

# El cambio climático afecta a la producción de la cebada grano en la región Puno-Perú

## *Climate change on the production of barley grain in the Puno-Peru region*

Flavia Lucía Quilca-Parillo<sup>1</sup>, Maribel Cruz-Escobar<sup>1</sup>,  
Juan Inquilla-Mamani<sup>1\*</sup>, Peregrino Melitón López-Paz<sup>1</sup>

### RESUMEN

En la región de Puno, Perú, el cambio climático afecta a la actividad agrícola ya que esta depende principalmente de las variaciones de la temperatura y la precipitación. El objetivo de la investigación es determinar el impacto del cambio climático en la producción y rendimiento de la cebada grano en Puno. La metodología utilizada fue la función de regresión lineal múltiple basada en mínimos cuadrados ordinarios para explicar el rendimiento y la producción de la cebada grano bajo condiciones del cambio climático. Los datos se obtuvieron del Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI) y del Servicio Nacional de Meteorología (SENAMHI) del Perú, correspondientes a los años 1965-2020. Para estimar el impacto del cambio climático se utilizaron como variables independientes la temperatura máxima (Tmax), temperatura mínima (Tmin) y precipitación pluvial (Ppvl), mientras que las variables de efecto son la producción y el rendimiento de la cebada grano. Los resultados indican que el rendimiento de la cebada grano en la región está determinado por los cambios climáticos en un 30%. La estimación para la producción de la cebada grano en la región de Puno permite afirmar que las variables climáticas temperatura máxima (Tmax), precipitación pluvial (Ppvl) y precipitación pluvial al cuadrado (Ppvl<sup>2</sup>) explican la producción del cultivo en un 46,97%.

**Palabras clave:** cambio climático, temperatura máxima, temperatura mínima, producción y rendimiento.

### ABSTRACT

*In the Puno region, climate change affects agricultural activity since it depends mainly on variations in temperature and precipitation. The objective of the research is to determine the impact of climate change on the production and yield of barley grain in the Puno region. The methodology used was the method of the multiple linear regression function based on Ordinary Least Squares to explain the yield and production of barley grain under conditions of climate change in the Puno region, the data were extracted from the Ministry of Agriculture and Irrigation (MINAGRI) and the National Meteorology Service (SENAMHI) of Peru, corresponding between the years 1965 to 2020. To estimate the impact of climate change, the maximum temperature (Tmax), minimum temperature (Tmin) and rainfall (Ppvl) and the effect variables are the production and yield of the barley grain. The results indicate that, the yield of the barley grain in the Puno region is determined by the climatic changes in 30%. While the estimate for the production of barley grain in the Puno region that can state that the climatic variables maximum temperature (Tmax), rainfall (Ppvl) and rainfall squared (Ppvl<sup>2</sup>) explain the production of barley grain in a 46.97%.*

**Keywords:** climate change, maximum temperature, minimum temperature, production and yield

### Introducción

El cambio climático es un fenómeno que representa uno de los grandes retos del siglo XXI y que es causado principalmente por las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), especialmente dióxido de carbono y metano producido por el uso de combustibles fósiles y procesos derivados (Galindo *et al.*, 2015). Según CEREM (2018), en los últimos

años, los efectos del calentamiento del planeta son visibles: entre 1880 y 2015 la temperatura global de la Tierra aumentó 1 °C, y durante el siglo pasado, la temperatura de la superficie oceánica se incrementó en alrededor de 0,1 °C, lo que ha significado un aumento del nivel del mar de 19 cm entre 1901 y 2010. Así, en lo que va del siglo XXI la temperatura promedio global se ha elevado en 0,65 °C respecto a la temperatura promedio de la primera mitad del

<sup>1</sup> Universidad Nacional del Altiplano de Puno. Puno, Perú.

\* Autor por correspondencia: jinquilla@unap.edu.pe

siglo XX (Vargas, 2009). Asimismo, la actividad agrícola sería insostenible con temperaturas mayores que las actuales, lo que afectaría al umbral térmico de las plantas, creando problemas en los cultivos (Yabar, 2005). Como señala Cline (2007), para el decenio de 2080 los efectos del cambio climático serán más severos en los países de América Latina, debido a la limitada capacidad de mitigación y adaptabilidad al cambio climático, donde la productividad agrícola se reduce en 24% sin fertilización carbónica y 3% con fertilización carbónica. También Seo *et al.* (2005) advierten que los productores grandes y pequeños perderán hasta el 25% del valor de su flujo de ingresos para 2060. El porcentaje se incrementa hasta en 50% en el escenario climático más severo correspondiente a 2100.

El Perú se encontraría entre los diez países más vulnerables ante eventos climáticos junto con Honduras, Bangladesh y Venezuela. La nación andina muestra una gran vulnerabilidad ante variaciones climáticas drásticas, y evidencia de ello son las pérdidas económicas que implicaron fenómenos como El Niño y La Niña. La región de Puno, ubicada en el Altiplano peruano, es considerada una de las zonas más sensibles y perturbadas por la variabilidad climática global (Sanabria *et al.*, 2009). También es catalogada como el tercer departamento más pobre del Perú, que depende principalmente de la actividad agropecuaria aportando a la economía local un 68.3% (INEI, 2018).

