

Producción agrícola alimentaria y cambio climático: un análisis económico en el departamento de Puno, Perú

*Food production agriculture and climate change: An economic analysis
in the Department of Puno, Peru*

Juan Tonconi Quispe^{1*}

RESUMEN

En este artículo se cuantifican los efectos del cambio climático relativo a la producción agrícola alimentaria y referente a las ganancias económicas de los productores agrícolas en el departamento de Puno, Perú; por un lado, a partir del enfoque de la función de producción, mediante el análisis de cointegración, usando datos de información entre 1960-2010; por otro lado, desde el enfoque ricardiano, mediante datos de información del IV Censo Nacional Agropecuario 2012, con 39.724 productores. Los resultados del modelo econométrico indican que las variables climáticas como las temperaturas máximas promedio actuales (16,4 °C) tienen efectos negativos acerca del rendimiento de los cultivos de papa, haba y maíz; mientras los cultivos de quinua y cañihua aún tienen efectos positivos. Al 2035, considerando una tasa de descuento de 2% en el escenario más severo, las pérdidas acumuladas ocasionadas por el cambio climático sobre la agricultura alimentaria ascienden a 0,58% del PIB Puno 2010, equivale aproximadamente a 20 millones de dólares americanos. Asimismo, mediante el enfoque ricardiano los efectos negativos se corroboran: ante el incremento en un grado celsius de la temperatura media las pérdidas en ganancias económicas de los agricultores alcanzan a 320 dólares americanos por hectárea; finalmente, con medidas de adaptación al cambio climático las pérdidas económicas disminuirían en 43,93% para el escenario más severo.

Palabras clave: cambio climático, medidas de adaptación, producción agrícola, sostenibilidad alimentaria.

ABSTRACT

In this paper the effects of climate change on food crop production and economic gains for farmers in the department Puno, Peru quantified; first, from the approach to the production function, using cointegration analysis using data information between 1960-2010; On the other hand, from the Ricardian approach, using information data Fourth National Agricultural Census 2012 with 39.724 producers. The results of the econometric model indicate that climatic variables how current average maximum temperatures (16.4 °C) have negative effects on the yields of potato, bean and corn; while, crop quinoa and cañihua still have positive effects. By 2035, assuming a discount rate of 2% in the most severe scenario, the accumulated losses caused by climate change on food crops totaled 0.58% of GDP Puno 2010, equivalent to approximately 20 million US dollars. Also, by the Ricardian approach corroborate the negative effects, given the increase in the average degree celsius temperature losses in economic gains for farmers totaled US \$ 320 per hectare; finally with measures to adapt to climate change economic losses decrease by 43.93% for the most severe scenario.

Key words: Climate Change, adaptation measures, agricultural production, food sustainability.

Introducción

El cambio climático a nivel local, nacional e internacional ha causado preocupación entre los científicos y la sociedad civil, debido a que las variables climáticas como la temperatura, precipitación, nivel del mar, entre otros, medidas del cambio de clima, están siendo severamente

afectadas y estas a su vez generan impacto sobre los diversos sectores productivos como el agrario, los que se ven afectados en sus rendimientos. Según las predicciones de Mitchell (2005), las temperaturas nocturnas se han incrementado considerablemente desde 1950, experimentándose un crecimiento aproximado de 0,2 °C por década, y en cuanto a las temperaturas mínimas, estas han disminuido. Es decir,

¹ Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, Ciudad Universitaria, Av. Miraflores S/N. Tacna, Perú

* Autor por correspondencia: ecotonconi@unjb.edu.pe

la variabilidad de las temperaturas se acentúa más; incluso se ha incrementado el número de días con heladas y la amplitud de las estaciones, que tienen efectos adversos sobre la producción alimentaria, por ende amenaza la seguridad y sostenibilidad alimentaria.

En relación con el impacto del cambio climático sobre la agricultura, existen antecedentes. Cline (2007) indica que si continúan sin reducirse las emisiones de carbono, para el 2080 la concentración de carbono en la atmósfera se duplicará, produciendo un aumento de calentamiento global de 3,3 °C, ello incidirá en una mayor disminución de la productividad agrícola en Latinoamérica, mucho más en los países en desarrollo, con caídas de 24% sin fertilización carbónica y una reducción del 13% con fertilización carbónica. De manera similar, Seo & Mendelsohn (2007) predicen efectos del cambio climático sobre la agricultura para el continente africano, basados en una muestra de 2.000 observaciones, los productores grandes y pequeños perderán hasta el 25% del valor de su flujo de ingresos para 2060, el porcentaje se incrementa hasta 50% en el escenario climático más severo correspondiente a 2100. Asimismo, Ordaz, Ramírez, Mora, Acosta & Serna (2009) corroboran que el país de El Salvador sufrirá grandes pérdidas en la agricultura ante los efectos climáticos. Para el 2100 el aumento de la temperatura estará entre 2 °C y 5 °C y la precipitación aumentará entre 18% y 40%, ello traerá una reducción entre 2% y 8% del PIB en relación con el PIB 2007.

