






Factores determinantes de la producción de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en el departamento de Puno

Determining factors of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) production in the department of Puno

Edgar Gallegos Rojas^{1,*}  Ali William Canaza Cayo¹ , Vidal Gallegos Rojas¹  Justo
Gallegos Rojas¹  y Amparo Perez Excelmes¹ 

¹Universidad Nacional del Altiplano, Puno-Perú, Correo: egallegosrojas@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1280-4711>, Correo: alicanaza@unap.edu.pe, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4189-4747>, Correo: vidalgalegosr@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9183-7778>, Correo: sipia50@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9989-2584>, Correo: amparopex@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3199-0329>

Resumen

La producción de quinua en el departamento de Puno está determinada por factores agroclimáticas propias de la región altiplánica, como por prácticas agrícolas tradicionales combinadas con innovaciones tecnológicas; entre estos factores se encuentran la altitud, la calidad del suelo y las variaciones estacionales, los cuales influyen en el rendimiento del cultivo. El objetivo fue estimar los factores determinantes de la producción de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.), en el departamento de Puno. La metodología tuvo un enfoque cuantitativo de tipo no experimental; se realizó un análisis econométrico de datos de panel balanceado, abarcando las campañas agrícolas del periodo 2008 al 2017; los datos fueron recopilados del Ministerio Nacional de Agricultura y Riego (MINAGRI) y del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENHAMI); Las variables analizadas incluyeron superficie cosechada (ha), precio de chacra (S/), producción de quinua (tm), temperatura máxima, temperatura mínima (°C) y la precipitación pluvial total (mm/m²). Los resultados del análisis econométrico revelaron que las variables independientes la superficie cosechada, precio chacra y precipitación pluvial influyen positivamente en la producción en 0,995 %, 0,098 % y 0,143 % respectivamente; Por otro lado, la temperatura promedio mostró una relación inversa con respecto a la producción de quinua, disminuyéndola en 0,0197 %; estos resultados destacan la variación de las variables independientes, respecto al valor final obtenido del 1 %. En base a los resultados, se concluye que las variables explicativas que determinan la producción de quinua en el departamento de Puno son las especificadas en el modelo econométrico data panel sin heterocedasticidad.

Palabra clave: Heteroscedasticidad, modelos econométricos, precipitación pluvial, producción total de quinua, temperatura.

Abstract

Quinoa production in the Puno department is determined by agroclimatic factors typical of the high plateau region and by traditional agricultural practices combined with technological innovations; these factors include altitude, soil quality, and seasonal variations, influencing crop yields. The research objective was to estimate quinoa production (*Chenopodium quinoa* Willd.) determinants factors of the Puno department. The methodology had a non-experimental quantitative approach, a balanced panel data econometric analysis was performed, covering the agricultural campaigns from 2008 to 2017; data were collected from the National Ministry of Agriculture and Irrigation (MINAGRI) and the National Meteorology and Hydrological Service (SENHAMI); the variables analyzed included harvested area (ha), farm price (S/), quinoa production (mt), maximum temperature, minimum temperature (°C) and total rainfall (mm/m²). The results of the econometric analysis revealed that the independent variables harvested area, farm price and rainfall positively influenced production by 0.995%, 0.098%, and 0.143% respectively; on the other hand, the average temperature showed an inverse relationship concerning quinoa production, decreasing it by 0.0197%; these results highlight the variation of the independent variables, to the final value obtained of 1%. Based on the results, it is concluded that the explanatory variables that determine quinoa production in the department of Puno are those specified in the data panel econometric model without heteroscedasticity.

Keywords: Econometric models, Heteroscedasticity, rainfall, temperature, total quinoa production.

Recibido: 14/07/2025

Aceptado: 13/08/2025

Publicado: 30/09/2025

***Autor para correspondencia:** egallegosrojas@gmail.com

Cómo citar: Gallegos Rojas, E., Canaza CAyo, A. W. ., Gallegos Rojas, V., Gallegos Rojas, J., & Perez Excelmes, A. (2025). Factores determinantes de la producción de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en el departamento de Puno. *Revista De Investigaciones*, 14(3), 106-117. <https://doi.org/10.26788/ri.v14i3.7005>

Introducción

La producción de quinua ha mostrado un crecimiento significativo en las últimas décadas, impulsado tanto por la demanda externa como por políticas de fomento agroexportador (FAO, 2013; MINAGRI, 2020), debido a su extraordinaria tolerancia a condiciones ambientales favorables (Chouk-Allah et al., 2016), este cultivo tiene mayor atención a nivel mundial por sus propiedades nutricionales y el incremento de superficie cultivada y su producción en la región de los andes (Gamboa et al., 2020). En Perú, la producción de quinua bordea en 70 000 toneladas anuales, mientras la exportación alcanza las 20,992 toneladas (MINAGRI, 2019), el altiplano peruano, especialmente las regiones de Puno, Ayacucho, Arequipa y Cusco, concentra gran parte de la producción nacional, siendo Puno el principal productor con más del 80 % del total nacional (INEL, 2022). La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) es una planta originaria de los Andes centrales de Sudamérica, donde ha sido cultivada desde hace más de 7,000 años por las culturas preincaicas e incaicas debido a su notable capacidad de adaptación a suelos pobres y condiciones climáticas adversas (Bazile et al., 2016), también es reconocida por su alto valor nutricional, la quinua contiene proteínas de alta calidad, contiene todos los aminoácidos esenciales, vitaminas del complejo B, minerales y compuestos antioxidantes, lo que la convierte en un alimento funcional de gran importancia para la seguridad alimentaria (Vega-Gálvez et al., 2010; FAO, 2013), además ha traído consigo desafíos relacionados con la sostenibilidad agrícola, la conservación de la diversidad genética y el acceso equitativo a los beneficios del comercio global (Jacobsen, 2011). No obstante, el cultivo sigue dependiendo de factores agroclimáticos claves que determinan el rendimiento, la calidad del grano y la sostenibilidad del sistema productivo (Jacobsen, 2011; Bertero, 2014). Entre estos factores se destacan la temperatura, la altitud, la disponibilidad y distribución de las precipitaciones, la radiación solar y la ocurrencia de heladas, que influyen directamente en el ciclo fenológico, la formación de panículas y la acumulación de nutrientes (Tapia et al., 2014; Mujica et al., 2001), a su vez, las condiciones ambientales como la temperatura, fotoperiodo, altitud, precipitación y salinidad del suelo determinan en gran medida la productividad,