En esta región el cambio climático, que es medido por temperaturas extremas máximas y mínimas, afecta directamente a la producción agropecuaria generando impactos en las diversas actividades económicas como la agricultura y ganadería en distintas zonas. Por lo tanto, es un problema importante por resolver. Las temperaturas extremas máximas y mínimas en la región durante el período 1965-2014 variaron 1,06 °C y 1,42 °C, respectivamente. Este cambio de las temperaturas ha traído efectos negativos en la agricultura (Carrasco, 2016), debido a que los productos agrícolas tienen márgenes apropiados de temperatura y precipitación en diferentes períodos de desarrollo del cultivo. El cambio climático impacta en la agricultura por la incidencia de las variables climáticas: temperatura, precipitación, horas de sol, velocidad del viento, humedad, heladas, granizo, sequía, entre otras (Torres, 2010).

Por ello, nace la necesidad de realizar investigaciones que puedan ser utilizadas por diversas

instituciones públicas y privadas, a fin de tomar medidas preventivas y de adaptación a este fenómeno global y su impacto en la producción agrícola. En este sentido, en la investigación se hacen las estimaciones del impacto del cambio climático sobre la producción de cebada grano, que es el tercer producto con mayor importancia en la región y del cual se favorecen económicamente miles de familias (MINAGRI, 2019). Finalmente, el objetivo del estudio es determinar el efecto del cambio climático en el rendimiento y producción de la cebada grano en la región de Puno.

## Materiales y métodos

El diseño de investigación es de tipo no experimental longitudinal o evolutivo con el propósito de analizar cambios a través del tiempo de la variable de estudio mediante el diseño de tendencia (Hernández-Sampiere, 2014). Dentro de este diseño se consideran las variables que serán analizadas permitiendo establecer una relación de causa-efecto entre ellas.

## Fuentes de información

Para el desarrollo de esta investigación se utilizó información estadística extraída de la página web oficial del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) para las variables climáticas y del Ministerio de Agricultura (MINAGRI) para las variables producción y rendimiento de la cebada grano en Puno. Para la obtención de información, el SENAMHI pone a disposición de los investigadores una base de datos procesada de las variables climáticas. Esta recolección se hace mediante un equipo denominado estación meteorológica, que captura información del medio ambiente mediante sensores que detectan la temperatura, humedad relativa, velocidad del viento y precipitaciones. Posteriormente los datos son almacenados en un equipo de cómputo (SENAMHI, 2019).

## Población y muestra

### Población

La población está constituida por la serie histórica de datos de la caída de producción, con información longitudinal que muestra la evolución

en el tiempo de las variables estudiadas: producción de la cebada grano, rendimiento de la cebada grano, precipitación pluvial, temperatura máxima y temperatura mínima.

### Muestra

El tamaño de la muestra para la investigación fue de un total de 55 observaciones de los datos de disminución del calentamiento global anuales que comprenden los años de 1965 a 2019, y que fueron tomados de la base de datos del SENAMHI para las variables climáticas y de MINAGRI para las variables producción y rendimiento de la cebada grano en Puno.

### Metodología de estimación: mínimos cuadrados ordinarios (MCO)

Este método minimiza la suma de las distancias verticales entre las respuestas observadas en la muestra y las respuestas del modelo MCO. En un modelo de regresión lineal múltiple la variable de respuesta es una función lineal de  $p$  variables explicativas:

$$R_{\text{cebadag}} = \beta_0 + \beta_1 P_{\text{pyl}} + \beta_2 T_{\text{max}} + \beta_3 T_{\text{min}} + u \quad (1)$$

El modelo de regresión lineal múltiple nos permite explicar relaciones de producción y rendimiento de la cebada grano en las que intervienen más de dos variables ( $P_{\text{pyl}}$ ,  $T_{\text{max}}$  y  $T_{\text{min}}$ ) como consecuencia del cambio climático en la región.

$$Y_t = \beta_0 + \beta_{1x1} + \beta_{2x2} + \beta_{3x3} + \beta_{4x4} + u, \quad (2)$$

Donde:

$Y_t$  = representa el rendimiento de la producción de la cebada grano periodo (1965-2020).

$\beta_0$  = representa el rendimiento de la cebada cuando no hay influencia de otros factores.

$\beta_1$  = representa las temperaturas máximas (medido en grados Celsius).

$\beta_2$  = representa las temperaturas mínimas.

$\beta_3$  = representa las precipitaciones máximas (mm).

$\beta_4$  = representa las precipitaciones mínimas.

$u$  = término de error.

### Resultados y discusión

Para el desarrollo de la investigación se utilizan modelos estadísticos (MCO) a fin de verificar el efecto del cambio climático en el rendimiento y producción de la cebada grano en la región de Puno. Se presentan las estadísticas descriptivas de las variables utilizadas y los resultados de la estimación inferencial.

#### Comportamiento de la temperatura máxima / mínima y precipitaciones en la región Puno

La Figura 1 muestra la evolución de la temperatura máxima con intervalos anuales para los años 1965 a 2019, donde claramente se observa un comportamiento creciente en los últimos años respecto a períodos anteriores.