Perú, igual que las naciones vecinas, es uno de los países que será inmensamente afectado por el cambio climático por su ubicación geográfica cerca de la línea ecuatorial y por ser un país en desarrollo con limitada capacidad de mitigación y adaptabilidad al cambio climático. Por tanto, los efectos del cambio climático sobre la agricultura en el interior de los departamentos del país ya son notorios. En Puno la temperatura promedio ha crecido en 0,8 °C durante el periodo 1960-2010, estos cambios son con mayor frecuencia y severidad en las temperaturas extremas máximas y mínimas, registrando un aumento de 0,94 °C y una disminución de 0,51 °C, respectivamente. Según las predicciones al 2035, considerando una tasa de descuento del 2% en el escenario más severo, las pérdidas acumuladas ocasionadas por el cambio climático sobre la agricultura alimentaria ascienden a 0,58% del PIB de Puno 2010. En términos económicos,

esto equivale aproximadamente a 20 millones de dólares americanos.

Para tal efecto, el presente estudio busca analizar los efectos del cambio climático sobre la producción agrícola alimentaria y sobre las ganancias de los agricultores en el departamento de Puno, Perú. De manera específica estima los efectos del cambio climático en el rendimiento de los principales productos agrícolas alimentarios, analiza los efectos del cambio climático sobre las ganancias económicas de los agricultores, y propone estrategias de adaptación de la producción agrícola al cambio climático en el departamento de Puno.

Materiales y Métodos

Materiales

En el presente estudio se utilizan datos de información de series temporales y de corte transversal, el primero comprende datos históricos entre el periodo de 1960 y 2010. Las variables del cambio climático como las temperaturas promedio máximas y mínimas expresadas en grados Celsius (°C), precipitación medida en milímetros (mm/mo), han sido proporcionadas por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), corresponde a las 33 estaciones meteorológicas e hidrológicas en todas las provincias del departamento de Puno. Mientras las series sobre el rendimiento de la producción agrícola alimentaria como de la papa, haba, quinua, cebada, trigo, maíz y cañihua están medidas en toneladas métricas por hectárea (t/ha); participación del sector agropecuario en el producto bruto interno regional, la población rural, nivel de educación, población económicamente activa ocupada, producto bruto interno *per cápita*, precio de los cultivos entre otras variables socioeconómicas, han sido obtenidas de la Dirección Regional Agraria Puno (DRAP), Banco Central de Reserva del Perú, filial Puno (BCR), Instituto Nacional de Estadística e Informática Tacna (INEI), Universidad Nacional del Altiplano de Puno (UNAP), Gobierno Regional Puno, municipalidades locales y Asociación de Productores en Puno. Asimismo, se indica que todas las variables monetarias mencionadas anteriormente se deflataron usando el índice de precios al consumidor (IPC) base 2009.

Por otro lado, para cuantificar los efectos del cambio climático sobre los beneficios económicos de los agricultores se usaron datos de información

de corte transversal, obtenida de la base del IV Censo Nacional Agropecuario 2012 realizado por el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), con 39.724 encuestas aplicadas a los productores agropecuarios en Puno, considerándose variables socioeconómicas, agrícolas productivas y climáticas. La documentación del censo, así como la base de datos, han sido revisadas y evaluadas para tener mejor consistencia de la información y generar un conjunto de nuevas variables en la región. Los datos meteorológicos fueron proporcionados por SENAMHI Perú, corresponde a las 33 estaciones meteorológicas e hidrológicas en todas las provincias del departamento de Puno. Estos datos comprenden información de temperatura y precipitación a nivel local.