especialmente cuando las temperaturas superan los 32 °C o en condiciones de riego deficitario (Bazile et al., 2016; Pulvento et al., 2012; Murphy et al., 2018). Las investigaciones ecológicas subrayan la importancia del concepto de temperatura base (Tb), que en cepas andinas fluctúan entre 1°C y 6°C, según las fases fenológicas (germinación, vegetación, floración), lo que impacta directamente en el desarrollo acelerado o retardado del cultivo (Bois et al., 2006). Las prácticas agronómicas, como la densidad de siembra, espaciamiento entre plantas, manejo de malezas, tácticas de irrigación y fertilización, también afectan significativamente el rendimiento de la quinua (Geerts, 2014). La sensibilidad del cultivo a las temperaturas extremas, particularmente durante la floración, puede causar pérdidas significativas en el rendimiento (Vega-Gonzales et al., 2019). Además, los cambios en los patrones de precipitación afectan tanto la siembra como el llenado de granos, impactando negativamente en la productividad (Delgado et al., 2019; Espinoza et al., 2015). Los factores agroclimáticos no solo inciden en el volumen de producción, sino también en la calidad nutricional del grano, especialmente en la concentración de proteínas y compuestos antioxidantes (Fuentes & Bhargava, 2012). Estudios realizados en diferentes zonas del altiplano andino han demostrado que la temperatura óptima para el desarrollo de la quinua oscila entre 15 °C y 20 °C, mientras que su tolerancia al frío le permite resistir heladas ligeras (Jacobsen et al., 2005; Ruiz et al., 2014). Asimismo, la respuesta del cultivo a la variabilidad climática se ve influenciada por la disponibilidad de agua en momentos críticos como la floración y llenado de grano (Hirich et al., 2014). En regiones como Puno, los cambios en el régimen hídrico y las anomalías térmicas, resultado del cambio climático, están afectando la estabilidad de los rendimientos (Paredes et al., 2020; Zamalloa et al., 2021), las condiciones agroclimáticas de Puno, caracterizadas por su altitud, variabilidad térmica y régimen hídrico, influyen significativamente en el rendimiento y calidad de la quinua (Rojas et al., 2020; Mujica et al., 2001), a esto se suma la influencia del cambio climático, que ha generado modificaciones en los patrones de lluvia, afectando la fenología del cultivo (Vega-Gonzales et al., 2019), igualmente, el tipo de suelo, su pH, textura y fertilidad natural son determinantes críticos en la producción del grano (Bonifacio et

al., 2012; Espinoza et al., 2015). El análisis de los factores agroclimáticos no solo permite optimizar la planificación agrícola, sino también definir zonas agroecológicas más resilientes y seleccionar variedades adaptadas a escenarios climáticos futuros (Valencia-Chapi et al., 2019; Blajos et al., 2021). Por tanto, comprender la interacción entre el clima y la fenología del cultivo es clave para el desarrollo de estrategias de adaptación en las zonas productoras de quinua (Chávez et al., 2022).

La investigación tiene como objetivo analizar la influencia de factores agroclimáticos y económicos, como el área cosechada, el precio de chacra, la precipitación pluvial y la temperatura promedio en la producción de quinua en diez provincias del departamento de Puno durante las campañas agrícolas 2008–2017.

Métodos

Lugar de estudio

La investigación se desarrolló en la región Puno, se cuenta con una superficie total de 71 999 km², siendo el 6 % del área de todo el Perú. Además este departamento limita hacia el Norte, con el departamento de Madre de Dios, colinda por el Este, con el país de Bolivia, al Sur, con la región Tacna. Finalmente colinda por el Oeste, con las regiones de Cusco, Moquegua y Arequipa.

Es pertinente señalar que su ubicación se ve caracterizada por las coordenadas de ubicación, 71° 06' 57" y 68° 48' 46" de longitud oeste, así mismo, 13° 00' 00" y 17° 17' 30" en latitud sur. Por tanto, es conveniente señalar que las 13 provincias que conforman el departamento de Puno son: Azángaro, Chucuito, Carabaya, El Collao, Lampa, Huancané, Moho, Melgar, San Román, San Antonio de Putina, Sandía, Yunguyo y Puno.

Periodo de estudio

La investigación se desarrolló en el departamento de Puno, entre los meses de abril y diciembre del año 2021, durante este lapso se realizaron actividades de recopilación de información bibliográfica, trabajo de campo en parcelas seleccionadas de productores de quinua ubicadas en diferentes zonas agroecológicas del departamento de Puno,

así como entrevistas a actores clave vinculados al sistema productivo. Se tomaron las observaciones de las campañas agrícolas registradas en la base de datos de MINAGRI y SENHAMI, la variables dependiente está conformada por la serie transversal de las 10 provincias del departamento de Puno y las variable independientes está conformada de la serie temporal de producción de quinua del departamento de Puno durante 10 años consecutivos de las campañas agrícolas de los periodos 2008 al 2017, donde ambas series conforman el panel data que tiene un tamaño de 100 observaciones de las campañas agrícolas.

