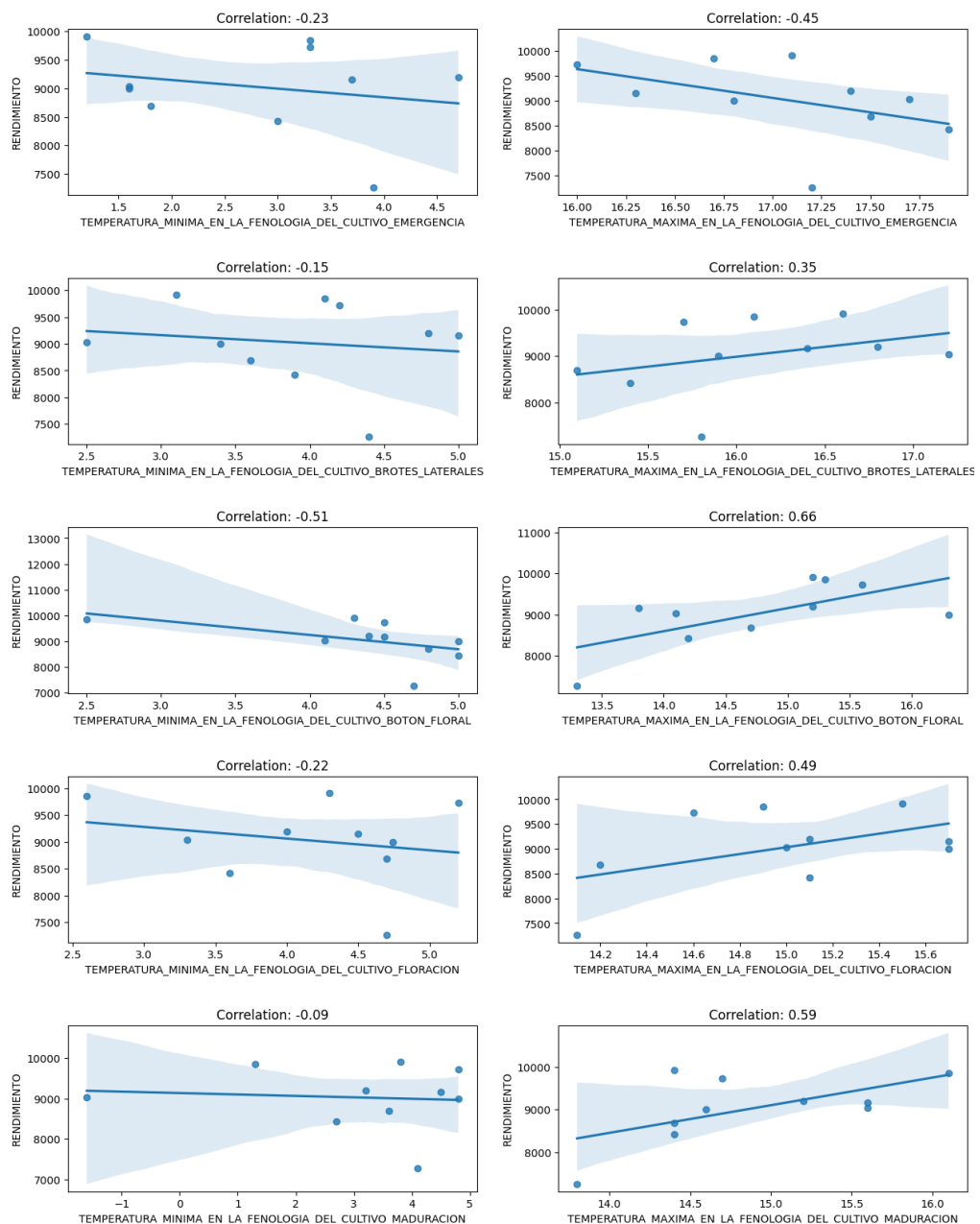
Una mayor precipitación durante la fase Botón Floral (-0.95) se vincula con un descenso en el rendimiento.

## Anexo 23. Relación de los factores climáticos y el rendimiento del cultivo de papa provincia de Huancané

La correlación observada entre las temperaturas en diferentes etapas fenológicas del cultivo y su rendimiento en la producción de papa se presenta en la figura siguiente:

**Figura 31**

*Correlación entre las condiciones climáticas y el rendimiento del cultivo de papa provincia de Huancané*



**Tabla 59**

*Correlación entre variables climáticas y del rendimiento de la producción de papa de la provincia de Huancané*

Variable Climática	Coefficiente de Correlación
Temperatura mínima en la fenología del cultivo: emergencia	-0,23
Temperatura máxima en la fenología del cultivo: emergencia	-0,45
Temperatura mínima en la fenología del cultivo: brotes laterales	-0,15
Temperatura máxima en la fenología del cultivo: brotes laterales	0,35
Temperatura mínima en la fenología del cultivo: botón floral	-0,51
Temperatura máxima en la fenología del cultivo: botón floral	0,66
Temperatura mínima en la fenología del cultivo: floración	-0,22
Temperatura máxima en la fenología del cultivo: floración	0,49
Temperatura mínima en la fenología del cultivo: maduración	-0,09
Temperatura máxima en la fenología del cultivo: maduración	0,59

### **Análisis de Correlación**

#### **Fase de Emergencia:**

Una mayor temperatura máxima durante la fase emergencia (-0.45) se relaciona con una reducción en el rendimiento.

#### **Fase de Botón Floral:**

Una mayor temperatura mínima durante la fase Botón Floral (-0.51) se vincula con un descenso en el rendimiento.

Una mayor temperatura máxima durante Botón Floral (0.66) se asocia con un aumento en el rendimiento.

#### **Fase de Floración:**

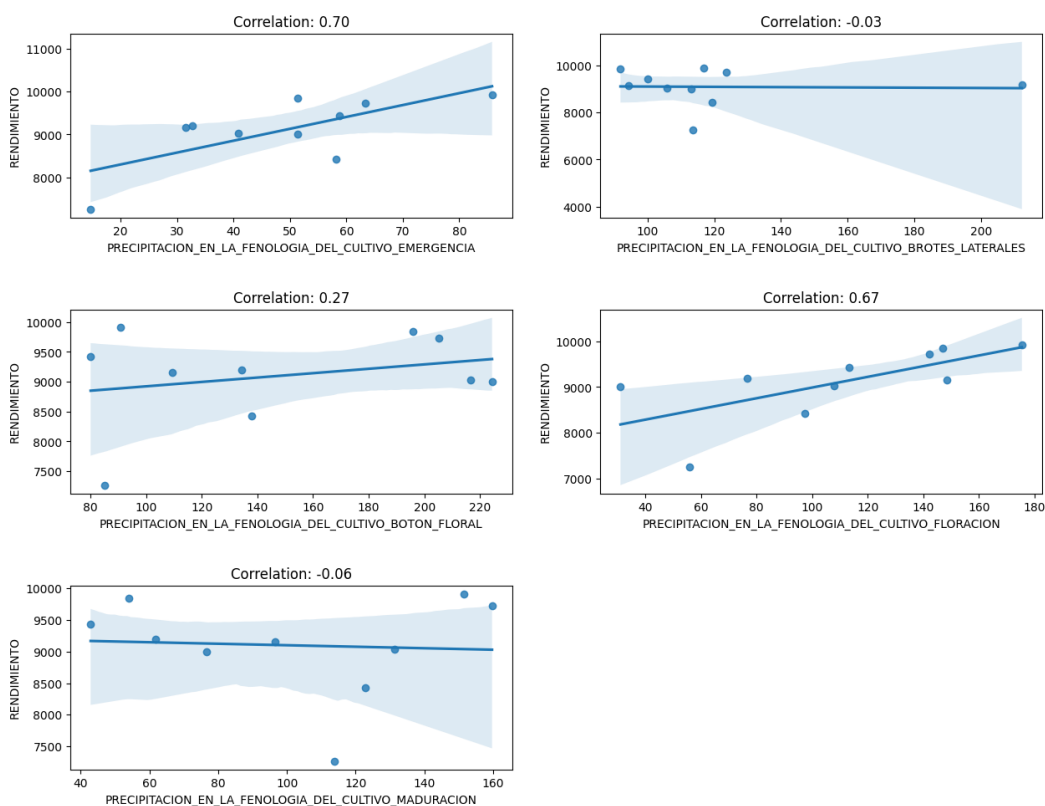
Una mayor temperatura máxima durante los brotes laterales (0.49) se asocia con un aumento en el rendimiento.

#### **Fase de Maduración:**

Una mayor temperatura máxima durante la Fase de Maduración (0.59) se asocia con un aumento en el rendimiento.

**Figura 32**

*Correlación entre precipitación y el rendimiento del cultivo de papa provincia de Huancané*



**Tabla 60**

*Correlación entre la precipitación y del rendimiento de la producción del cultivo de papa de la provincia de Huancané*

Variable Climática	Coefficiente de Correlación
Precipitación en la fenología del cultivo: emergencia	0,70
Precipitación en la fenología del cultivo: brotes laterales	-0,03
Precipitación en la fenología del cultivo: botón floral	0,27
Precipitación en la fenología del cultivo: floración	0,67
Precipitación en la fenología del cultivo: maduración	-0,06

**Análisis de Correlación**

Una mayor precipitación durante la fase Emergencia (0.70) se asocia con un aumento en el rendimiento.

Una mayor precipitación durante la fase Floración (0.67) se asocia con un aumento en el rendimiento.