Metodología

El tipo de investigación es descriptivo, prescriptivo y analítico porque caracteriza, describe, analiza y evalúa los efectos del cambio climático sobre la producción agrícola alimentaria y sobre las ganancias económicas de los productores agrícolas en el departamento de Puno, Perú. Para tal efecto busca caracterizar la situación actual del sector agrícola regional, los factores medioambientales, productivos y socioeconómicas, a partir de ello plantear dos escenarios futuros del cambio climático y sus impactos físicos y económicos sobre la agricultura alimentaria, con el objeto de generar estrategias de adaptación de la producción agrícola local a los cambios climáticos en Puno.

El diseño particular de este tipo de investigación está identificado dentro de las posibilidades que brinda el método científico, el que tiene el siguiente procedimiento mediante el uso de los modelos económicos.

La producción agrícola, en términos de seguridad alimentaria, es medida por medio de la disponibilidad de la producción física de alimentos y las condiciones de acceso de ellos en términos económico, medioambiental y productivo-social, los cuales garantizan la sustentabilidad de la producción agrícola alimentaria.

A nivel internacional, existen dos enfoques de estudio para evaluar los efectos en términos físicos y económicos del cambio climático sobre la agricultura: el enfoque de la función de producción (estructural) que usa información en series temporales y el enfoque ricardiano (espacial) que usa datos de corte

transversal. Además, se plantea una metodología de las medidas de adaptación de la agricultura al cambio climático.

a. *Enfoque de la función de producción*

Una función de producción agrícola relaciona la producción (Q) con variables productivas endógenas (P) como trabajo, capital y otros insumos; con variables exógenas (A) que comprenden variables climáticas e irrigación; y con las características socioeconómicas de los agricultores (S), entre las que se incluyen variables de capital humano y aspectos sociales del productor, según Fleischer *et al.* (2007).

En términos formales, la función de producción agrícola se representa como sigue:

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

Donde Q_i puede representar la producción total en el sector agropecuario, la producción en un subsector como por ejemplo el agrícola o el rendimiento por hectárea de un cultivo determinado.

Con fines empíricos, en Puno la producción agrícola alimentaria en el sector agropecuario como la papa, haba, quinua, cebada, trigo y cañihua depende de los factores mencionados anteriormente, por lo que la forma funcional en relación con la teoría económica es la siguiente.

$$\begin{aligned} Papa_i &= f(P_i, S_i, A_i) \\ Haba_i &= f(P_i, S_i, A_i) \\ Quinua_i &= f(P_i, S_i, A_i) \\ Cebada_i &= f(P_i, S_i, A_i) \\ Trigo_i &= f(P_i, S_i, A_i) \\ Maíz_i &= f(P_i, S_i, A_i) \\ Cañihua_i &= f(P_i, S_i, A_i) \end{aligned} \quad (2)$$

Así, el modelo sirve para analizar cada cultivo específico en el tiempo; por lo que es necesario considerar que las funciones de producción agrícola, en principio, pueden ser funciones cuadráticas, raíz cuadrada, tres medios, logarítmicas, translogarítmicas u otras formas exponenciales como señala Seo & Mendelsohn (2007). Con el fin de poder identificar los efectos del cambio climático en términos de temperatura y precipitación sobre la producción

agrícola, se tiene la siguiente expresión de forma funcional cuadrática:

$$Q_{it} = \beta_0 + \beta_1 Tem + \beta_2 Tem^2 + \beta_3 Pre + \beta_4 Pre^2 + \beta_5 Tem * Precip \quad (3)$$

Donde la producción (Q_{it}) depende de la temperatura (Tem) y precipitación (Pre) en forma cuadrática, lo que permite el análisis de los efectos del cambio climático en el rendimiento de la producción agrícola alimentaria, mediante las estimaciones variables observadas en el tiempo, las que captan la variabilidad del clima, en las temperaturas y precipitaciones, paralelamente se identifican los umbrales de variables climáticas de máximos y mínimos como la temperatura y la precipitación.

El método de estimación que se emplea en el enfoque de la función de producción es de máxima verosimilitud (MV) mediante Cointegración Johansen o Vector de Corrección de Errores (VEC), con el que se analizan efectos del cambio climático sobre el rendimiento de los cultivos de la producción agrícola alimentaria en Puno, debido que otros métodos como mínimos cuadrados ordinarios no solucionan problemas de no estacionariedad en series temporales, tampoco capturan el comportamiento dinámico de las variables. Lutkepoh (1993) (en su documento "Introduction to Multiple Time Series Analysis", de 1993), sostiene que los modelos de vector de corrección de errores (VEC) constituyen una buena alternativa a la solución de los problemas mencionados anteriormente y permiten establecer relaciones de equilibrio de corto y largo plazo. Estos modelos VEC han sido aplicados por Isaza & Mesa (2004) (artículo "Cambios Estructurales de la demanda de Trabajo en Colombia: Un Análisis con Vector de Corrección de Errores-VEC (2004)) para el mercado de trabajo en Colombia. A partir de estos estudios se puede simular la metodología para los funciones de producción agrícola alimentaria en Puno.

