

EFFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA PRODUCCIÓN Y RENDIMIENTO DE LA QUINUA EN EL DISTRITO DE JULI, PERIODO 1997 – 2014

EFFECTS OF CLIMATE CHANGE IN PRODUCTION AND PERFORMANCE IN QUINUA JULI DISTRICT, PERIOD 1997 – 2014

FREDDY CARRASCO CHOQUE

Universidad Nacional del Altiplano – Perú
E-mail: fcch29@hotmail.com

Recibido el 17/06/2016
Aprobado el 12/10/2016

RESUMEN

38 Mediante el método de función de producción agrícola, se estima económicamente los efectos del cambio climático en la producción y rendimiento de quinua, se concluye que las variables climáticas si afectan la producción y rendimiento de quinua, estos explican más del 60% y 35 % respectivamente. El factor climático que más influye en la producción y rendimiento es la temperatura máxima, a un nivel de significancia del 10%. Las temperaturas optimas son, temperatura máxima 15.2°C, temperatura mínima 5°C y precipitación de 765.5 mm. El comportamiento de los factores climáticos muestra una tendencia creciente, y el efecto hacia la producción y rendimiento son negativas, ya que a medida que se eleva la temperatura sobrepasando el umbral optimo requerido por el cultivo, la producción y rendimiento de quinua se reduce. Según el pronóstico de producción de quinua para los próximos 16 años, los efectos serán perjudiciales no solo para la quinua, sino para todo el sector agrícola, con riesgos desde la disminución de la producción y calidad de los alimentos, ingresos más bajos y alza de precios. Es importante, la implementación de medidas de adaptación y mitigación para el sector agrícola.

Palabras claves: Cambio Climático, Función de producción, Umbral óptimo de temperatura, producción de quinua, variables climáticas.

ABSTRACT

By the method of agricultural production function, is economically estimates the effects of climate change in the production and performance of quinoa, it is concluded that climatic variables if they affect the production and performance of quinoa, these account for more than 60% and 35% respectively . The climate factor influencing the production and performance is the maximum temperature at a significance level of 10%. The optimum temperatures are 15.2 ° C maximum temperature, minimum temperature -5 ° C and rainfall of 765.5 mm. The behavior of climatic factors shows an increasing trend, and the effect toward production and performance are negative, because as the temperature rises exceeding the optimal threshold required for the cultivation, production and performance of quinoa is reduced. According to the forecast of quinoa production for the next 16 years, the effects will be detrimental not only for quinoa, but for the entire agricultural sector, with risks from declining production and food quality, lower incomes and rising prices. It is important, the implementation of adaptation and mitigation measures for the agricultural sector.

Keywords: Climate Change, Production function, optimal threshold temperature, quinoa production, climatic variables.

I. INTRODUCCIÓN.

El Cambio Climático (CC) causado por el calentamiento global se ha convertido en una de las mayores preocupaciones en el ámbito internacional. Las concentraciones atmosféricas mundiales de los gases de efecto invernadero (GEI) han aumentado notablemente por la actividad humana.

A lo largo de la historia, las actividades humanas han generado emisiones de GEI de larga permanencia en la atmósfera como el Dióxido de Carbono (CO_2) Metano (CH_4) Óxido Nitroso (N_2O) y otros gases fluorados, que son productos generados principalmente por la industrialización, no solo mantiene más calor que otros gases del efecto invernadero, sino que además toman más tiempo para deshacerse en la atmósfera (Timaná, 2013).

Las actividades afectadas por el CC se extienden a diversos ámbitos productivos y económicos, el sector agropecuario, hídrico, la biodiversidad y bosques, el turismo, salud de la población, entre otros. Con riesgos desde la disminución de la producción y calidad de los alimentos, ingresos más bajos y alza de precios, sequías en muchas regiones por falta de precipitaciones y en otras, mucha disponibilidad de agua debido al derretimiento de los glaciales e inundaciones en áreas urbanas relacionadas con precipitación extrema.

Además, se prevé, modificación o cambio de uso de suelos, desaparición de bosques, decoloración de corales y biodiversidad y pérdida de servicios ecosistémicos. Pérdida de infraestructura, alza del nivel del mar y fenómenos extremos en zonas costeras. Hasta propagación de enfermedades transmitidas por vectores en altitud y latitud. (CEPAL, 2010).

En el sector agricultura, los cultivos son sensibles a las variaciones de las temperaturas y a las precipitaciones, específicamente, en zonas donde la producción se desarrolla por secano (lluvias precipitadas) y se cuenta con un nivel de tecnología tradicional. Estos efectos en la agricultura no serán homogéneos en todas las regiones del planeta. (Galindo, 2009).

Cline (2008) argumenta: que en el Perú el impacto del CC será heterogéneo dependiendo de la zona geográfica, ya que está compuesto por muchos microclimas constituyendo 84 zonas de vida de las 114 a nivel mundial y 28 tipos de clima de los 34 existentes

en el planeta. Entonces, Perú tendrá diversos efectos dependiendo de la zona y climas existentes, lo que hará que las manifestaciones climáticas en unas regiones sean beneficiosas y en otras sean perjudiciales.

En el altiplano peruano, los eventos climáticos adversos son muy frecuentes y afectan a las actividades productivas como agricultura y ganadería, además estas son las que proveen las principales fuentes de ingreso a muchas familias. Por el carácter de subsistencia de sus economías, la producción de cultivos debe garantizar su seguridad alimentaria y del ganado con que cuentan.