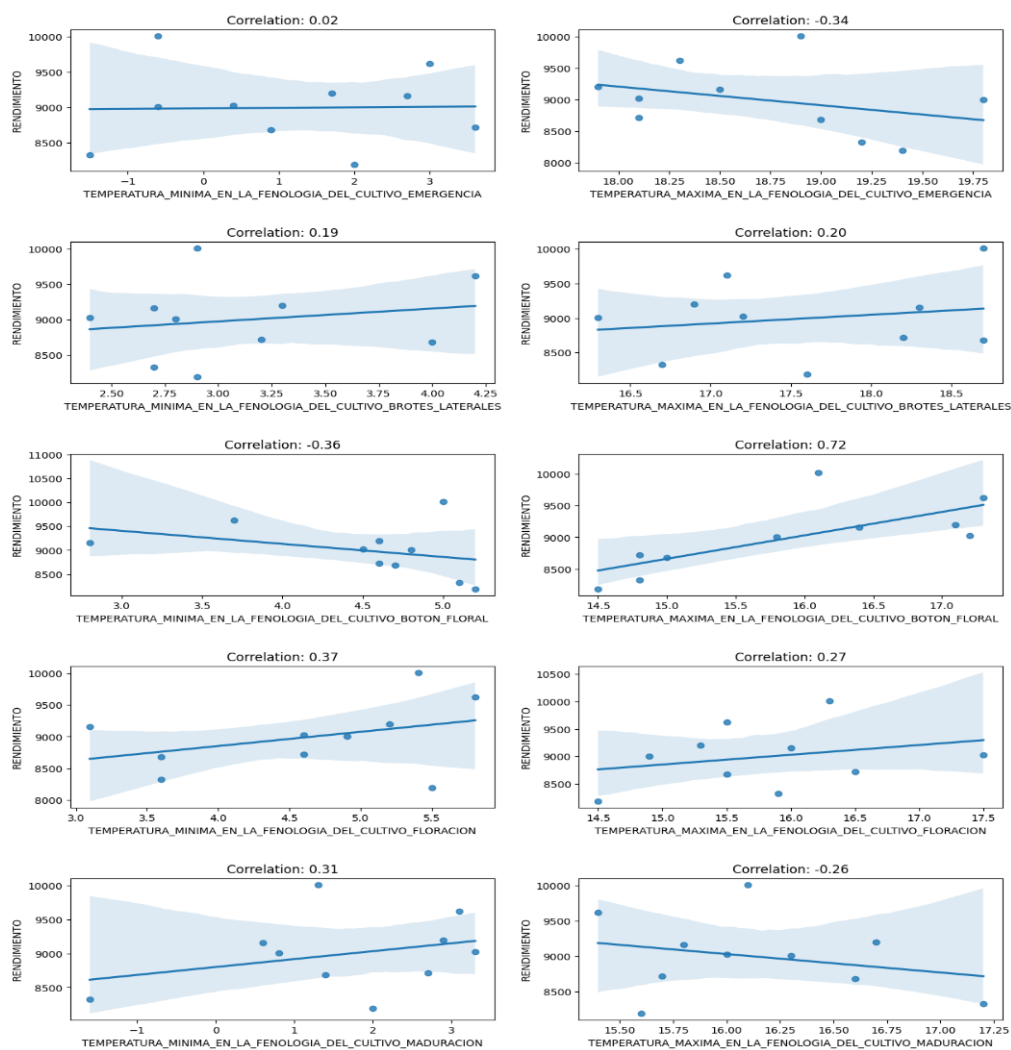


## Anexo 24. Relación de los factores climáticos y el rendimiento del cultivo de papa provincia de Lampa

La correlación observada entre las temperaturas en diferentes etapas fenológicas del cultivo y su rendimiento en la producción de papa se presenta en la figura:

**Figura 33**

*Correlación entre las condiciones climáticas y el rendimiento del cultivo de papa provincia de Lampa*



**Tabla 61**

*Correlación entre variables climáticas y del rendimiento de la producción del cultivo de papa de la provincia de Lampa*

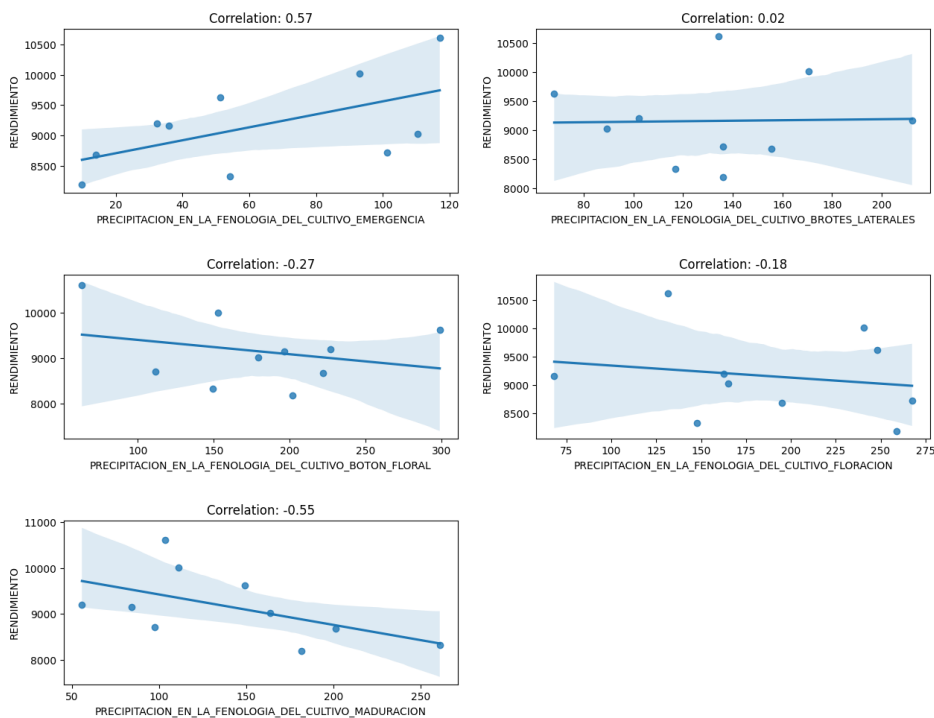
Variable Climática	Coefficiente de Correlación
Temperatura mínima en la fenología del cultivo: emergencia	0,02
Temperatura máxima en la fenología del cultivo: emergencia	-0,34
Temperatura mínima en la fenología del cultivo: brotes laterales	0,19
Temperatura máxima en la fenología del cultivo: brotes laterales	0,20
Temperatura mínima en la fenología del cultivo: botón floral	-0,36
Temperatura máxima en la fenología del cultivo: botón floral	0,72
Temperatura mínima en la fenología del cultivo: floración	0,37
Temperatura máxima en la fenología del cultivo: floración	0,27
Temperatura mínima en la fenología del cultivo: maduración	0,31
Temperatura máxima en la fenología del cultivo: maduración	-0,26

### **Análisis de Correlación**

Una mayor temperatura máxima durante Botón Floral (0.72) se asocia con un aumento en el rendimiento.

**Figura 34**

*Correlación entre precipitación y el rendimiento del cultivo de papa provincia de Lampa*



**Tabla 62**

*Correlación entre la precipitación y del rendimiento de la producción de papa de la provincia de Lampa.*

Variable Climática	Coefficiente de Correlación
Precipitación en la fenología del cultivo: emergencia	0,57
Precipitación en la fenología del cultivo: brotes laterales	0,02
Precipitación en la fenología del cultivo: botón floral	-0,27
Precipitación en la fenología del cultivo: floración	-0,18
Precipitación en la fenología del cultivo: maduración	-0,55

**Análisis de Correlación**

Una mayor precipitación durante la fase Emergencia (0.57) se asocia con un aumento en el rendimiento.

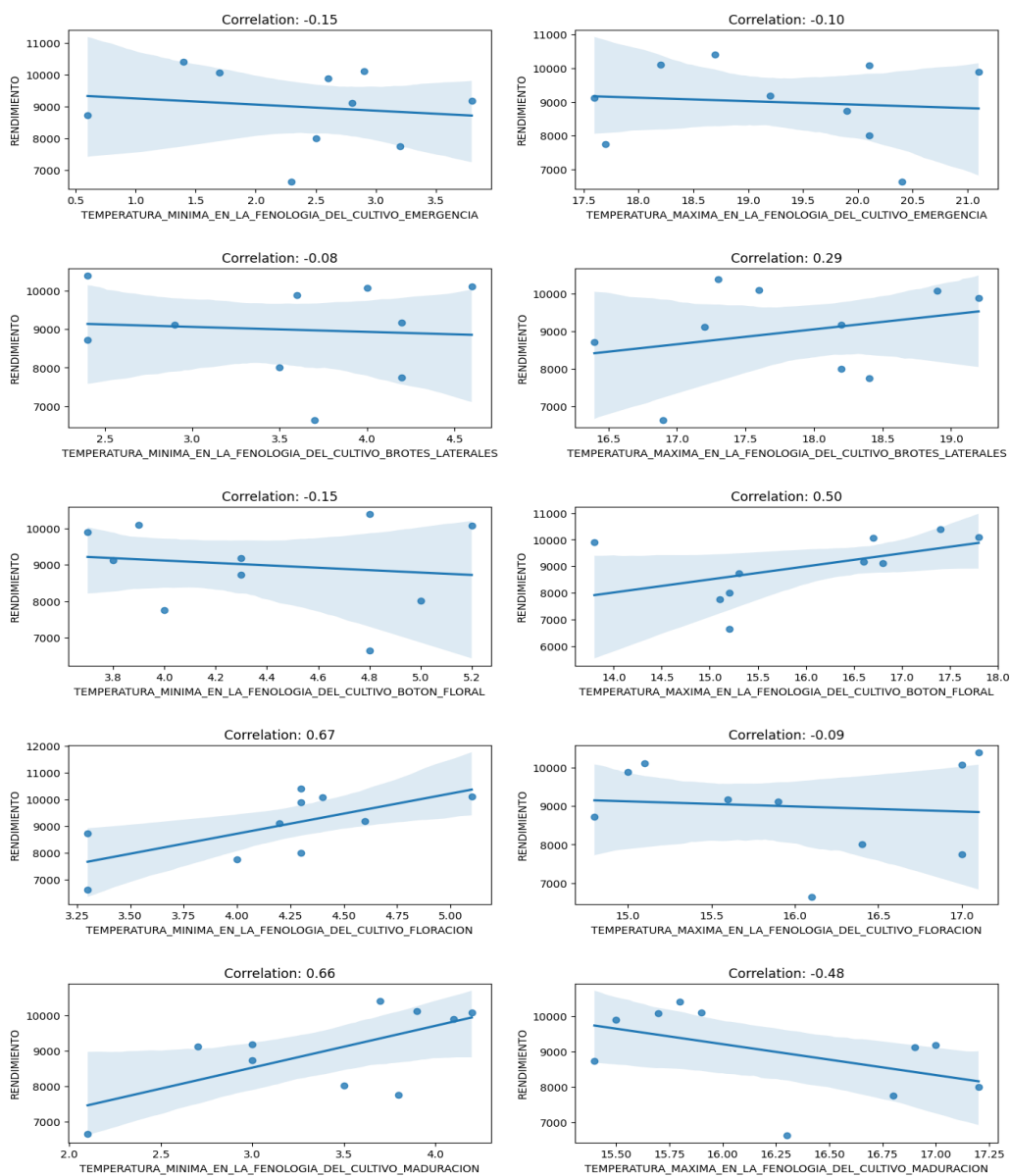
Una mayor precipitación durante la fase Maduración (-0.55) se vincula con una reducción en el rendimiento.