Materiales

La investigación realizada corresponde al tipo no experimental en el uso del método analítico mediante la técnica econométrica utilizando como instrumento de recopilación de datos y la revisión de documentos históricos de producción del cultivo de quinua y fenómenos agroclimáticos, se tomaron las observaciones de las campañas agrícolas registradas en la base de datos de MINAGRI y SENHAMI, de las variables independientes y dependientes de las 10 provincias del departamento de Puno, durante 10 años consecutivos, es decir desde el año 2008 al 2017.

Variables analizadas

Para el cumplimiento del primer objetivo específico se obtuvo información relacionada con el Área Cosechada como variable independiente (VI) y la producción de quinua como variable dependiente (VD) de la base de datos del Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI) de 10 provincias del departamento de Puno según las campañas agrícolas de los años 2008-2017, relacionado con el análisis de la influencia del área cosechada en la producción de quinua en relación al tiempo.

Para el segundo objetivo específico se obtuvo información relacionada con el Precio de Chacra como variable independiente (VI) y la producción de quinua como variable dependiente (VD) de la base de datos del Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI) de 10 provincias del departamento de Puno según las campañas agrícolas de los años 2008-2017, el propósito de este objetivo fue realizar

un análisis de la influencia del precio de chacra en la producción de quinua en relación al tiempo.

Para el tercer objetivo específico se obtuvo información relacionada con la precipitación pluvial como variable independiente (VI) y la producción de quinua como variable dependiente (VD) de la base de datos del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) de 10 provincias del departamento de Puno según las campañas agrícolas de los años 2008-2017, el propósito de este objetivo fue realizar una análisis de la influencia de la precipitación pluvial en la producción de quinua en relación al tiempo al tiempo

Para el cuarto objetivo específico se obtuvo información relacionada con la Temperatura Promedio como variable independiente (VI) y la producción de quinua como variable dependiente (VD) de la base de datos del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) de 10 provincias del departamento de Puno según las campañas agrícolas de los años 2008-2017, el propósito fue realizar un análisis de la influencia de la temperatura promedio en la producción de quinua en relación al tiempo.

Prueba estadística aplicada

Se aplicó el análisis estadístico de datos panel balanceado que combina observaciones transversales y temporales que requiere la

aplicación de pruebas específicas para seleccionar el modelo econométrico más adecuado. Se aplicaron las siguientes pruebas secuenciales, la prueba de Hausman del modelo de producción de la quinua, con el objetivo de decidir entre el modelo de efectos fijos y el modelo de efectos aleatorios, evaluando la correlación entre los efectos individuales y las variables explicativas.

Además, se realizaron pruebas complementarias como la prueba de Breusch-Pagan Cook Weisberg para validar la conveniencia del modelo de efectos aleatorios frente al modelo agrupado. Para asegurar la robustez de los resultados, se evaluaron también la presencia de heterocedasticidad (prueba de Breusch-Pagan), la correlación de regresión lineal simple del modelo de producción de quinua.

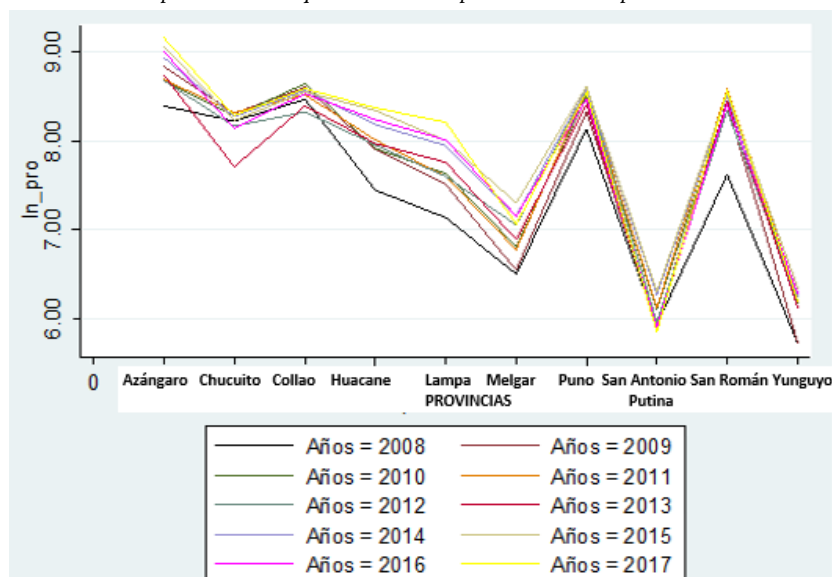
Todas las pruebas se realizaron bajo un nivel de significancia del 5 %. Y el análisis fue implementado mediante el software estadístico Stata 19.

Resultados

Evolución de la producción de quinua

La provincia de Yunguyo presentó el mínimo de producción de quinua para el año 2008, con una cantidad total de 305 toneladas. Mientras que, la mayor cantidad producida la obtuvo la provincia de Azángaro con un valor de 9,5 mil toneladas en el año 2017, (Figura 1).

Figura 1
Evolución de la producción de quinua en las 10 provincias del departamento de Puno