El procedimiento utilizado para las estimaciones del modelo es la metodología de cointegración por medio del enfoque de máxima verosimilitud propuesta en el texto de Larsson (1997), que captura las relaciones de equilibrio de largo plazo entre las variables.

La especificación del modelo estructural para las funciones de rendimiento de las i cultivos agrícolas alimentarias en t periodos de tiempo, esta puede ser expresada de la siguiente forma:

$$Q_{it} = \beta_0 + \beta_1 Tem + \beta_2 Tem^2 + \beta_3 Pre + \beta_4 Pre^2 + \sum_{i=1}^n \alpha_i S_i + \sum_{i=1}^n \delta_i P_i + \varepsilon_{it} \quad (4)$$

Asimismo, β_t , α_t , δ_t son coeficientes del grado de respuesta a ser estimados de cada una de las variables del modelo (*ambientales*, *socioeconómicas-S* y *productivas-P*), t denota el lapso del tiempo de observaciones; ε_{it} son los términos aleatorios de las ecuaciones de rendimiento de los cultivos agrícolas.

Por su parte, como se ha mencionado anteriormente, es probable que la función de producción no capture por completo la adaptación y las posibles estrategias que los productores agrícolas realizarían ante el cambio climático. No obstante, permite ilustrar cómo serán los posibles efectos en caso de que las condiciones de producción actuales no se mejoren. También tiene la ventaja de que al basarse directamente en variables observadas, la relación de variables climáticas y rendimientos agrícolas se estima directamente para cada cultivo.

b. Enfoque ricardiano

El modelo ricardiano debe su nombre a David Ricardo, quien notó que el valor de la tierra muestra su productividad neta por el ingreso neto de la tierra (π). Así, al analizar los efectos del clima sobre el valor de la tierra o sobre los beneficios económicos de los agricultores es con el objeto de conocer las ganancias (o pérdidas agregadas) sin necesidad de hacer un análisis de cada cultivo o de cada sector. En este modelo se asume que los productores agrícolas maximizan sus beneficios sustrayendo los costos de los ingresos económicos, a esto se conoce como los beneficios económicos (π). Además, los ingresos son función de la producción (Q_i) y de su precio (p_i); los costos son función de los insumos (W) y de sus precios (p_w). En tanto que la producción es función de P, S, A (véase ecuación 1). Formalmente se tiene:

$$\pi = \sum p_i Q_i(P, S, A) - \sum p_w W \quad (5)$$

En términos empíricos la ecuación (5) se puede representar econométricamente de la siguiente forma (Seo & Mendelsohn, 2007).

$$VT = \beta_0 + \beta_1 \cdot Tem + \beta_2 \cdot Tem^2 + \beta_3 \cdot Pre + \beta_4 \cdot Pre^2 + \beta_5 \cdot Tem \cdot Pre + \sum \lambda_j \cdot S_j + e \quad (6)$$

Donde la variable dependiente es el valor de la tierra por hectárea, Tem y Pre representan temperatura y precipitación, respectivamente. S representa un conjunto de variables relevantes (socioeconómicas y características de suelos), β_k y λ_j son parámetros a ser estimados y e es el término de error.

Los términos cuadráticos reflejan que la respuesta del valor de la tierra o de los beneficios económicos de los productores (VT), dada mediante la función ricardiana, a cambios en variables climáticas, puede ser no lineal. Por ejemplo, a bajos niveles de temperatura, la decisión óptima del productor puede ser cultivar un producto determinado; no obstante, conforme la temperatura aumenta la rentabilidad marginal de dicho producto es decreciente hasta alcanzar un punto en el que se vuelve negativa. Es entonces cuando el productor puede tomar, como decisión óptima, la adopción de un nuevo cultivo adaptable a temperaturas mayores. Un razonamiento similar es aplicable a cultivos sensibles a la precipitación pluvial. Al seguir esta lógica, el modelo ricardiano asume un comportamiento adaptativo de los productores a lo largo del ciclo productivo intertemporal (Mendelsohn, Nordhaus & Shaw, 1994).