## Anexo 25. Relación de los factores climáticos y el rendimiento del cultivo de papa provincia de Melgar

La correlación observada entre las temperaturas en diferentes etapas fenológicas del cultivo y su rendimiento en la producción de papa se presenta en la figura siguiente:

**Figura 35**

*Correlación entre las condiciones climáticas y el rendimiento del cultivo de papa provincia de Melgar*



**Tabla 63**

*Correlación entre variables climáticas y del rendimiento de la producción del cultivo de papa de la provincia de Melgar*

Variable Climática	Coefficiente de Correlación
Temperatura mínima en la fenología del cultivo: emergencia	-0,15
Temperatura máxima en la fenología del cultivo: emergencia	-0,10
Temperatura mínima en la fenología del cultivo: brotes laterales	-0,08
Temperatura máxima en la fenología del cultivo: brotes laterales	0,29
Temperatura mínima en la fenología del cultivo: botón floral	-0,15
Temperatura máxima en la fenología del cultivo: botón floral	0,50
Temperatura mínima en la fenología del cultivo: floración	0,67
Temperatura máxima en la fenología del cultivo: floración	-0,09
Temperatura mínima en la fenología del cultivo: maduración	0,66
Temperatura máxima en la fenología del cultivo: maduración	-0,48

### **Análisis de Correlación**

#### **Fase de Botón Floral:**

Una mayor temperatura máxima durante Botón Floral (0.50) se asocia con un aumento en el rendimiento.

#### **Fase de Floración:**

Una mayor temperatura mínima durante la fase de Floración (0.67) se asocia con un aumento en el rendimiento.

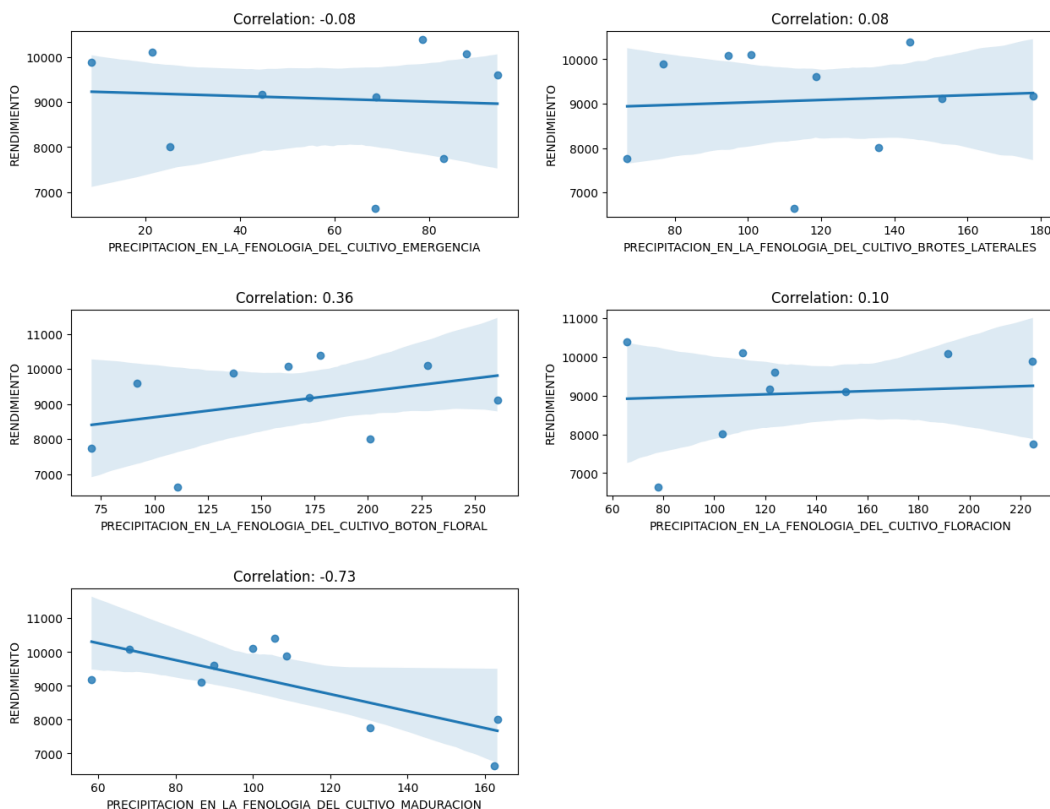
#### **Fase de Maduración:**

Una mayor temperatura mínima durante la fase de Maduración (0.66) se asocia con un aumento en el rendimiento.

Una mayor temperatura máxima durante la fase de Maduración (-0.48) se vincula con una reducción en el rendimiento.

**Figura 36**

*Correlación entre precipitación y el rendimiento del cultivo de papa en la provincia de Melgar*



**Tabla 64**

*Correlación entre la precipitación y del rendimiento de la producción del cultivo de papa de la provincia de Melgar*

Variable Climática	Coficiente de Correlación
Precipitación en la fenología del cultivo: emergencia	-0,08
Precipitación en la fenología del cultivo: brotes laterales	0,08
Precipitación en la fenología del cultivo: botón floral	0,36
Precipitación en la fenología del cultivo: floración	0,10
Precipitación en la fenología del cultivo: maduración	-0,73

### Análisis de Correlación

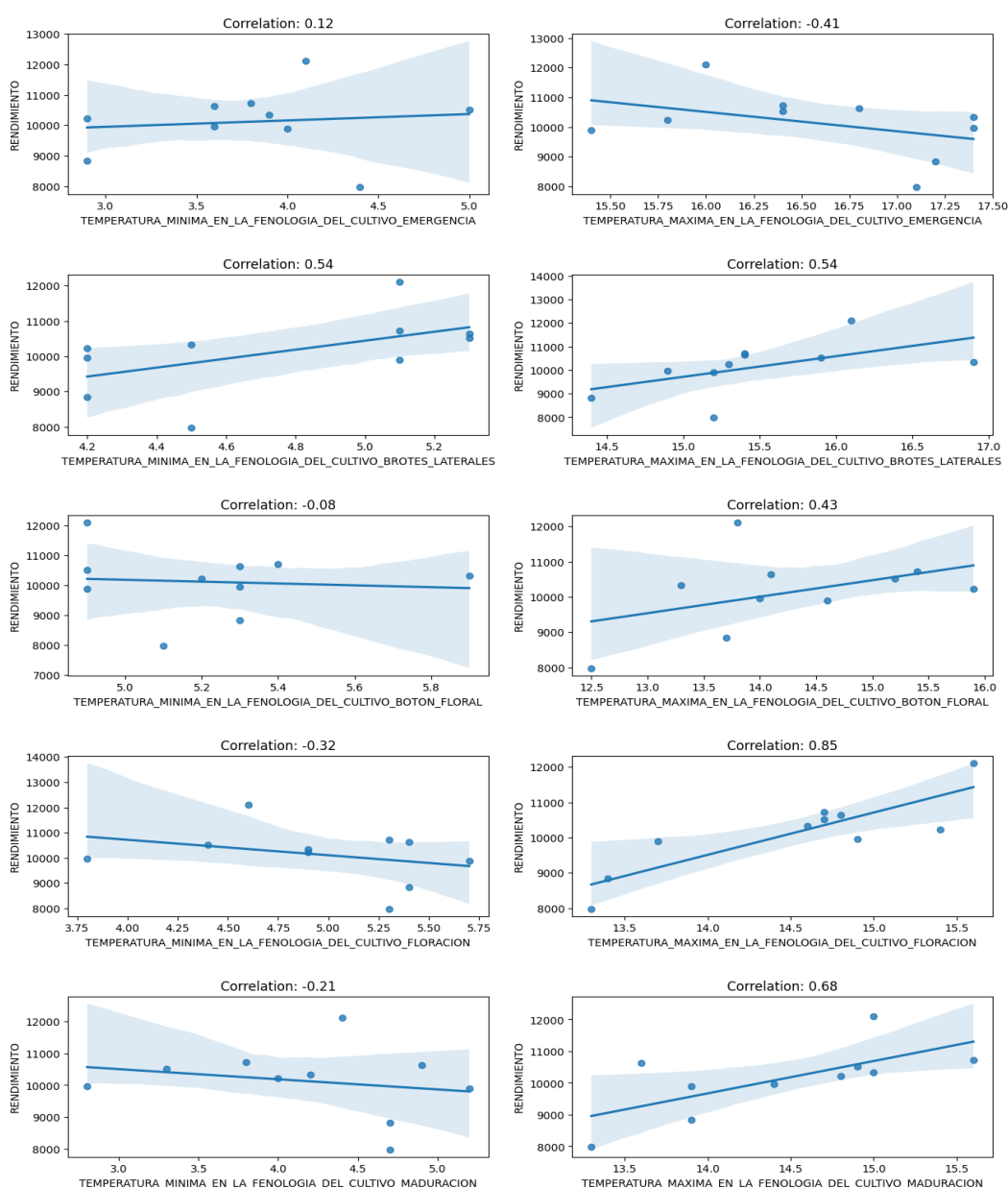
Una mayor precipitación durante la fase Maduración (-0.73) se relaciona con una reducción en el rendimiento.