Sanabria, Marengo y Valverde (2009), mencionan que la región del altiplano es considerada como una de las zonas más sensibles y perturbadas por la variabilidad climática con implicancias en las actividades del sector agropecuario, hidroeléctrico, minero, etc. En el futuro las condiciones de vida serían afectadas, por el impacto del CC a la actividad agropecuaria que es el principal sustento de la población. Además, afecta a la zona desde la atmósfera, con lluvias, granizadas, heladas; caracterizando un clima frío y semiseco, con una temperatura promedio anual de 8 °C.

El INIA (1996) indica que: El clima influye en la agricultura en varias formas, porque la producción agrícola depende directamente de variables climáticas como: la temperatura, las precipitaciones, horas de sol, velocidad del viento, humedad relativa, como también la presencia esporádica de eventos climáticos adversos propios de la zona altiplánica tales como la helada, el granizo, la sequía, las inundaciones por lluvias intensas y la nevada; todos estos eventos climatológicos ocasionan daños físicos, bajos rendimientos y pérdida en la producción de hasta un 100% en algunos casos, con la que las campañas agrícolas quedan seriamente perjudicadas.

Además, los productos agrícolas tienen márgenes apropiados de temperatura y precipitaciones en diferentes periodos de desarrollo. Por tanto, la variabilidad del clima, consecuencia de los diversos fenómenos naturales y provocados por la mano del hombre; hace que los productos agrícolas en sus épocas de floración, no estén en su temperatura ideal para su desarrollo; sino que están por encima de su temperatura óptima o por debajo. La producción también responde a las variaciones de recurso hídrico, principalmente los procedentes de las precipitaciones según la temporada.

Sobre el tema, Torres (2010). En su trabajo “Análisis económico del cambio climático en la agricultura de la región Piura – Perú, concluye que las variables climáticas si afectan el rendimiento de los cultivos, según la bondad de ajuste de los modelos, estos explican más del 50% del rendimiento de los cultivos.

También Marón (2010), destaca que el CC expresados en las variables temperaturas y precipitaciones afectan el rendimiento de los cultivos, de manera positiva al principio, pero luego de ciertos límites son negativos. Es preciso indicar también que cada tipo de cultivo tiene un margen óptimo de temperaturas y precipitaciones al cual puede adaptarse sin que el rendimiento se vea afectado.

Entonces, el CC es un fenómeno global que se manifiesta de manera heterogénea según las regiones, por lo que, los procesos de adaptación y mitigación serán, un aspecto importante a lo largo del siglo en las diversas actividades económicas, principalmente sector agropecuario, el sector hídrico, salud, entre otras. Dada las condiciones agroecológicas de cada lugar y sus múltiples microclimas, los cultivos deberán adaptarse a los escenarios climáticos adversos de cada zona, debido a que los cambios bruscos en las temperaturas y precipitaciones tienden a afectar el desarrollo de las plantas.

La ONU (2013), menciona que la adaptación de los sistemas alimentarios al CC es esencial para fomentar la seguridad alimentaria, la mitigación de la pobreza, la gestión sostenible y conservación de recursos naturales.

La quinua es una planta alimentaria que tiene facultades de adaptabilidad a condiciones adversas del clima, tolera el frío y sequía; es susceptible al exceso de humedad en las primeras fases de desarrollo, su desarrollo es anual, posee un excepcional equilibrio de proteínas, grasas y carbohidratos. Entre sus proteínas destacan la lisina (importante para el desarrollo del cerebro) y la arginina e histidina, básicos para el desarrollo humano durante la infancia. Igualmente es rica en metionina y cistina, en minerales como hierro, calcio, fósforo y vitaminas (Huamán, 2012).

Dado el contexto anterior, en este trabajo se hace un análisis específicamente del producto Quinua. Por tanto, se propone como objetivo general determinar los efectos del CC en la producción y rendimiento de

quinua a partir de una función de producción que los relaciona con las variables climáticas; temperatura y precipitación; y de manera específica: *i)* analizar el comportamiento de los factores climáticos durante el periodo de análisis, *ii)* determinar el factor climático que más influye en la producción y rendimiento de quinua, *iii)* estimar la temperatura óptima para la producción y el rendimiento de la quinua, y *iv)* proponer medidas de adaptación y mitigación que se debe adoptar en los cultivos de quinua respecto a los CC en el distrito de Juli en el periodo 1997 – 2012.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Función de Producción

Se parte de una función de producción donde, Montilla (2007), indica, que es la relación que existe entre el producto obtenido y la combinación de factores que se utilizan en su obtención.

Dado el estado de tecnología en un momento dado del tiempo, la función de producción indica que la cantidad de producto Q que se puede obtener está en función de las cantidades de capital (K), trabajo (L), tierra (T) e iniciativa empresarial (H), de modo que: $Q=f(L,K,T,H)$

Cada tipo de actividad empresarial, industrial o simplemente cualquier actividad productiva (entiéndase, por actividad productiva aquella que combina los factores de la producción con el objetivo de obtener un resultado materializado en un bien, o en la prestación de un servicio) tendrá una función de producción diferente según sea el caso.