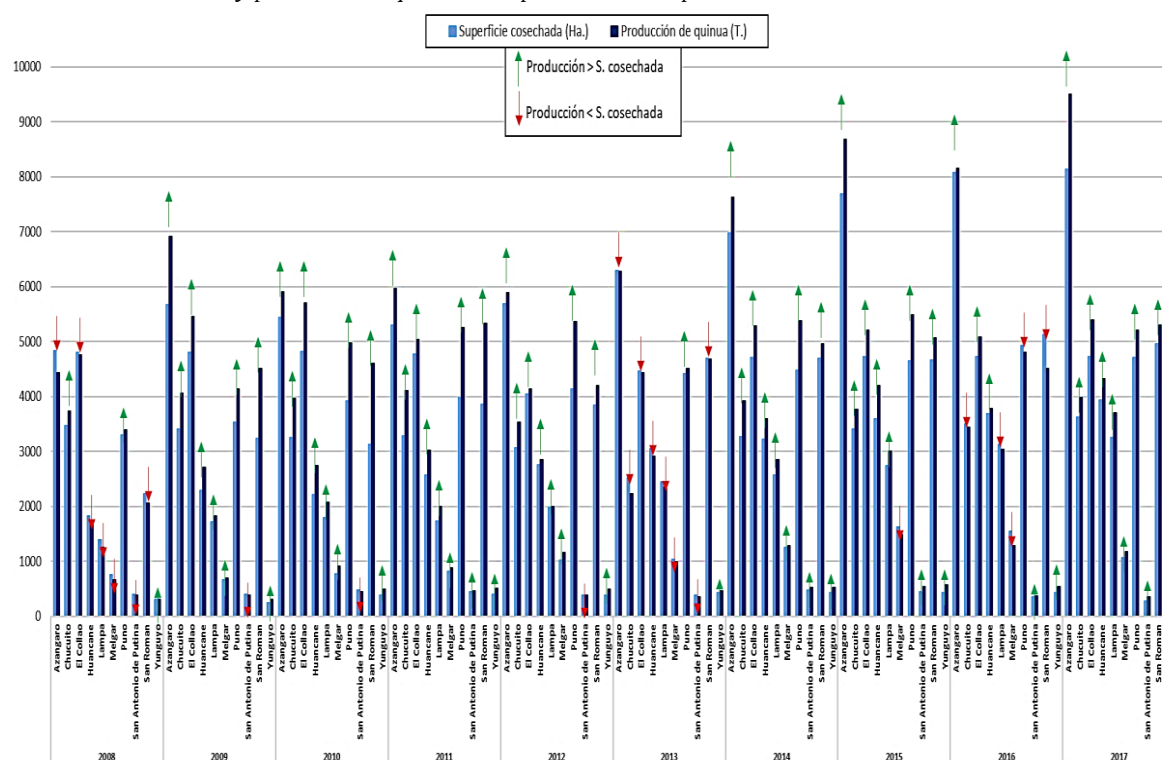


Se refleja el vínculo entre la producción y la superficie cosechada, tenemos a las 10 provincias en un periodo de tiempo del 2008 al 2017, al tomar en función que una hectárea genera una tonelada de quinua, nos muestra que para la mayoría de provincias la superficie cosechada

brinda una producción mayor a la tonelada en casi todos los años. Excepto los años 2008, 2011 y 2016, en los cuales más de 5 provincias presentaron una producción menor a la superficie cosechada (Figura 2).

Figura 2

Evolución de la cosecha y producción de quinua en 10 provincias del departamento Puno



En el 2008, las provincias de Azángaro, Huancané, El Collao, Melgar, Lampa, San Antonio de Putina y San Román, presentaron una producción menor que la superficie cosechada. Además, en el año 2013 sucedió lo mismo en las siguientes provincias: Azángaro, Chucuito, El Collao, Huancané, Lampa, Melgar, San Antonio de Putina y San Román. En el año 2016, solo las provincias de Chucuito, Lampa, Melgar y Puno presentaron producción menor que la superficie cosechada.

Además, tenemos una menor producción por superficie cosechada de parte de la provincia de San Antonio de Putina en los años 2008, 2009, 2010, 2012 y 2013. Todas las provincias en los años 2011, 2014 y 2017 tuvieron una producción mayor que superficie cosechada.

Análisis de la función de producción de quinua

La función de producción de quinua por regresión lineal presenta variables logarítmicas como producción (\ln_{pro}), superficie cosechada (\ln_{cos}), precio (\ln_{precio}) y precipitación (\ln_{pp}). Además, de una variable generada por la variación de la temperatura promedio anual (var_{tp}).

Estas variables presentan una Prob > F de 0,0000, lo que demuestra que en su conjunto explican al modelo. A nivel individual las variables significativas ($P > |t|$) menores al 0,05 para la regresión lineal son: \ln_{cos} , \ln_{pp} , permitiendo explicar individualmente al modelo, en cambio las variables \ln_{prec} , var_{tp} , no explican individualmente al modelo (Tabla 1).

El modelo de regresión lineal tiene un R-squared de 98,82 %, es decir, un buen ajuste del modelo. La regresión es realizada con 100 observaciones en periodos del 2008 al 2017, bajo este análisis previo se realizó el panel data (Tabla 1).

El modelo data panel balanceado para la función de producción Cobb-Douglas, es realizado por la regresión de paneles estáticos de efectos fijos y aleatorios, siendo los dos efectos consistentes, se comprobó si el efecto aleatorio es el más eficiente.

Tabla 1

Regresión lineal simple del modelo de producción de quinua.

Fuente	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Media Cuadrática	Número de obs=	100
Modelo	95,6366358	4	23,909159	F(1, 95)	1984,87
Residual	1,14434131	95	0,12045698	Prob>F	0,0000
				R-squared	0,9882
				Adj R-squared	0,9877
Total	96,7809772	99	0,977585628	Root MSE	0,10975
Ln_pro	Coeficiente.	Srd. Err.	t	P> t	95% Cof.
Ln_cos	0,9889359	0,0122503	80,73	0,000	1,013256
Ln_prec	0,0451711	0,0245048	1,84	0,068	0,0938192
Var_tp	0,2048385	0,1800107	1,14	0,258	0,5622049
Ln_pp	0,1456195	0,0539313	2,70	0,008	0,2526867
_cons	-0,8311975	0,3496704	-2,38	0,019	-0,1370139

El resultado por el Test de Hausman nos muestra que el panel de efectos aleatorios es elegido al tener una Prob > χ^2 de 0,5795, más alto que el 0,05, en consecuencia, se admite la H_0 , indicándonos que

debemos elegir el panel de efectos aleatorios como el modelo factible para realizar la modelación predictiva de la producción de quinua (Tabla 2).