## Anexo 26. Relación de los factores climáticos y el rendimiento del cultivo de papa provincia de Moho

La correlación observada entre las temperaturas en diferentes etapas fenológicas del cultivo y su rendimiento en la producción de papa se presenta en la figura siguiente:

**Figura 37**

*Correlación entre las condiciones climáticas y el rendimiento del cultivo de papa provincia de Moho*



**Tabla 65**

*Correlación de las variables climáticas y del rendimiento de la producción del cultivo de papa de la provincia de Moho*

Variable Climática	Coefficiente de Correlación
Temperatura mínima en la fenología del cultivo: emergencia	0,12
Temperatura máxima en la fenología del cultivo: emergencia	-0,41
Temperatura mínima en la fenología del cultivo: brotes laterales	0,54
Temperatura máxima en la fenología del cultivo: brotes laterales	0,54
Temperatura mínima en la fenología del cultivo: botón floral	-0,08
Temperatura máxima en la fenología del cultivo: botón floral	0,43
Temperatura mínima en la fenología del cultivo: floración	-0,32
Temperatura máxima en la fenología del cultivo: floración	0,85
Temperatura mínima en la fenología del cultivo: maduración	-0,21
Temperatura máxima en la fenología del cultivo: maduración	0,68

### **Análisis de Correlación**

#### **Fase de Emergencia:**

Una mayor temperatura máxima durante la fase de Emergencia (-0.41) se vincula con un descenso en el rendimiento.

#### **Fase de Brotes Laterales:**

Una mayor temperatura mínima durante la fase de Brotes Laterales (0.54) se asocia con un aumento en el rendimiento.

Una mayor temperatura máxima durante la fase de Brotes Laterales (0.54) se asocia con un aumento en el rendimiento.

#### **Fase de Botón Floral:**

Una mayor temperatura máxima durante Botón Floral (0.43) se asocia con un aumento en el rendimiento.

#### **Fase de Floración:**

Una mayor temperatura mínima durante la fase de Floración (0.85) se asocia con un aumento en el rendimiento.

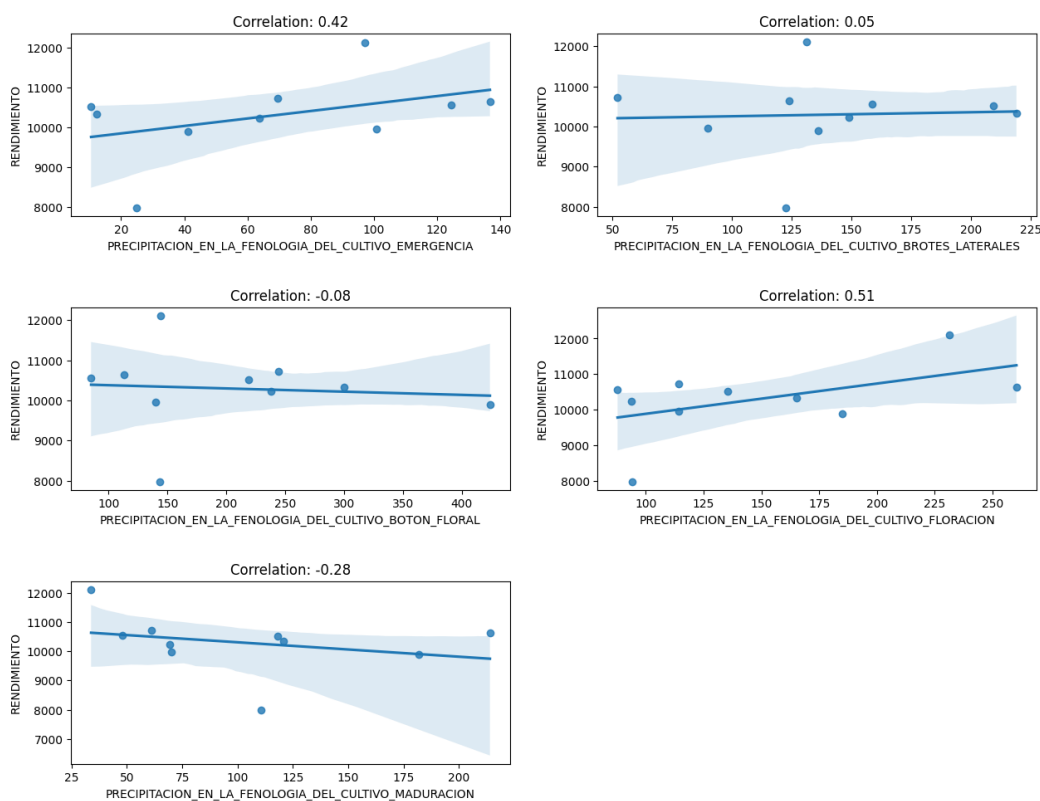
#### **Fase de Maduración:**

Una mayor temperatura máxima durante la fase de Maduración (0.68) se asocia con un aumento en el rendimiento.



**Figura 38**

*Correlación entre precipitación y el rendimiento del cultivo de papa en la provincia de Moho*



**Tabla 66**

*Correlación entre la precipitación y del rendimiento de la producción del cultivo de papa de la provincia de Moho*

Variable Climática	Coefficiente de Correlación
Precipitación en la fenología del cultivo: emergencia	0,42
Precipitación en la fenología del cultivo: brotes laterales	0,05
Precipitación en la fenología del cultivo: botón floral	-0,08
Precipitación en la fenología del cultivo: floración	0,51
Precipitación en la fenología del cultivo: maduración	-0,28

**Análisis de Correlación**

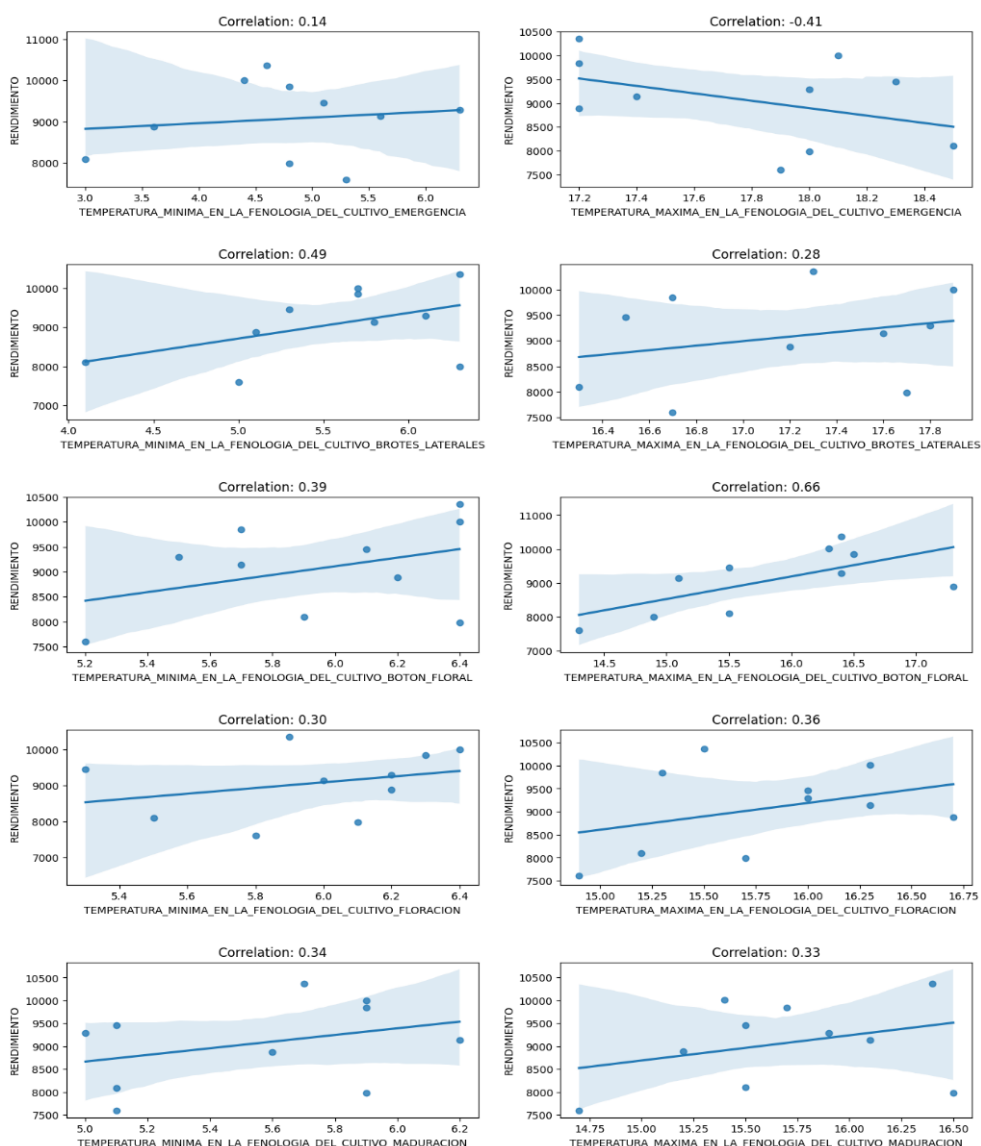
Una mayor precipitación durante la fase Emergencia (0.42) se asocia con un aumento en el rendimiento.

## Anexo 27. Relación de los factores climáticos y el rendimiento del cultivo de papa provincia de Puno

La correlación observada entre las temperaturas en diferentes etapas fenológicas del cultivo y su rendimiento en la producción de papa se presenta en la figura siguiente:

**Figura 39**

*Correlación entre las condiciones climáticas y el rendimiento del cultivo de papa provincia de Puno*



**Tabla 67**

*Correlación de las variables climáticas y del rendimiento de la producción del cultivo de papa de la provincia de Puno*

Variable Climática	Coefficiente de Correlación
Temperatura mínima en la fenología del cultivo: emergencia	0,14
Temperatura máxima en la fenología del cultivo: emergencia	-0,41
Temperatura mínima en la fenología del cultivo: brotes laterales	0,49
Temperatura máxima en la fenología del cultivo: brotes laterales	0,28
Temperatura mínima en la fenología del cultivo: botón floral	0,39
Temperatura máxima en la fenología del cultivo: botón floral	0,66
Temperatura mínima en la fenología del cultivo: floración	0,30
Temperatura máxima en la fenología del cultivo: floración	0,36
Temperatura mínima en la fenología del cultivo: maduración	0,34
Temperatura máxima en la fenología del cultivo: maduración	0,33

### **Análisis de Correlación**

#### **Fase de Emergencia:**

Una mayor temperatura máxima durante la fase de Emergencia (-0.41) se vincula con una reducción en el rendimiento.