En el caso de la actividad agrícola, el empresario utiliza la tierra que dispone, las semillas, el trabajo, maquinarias, fertilizantes, tecnología de riego, etc. La función de producción para el agricultor le indicará cuales son los niveles de producción que alcanzará mediante la combinación de todos los factores de la producción que tiene a su disponibilidad ese momento, esto último es importante, la dimensión temporal. Con esto queremos decir que la función de producción hace referencia a un momento del tiempo en que la tecnología está dada, si ocurre una innovación o retroceso, es decir, si ocurre un cambio en la tecnología, la función de producción cambiará.

El modelo que se especifica, parte de la función de producción, que relaciona la cantidad producida con los diferentes factores requeridos, trabajo, tierra,

capital, semillas, agua de riego, fertilizantes y factores climáticos. En términos formales Ramírez (2010) expresa:

$$Q_i = f(m_{ip}, x_{ip}, z_{it})$$

Dónde *m* es la variable “características del agricultor”, incluido capital humano, *x* son factores como capital, trabajo, insumos, *z* son variables climáticas, temperatura, precipitación, *i* son los diferentes cultivos (1, ..., N) y *t* subíndice es el tiempo o periodo considerado.

Así, el modelo sirve para analizar un cultivo específico *a través del tiempo*. Es necesario considerar que las funciones de producción agrícola, pueden ser lineales, cuadráticas, cubicas, hipérbolas. Al considerar sólo las variables climáticas (temperaturas y precipitación), su forma funcional es cuadrática y se expresa en forma general como:

$$Q_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 * Temp_{it} + \alpha_2 * (Temp_{it})^2 + \alpha_3 * Precipitacion_{it} + \alpha_4 * (Precipitacion_{it})^2$$

La ventaja de estos modelos es que se obtienen respuestas físicas, biológicas y económicas en el rendimiento del cultivo, utilizando en sus estimaciones variables observadas en el tiempo, las que captan la variabilidad del clima, temperaturas y precipitaciones. También permite identificar los umbrales de variables climáticas, máximos y mínimos de la temperatura y la precipitación. Pero su desventaja es que no recoge las respuestas de los agricultores ante cambios desfavorables, por lo que se supondría que son agricultores ingenuos. Una desventaja que podemos agregar en base a la apreciación de Mendelsohn y Neumann (1999), en países en desarrollo la información no es suficiente y confiable que permita una buena estimación.

III. METODOLOGÍA

El área de estudio. Es el distrito de Juli, se ubica a una altitud de 3812 msnm a 79 km de la ciudad de Puno, es capital de la provincia de Chucuito, que consta de 7 distritos, tiene una extensión de 1650 km², cuenta con 23,741 habitantes, el 49,2% son varones y el 50,8% mujeres. Respecto a la distribución de la población el 65,5% vive en el área rural y solo el 34,4% en el área urbana. Según datos del Censo de Población y Vivienda del INEI del año 2007.

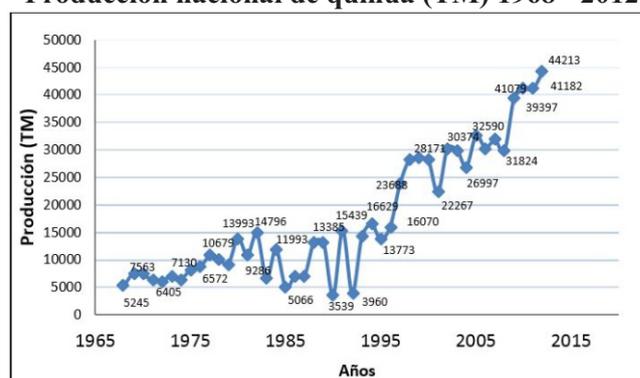
Producción de Quinua. Puno es el principal productor a nivel nacional, según el Plan Operativo de la Quinua realizado por el MINCETUR (2006). Además, el año 2012, la región Puno ha producido 30,179 TM y eso lo convierte en el primer productor de quinua a nivel nacional, con más de 28 mil hectáreas de cultivo, concentra más del 68% de la producción nacional (Tabla 1). En este mismo año la producción nacional de quinua creció 7.36% con respecto al año anterior, alcanzando 44,213 TM. (Tabla 1).

Tabla 1
Producción de quinua por regiones (T.M)

Región	Anual		
	2010	2011	2012
Puno	31951	32740	30179
Ayacucho	2368	1444	4188
Junin	1586	1448	1882
Cuzco	1890	1796	2231
Apurimac	1212	1262	2095
Arequipa	650	1013	1683
La libertad	430	354	505
Huancavelica	358	429	501
Huanuco	286	293	306
Resto	346	401	642
TOTAL	41,077	41,180	44,212

Fuente: Compendio Estadístico MINAGRI:

Figura 1
Producción nacional de quinua (TM) 1968 - 2012



Fuente: MINAGRI

En la Tabla 2, se muestra la producción y rendimiento de quinua a nivel local, para la campaña agrícola 2011-2012 de la provincia de Chucuito; el distrito de Juli alcanza una producción de 951,00 Tm. y 1140,29 Kg/Ha de rendimiento, ocupando el segundo lugar en el rendimiento de kilos por hectárea a nivel provincial. De la misma forma, en la Tabla 3, se presenta la producción y rendimiento de quinua durante el periodo de análisis 1997 -2012 (MINAGRI, 2012).