La Figura 2 explica la evolución de la temperatura mínima en el periodo de estudio. Se

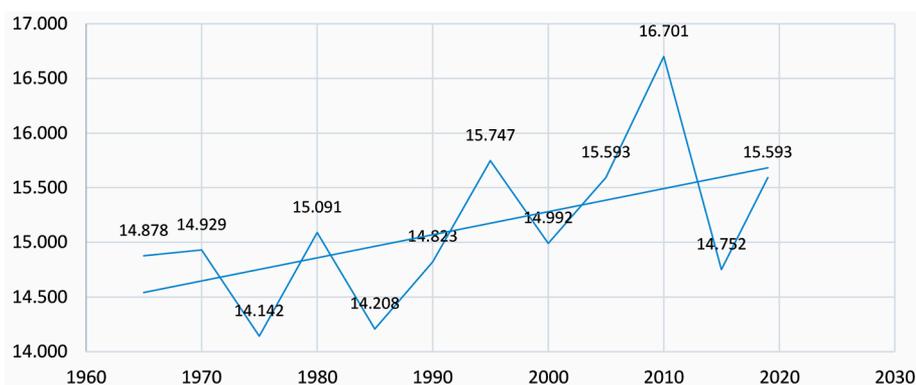


Figura 1. Temperatura máxima (°C) en la región - Puno.

Fuente: Elaboración propia con base en datos de SENAMHI 2020.

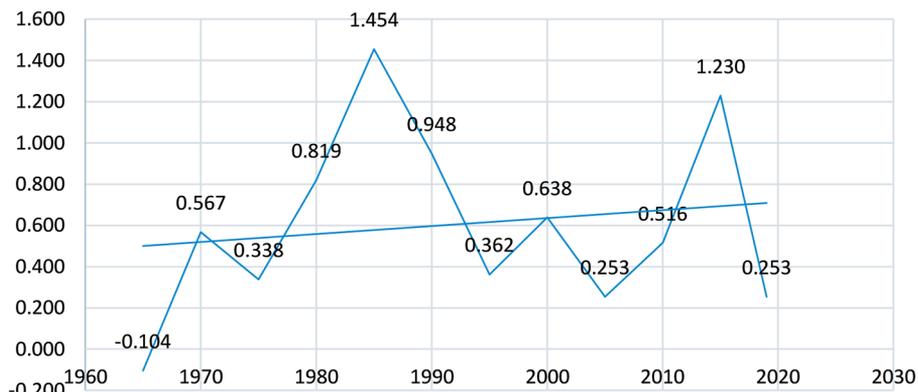


Figura 2. Temperatura mínima (°C) en la región - Puno.  
Fuente: Elaboración propia con base en datos de SENAMHI (2019).

observa que en los últimos años la temperatura mínima se ha incrementado significativamente. Los estudios realizados sobre el cambio climático por lo general coinciden con los resultados hallados en esta investigación. Como sostienen Silva y Mendoza (2021), el cambio climático afecta directamente a la producción agrícola generando sequías prolongadas por el incremento de la temperatura.

La Figura 3 muestra la evolución de la precipitación pluvial para los años 1965 a 2019. Se observa que la precipitación se mantiene casi constante a través de los años ubicándose en un promedio de 2.01 mm. Al respecto, Schlenker y Roberts (2008) al estudiar las variables climáticas como temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación, predicen que los rendimientos promedio ponderados por área dadas las regiones de crecimiento actuales disminuirán en un 31-43% en el escenario de calentamiento más lento y en

un 67-79% en el escenario de calentamiento más rápido para fines de siglo.

Parmesan, Root y Willig (2000) sostienen que el clima es un impulsor de los sistemas bióticos. Afecta la aptitud individual, la dinámica de la población, la distribución y abundancia de especies, y la estructura y función del ecosistema. La variación regional en los regímenes climáticos crea presiones selectivas para la evolución de fisiologías adaptadas localmente, adaptaciones morfológicas (por ejemplo, patrones de color, texturas superficiales, formas y tamaños corporales) y adaptaciones de comportamiento (por ejemplo, estrategias de alimentación y sistemas de reproducción). En ausencia de seres humanos, las consecuencias a largo plazo y a gran escala del calentamiento climático sobre los organismos silvestres son generalmente predecibles.

Según estudios realizados por Nelson *et al.* (2009), la agricultura es extremadamente vulnerable

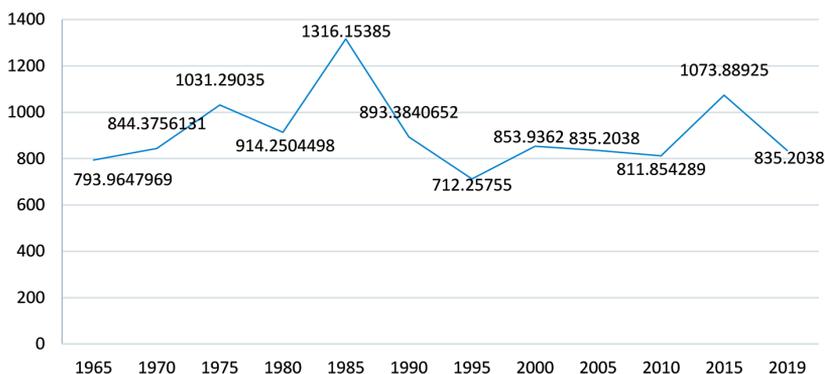


Figura 3. Precipitación pluvial (mm) en la región Puno.  
Fuente: Elaboración propia con base en datos de SENAMHI-2020.

al cambio climático, por lo tanto, el aumento de las temperaturas termina por reducir la producción de los cultivos deseados, a la vez que provoca la proliferación de malas hierbas y plagas. Asimismo, los cambios en los regímenes de lluvias incrementan las probabilidades de pérdidas de las cosechas a corto plazo y de reducción de la producción a largo plazo. En consecuencia, probablemente las más afectadas sean las poblaciones de los países en vías de desarrollo, desde ya vulnerables y presas de la inseguridad alimentaria (Banco *et al.*, 2014).