#### **Fase de Brotes Laterales:**

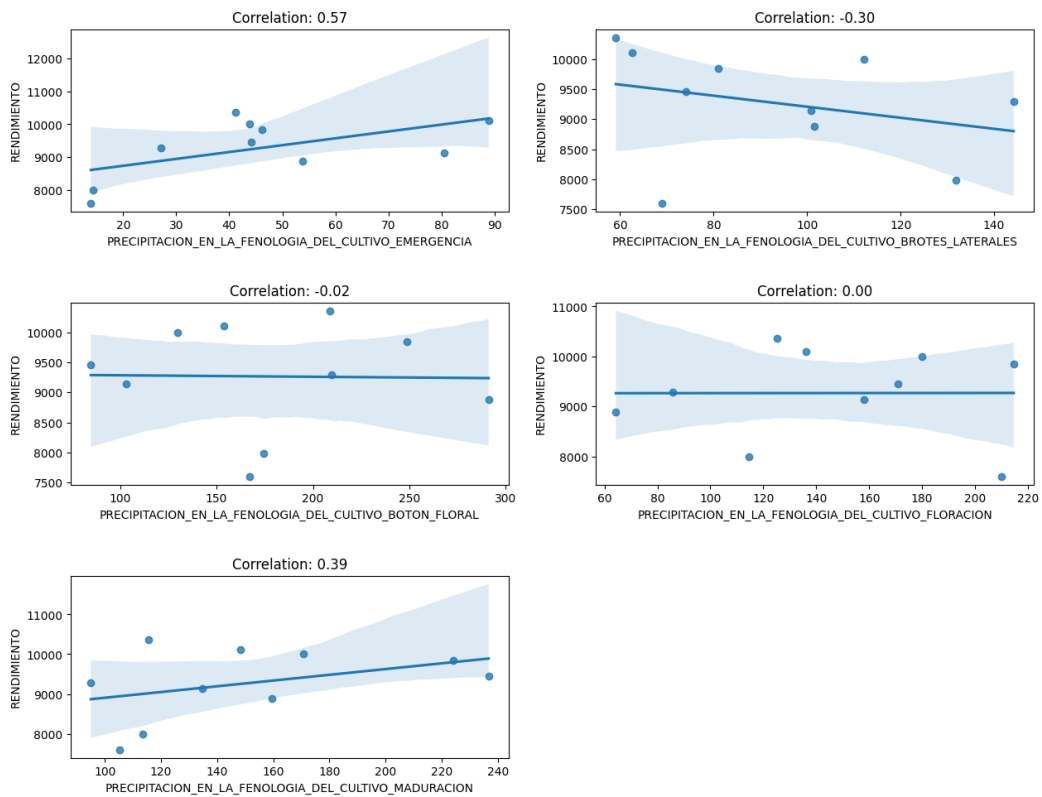
Una mayor temperatura mínima durante la fase de Brotes Laterales (0.49) se asocia con un aumento en el rendimiento.

#### **Fase de Botón Floral:**

Una mayor temperatura máxima durante Botón Floral (0.66) se asocia con un aumento en el rendimiento.

**Figura 40**

*Correlación entre precipitación y el rendimiento del cultivo de papa en la provincia de Puno*



**Tabla 68**

*Correlación entre la precipitación y del rendimiento de la producción del cultivo de papa de la provincia de Puno*

Variable Climática	Coefficiente de Correlación
Precipitación en la fenología del cultivo: emergencia	0,57
Precipitación en la fenología del cultivo: brotes laterales	-0,30
Precipitación en la fenología del cultivo: botón floral	-0,02
Precipitación en la fenología del cultivo: floración	0,00
Precipitación en la fenología del cultivo: maduración	0,39

**Análisis de Correlación**

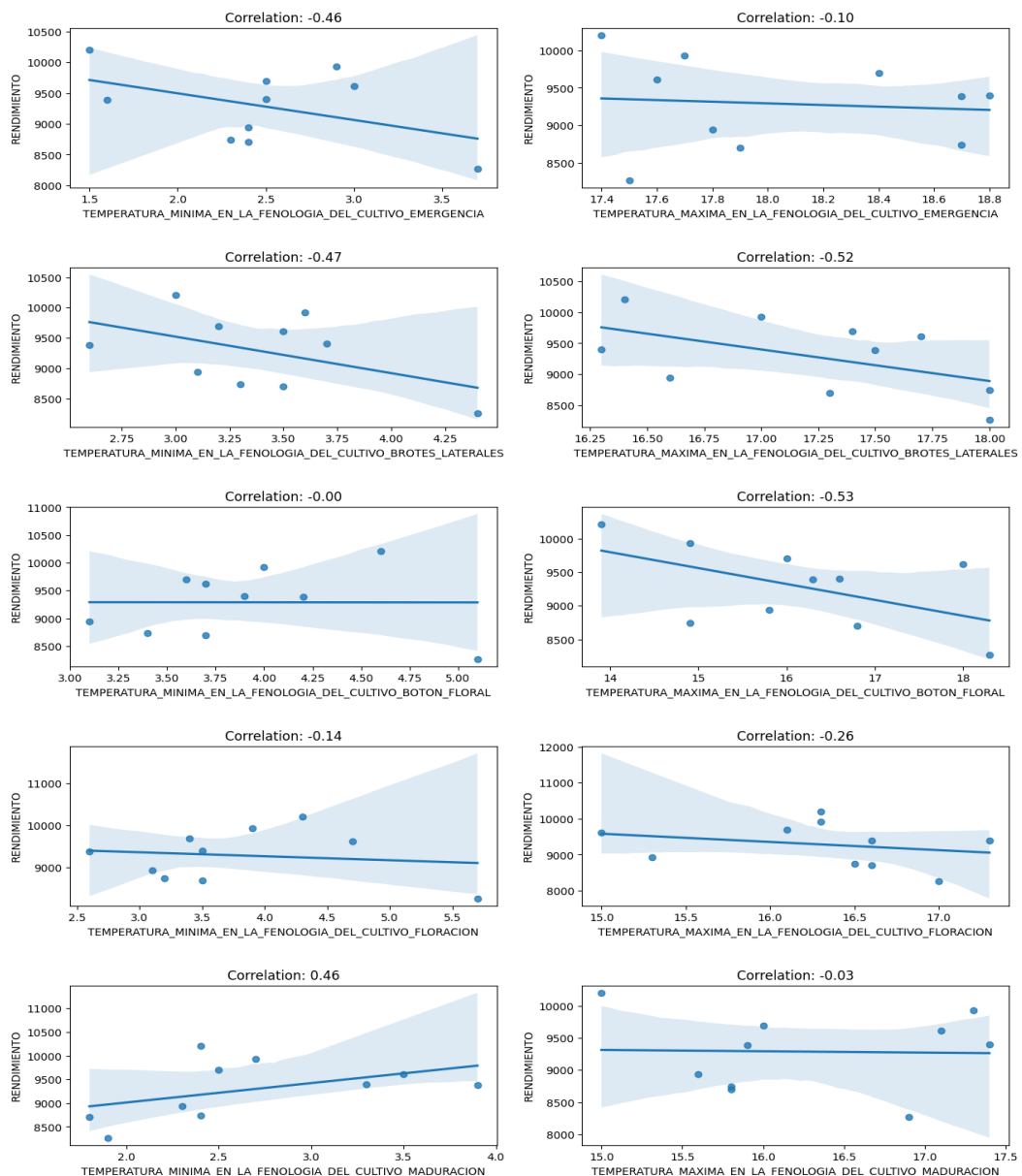
Una mayor precipitación durante la fase Emergencia (0.57) se asocia con un aumento en el rendimiento.

## Anexo 28 Relación de los factores climáticos y el rendimiento del cultivo de papa provincia de San Antonio de Putina

La correlación observada entre las temperaturas en diferentes etapas fenológicas del cultivo y su rendimiento en la producción de papa se presenta en la figura siguiente:

**Figura 41**

*Correlación entre las condiciones climáticas y el rendimiento del cultivo de papa provincia de San Antonio de Putina*



**Tabla 69**

*Correlación de las variables climáticas y del rendimiento de la producción del cultivo de papa de la provincia de San Antonio de Putina*

Variable Climática	Coefficiente de Correlación
Temperatura mínima en la fenología del cultivo: emergencia	-0,46
Temperatura máxima en la fenología del cultivo: emergencia	-0,10
Temperatura mínima en la fenología del cultivo: brotes laterales	-0,47
Temperatura máxima en la fenología del cultivo: brotes laterales	-0,52
Temperatura mínima en la fenología del cultivo: botón floral	0,00
Temperatura máxima en la fenología del cultivo: botón floral	-0,53
Temperatura mínima en la fenología del cultivo: floración	-0,26
Temperatura máxima en la fenología del cultivo: floración	0,36
Temperatura mínima en la fenología del cultivo: maduración	0,46
Temperatura máxima en la fenología del cultivo: maduración	-0,03

### **Análisis de Correlación**

#### **Fase de Emergencia:**

Una mayor temperatura mínima durante la fase de Emergencia (-0.46) se vincula a una reducción en el rendimiento.

#### **Fase de Brotes Laterales:**

Una mayor temperatura mínima durante la fase de Brotes Laterales (-0.47) se relaciona con una reducción en el rendimiento.