Tabla 2
Producción y rendimiento de quinua Provincia de Chucuito (2011-2012)

Distrito	Variables	Total
Zepita	Producción (Tm.)	1154,00
	Rendimiento (Kg. /ha.)	1132,48
Pomata	Producción (Tm.)	962,00
	Rendimiento (Kg. /ha.)	1270,81
Juli	Producción (Tm.)	951,00
	Rendimiento (Kg. /ha.)	1140,29
Kelluyo	Producción (Tm.)	195,00
	Rendimiento (Kg. /ha.)	1015,63
Huacullani	Producción (Tm.)	181,00
	Rendimiento (Kg. /ha.)	1022,60
Desaguadero	Producción (Tm.)	69,00
	Rendimiento (Kg. /ha.)	1000,00
Pisacoma	Producción (Tm.)	19,00
	Rendimiento (Kg. /ha.)	950,00
Total	Producción (Tm.)	3531,00
	Rendimiento (Kg/ha.)	7531,81

Fuente: Dirección Regional Agraria

Tabla 3
Producción y rendimiento de Quinua distrito de Juli (1997 – 2012)

Años	Producción (Tm)	Rendimiento (Kg/ ha.)
1997	986	818.26
1998	1042	964.81
1999	1043	949.91
2000	941	1057.30
2001	941	912.71
2002	1053	1221.58
2003	910	1002.20
2004	883	986.59
2005	1197	1330.00
2006	1041	1131.52
2007	1064	1182.22
2008	1037	1109.09
2009	1327	1217.43
2010	1271	1233.98
2011	1334	1286.40
2012	951	1140.29

Fuente: Compendio Estadístico MINAGRI:

Datos. Se utilizó información de series históricas de la Dirección Regional Agraria de Puno (DRAP) que son las variables de producción y rendimiento, y del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) variables de temperatura mínima, máxima y precipitación pluvial para el periodo 1997–2012.

El análisis descriptivo y comparativo sobre la evolución histórica de las variables de estudio, las interrelaciones y el efecto del CC en la producción de quinua, se realizó utilizando el software *Econometric Views* - EViews 8.0.

El modelo. Partiendo de una función de producción polinómica de segundo grado. El modelo econométrico planteado para el análisis de producción y rendimiento es el siguiente:

$$RD_t = \alpha_0 + \alpha_1 * T_{max_t} + \alpha_2 * T_{max_t}^2 + \alpha_3 * T_{min_t} + \alpha_4 * T_{min_t}^2 + \alpha_5 * P_{plv_t} + \alpha_6 * P_{plv_t}^2 + \mu$$

Dónde t representa los años de estudio (1997 - 2012), RD es el rendimiento de quinua (Kg/Ha), T_{max} es la temperatura máxima ($^{\circ}C$), T_{min} es la temperatura mínima ($^{\circ}C$), P_{plv} es la precipitación pluvial(mm), μ es el termino error (efectos no observables) y finalmente $\alpha_0, \dots, \alpha_6$ son los parámetros del modelo.

A fin de analizar el efecto individual de cada variable climática sobre rendimiento de quinua, se analiza econométricamente de la siguiente manera:

- a) $RD_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 * T_{máx_{it}} + \alpha_2 * (T_{máx_{it}})^2$
- b) $RD_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 * T_{mín_{it}} + \alpha_2 * (T_{mín_{it}})^2$
- c) $RD_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 * T_{pplv_{it}} + \alpha_2 * (T_{pplv_{it}})^2$

Es importante aclarar que para el análisis de producción de la quinua se procede de manera análoga. Los supuestos son: que los cultivos presentan umbrales de tolerancia de las variables, temperatura mínima, máxima y precipitaciones, es de esperar que muestren los siguientes comportamientos.

A medida que las temperaturas mínimas van aumentando (mayor temperatura) el rendimiento de los cultivos mejora hasta cierto punto, pero si este incremento supera la temperatura ideal para el cultivo, entonces éste mermará su rendimiento por lo tanto empezará a disminuir.

Lo mismo ocurre con las precipitaciones, debido que los cultivos necesitan de agua para poder desarrollarse, sin embargo, si estas precipitaciones están por debajo del requerido, el rendimiento del cultivo estará por debajo del nivel óptimo esperado, y si las precipitaciones son en mayor cantidad que el requerido también mermará su desarrollo por las consecuencias negativas que ocasionan las inundaciones, etc.

IV. ANÁLISIS DE DATOS Y DISCUSIÓN

Comportamiento de los factores climáticos. En base a la información del SENAMHI, la variable temperatura máxima - T_{max} presenta una tendencia creciente en promedio de 14.29 $^{\circ}C$; la variable