Schlenker y Roberts (2008) encontraron que los rendimientos aumentan en temperaturas hasta alrededor de 29 °C para el maíz, 30 °C para la soja y 32 °C para el algodón, pero las temperaturas por encima de estos umbrales se vuelven muy dañinas. La pendiente del declive por encima del óptimo es significativamente más pronunciada que la pendiente por debajo. Se observa la misma relación asimétrica y no lineal si consideramos series de tiempo o variaciones transversales en el clima y los rendimientos. Esto sugiere un potencial limitado de adaptación dentro de las especies de cultivos porque la última incluye las adaptaciones de los agricultores a climas más cálidos y la primera no. Se predice que los rendimientos promedio ponderados por área dadas

las regiones de crecimiento actuales disminuirán en un 31-43% en el escenario de calentamiento más lento y en un 67-79% en el escenario de calentamiento más rápido para fines de siglo.

### Cambio climático e impacto en el rendimiento de la cebada en la región Puno

Para un total de 55 observaciones en el período anual de 1965 a 2019 se muestran los resultados en la Tabla 1, para las variables analizadas en el modelo: producción de cebada grano (toneladas), rendimiento de cebada grano (kilogramos/hectárea), precipitación pluvial (milímetros), temperatura máxima (grados centígrados y temperatura mínima (grados centígrados). En la región la producción promedio de la cebada grano es 16.566 toneladas por año, con un rendimiento o productividad de 830,72 kg/ha. Asimismo, se observa que la precipitación (mm) es en promedio (Ppvl = 904,26). En cuanto a las temperaturas máximas y mínimas, se evidencia una variación muy significativa (Tmax=15,10 °C y Tmin = 0,60 °C, respectivamente).

La Figura 4 explica la evolución del rendimiento de la cebada grano para la región de Puno medido

Tabla 1. Cambio climático e impacto en el rendimiento de la cebada en la región Puno.

Lista de variables	Abreviatura	Obs.	Media	Desv. Est.	Mínimo	Máximo
Producción de cebada grano (t)	pcebadag	55	16.566,12	8.013,48	3.340,00	30.018,00
Rendimiento de cebada grano (kg/ha)	rcebadag	55	830,72	237,59	372,00	1.176,00
Precipitación (mm)	Ppvl	55	904,26	142,58	650,16	1.451,58
Temperatura máxima (°C)	Tmax	55	15,10	0,58	14,14	16,71
Temperatura mínima (°C)	Tmin	55	0,60	0,46	-0,37	1,82

Fuente: Elaboración propia con base en información estadística de SENAMHI Y MINAGRI 2019.

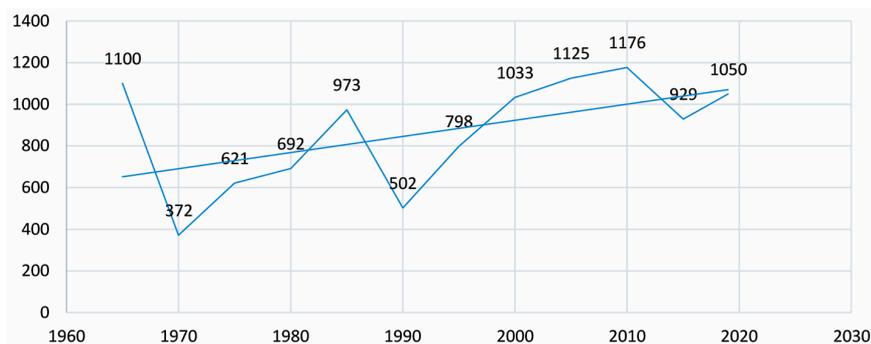


Figura 4. Rendimiento de la cebada grano (kg/ha) en la región Puno.

Fuente: Elaboración propia con base en MINAGRI 2020.

en kilogramos/hectárea. Se observa un creciente rendimiento en los últimos años, debido al comportamiento favorable de las temperaturas máximas y mínimas en la región. Según Carrasco (2016), la variable temperatura máxima tiene un efecto significativo negativo sobre la producción de quinua en Juli. De este modo, al elevarse en 1 °C la temperatura máxima, la producción de quinua se reduce en 112,2 TM.

En la Tabla 2 se muestran las correlaciones de las variables, donde el rendimiento de la cebada grano (Rcebadag) guarda una relación positiva con la precipitación pluvial (Ppvl), una relación directa con la temperatura mínima (Tmin) y también una relación directa con la temperatura máxima (Tmax). Al respecto, Ortiz (2012) sostiene que el cambio climático agrega una nueva amenaza a los medios de subsistencia en las zonas rurales (particularmente en lo tocante a la subsistencia del pequeño productor), dado que afecta el crecimiento económico y las iniciativas para reducir la pobreza. Por lo tanto, pone en riesgo muchos de los logros obtenidos en las últimas décadas en materia de desarrollo en la región de América Latina y el Caribe. Asimismo, Tonconi (2015) al proyectar las tendencias de las pérdidas por efecto del cambio climático al 2035, considerando una tasa de descuento de 2% en el escenario más severo, resalta que las pérdidas acumuladas ocasionadas por el cambio climático sobre la agricultura alimentaria ascienden a 0,58% del PIB Puno 2010, que equivale aproximadamente a 20 millones de dólares americanos.