Tabla 2

Test de Hausman del modelo de producción de quinua

Coeficientes	(b) fix	(B) ram	(b-B) Diferencia	sqrt (diag (V_b_B) S.E
Ln_cos	0,9966213	0,995359	0,0012623	0,0552221
Ln_prec	0,1901072	0,0949923	0,0951148	
Var_tp	-0,0293627	0,0005146	-0,0298773	0,0047023
Ln_pp	0,1443721	0,1426662	0,0017059	
b= consistente bajo H_0 y H_a ; obtenido de xtreg				
B= inconsistente bajo H_a , eficiente bajo H_0 ; obtenido de xtreg				
Test: H_0 difference in coefficients not systematic				
$\chi^2(4) = (b-B) [(V_b - V_B)^{-1}] (b-B) = 2,87$				
Prob > $\chi^2 = 0,5795$				
(V_b - V_B is not positive definite)				

Tanto los modelos de efectos fijos y aleatorios del panel data balanceado presentan un R^2 parecido, de 0,9939 y 0,9937, los dos tienen una Prob > F de 0,0000, lo que representa que tienen significancia conjunta, presentan también, tres variables que son significativas individualmente al modelo y son: ln_cos, ln_prec, ln_pp, estas variables no superan el 0,05. Además, sus coeficientes son inelásticos,

cambios en una unidad representan cambios en pequeñas proporciones menores a la unidad (Tabla 3 y 4), en cuanto a la bondad medidos por el "rho", el modelo de efectos fijos tiene un 62,41 % mientras que el de efectos aleatorios es de 43,67 %, es decir, que el error específico individual por parte de los efectos fijos explica más a la varianza de error completa (Tabla 3, 4).

Tabla 3

Panel data de efectos fijos

Regresión de efectos aleatorios				Número de obs=	100
Grupo variable: Años				Número of group=	10
R-sq:				Obs per group:	
within = 0,9939				min=	10
Between = 0,7654				Avg=	10,0
Overall = 0,9838				max=	10
Corr (u _i , Xb) = -0,1310				F(4,86)	3478,90
Ln pro	Coefficiente.	Std. Err	t	P>t	[95% Cof. Intervalo]
Ln_cos	0,9966213	0,0092651	107,57	0,000	0,9782028-1,01504
Ln_prec	0,1901072	0,0709812	2,68	0,009	0,0490012-0,3312131
Var_tp	-0,0293627	0,1465944	-0,20	0,842	-,0327827-0,2620573
Ln_pp	0,1443721	0,0468746	3,08	0,003	0,0511886-0,2375556
_rho	-1008659	0,3219453	-3,38	0,001	-1,726596-0,446584
_cons	-1,08659				
Sigma_u	0,10571457				
Sigma_e	0,8203674				
rho	0,62413837 (fraction of variance due to u _i)				
F test that all u _i =0: F (9, 86)= 9,34					Prob > F= 0,0000

Tabla 4

Panel data de efectos Aleatorios

Regresión de efectos aleatorios				Número de obs=	100
Grupo variable: Años				Número of group=	10
R-sq:				Obs per group:	
within= 0,9937				min=	10
Between= 0,7856				Avg=	10,0
Overall= 0,9875				max=	10
Corr(u _i , Xb)= 0 (assumed)				Wald chi ² (4)=	13475,78
				Prob > chi ² =	0,0000
Ln pro	Coefficiente.	Std. Err	t	P>t	[95% Cof. Intervalo]
Ln_cos	0,995359	0,0092651	107,57	0,000	0,9782028-1,01504
Ln_prec	0,949923	0,0709812	2,68	0,009	0,0490012-0,3312131
Var_tp	0,0005146	0,1465944	-0,20	0,842	-,0327827-0,2620573
Ln_pp	0,1426662	0,0468746	3,08	0,003	0,0511886-0,2375556
_cons	-0,9325674	0,3110277	-3,00	0,003	-1,54271- -0,322964
Sigma_u	0,07223999				
Sigma_e	0,8203674				
rho	0,43675389				(fraction of variance due to u _i)

En cuanto a la regresión lineal simple mediante el test de Breusch-Pagan determino que la regresión

estaba con heterocedasticidad al no cumplir con la Prob > chi² al ser 0,3907 (Tabla 5)

Tabla 5*Prueba de Breusch-Pagan/Cook-Weisberg para heteroskedasticity*

Fuente	SS	df	MS	Número of obs=	100
Modelo	95,6366358	4	23,909159	F(1, 95)	1984,87
Residual	1,14434131	95	0,12045698	Prob>F	0,0000
				R-squared	0,9882
				Adj R-squared	0,9877
Total	96,7809772	99	0,977585628	Root MSE	0,10975
Ln pro	Coficiente.	Std. Err	t	P>t	[95% Cof. Intervalo]
Ln_cos	0,9889359	0,0122503	80,73	0,000	1,013256
Ln_prec	0,0451711	0,0245048	1,84	0,068	0,0938192
Var_tp	0,2048385	0,1800107	1,14	0,258	0,5622049
Ln_pp	0,1456195	0,0539313	2,70	0,008	0,2526867
_cons	-0,8311975	0,3496704	-2,38	0,019	-0,1370139
Estat hettest, normal					
Breusch-Pagan / Cook-Weisbero test for heteroskedasticity					
Ho: Constant variance					
Variables: fitted values of ln_pro					
Chi2(1) = 0,74					
Prob > chi2 = 0,3907					

Por lo tanto, el panel data estático de efectos aleatorios se estimó por máxima verosimilitud, obteniendo el mejor modelo factible que permita implementar la predicción de la producción del cultivo de quinua (Tabla 6).

Este modelo permite predecir la producción de quinua, ya que tiene una prob > χ^2 igual a 0,000, indicando que el modelo seleccionado tiene un nivel de significancia conjunta a la producción de quinua. Además, es explicada de manera individual por las variables: ln_cos, ln_prec y ln_pp, al ser menores que 0,05 en la prueba $P > |z|$ (Tabla 6).