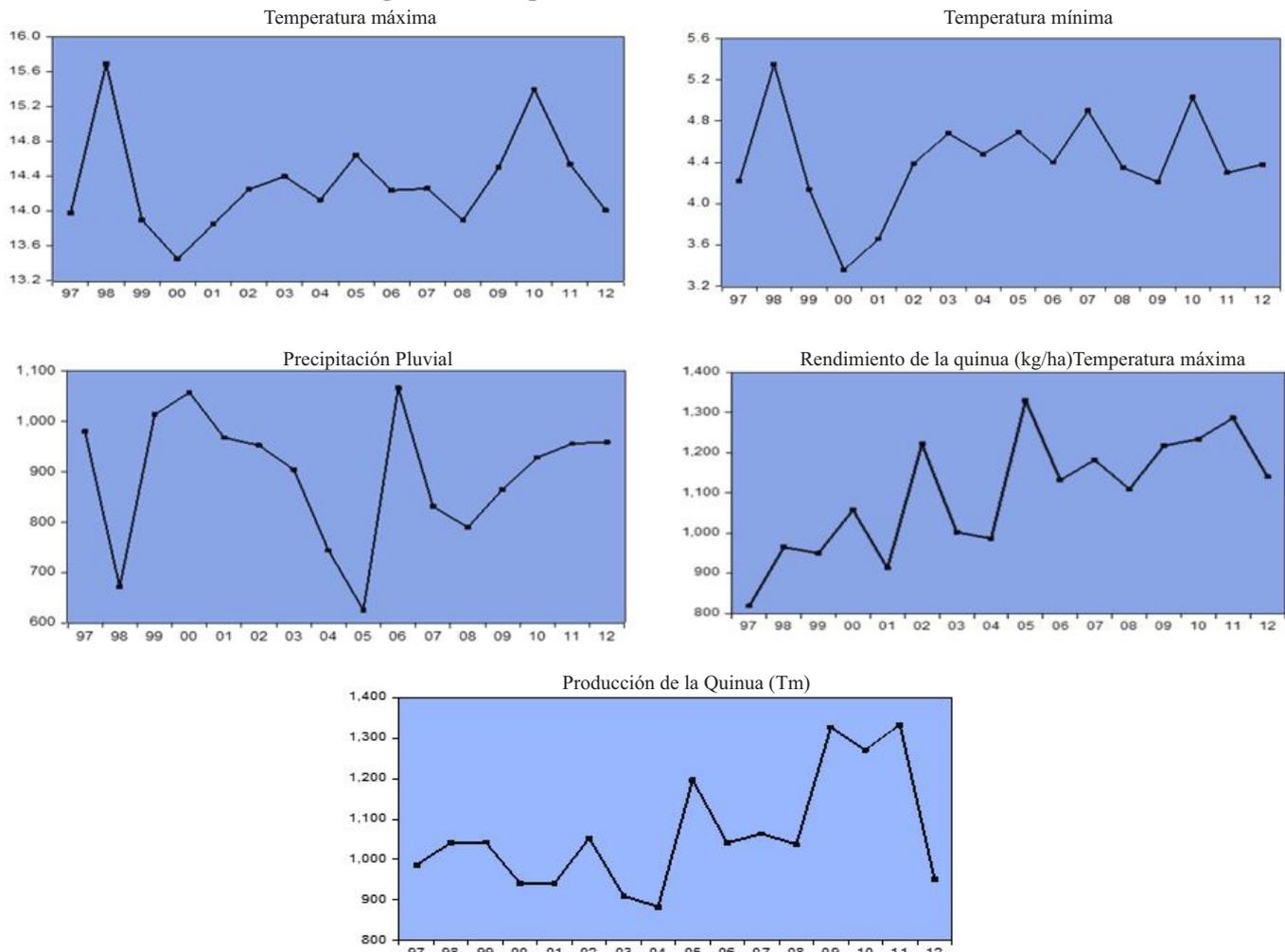
temperatura mínima - T_{min} evidencia inicialmente una disminución abrupta hasta el año 2000, luego se recupera presentando una tendencia creciente promedio de 4.41 °C.

Las precipitaciones pluviales - P_{plv} tiene un comportamiento irregular principalmente el año 1998 donde existe una disminución impresionante y para los siguientes años un incremento y recuperación hasta el año 2000, de manera similar los siguientes años va disminuyendo la

precipitación año tras año hasta el 2005. Luego se nota una recuperación en forma constante en un promedio de 114.5 mm.

El rendimiento (kg/Ha) de quinua es muy fluctuante, presentando una baja el año 2001, debido a la disminución de la temperatura mínima para ese año. Luego notamos una recuperación hasta el año 2011, al final se nota que los rendimientos de la producción de quinua disminuyen al igual que la producción. (figura 2).

Figura 2. Comportamiento de factores climáticos



Fuente: Elaboración propia en base a los datos reportados por el SENAMHI y DRA

Para determinar el factor climático que más influye en la producción y rendimiento de quinua. Los resultados de las estimaciones econométricas son consistentes, los signos de los coeficientes que acompañan a las variables explicativas son los esperados.

Sabiendo que la quinua es un grano que tiene facultades de adaptabilidad a condiciones adversas

del clima, se espera que: $\alpha_1 > 0$ (positivo) y $\alpha_2 < 0$ (negativo), ya que debería suceder que a mayores temperaturas máximas mayores niveles de producción pero a excesivas temperaturas máximas la producción se ve afectado; $\alpha_3 > 0$ (positivo) y $\alpha_4 < 0$ (negativo), ya que a mayor temperatura mínima mayor producción pero superada la temperatura mínima óptima (frio o helada) la producción

disminuye; $\alpha_5 > 0$ (positivo) y $\alpha_6 < 0$ (negativo), ya que a altos niveles de precipitación pluvial la producción aumenta pero a excesivas precipitaciones termina mermando la producción.

La tabla 4, muestra resultados de las estimaciones; la estimación 1 incluye o toma en cuenta solo la variable T_{max} , la estimación 2 incluye solo la variable T_{min} , la estimación 3 solo incluye la variable P_{plv} , la estimación 4 incluye todas las variables (T_{max} , T_{min} , P_{plv}).