Los resultados para esta sección se determinan haciendo la relación existente entre la temperatura atmosférica y el rendimiento de la cebada grano en la región de Puno. Para este análisis se usa la metodología de mínimos cuadrados ordinarios (MCO), que calcula el efecto de la temperatura atmosférica sobre el rendimiento. Para llegar al resultado se emplea una función de producción

de segundo grado, donde sus determinantes son la temperatura máxima, temperatura mínima y la precipitación pluvial en el período de análisis.

Partiendo de una función de producción polinómica de segundo grado, el modelo planteado para el análisis de rendimiento de la cebada grano es el siguiente:

$$Rcebadag_t = \alpha_0 + \alpha_1 T_{max_t} + \alpha_2 T_{max_t}^2 + \alpha_3 T_{min_t} + \alpha_4 T_{min_t}^2 + \alpha_5 Ppvl_t + \alpha_6 Ppvl_t^2 + \epsilon_t \quad (3)$$

Donde *t* representa los años de estudio (1965 - 2014), Rcebadag<sub>t</sub> es el rendimiento de la cebada grano (kg/ha), T<sub>max<sub>t</sub></sub> es la temperatura máxima (°C), T<sub>min<sub>t</sub></sub> es la temperatura mínima (°C), Ppvl<sub>t</sub> es la precipitación pluvial, ε<sub>t</sub> es el término error (efectos no observables) y finalmente α<sub>0</sub>,..., α<sub>6</sub> son los parámetros del modelo.

Para analizar el efecto de cada variable climática se estiman los siguientes modelos para el rendimiento de la cebada grano:

$$Rcebadag_t = \beta_0 + \beta_1 T_{max_t} + \beta_2 T_{max_t}^2 + \mu_t \quad (4)$$

$$Rcebadag_t = \beta_0 + \beta_1 T_{min_t} + \beta_2 T_{min_t}^2 + \mu_t \quad (5)$$

$$Rcebadag_t = \beta_0 + \beta_1 Ppvl_t + \beta_2 Ppvl_t^2 + \mu_t \quad (6)$$

Los resultados de las estimaciones que se muestran en la Tabla 3 expresan los diferentes modelos con la metodología de mínimos cuadrados ordinarios. El modelo 1 muestra los efectos de la temperatura máxima sobre el rendimiento de la cebada grano, y sus coeficientes son estadísticamente no significativos. El modelo 2 presenta los efectos de la temperatura mínima sobre el rendimiento de la cebada grano, los cuales son no significativos. El modelo 3 expone los efectos de la precipitación pluvial sobre el rendimiento de la cebada grano, que son no significativos. De las estimaciones, el modelo que mejor explica los rendimientos de la cebada grano es el 5, debido a que tiene un valor del estadístico de Akaike (AIC) de 13.5147 y del estadístico de Schwartz (SC) de 13.6294, que son los valores mínimos de los modelos estimados.

Además, las variables explicativas consideradas son estadísticamente significativas. El efecto de la temperatura máxima (Tmax) con un valor de 177,73 es significativo al 1% de significancia, debido a que su valor de probabilidad es menor

Tabla 2. Correlaciones de las variables de estudio.

	pcebadag	rcebadag	ppvl	tmin	tmax
Pcebadag	1,000				
Rcebadag	0,930	1,000			
Ppvl	0,015	0,022	1,000		
Tmin	0,348	0,340	0,491	1,000	
Tmax	0,509	0,450	-0,539	0,044	1,000

Fuente: Elaboración propia con base en información estadística de SENAMHI Y MINAGRI 2019.

Tabla 3. Estimaciones de rendimiento de cebada grano en la región Puno.

Variables	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4	Modelo 5
Tmax	951,6669 (0,637)			1609,445 (0,401)	177,7313** (0,000)
Tmax <sup>2</sup>	-25,11075 (0,703)			-43,63543 (0,483)	
Tmin		210,0537 (0,194)		-41,42311 (0,793)	166,2336* (0,011)
Tmin <sup>2</sup>		-25,58703 (0,813)		96,97284 (0,341)	
Ppvl			0,953397 (0,522)	3,33318 (0,056)	
Ppvl <sup>2</sup>			-0,000455 (0,614)	-0,00141 (0,088)	
Constante	-7804,701 (0,613)	719,4803** (0,000)	349,9468 (0,384)	-15371,39 (0,297)	-1951,661* (0,012)
Variable dependiente: Rcebadag					
R <sup>2</sup>	0,2046	0,1169	0,0059	0,3836	0,3052
R <sup>2</sup> ajustado	0,1708	0,0793	-0,0364	0,2976	0,2756
F-statistic	6,0457	3,1105	0,1400	4,4599	10,3216
Prob (F-statistic)	0,0046	0,0539	0,8697	0,0014	0,0002
AIC	13,6499	13,7545	13,8729	13,5549	13,5147
SC	13,7646	13,8692	13,9876	13,8226	13,6294
DW-statistic	0,9104	0,4517	0,4136	0,9020	0,9780

\* Indica significancia estadística al 5%.

\*\* Indica significancia estadística al 1%.

Fuente: Elaboración propia con base en información estadística de SENAMHI Y MINAGRI 2020.

que este valor (Prob = 0,000 < 0,01). La variable temperatura mínima (Tmin) tiene un efecto de 166,23 sobre el rendimiento de la cebada grano y es significativa al 5% de significancia, debido a que su valor de probabilidad es menor que este valor (Prob = 0,011 < 0,05). Según estos resultados de la estimación para el rendimiento de la cebada grano en la región de Puno, se puede afirmar que las variables climáticas temperatura máxima (Tmax) y temperatura mínima (Tmin) explican el rendimiento del cultivo en un 30,52%.