Tabla 6*Modelo econométrico data panel de efectos aleatorios sin heterocedastidad*

Regresión ML de efectos aleatorios				Número de obs=	100
Grupo variable: Años				Número de group=	10
Random effects u_i Gaussian:				Obs per group	
				min=	10
				Avg=	10,0
				max=	10
				LR χ^2 (4)=	476,87
Log likelihood= 98,178686				Prob> χ^2 =	0,0000
Ln pro	Coficiente.	Std. Err	t	P>t	[95% Cof. Intervalo]
Ln_cos	0,954434	0,0091453	108,85	0,000	0,977519-1,013368
Ln_prec	0,0980872	0,0483234	2,03	0,042	0,0033751-0,1927994
Var_tp	-0,0019684	0,1437911	-0,01	0,989	- 0,283793-0,2798569
Ln_pp	0,1427744	0,0453428	3,15	0,002	0,0539042-0,2316446
_rho	-1008659	0,3047769	-3,08	0,002	-1,535613- -0,340912
Sigma_u	0,0747782	0,0202991			0,0439248-0,1273034
Sigma_e	0,0809908	0,0060952			0,0698838-0,0938632
rho	0,4601799	0,1430116			0,2100918-0,7277896
LR test of sigma_u=0: chibar2(01) = 33,11				Prob > = chibar2 = 0,000	

La variable \ln_precio tiene un signo positivo, pero es inelástico para la producción de quinua, el aumento en una unidad en el precio de quinua genera que la producción comercializa un 10 % menos de quinua que la venta anterior y por último la precipitación que tiene un signo positivo y refleja que a mayor precipitación mayor producción, pero su crecimiento es inelástico.

Por tal motivo, el mejor modelo econométrico encontrado para describir la función de producción de Cobb – Douglas es:

$$\ln(prod) = -0,938 + 0,995 * \ln_cos + 0,091 * \ln_prec + 0,048 * var_temp + 0,144 * \ln pp + 0,045$$

0,000 0,042 0,989 0,002

Discusión

La evaluación de la función Cobb Douglas, ha demostrado que las variables con mayor influencia dentro de la función, han sido la superficie cosechada, el precio chacra y la precipitación promedio anual. Así mismo, cabe señalar que la temperatura promedio ha generado una variación negativa en la producción de quinua. También ha demostrado en su investigación que todas las variables que ha considerado, han generado una afectación positiva en la función de producción de la quinua, alcanzando un rendimiento escalar máximo de 1,47 (Torres, 2018).

En comparación a los resultados los factores climáticos afectan en el rendimiento de quinua en un 60 % y un 35 %, el factor determinante que influye en la producción es la temperatura máxima, las temperaturas optimas son 5 °C con precipitaciones de 765,5 mm.

Con respecto a la superficie cosechada, se ha podido determinar que una variación del 1 % en la superficie cosechada, ha generado un cambio positivo del 0,995 %, en la producción de quinua. Así mismo ha demostrado en su investigación, que la superficie cosechada, en cuanto a la afectación de la producción de quinua, ha tenido una relación inversamente proporcional, indicando que un aumento de esta variable, ha generado una disminución de la variable dependiente, del -0.24% (Cruz Lauracio, 2019), la superficie cosechada es aquella área de terreno, en donde se ha podido obtener una determinada cantidad de producción (Figueroa, 2018).

La influencia que ha tenido la variable precio chacra, sobre la producción de Quinua, ha sido directamente proporcional, alcanzando una variación del 0,098 %, cuando el precio chacra, aumenta en un 1 %. También señalo que su variable capital, ha tendido a incrementar la producción de quinua, en un 0,29 % (Cruz Lauracio, 2019). La relación se ha visto explicada en la generación de valor que ha sido generada por la inversión en el cultivo de la quinua y en la presente, la proporción ha sido menor, debido a que el incremento de costo, de cierto modo, incrementa el valor que se le da a la quinua, señalando que sería conveniente incrementar de cierto modo, el costo por kilo de quinua. Además lo definen al precio chacra, como aquel costo del producto, el cual suele ser vendido por kilos o por sacos, en donde el productor entra en contacto directo, con el consumidor o comprador (Cayo, 2018).

Cuando se ha analizado la influencia que ha tenido la variable precipitación, se ha podido determinar que su influencia ha sido directamente proporcional, demostrando que una variación del 1%, ha generado una influencia del 0,143 % en la producción del cultivo de quínoa. Así mismo señalo que la influencia del agua en su investigación, ha sido de un 0,11 %, muy similar a lo que se obtuvo en esta investigación, demostrando de esta forma que, las precipitaciones de forma controlada y sin afectar a la cosecha, pueden llegar a generar una mejora en la producción del producto (Torres 2018). También se definen a la precipitación como aquella cantidad de agua que es generada, en un determinado tiempo (Cayo, 2018).

Con respecto a la influencia que ha tenido la variable temperatura promedio anual sobre la producción de Quinua, se ha podido determinar que su influencia ha sido inversamente proporcional al desarrollo de la variable dependiente, demostrando que una variación del 1 % en la temperatura promedio anual, ha generado una variación de -0,0197 % en la producción de quinua. En su investigación ha señalado que el incremento de la temperatura, puede llegar a afectar la producción de Quinua. Esto se debe a que la temperatura promedio en el que dicho cultivo se desarrolla de forma eficiente, y con niveles de producción máxima, es de 10 °C (Cruz Lauracio 2019).

Conclusiones

Los resultados evidencian la existencia de un vínculo significativo y directamente proporcional entre la variable de producción de quinua y la superficie cosechada, indicando que un cambio del 1,0 % en la variable independiente incrementa en un 0,995 % a la variable dependiente.