De las estimaciones 1, 2 y 3, la variable que mejor explica la producción de quinua es T_{max} , pues el valor de Akaike (AK) es 12.65188 y de Schwarz (SCH) 12.79674, son valores mínimos respecto a los resultados de las estimaciones 2 y 3. Además el R^2 es el más alto de los tres resultados indicando que esa variable influye en un 35% la producción de quinua y es la única variable significativa al 10%, los demás parámetros resultan siendo no significativos; es posible por un problema de multicolinealidad, (Gujarati, D y Porter, D. 2010). Por tanto, según estos criterios se podría concluir que la variable T_{max} es la que más influye en la producción de quinua.

Tabla 4. Estimación del modelo para la producción de quinua

Variables	Estimación 1	Estimación 2	Estimación 3	Estimación 4
Constante	-24640.50 (-1.465699)	-246.5317 (-0.117791)	597.5028 (0.355842)	-29393.93 (-0.991489)
T_{max}	3403.354 (-1.477048) *			3608.306 (0.805676)
T_{max}^2	-112.161 (-1.422269) *			-110.8019 (-0.717509)
T_{min}		533.3068 (0.553037)		504.5269 (0.298045)
T_{min}^2		-52.98407 (-0.478805)		-96.52244 (-0.483218)
Precip			1.28911 (0.321635)	3.052657 (0.977209)
$Precip^2$			-0.000842 (-0.358077)	-0.001862 (-1.016327)
R^2	0.352308	0.076527	0.026278	0.624259
R^2 ajustado	0.252663	-0.065546	-0.123525	0.373765
AK	12.65188	13.00661	13.05959	12.60737
SCH	12.79674	13.15147	13.20445	12.94538
F stat.	3.535634	0.538645	0.175419	2.492111
Prob F	0.059415	0.596016	0.841059	0.105462

*representa significancia del 10%

Fuente: Elaboración propia sobre la base de datos usados en el modelo econométrico.

De manera análoga se hace los análisis y estimaciones para el rendimiento de quinua. La tabla 5 presenta los resultados de las estimaciones 1, 2 y 3, la variable que mejor explica o influye en el

rendimiento de quinua es T_{max} (similar a los resultados anteriores de producción), pues el valor del Akaike (AK) es 12.815299 y de Schwarz (SCH) es 12.96015 estos son valores mínimos respecto a las demás variables en comparación, el R^2 es el más alto, indicando que esta variable explica en un 26% la producción de quinua, también es la única variable significativa al 10%. Entonces, se puede concluir que la variable T_{max} es la que más influye en el rendimiento de la quinua.

En forma global, según resultados de la estimación 4 tanto para producción y rendimiento (tabla 4 y 5) podemos afirmar que las variables climáticas en su conjunto explican o influyen en la producción y rendimiento de la quinua en un 62% y 35% respectivamente. (Para la producción de quinua no solo intervienen factores climáticos sino, muchos otros como trabajo, tierra, tecnología, etc.).

Tabla 5: Estimación del modelo para el rendimiento de quinua

Variables	Estimación 1	Estimación 2	Estimación 3	Estimación 4
Constante	-32813.33 (-1.798712)	-986.3737 (-0.470246)	610.3397 (0.365206)	-48662.75 (-1.225131)
T_{max}	4579.568 (1.831590) *			6821.285 (1.136788)
T_{max}^2	-154.2254 (-1.802238) *			-228.5445 (-1.104605)
T_{min}		892.7447 (0.923740)		-742.2528 (-0.327269)
T_{min}^2		-94.32407 (-0.850514)		68.84881 (0.257257)
Precip			1.487021 (0.372769)	2.492305 (0.595479)
$Precip^2$			-0.001034 (-0.442104)	-0.001593 (-0.649118)
R^2	0.266716	0.108195	0.07259	0.351495
R^2 ajustado	0.153903	-0.029006	-0.070089	-0.080842
AK	12.815299	13.01101	13.05015	13.19243
SCH	12.96015	13.15587	13.19501	13.53044
F stat.	2.364229	0.788589	0.508763	0.813012
Prob F	0.133128	0.475066	0.612728	0.585491

*representa significancia del 10%

Fuente: Elaboración propia sobre la base de datos usados en el modelo econométrico.

Temperatura óptima para la producción y rendimiento de quinua. La temperatura óptima es la temperatura ideal que soporta el producto “quinua” en sus diferentes etapas de crecimiento como: germinación, floración, ramificación.

Según INIA (1996), La temperatura óptima para la producción y rendimiento de quinua, establece parámetros para este cultivo, e indica que la quinua soporta una temperatura máxima dentro de un rango de 8 °C hasta 17 °C, temperatura mínima hasta -4 °C y precipitaciones pluviales de 300 mm hasta 800 mm.

La presencia de bajas temperaturas afectará especialmente en la etapa de germinación y de floración causando baja producción de polen en consecuencia, esterilidad de la planta; pero en la etapa de ramificación la planta no tendrá mayores problemas a descensos de temperaturas hasta $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$. Por otro lado, la presencia de altas temperaturas (veranillos) puede afectar los procesos fisiológicos de la planta, generando que acelere el proceso de producción de grano para asegurar su sobrevivencia, es decir a temprana edad fenológica se puede observar el panojamiento y la floración para su posterior llenado precoz; otro desorden es el aborto de flores.

Luego de los cálculos correspondientes mediante derivadas parciales respecto a los factores climáticos del modelo econométrico. Los resultados de las temperaturas óptimas son:

Tabla 6: Temperaturas óptimas para producción y rendimiento de Quinua

Temperaturas Óptimas	Producción	Rendimiento
Temperatura Mínima	15.2 °C	14.8 °C
Temperatura Máxima	5.0 °C	4.7 °C
Precipitaciones pluviales	765.5 mm	700.1 mm

Fuente: elaboración en base a datos de Tabla 4 y Tabla 5.