### Cambio climático e impacto en la producción de la cebada en la región Puno

El Perú, por ubicarse debajo de la línea del Ecuador y por el movimiento de la Tierra de oeste a este, sería uno de los países más afectados por el cambio climático a nivel mundial y en especial la zona sur, donde se encuentra la región de Puno. El cambio climático traería

consecuencias en el cultivo (Rodríguez De Luque, González\_Rodríguez, Gourdji, Mason-D'Croz, Obando-Bonilla, Mesa-Diez y Prager, 2016) de diversos productos andinos, debido a que afecta especialmente a las variables de temperatura y precipitación pluvial. Por otra parte, Laurente y Mamani (2002) al estudiar el impacto de las variables climáticas en la producción de la quinua en Puno señalan que el cultivo se vería afectado en las próximas décadas especialmente en el uso de tierras y el recurso hídrico, debido al cambio climático. La Figura 5 muestra la producción de cebada grano en hectáreas para la región de Puno, que en los últimos años presenta un comportamiento creciente.

Para la producción de cebada grano se sigue el modelo siguiente:

$$P_{cebadag_t} = \alpha_0 + \alpha_1 T_{max_t} + \alpha_2 T_{max_t}^2 + \alpha_3 T_{min_t} + \alpha_4 T_{min_t}^2 + \alpha_5 P_{pvl_t} + \alpha_6 P_{pvl_t}^2 + \varepsilon_t \quad (7)$$

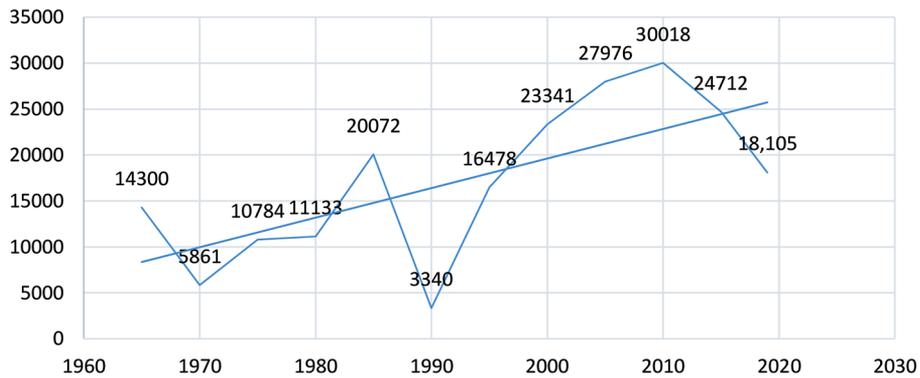


Figura 5. Producción de cebada grano en la región Puno.

Fuente: Elaboración propia con base en datos de MINAGRI -2020.

Donde  $t$  representa los años de estudio (1965 - 2014),  $P_{cebadag}_t$  es la producción de cebada grano ( $t$ ),  $T_{max}_t$  es la temperatura máxima ( $^{\circ}C$ ),  $T_{min}_t$  es la temperatura mínima ( $^{\circ}C$ ),  $P_{pvl}_t$  es la precipitación pluvial,  $\epsilon_t$  es el término error (efectos no observables) y finalmente  $\alpha_0, \dots, \alpha_6$  son los parámetros del modelo. Para verificar los efectos individuales de cada una de las variables sobre la producción de cebada grano, se estiman las siguientes ecuaciones:

$$P_{cebadag}_t = \beta_0 + \beta_2 T_{max}_t^2 + \mu_t \quad (8)$$

$$P_{cebadag}_t = \beta_0 + \beta_1 T_{min}_t + \beta_2 T_{min}_t^2 + \mu_t \quad (9)$$

$$P_{cebadag}_t = \beta_0 + \beta_1 + \beta_2 P_{pvl}_t^2 + \mu_t \quad (10)$$

Los resultados de las estimaciones se muestran en la Tabla 4 por la metodología de mínimos cuadrados ordinarios. El modelo 1 presenta los efectos de la temperatura máxima sobre la producción de la cebada grano, y los coeficientes son estadísticamente no significativos. El modelo 2 explica los efectos de la temperatura mínima sobre la producción de la cebada grano, y son no significativos.

El modelo 3 muestra los efectos de la precipitación pluvial sobre la producción de la cebada grano, y son no significativos. De las estimaciones, el modelo que mejor explica la producción de la cebada grano es el 5, debido a que tiene un valor del estadístico de Akaike (AIC) de 20,3211 y del estadístico de Schwartz (SC) de 20,4741, que son los valores mínimos de los modelos estimados. Además, las variables explicativas

consideradas son estadísticamente significativas, donde el efecto de la temperatura máxima ( $T_{max}$ ) con un valor de 11265,24 es significativo al 1% de significancia, debido a que su valor de probabilidad es menor que este valor ( $Prob = 0,000 < 0,01$ ). La variable precipitación pluvial ( $P_{pvl}$ ) tiene un efecto de 156.4620 sobre la producción de cebada grano y es significativa al 1% de significancia estadística, debido a que su valor de probabilidad es menor que este valor ( $Prob = 0,001 < 0,01$ ). La variable precipitación pluvial al cuadrado ( $P_{pvl}^2$ ) tiene un efecto de  $-0,064951$  sobre la producción de la cebada grano y es significativa al 1%, debido a que su valor de probabilidad es menor que este valor ( $Prob = 0,003 < 0,05$ ).