El análisis confirma la presencia de una relación significativa y directamente proporcional entre el factor de producción de quinua y el precio chacra, generando que un cambio del 1,0 % en el factor independiente aumente en un 0,098 % a la variable dependiente.

Los hallazgos demuestran la existencia de un vínculo significativo y directamente proporcional entre la variable de producción de quinua y la precipitación, evidenciando que un cambio del 1,0 % en el factor independiente incrementa en un 0,143 % la variable dependiente.

Finalmente, el estudio pone en evidencia una relación significativa, pero inversamente proporcional, entre la variable de producción de quinua y la temperatura promedio anual, mostrando que un cambio del 1,0 % en la variable independiente reduce en un 0,0197 % a la variable dependiente.

Contribución de los autores

Conceptualización: Edgar Gallegos Rojas (60%), Ali W. Canaza Cayo (10%), Vidal Gallegos Rojas (10%), Justo Gallegos Rojas (10%), Amparo Pérez Excelmes (10%); Curación de datos: Edgar Gallegos Rojas (40%), Ali W. Canaza Cayo (20%), Vidal Gallegos Rojas (20%), Justo Gallegos Rojas (10%), Amparo Pérez Excelmes (10%); Análisis formal: Edgar Gallegos Rojas (50%), Ali W. Canaza Cayo (10%), Vidal Gallegos Rojas (20%), Justo Gallegos Rojas (10%), Amparo Pérez Excelmes (10%); Adquisición de fondos: Edgar Gallegos Rojas (20%), Ali W. Canaza Cayo (20%), Vidal Gallegos Rojas (20%), Justo Gallegos Rojas (20%), Amparo Pérez Excelmes (20%); Participación en la investigación: Edgar Gallegos Rojas (50%), Ali W. Canaza Cayo (10%), Vidal Gallegos Rojas (20%), Justo Gallegos Rojas (10%), Amparo Pérez Excelmes (10%); Metodología: Edgar Gallegos

Rojas (40%), Ali W. Canaza Cayo (10%), Vidal Gallegos Rojas (20%), Justo Gallegos Rojas (10%), Amparo Pérez Excelmes (20%); Administración del proyecto: Edgar Gallegos Rojas (30%), Ali W. Canaza Cayo (10%), Vidal Gallegos Rojas (20%), Justo Gallegos Rojas (20%), Amparo Pérez Excelmes (20%); Recursos: Edgar Gallegos Rojas (20%), Ali W. Canaza Cayo (20%), Vidal Gallegos Rojas (20%), Justo Gallegos Rojas (20%), Amparo Pérez Excelmes (20%); Software: Edgar Gallegos Rojas (50%), Ali W. Canaza Cayo (10%), Vidal Gallegos Rojas (10%), Justo Gallegos Rojas (20%), Amparo Pérez Excelmes (10%); Supervisión: Edgar Gallegos Rojas (20%), Ali W. Canaza Cayo (20%), Vidal Gallegos Rojas (20%), Justo Gallegos Rojas (20%), Amparo Pérez Excelmes (20%); Validación: Edgar Gallegos Rojas (60%), Ali W. Canaza Cayo (10%), Vidal Gallegos Rojas (10%), Justo Gallegos Rojas (10%), Amparo Pérez Excelmes (10%); Visualización: Edgar Gallegos Rojas (40%), Ali W. Canaza Cayo (10%), Vidal Gallegos Rojas (20%), Justo Gallegos Rojas (20%), Amparo Pérez Excelmes (10%); Redacción – borrador original: Edgar Gallegos Rojas (20%), Ali W. Canaza Cayo (20%), Vidal Gallegos Rojas (80%), Justo Gallegos Rojas (20%), Amparo Pérez Excelmes (20%); Redacción – revisión y edición: Edgar Gallegos Rojas (40%), Ali W. Canaza Cayo (10%), Vidal Gallegos Rojas (20%), Justo Gallegos Rojas (20%), Amparo Pérez Excelmes (10%).

Referencias

- Bazile, D., Jacobsen, S.-E., & Verniau, A. (2016). The global expansion of quinoa: Trends and limits. *Frontiers in Plant Science*, 7, 622. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00622>
- Bertero, H. D., et al. (2014). *Genotype × environment interaction and performance of quinoa genotypes under varying environments*. *Journal of Agronomy and Crop Science*. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2004.02.006>
- Bhargava, A., Shukla, S., & Ohri, D. (2006). Chenopodium quinoa—An Indian perspective. *Industrial Crops and Products*, 23(1), 73–87. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2005.04.002>