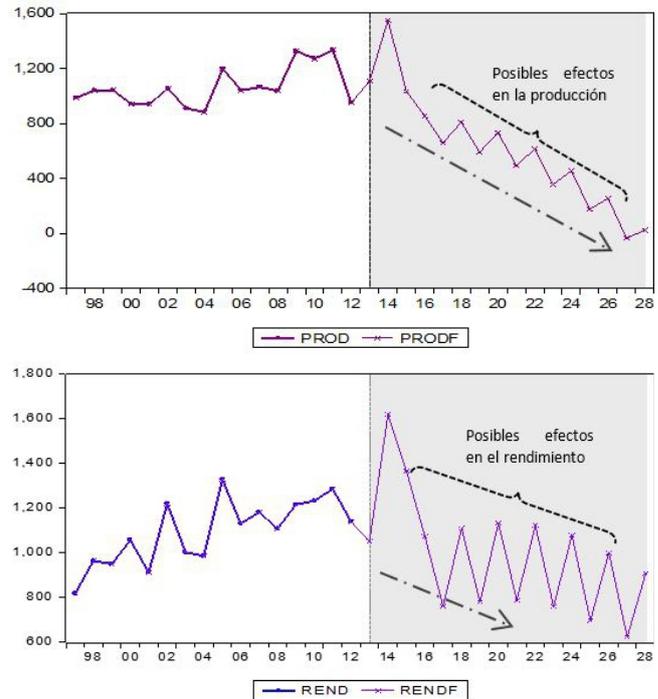
Las temperaturas óptimas calculadas y encontradas coinciden o están dentro del rango de los datos que proporciona el SENAMHI. Por ejemplo, para la producción: Las temperaturas máximas registradas en los años 1998 y 2010 son cercanos a la temperatura óptima calculada $15.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $15.4\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Para temperaturas mínimas, en los años 2007 y 2010 se registraron valores cercanos al calculado que son $4.9\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $5.03\text{ }^{\circ}\text{C}$. También los datos, de las precipitaciones pluviales registradas en los años 1998 y 2008 son cercanas a la precipitación óptima calculada, reportando 671.40 mm y 789.30 mm. De manera similar para el rendimiento se hallan valores cercanos.

Tomando en consideración la metodología de proyecciones del SENAMHI. Se hicieron las proyecciones de las variables T_{max} , T_{min} y P_{ply} ,

con esos datos una simulación tanto para producción y rendimiento en el modelo econométrico planteado hasta el año 2028.

Figura 3. Pronostico de la producción y rendimiento de quinua al 2028



Fuente: Elaboración propia en base a los datos reportados por el SENAMHI y DRAP

En la figura 3 observamos los posibles efectos de la producción y rendimiento de la quinua, tomando en consideración las proyecciones realizadas de las variables climáticas. Podríamos indicar que no solo habrá escasez de la quinua en un futuro, sino de la mayoría de productos agrícolas ante los cambios climáticos que actualmente se está presentando en nuestra región

Los resultados de esta investigación implican la implementación inmediata de medidas de adaptación y mitigación para el sector agrícola, especialmente para la quinua. Como lo menciona (Alieri & Nicholls, 2012); los agricultores han desarrollado sistemas agrícolas que se adaptan a las condiciones locales que les permite una producción continua necesaria para subsistir, a pesar de cultivar en ambientes marginales de tierra, con variabilidad climática no predecible y un uso muy bajo de insumos externos. Por tanto, se presenta la siguiente propuesta, cuadro 1.

Cuadro 1. Medidas de adaptación agrícola

Objetivos	Actividades o Acciones	Responsables
Organización del sistema de cultivo en el espacio de tierra	Recuperación de cultivos por aynocas	Productores agrícolas
Identificación, uso y conservación adecuada de las variedades nativas y producción con técnicas agroecológicas para la reducción del impacto de eventos climáticos.	-Usar y conservar variedades nativas. -Producción con técnicas agroecológicas.	Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) Productores agrícolas.
Obtener información agrohidro-meteorológica para el monitoreo e investigación.	-Estación de monitoreo agro climatológico	-Autoridad Nacional del Agua (ANA) -SENAMHI
Contar con infraestructura hidráulica construida adecuadamente para la prevención y reducción de riesgos por inundación y sequía en zonas vulnerables.	-Construcción de reservorios y defensas ribereñas.	Autoridad Nacional del Agua (ANA)
Prácticas de forestación/reforestación y manejo de bosques adecuados para reducir el impacto de eventos climáticos extremos.	-Agroforesteria -Desarrollo forestal	Dirección regional agraria
Manejo adecuado y sostenible de los recursos naturales para contribuir a la reducción de los efectos negativos en el sector agrícola por eventos climáticos.	-Conservación de suelos -Manejo de agua -Manejo de pastos	Agro rural
Capacitaciones sobre gestión de riego de desastres (GRD) y la aplicación de medidas de adaptación al CC en la agricultura.	-Extensión agropecuaria	-Agrorural -Senasa -INIA
Promover y financiar la investigación orientada a mejorar la tecnología que permita hacer frente a los efectos señalados y tener una agricultura menos vulnerable al clima.	-Organizar concurso de investigaciones científicas orientados a tecnología agrícola frente al CC	-Municipalidades -Gobiernos regionales

Fuente: Elaboración propia.