Según estos resultados de la estimación para la producción de la cebada grano en la región de Puno, se puede afirmar que las variables climáticas temperatura máxima ( $T_{max}$ ), precipitación pluvial ( $P_{pvl}$ ) y precipitación pluvial al cuadrado ( $P_{pvl}^2$ ) explican la producción del cultivo en un 46,97%. Asimismo, Benique (2019) señala que el cambio climático estaría incrementando las sequías y las temperaturas mínimas en la región y ello afectaría a la producción del cultivo para las próximas décadas. Así, en la presente década toma especial relevancia el estudio de las variables climáticas y su impacto en los diversos productos agrícolas en Puno (Walther *et al.*, 2002). En este sentido, es de mucha importancia tomar medidas de seguridad alimentaria y económica para la adaptación, con la finalidad de mitigar pérdidas económicas y de este modo proteger a los agricultores. Se debe tener presente que la agricultura representa la actividad económica más importante en la región

Tabla 4. Estimaciones de producción de cebada grano en la región Puno.

Variables	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4	Modelo 5
Tmax	8129,646 (0,901)			29048,14 (0,615)	11265,24** (0,000)
Tmax <sup>2</sup>	-36,63807 (0,986)			-589,2009 (0,753)	
Tmin		7296,294 (0,180)		-3332,835 (0,487)	
Tmin <sup>2</sup>		-916,1875 (0,801)		4265,601 (0,167)	
Ppvl			62,40467 (0,311)	164,6240** (0,002)	156,4620** (0,002)
Ppvl <sup>2</sup>			-0,030560 (0,314)	-0,071521** (0,005)	-0,064951** (0,007)
Constante	-97792,74 (0,845)	12717,65** (0,000)	-14266,78 (0,641)	-376839,4 (0,397)	-240564,7** (0,000)
Variable dependiente: Pcebadag					
R <sup>2</sup>	0,2594	0,1226	0,0218	0,5050	0,4697
R <sup>2</sup> ajustado	0,2278	0,0853	-0,0198	0,4359	0,4351
F-statistic	8,2291	3,2834	0,5233	7,3118	13,5813
Prob (F-statistic)	0,0009	0,0463	0,5960	0,0000	0,0000
AIC	20,6152	20,7847	20,8934	20,3722	20,3211
SC	20,7299	20,8994	21,0081	20,6399	20,4741
DW-statistic	0,9392	0,3938	0,3658	1,1295	1,0176

\* Indica significancia estadística al 5%.

\*\* Indica significancia estadística al 1%.

Fuente: Elaboración propia con base en información estadística de SENAMHI y MINAGRI 2019.

y cumple una función social porque es el sustento de miles de familias (Vergara, 2011). En la misma perspectiva, Conde-Álvarez y Saldaña-Zorrilla (2007) al estudiar el cambio climático en América Latina y el Caribe sostienen que la adaptación de productores de subsistencia al cambio climático está limitada por las tendencias actuales de las transformaciones institucionales y las políticas agrarias, y solo marginalmente es facilitada por los mercados.

### Conclusiones

Para la producción de la cebada grano, de las estimaciones se encontró que el modelo 5 es el más adecuado, debido a que tiene un valor del estadístico de Akaike (AIC) de 20,3211 y del estadístico de Schwartz (SC) de 20,4741, que es un valor mínimo de los modelos estimados. Como variables explicativas se consideran la temperatura

máxima, precipitación pluvial y precipitación pluvial al cuadrado. Estos determinantes resultaron estadísticamente significativos, donde el efecto de la temperatura máxima con un valor de 11265,24 es significativo al 1% de significancia.

La variable precipitación pluvial (Ppvl) tiene un efecto de 156,46% sobre la producción de cebada grano y es significativa al 1% de significancia. La variable precipitación pluvial al cuadrado (Ppvl<sup>2</sup>) tiene un efecto de -0,0649 sobre la producción de la cebada grano y es significativa al 1% de significancia (Prob = 0,003 < 0,05). Según estos resultados de la estimación para la producción de la cebada grano en la región de Puno, se concluye que las variables climáticas temperatura máxima, precipitación pluvial y precipitación pluvial al cuadrado (Ppvl<sup>2</sup>) explican la producción del cultivo en un 46,97%. El rendimiento de la cebada grano en la región Puno está determinado por los cambios climáticos en un 30%.

## Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad Nacional del Altiplano Puno, al Instituto de Investigaciones Socioeconómicas y de Agrobiodiversidad (IISA),

al Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología - Puno (SENAMHI) y al Ministerio de Agricultura y Riego - (MINAGRI) por el apoyo brindado en la recolección de datos para el desarrollo de la investigación.