- Blajos, J., Mamani, H., & Lazo, A. (2021). Variabilidad climática y rendimiento de quinua en zonas altoandinas del Perú. *Agroindustrial Science*, 11(2), 45–53. <http://dx.doi.org/10.18271/ria.2024.618>
- 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(1), 299–308. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2006.06.007>
- Bonifacio, A., et al. (2012). *Agroecología de la quinua en su centro de origen*. FAO & PROINPA. <https://www.fao.org/4/aq287s/aq287s.pdf>
- Chávez, P., Cutipa, J., & Herrera, D. (2022). Efecto del estrés térmico en el cultivo de quinua en ambientes altoandinos. *Revista de Agroecología Andina*, 14(1), 89–101. <https://leisa-al.org/web/images/stories/revistapdf/vol19n0.pdf>
- Cruz Lauracio, J. (2019). Análisis de la función Cobb-Douglas que mejor optimiza la productividad de la quinua orgánica en la región de Puno. *Escuela de Posgrado*, 1–254. <https://doi.org/10.26788/riepg.v8i3.1063>
- Cruz, J. (2018). Análisis de la función Cobb-Douglas que mejor optimice la productividad de la Quinua orgánica en la región Puno. (*Escuela de Posgrado*). Universidad Nacional Del Altiplano: Puno. <https://doi.org/10.26788/riepg.v8i3.1063>
- Delgado, J., et al. (2019). *Limitantes tecnológicas y climáticas en la producción de quinua en el Perú*. Revista Peruana de Agricultura, 28(1), 45–53. <https://doi.org/10.1016/j.foodchemt.2018.11.031>
- Espinoza, M., & Choque, C. (2015). Características físico-químicas del suelo y su relación con el rendimiento de quinua. *Revista de Suelos y Nutrición Vegetal*, 15(1), 45–52. <https://doi.org/10.1016/j.foodchemt.2018.11.031>
- FAO. (2013). *La quinua: cultivo milenario para contribuir a la seguridad alimentaria mundial*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <https://www.fao.org/4/aq287s/aq287s.pdf>
- Figueroa Benavente, R. (2018). “Cambio Climático y Producción del Café en el Valle de la Convención, Cusco: 2000-2016. Universidad Global del Cusco”.
- Fuentes, F., & Bhargava, A. (2012). *Quinoa: Improvement and sustainable production*. Wiley-Blackwell. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-23108-8_7
- Gamboa C, Bojacá CR, Schrevens E, Maertens M (2020) Sustainability of smallholder quinoa production in the Peruvian Andes. *Journal of Cleaner Production* 264: 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121657>
- Geerts, S., & Raes, D. (2014). *Could deficit irrigation be a sustainable practice for quinoa in the Southern Bolivian Altiplano? Agricultural Water Management*. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2008.02.012>
- Hirich, A., Choukr-Allah, R., & Jacobsen, S.-E. (2014). Quinoa in Morocco – Effect of sowing dates on development and yield. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 200(6), 371–377. <https://doi.org/10.1111/jac.12071>
- INEI. (2022). *Compendio estadístico agropecuario*. Instituto Nacional de Estadística e Informática. https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1912/libro.pdf
- Jacobsen, S.-E. (2011). *The situation for quinoa production in southern Bolivia: From economic success to environmental disaster*. *Journal of Agronomy and Crop Science*. <https://doi.org/10.1111/J.1439-037X.2011.00475.x>
- Jacobsen, S.-E., Monteros, C., & Corcuera, L. J. (2005). Adaptation of quinoa to diverse environments. *Food Reviews International*, 21(1), 1–14. <https://doi.org/10.1111/jac.12228>

- MINAGRI (2019) Boletín estadístico mensual “El agro en cifras” 2019. Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. Perú. <http://siea.minagri.gob.pe/siea/?q=publicaciones/boletin-estadistico-mensual-el-agro-en-cifras>
- Ministerio de Agricultura y Riego – MINAGRI. (2020). *Estadísticas agrícolas 2019: Quinoa*. <https://repositorio.midagri.gob.pe/bitstream/20.500.13036/835/1/OBSERVATORIO%20DE%20QUINUA%20ENERO%202021.pdf>
- Mujica, A., et al. (2001). *Agroecología de la quinua*. Universidad Nacional del Altiplano. <https://vriunap.pe/fedu/upload/2021/p00000038-3-Proy.pdf>
- Murphy, K. M., Matanguihan, J., & Fuentes, F. (2018). *Quinoa abiotic stress responses: A review*. *Plants*. <https://doi.org/10.3390/plants7040106>
- Paredes, D., Llerena, R., & Vargas, A. (2020). Impacto del cambio climático en el rendimiento de quinua en Puno. *Revista de Ciencia Agraria*, 10(4), 12–20. <https://doi.org/10.35622/>
- Pulvento, C., Riccardi, M., Lavini, A., et al. (2012). *Yield and quality characteristics of quinoa grown under different saline and nonsaline irrigation regimens*. *Journal of Agronomy and Crop Science*. <https://doi.org/10.1111/j.1439037X.2012.00509.x>
- Rojas, L., Choque, M., & Nina, C. (2020). *Zonificación agroecológica de quinua en el altiplano peruano*. *Revista Geográfica del Perú*, 65(2), 81–97. <https://www.revistasipgh.org/index.php/regeo/issue/archive>
- Ruiz, K. B., Biondi, S., & Martinez, E. A. (2014). Quinoa biodiversity and adaptation to environmental stress. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 61(3), 331–346. <https://doi.org/10.1007/s.13593-013-0195-0>
- Tapia, M. (2014). *La quinua y los Andes: Tradición y futuro*. CBC. <https://www.fao.org/4/ai185s/ai185s.pdf>
- Torres, E. (2018). “Factores determinantes de la producción de quinua y papa en la comunidad de Culillaca Joven, distrito de Cabanilla, provincia de Lampa, Puno, periodo 2017 UNAP”. <https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/10650>
- Valencia-Chapi, W., Rodríguez, A., & Calle, J. (2019). Determinación de zonas óptimas para el cultivo de quinua en el sur del Perú. *Revista Peruana de Agrobiología*, 3(2), 88–95. <https://doi.org/10.56926/repia.v4i1>
- Vega-Gálvez, A., Miranda, M., Vergara, J., Uribe, E., Puente, L., & Martínez, E. A. (2010). Nutrition facts and functional potential of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.), an ancient Andean grain: A review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 90(15), 2541–2547. <https://doi.org/10.1002/jsfa.4158>
- Vega-Gonzales, M., et al. (2019). *Fenología del cultivo de quinua bajo variabilidad climática*. *Revista Andina de Agroecología*, 6(1), 90–101. <https://www.swisscontact.org/Resources/Persistent/e/7/9e79f3a6052f9820bd13a3aa5ec1fd7742369edf1/EL-LIBRO-DE-LA-QUINUA-2024.pdf>
- Zamalloa, G., Nina, C., & Quispe, E. (2021). Efecto de la temperatura y precipitación en el ciclo fenológico de quinua. *Investigación Agropecuaria Andina*, 6(1), 15–23. https://www.comunidadandina.org/wp-content/uploads/2022/11/AAA-Version2_FINAL.pdf