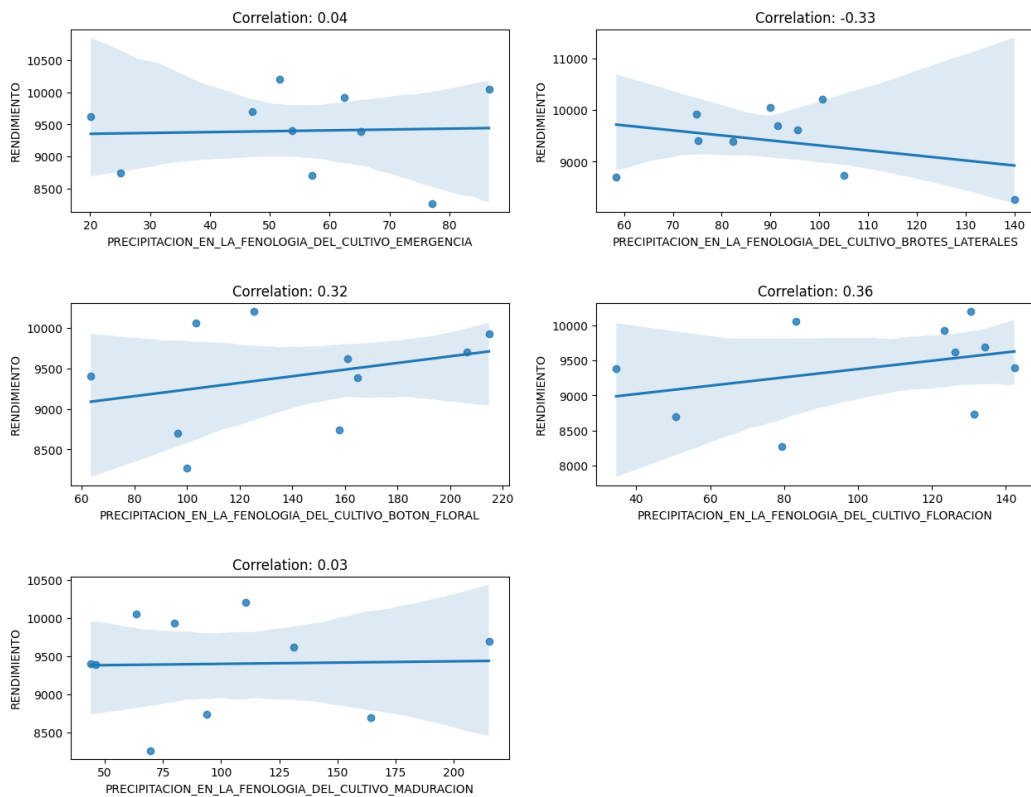
Una mayor temperatura máxima durante la fase de Brotes Laterales (-0.52) se asocia con una disminución en el rendimiento.

#### **Fase de Botón Floral:**

Una mayor temperatura máxima durante Botón Floral (-0.53) se vincula a un descenso en el rendimiento.

**Figura 42**

*Correlación entre precipitación y el rendimiento del cultivo de papa en la provincia de San Antonio de Putina*



**Tabla 70**

*Correlación entre la precipitación y del rendimiento de la producción del cultivo de papa de la provincia de San Antonio de Putina*

Variable Climática	Coefficiente de Correlación
Precipitación en la fenología del cultivo: emergencia	0,04
Precipitación en la fenología del cultivo: brotes laterales	-0,33
Precipitación en la fenología del cultivo: botón floral	0,32
Precipitación en la fenología del cultivo: floración	0,36
Precipitación en la fenología del cultivo: maduración	0,03

**Análisis de Correlación**

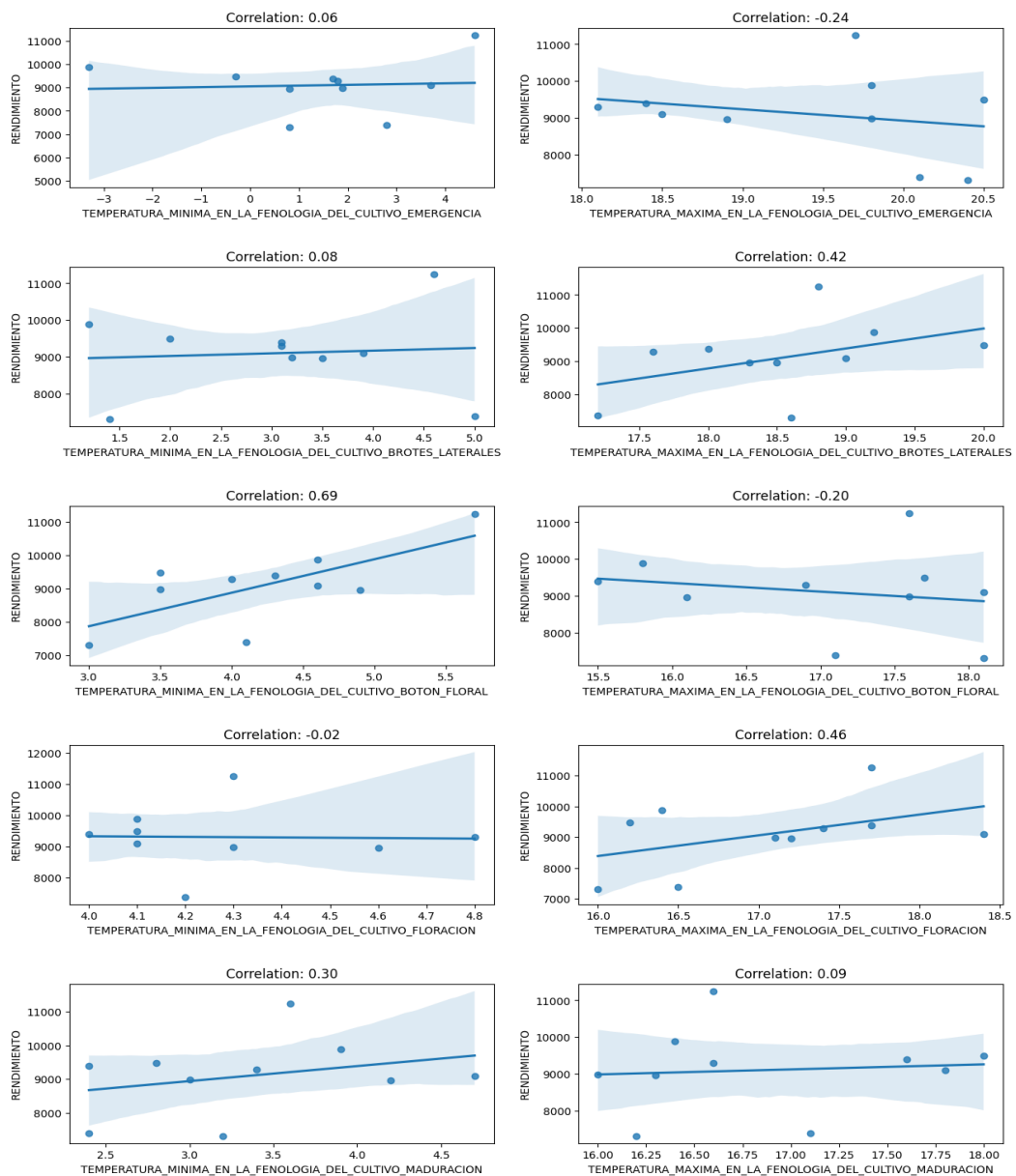
Una mayor precipitación durante la fase Botón Floral y Floración (0.33) se asocia con un incremento sobre el rendimiento.

## Anexo 29 Relación de los factores climáticos y el rendimiento del cultivo de papa provincia de San Román

La correlación observada entre las temperaturas en diferentes etapas fenológicas del cultivo y su rendimiento en la producción de papa se presenta en la figura siguiente:

**Figura 43**

*Correlación entre las condiciones climáticas y el rendimiento del cultivo de papa provincia de San Román*





**Tabla 71**

*Correlación de las variables climáticas y del rendimiento de la producción del cultivo de papa de la provincia de San Román*

Variable Climática	Coefficiente de Correlación
Temperatura mínima en la fenología del cultivo: emergencia	0,06
Temperatura máxima en la fenología del cultivo: emergencia	-0,24
Temperatura mínima en la fenología del cultivo: brotes laterales	0,08
Temperatura máxima en la fenología del cultivo: brotes laterales	0,42
Temperatura mínima en la fenología del cultivo: botón floral	0,69
Temperatura máxima en la fenología del cultivo: botón floral	-0,20
Temperatura mínima en la fenología del cultivo: floración	-0,02
Temperatura máxima en la fenología del cultivo: floración	0,46
Temperatura mínima en la fenología del cultivo: maduración	0,30
Temperatura máxima en la fenología del cultivo: maduración	0,09

### **Análisis de Correlación**

#### **Fase de Brotes Laterales:**

Una mayor temperatura mínima durante la fase de Brotes Laterales (0.42) se asocia con un aumento en el rendimiento.

#### **Fase de Botón Floral:**

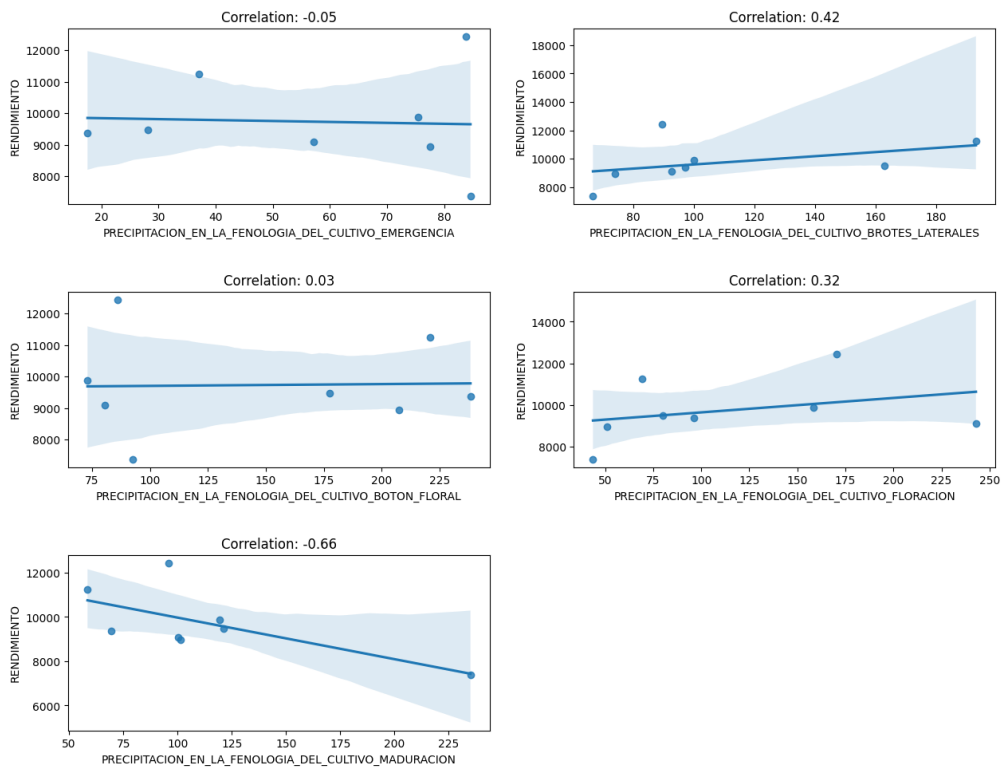
Una mayor temperatura mínima durante Botón Floral (0.69) se asocia con un aumento en el rendimiento.