## Literatura citada

- Banco, G.; Grupo, M.; Mundial, B.  
2014. Cómo hacer frente a la nueva realidad climática. Disponible en: [www.worldbank.org](http://www.worldbank.org) Consultado: 1/oct/2021
- Benique, E.  
2019. Impacto del cambio climático en el rendimiento de la producción de cañihua (*Chenopodium pallidicaule*) en la Región-Puno. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 21(2): 100-110.
- Carrasco, F.  
2016. Efectos del Cambio Climático en la Producción y Rendimiento de la Quinoa en el Distrito de Juli, Período 1997-2014. *Comunicación: Revista de Investigación en Comunicación y Desarrollo*, 7(2): 38-47.
- CEREM.  
2018. El cambio climático puede intensificar los fenómenos meteorológicos. <https://www.cerem.pe/blog/lo-imposible-sucede> Consultado: 1/oct/2021.
- Conde-Álvarez, C.; Saldaña-Zorrilla, S.  
2007. Cambio climático en América Latina y el Caribe: Impactos, vulnerabilidad y adaptación. *Revista Ambiente y Desarrollo*, 23(2): 23-30.
- Cline, W.R.  
2007. Global warming and agriculture: Impact estimates by country. Peterson Institute for International Economics 1750 Massachusetts Ave., NW, Washington, DC, US. 250 p.
- Galindo, L.; Samaniego, J.; Alatorre, J.; Carbonell, J.; Reyes, O.; Sánchez, L.  
2015. Ocho tesis sobre cambio climático y el desarrollo sostenible en América Latina. CEPAL. 37 p. Peterson Institute for International Economics 1750 Massachusetts Ave., NW, Washington, DC, US. 250 p.
2014. Metodología de la Investigación (6ª Edición). McGraw-Hill. 599 p.
- INEI.  
2018. Características de la Población. Instituto Nacional de Estadística e Informática. Lima, Perú. 94 p.
- Laurente, L.; Mamani, A.  
2020. Modeling of quinoa production applying ARIMA in Puno-Peru. *Fides Et Ratio*, 19(1): 205-230.
- MINAGRI.  
2019. Ministerio de Agricultura - Módulo de Consulta a la Base de Datos de la DGIA. Disponible en: <https://www.gob.pe/midagri>. Consultado: 1/oct/2021.
- Nelson, G.; Koo, J.; Robertson, R.; Sulser, T.; Zhu, T.  
2009. Cambio climático: el impacto en la agricultura y los costos de adaptación. Instituto Internacional de Investigación sobre Políticas Alimentarias IFPRI Washington, D.C. US. 19 p. SENAMHI.
2019. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú - Datos históricos. Disponible en: <https://www.senamhi.gob.pe/main.php?dp=puno&p=descarga-datos-hidrometeorologicos>. Consultado: 1/oct/2021
- Ortiz, R.  
2012. El cambio climático y la producción agrícola. Banco Interamericano de Desarrollo. 36 p.
- Parmesan, C.; Root, L.; Willig, R.  
2000. Impacts of Extreme Weather and Climate on Terrestrial Biota. *Bulletin of The American Meteorological Society*, 81(3). DOI:10.1175/1520-0477(2000)081<0443
- Rodríguez De Luque, J.; González-Rodríguez, E.; Gourdj, S.; Mason-D'Croz, D.; Obando-Bonilla, D.; Mesa-Diez, J.; Prager, D.  
2016. Socio-economic impacts of climate change in Latin America and the Caribbean: 2020-2045. *Cuadernos de Desarrollo Rural*, 13(78): 11-34.
- Sanabria, J.; Marengo, J.; Valverde, M.  
2009. Escenarios de Cambio Climático con modelos regionales sobre el Altiplano Peruano (Departamento de Puno). *Revista Peruana Geo-Atmosférica*, 149(1): 134-149.
- Schlenker, W.; Roberts, M.J.  
2008. Estimating the Impact of Climate Change on Crop Yields: The Importance of Nonlinear Temperature Effects. Disponible en: <https://doi.org/10.3386/W13799>. Consultado: 1/oct/2021
- SENAMHI.  
2019. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú - Datos históricos. Disponible en: <https://www.senamhi.gob.pe/main.php?dp=puno&p=pronostico-meteorologico>. Consultado: 1/oct/2021
- Seo, S.N.; Mendelsohn, R.; Munasinghe, M.  
2005. Climate change and agriculture in Sri Lanka: a Ricardian valuation. *Environment and Development Economics*, 10(5): 581-596.
- Silva Borges, M.I.; Mendoza D., N.M.  
2021. Assessment of meteorological drought in agricultural locations from Venezuela under future projections of climate change. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 38(3): 548-572.
- Tonconi, Q.J.  
2015. Producción agrícola alimentaria y cambio climático: un análisis económico en el departamento de Puno, Perú. *Idesia (Arica)*, 33(2): 119-136.
- Torres, L.  
2010. Análisis económico del cambio climático en la agricultura de la Región Piura-Perú. Caso: Principales productos agroexportables. Piura: Publicaciones del Consorcio de Investigación Económico y Social. CIES-Perú. Lima, Perú.
- Vargas, P.  
2009. El Cambio Climático y sus Efectos en el Perú. Banco Central de Reserva del Perú. Lima, Perú. 57 p.
- Vergara, R.  
2011. Vulnerabilidad en grandes ciudades en América Latina. Universidad del Norte. Barranquilla, Colombia. 168 p.
- Walther, G.-R.; Post, E.; Convey, P.; Menzel, A.; Parmesan, C.; Beebee, C.; Fromentin, J.-M.; Hoegh-Guldberg, O.; Bairlein, F.  
2002. Ecological responses to recent climate change. *Nature* 2002 416: 416(6879): 389-395.
- Yábar, A.  
2005. Cambio climático: Planteamiento y análisis desde una perspectiva multidisciplinaria. *Encuentros multidisciplinarios*. 8 p.