V. CONCLUSIONES

Los factores climáticos muestran una tendencia creciente, y el efecto en la producción y rendimiento de quinua son negativas principalmente en los últimos años, ya que a medida que se eleva la temperatura sobrepasando el umbral óptimo del cultivo, la producción y rendimiento de quinua se reduce, es decir, al elevarse 1 °C la temperatura máxima, la producción se reduce 112.2 TM. y el rendimiento 169.1 Kg/Ha; por la elevación de las precipitaciones pluviales en 300 mm la producción se reduce en 75.78 TM y el rendimiento 127 Kg/Ha.

Las estimaciones econométricas muestran que las variables climáticas si influye la producción y el rendimiento de quinua, estos explican incluso más del 60% y 35% respectivamente. Estos resultados indican que, los factores climáticos no son las únicas variables que intervienen en la producción, existen otras variables como tierra, trabajo, tecnología, entre otros, pero no es análisis del presente estudio. A nivel individual, el factor climático que más influye en la producción y rendimiento es la variable temperatura máxima - *Tmax*, a un nivel de significancia del 10% en ambos casos.

Las temperaturas óptimas calculadas se encuentran dentro de los parámetros que la teoría sostiene. Para el caso de producción, la temperatura máxima óptima es de 15.2°C, temperatura mínima óptima es de 5°C y la precipitación óptima es de 765.5 mm. Para el rendimiento el nivel óptimo de temperatura máxima es de 14.8 °C; temperatura mínima óptima de 4.7 °C y la precipitación pluvial óptima de 700 mm de precipitaciones pluviales.

Según el pronóstico para los próximos años, ante el hecho inminente de CC a nivel mundial, posiblemente tendremos efectos negativos no solamente en este producto, sino en la agricultura en su conjunto, con riesgos desde la disminución de la producción y calidad de los alimentos, ingresos más bajos y alza de precios, entre muchas otros. Por ello se debe tener en cuenta la implementación de medidas de adaptación y mitigación para el sector agrícola.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional del Altiplano por el apoyo y financiamiento a través del Fondo Especial de Desarrollo Universitario (FEDU) del proyecto de investigación "EFECTOS DEL CAMBIO

CLIMÁTICO EN LA PRODUCCIÓN Y RENDIMIENTO DE LA QUINUA EN EL DISTRITO DE JULI, PERIODO 1997 – 2014" llevado a cabo desde agosto de 2015 hasta abril de 2016.

REFERENCIAS

- Alieri, M., y Nicholls, C. (2012). *Cambio climático y agricultura campesina: Impactos y respuestas adaptativas*. Honduras.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe - CEPAL (2010). *ISTMO Centroamericano: efectos del cambio climático sobre la agricultura*, México.
- Cline, W. (2008). *Calentamiento Mundial y Agricultura*. Finanzas y Desarrollo.
- Galindo, L. (2009). *La economía del Cambio Climático en México*. México.
- Gujarati, D y Porter D. (2010). *Econometría. 5ta Edición*. México D.F.
- Huamán, H. (2012). *Manual de Nutrición y Fertilización de la Quinua*. Lima: Funart.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática - I.N.E.I. (2007). *Censo Nacional 2007 IX de Población y VI de Vivienda*. Puno.
- Instituto Nacional de Investigación Agraria - I.N.I.A. (1996). *Compendio de alternativas tecnológicas*. (1° ed.). Puno, Perú.
- Marón, R. (2010). *Efectos Económicos del cambio climático en la Producción de los Principales Productos Agrícolas del Distrito de Ilave (Periodo 1997-2009)*. Puno.
- Mendelsohn y Neumann (1999). *Climate change and agriculture in Sri Lanka: A Ricardian Valuation - Environment and Development Economics 2005* Cambridge University Press
- Ministerio de Agricultura y Riego – MINAGRI (2014). *Compendio Estadístico – Series Históricas de Producción Agrícola*. Disponible en: <http://frenteweb.minagri.gob.pe/sisca/?mod=salida>
- Ministerio de Comercio Exterior y Turismo - MINCETUR. (2006). *Plan Operativo de la Quinua*.
- Montilla, F. (2007). *Conceptos Básicos de Microeconomía de la Empresa. Función de Producción*.
- Organización de las Naciones Unidas - ONU (2013). *Adaptación de la Agricultura al cambio climático*.
- Ramirez, D. (2010). *Climate, And Water Dynamics, Climate, Physical Meteorology, Weather Systems, and Measurements-* John Wiley and Sons; Inc. Handbook of Weather.
- Sanabria, Y., Marengo, J., y Valverde, M. (2009). Escenarios del Cambio Climático con Modelos Regionales sobre el Altiplano Peruano (Departamento de Puno). *Revista Peruana Geo-Atmosférica RPGA*, 134-149.
- Sebastián A. y Rodríguez B. (1978). *Análisis Económico de las funciones de producción agrícola. Una aplicación al cultivo del trigo*. Universidad politécnica de Madrid – España.
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología - SENAMHI. (2013). *Evaluación de los modelos CMIP5 del IPCC en el Perú: Proyecciones al año 2030 en la región Puno*. Lima.
- Timaná, M. (2013). *Cambio Climático en el Perú*. Departamento de Humanidades, Pontificia Universidad de Católica del Perú – Lima
- 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.