#### **Fase de Floración:**

Una mayor temperatura máxima durante la fase de Floración (0.46) se asocia con un aumento en el rendimiento.

**Figura 44**

*Correlación entre precipitación y el rendimiento del cultivo de papa provincia de San Román*



**Tabla 72**

*Correlación entre la precipitación y del rendimiento de la producción del cultivo de papa de la provincia de San Román*

Variable Climática	Coefficiente de Correlación
Precipitación en la fenología del cultivo: emergencia	-0,05
Precipitación en la fenología del cultivo: brotes laterales	0,42
Precipitación en la fenología del cultivo: botón floral	0,03
Precipitación en la fenología del cultivo: floración	0,32
Precipitación en la fenología del cultivo: maduración	-0,66

**Análisis de Correlación**

Una mayor precipitación durante la fase Brotes Laterales (0.42) se asocia con un aumento en el rendimiento.

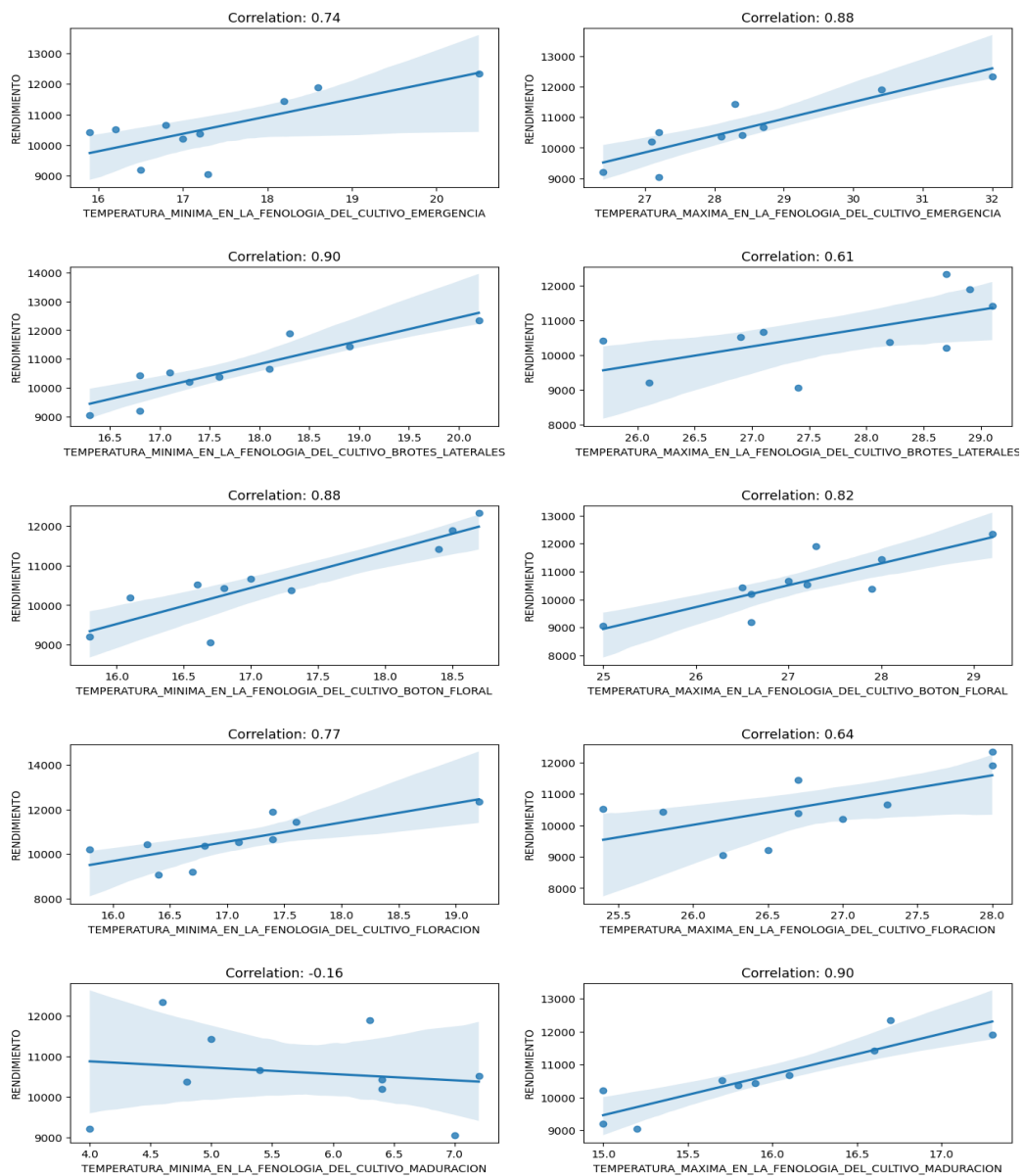
Una mayor precipitación durante la fase Maduración (-0.66) se asocia con una reducción sobre el rendimiento.

## Anexo 30. Relación de los factores climáticos y el rendimiento del cultivo de papa provincia de Sandia

La correlación observada entre las temperaturas en diferentes etapas fenológicas del cultivo y su rendimiento en la producción de papa se presenta en la figura siguiente:

**Figura 45**

*Correlación entre las condiciones climáticas y el rendimiento del cultivo de papa provincia de Sandia*



**Tabla 73**

*Correlación de las variables climáticas y del rendimiento de la producción del cultivo de papa de la provincia de Sandia*

Variable Climática	Coefficiente de Correlación
Temperatura mínima en la fenología del cultivo: emergencia	0,74
Temperatura máxima en la fenología del cultivo: emergencia	0,88
Temperatura mínima en la fenología del cultivo: brotes laterales	0,90
Temperatura máxima en la fenología del cultivo: brotes laterales	0,61
Temperatura mínima en la fenología del cultivo: botón floral	0,88
Temperatura máxima en la fenología del cultivo: botón floral	0,82
Temperatura mínima en la fenología del cultivo: floración	0,77
Temperatura máxima en la fenología del cultivo: floración	0,64
Temperatura mínima en la fenología del cultivo: maduración	-0,16
Temperatura máxima en la fenología del cultivo: maduración	0,90

### **Análisis de Correlación**

#### **Fase de Emergencia:**

Una mayor temperatura mínima durante la fase de Emergencia (0.74) se asocia con un aumento en el rendimiento.

Una mayor temperatura máxima durante la fase de Emergencia (0.88) se asocia con un aumento en el rendimiento.

#### **Fase de Brotes Laterales:**

Una mayor temperatura mínima durante la fase de Brotes Laterales (0.90) se asocia con un aumento en el rendimiento.

Una mayor temperatura máxima durante la fase de Brotes Laterales (0.61) se asocia con un aumento en el rendimiento.

#### **Fase de Botón Floral:**

Una mayor temperatura mínima durante Botón Floral (0.88) se asocia con un aumento en el rendimiento.

Una mayor temperatura máxima durante Botón Floral (0.82) se asocia con un aumento en el rendimiento.

#### **Fase de Floración:**

Una mayor temperatura mínima durante la fase de Floración (0.77) se asocia con un aumento en el rendimiento.

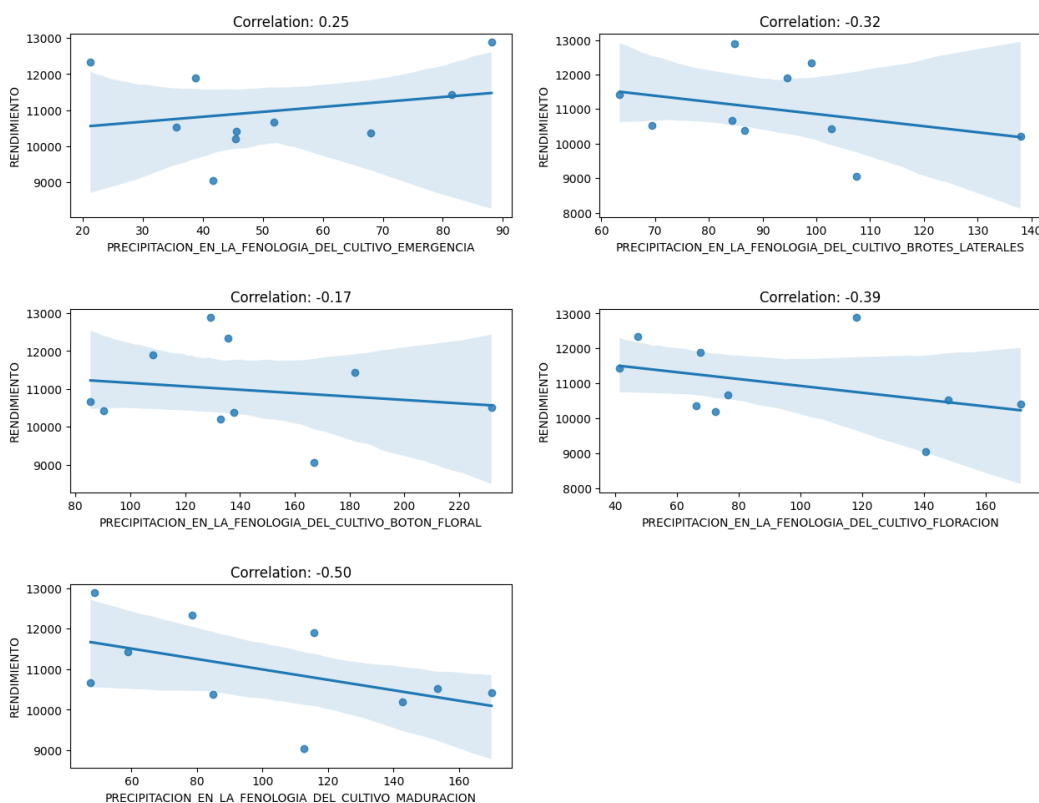
Una mayor temperatura máxima durante la fase de Floración (0.64) se asocia con un aumento en el rendimiento.

**Fase de Brotes Maduración:**

Una mayor temperatura máxima durante la fase de Maduración (0.90) se asocia con un aumento en el rendimiento.

**Figura 46**

*Correlación entre precipitación y el rendimiento del cultivo de papa provincia de Sandia*



**Tabla 74**

*Correlación entre la precipitación y del rendimiento de la producción del cultivo de papa de la provincia de Sandia*

Variable Climática	Coficiente de Correlación
Precipitación en la fenología del cultivo: emergencia	0,25
Precipitación en la fenología del cultivo: brotes laterales	-0,32
Precipitación en la fenología del cultivo: botón floral	-0,17
Precipitación en la fenología del cultivo: floración	-0,39
Precipitación en la fenología del cultivo: maduración	-0,50



### **Análisis de Correlación**

Una mayor precipitación durante la fase Brotes Laterales y floración (-0.32 y -0.39) se vincula a un descenso en el rendimiento.

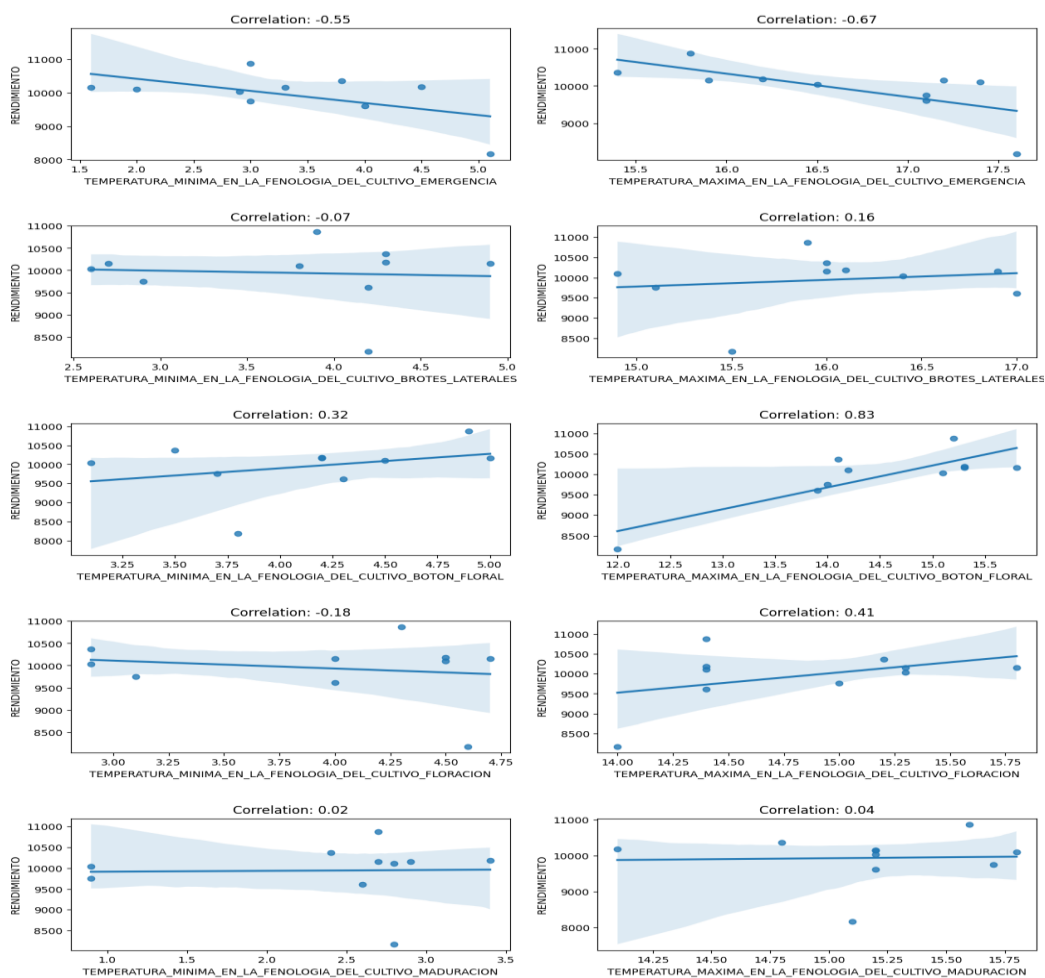
Una mayor precipitación durante la fase Maduración (-0.50) se relaciona con una reducción en el rendimiento.

## Anexo 31. Relación de los factores climáticos y el rendimiento del cultivo de papa provincia de Yunguyo

La correlación observada entre las temperaturas en diferentes etapas fenológicas del cultivo y su rendimiento en la producción de papa se presenta en la figura siguiente:

**Figura 47**

*Correlación entre las condiciones climáticas y el rendimiento del cultivo de papa provincia de Yunguyo*



**Tabla 75**

*Correlación de las variables climáticas y del rendimiento de la producción del cultivo de papa de la provincia de Yunguyo*

Variable Climática	Coefficiente de Correlación
Temperatura mínima en la fenología del cultivo: emergencia	-0,55
Temperatura máxima en la fenología del cultivo: emergencia	-0,67
Temperatura mínima en la fenología del cultivo: brotes laterales	-0,07
Temperatura máxima en la fenología del cultivo: brotes laterales	0,16
Temperatura mínima en la fenología del cultivo: botón floral	0,32
Temperatura máxima en la fenología del cultivo: botón floral	0,83
Temperatura mínima en la fenología del cultivo: floración	-0,18
Temperatura máxima en la fenología del cultivo: floración	0,41
Temperatura mínima en la fenología del cultivo: maduración	0,02
Temperatura máxima en la fenología del cultivo: maduración	0,04

### **Análisis de Correlación**

#### **Fase de Emergencia:**

Una mayor temperatura mínima durante la fase de Emergencia (-0,55) se vincula con un descenso en el rendimiento.

Una mayor temperatura máxima durante la fase de Emergencia (-0.67) se relaciona con una reducción en el rendimiento.

#### **Fase de Botón Floral:**

Una mayor temperatura máxima durante Botón Floral (0.83) se asocia con un aumento en el rendimiento.

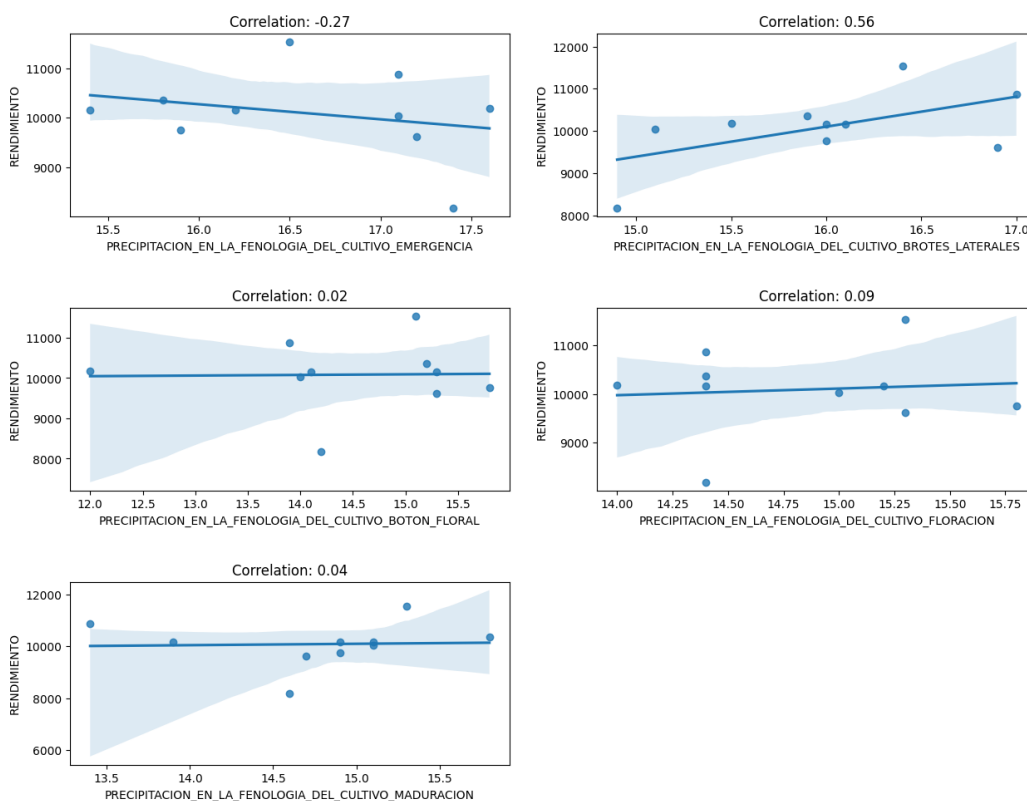
#### **Fase de Floración:**

Una mayor temperatura máxima durante la fase de Floración (0.41) se asocia con un aumento en el rendimiento.



**Figura 48**

*Correlación entre precipitación y el rendimiento del cultivo de papa provincia de Yunguyo*



**Tabla 76**

*Correlación entre la precipitación y del rendimiento de la producción del cultivo de papa de la provincia de Yunguyo*

Variable Climática	Coefficiente de Correlación
Precipitación en la fenología del cultivo: emergencia	-0,27
Precipitación en la fenología del cultivo: brotes laterales	0,56
Precipitación en la fenología del cultivo: botón floral	0,02
Precipitación en la fenología del cultivo: floración	0,09
Precipitación en la fenología del cultivo: maduración	0,04

**Análisis de Correlación**

Una mayor precipitación durante la fase Brotes Laterales (0,56) se asocia con un aumento en el rendimiento.



Universidad Nacional del  
Altiplano Puno



Vicerrectorado de  
Investigación



Repositorio  
Institucional

## AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo **WILBER ANTONIO FIGUEROA QUISPE** identificado(a) con N° DNI: **41019854**, en mi condición de egresado(a) del Programa de Maestría o Doctorado: **DOCTORADO EN CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE**, informo que he elaborado la tesis denominada:

**“EFECTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA PRODUCCIÓN DE PAPA EN LA REGIÓN PUNO, PERIODO 2000 - 2022”.**

para la obtención de  Grado.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los “Contenidos”) que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexas, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno, 11 de Octubre del 2024.

  
FIRMA (Obligatorio)



Huella



## DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo **WILBER ANTONIO FIGUEROA QUISPE** identificado(a) con N° DNI: **41019854** en mi condición de egresado(a) del:  
**DOCTORADO EN CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE**  
con código de matrícula N° 143790, informo que he elaborado la tesis denominada:  
**“EFECTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA PRODUCCIÓN DE PAPA EN LA REGIÓN PUNO, PERIODO 2000 - 2022”**.

Es un tema original.


Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y no existe plagio/copia de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno, 11 de Octubre del 2024.

  
FIRMA (Obligatorio)  
Huella