Mediante el enfoque ricardiano se busca evaluar los efectos de las variables productivas, socioeconómicas y ambientales sobre los beneficios económicos de los agricultores, empleándose el método de estimación de mínimos cuadrados ordinarios (MCO) mediante regresiones lineales y no lineales, con el que se analizarán efectos del cambio climático sobre los beneficios económicos de los agricultores. El procedimiento para el análisis es a partir de la información de corte transversal (encuesta), debido a que los datos de las variables productivas, sociales y económicas de los productores no existen registrados en series históricas. Entonces se busca un modelo que sea robusto metodológicamente para explicar cómo las variables climáticas se relacionan con la variable de interés del beneficio económico. De manera similar a los anteriores predecirá la evolución de los beneficios económicos de los productores en los siguientes años dados distintos escenarios climáticos.

De esta forma, el cambio en el valor de la tierra debido a un cambio marginal en alguna de las variables climáticas, temperatura (Tem) por ejemplo, está dado por:

$$\frac{\partial VT_t}{\partial Tem} = \beta_1 + 2 \cdot \beta_2 \cdot Tem + \beta_3 \cdot Pre \quad (7)$$

El resultado es análogo para las variables de precipitación. El efecto anual de un cambio marginal de la variable climática en cuestión es la suma de los efectos marginales de dicha variable en cada estación del año.

El cambio en el valor de la tierra o de los beneficios económicos de los productores como resultado del cambio de escenario climático C0 a C1 está dado por:

$$\Delta VT = VT(C_1) - VT(C_0) \quad (8)$$

Así, una vez estimada la relación funcional de los beneficios económicos de los agricultores y las variables climáticas, basta evaluar la función ricardiana en uno y otro escenario climático para obtener el monto monetario en donde valor de la tierra o beneficios económicos será afectado. Si $\Delta VT < 0$, hay evidencias de efectos negativos del cambio climático en la rentabilidad agrícola. Es importante señalar que el resultado de la ecuación (8) se basa en el supuesto de que el resto de las variables explicativas (por ejemplo, sociodemográficas) no cambian entre los escenarios C0 y C1. Se asume, por ejemplo, que cualquier cambio en los niveles de educación entre $t = 0$ y $t = 1$ no tendrá efectos en la productividad de la tierra. Otra de las limitaciones es que no se incluyen, en el análisis, los cambios en los precios agrícolas. Sin embargo, muestra medidas, por parte de los productores, respecto del costo de adaptación al cambio climático, basados a la metodología desarrollada por el World Bank (2010).

Resultados y Discusión

Efectos del cambio climático sobre el rendimiento de la producción agrícola alimentaria en el departamento de Puno

El análisis cuantitativo de los modelos de bienes agrícolas con datos de series temporales comúnmente se han estimado mediante modelos de ecuaciones simultáneas de mínimos cuadrados ordinarios (MCO) de dos y tres etapas, sin embargo, el término del error estimado por ecuaciones simultáneas está correlacionado con algunas variables endógenas, y esto hace que los parámetros estimados por MCO sean inconsistentes, debido a que las variables de series de tiempo no son estacionarias. Además, el inconveniente con estos métodos de estimación es

que no se captura el comportamiento dinámico de las variables. Por ello, los modelos de Vector de Corrección de Errores (VEC) aparecen como una buena alternativa para dar solución a los problemas mencionados; tal es así que esta metodología econométrica permite establecer las relaciones de equilibrio de largo plazo y la introducción de los desequilibrios pasados como variables explicatorias en el comportamiento dinámico de las variables actuales (Lutkepohl, 2005).

El procedimiento utilizado para la estimación y evaluación de los efectos del cambio climático sobre los rendimientos de los principales productos agrícolas alimentarios en Puno es mediante el enfoque de función de producción usando datos de información de 1960-2010. La descripción de las variables, unidad de medida y las estadísticas descriptivas como la media, desviación estándar y los valores mínimos y máximos se presentan en el Anexo 1. El modelo econométrico usado sigue la metodología de cointegración propuesta por Larsson (1997), que captura las relaciones de equilibrio de largo plazo entre las variables, que permite conocer el comportamiento correlacional, si los resultados esperados se ajustan a lo real y de acuerdo con la teoría económica ambiental (signo esperado). Un primer requisito es que las series sean estacionarias, esto con la finalidad de identificar los vectores de cointegración, y así proceder a estimar relaciones de equilibrio de largo plazo en los modelos multivariados; estas estimaciones requieren seguir el siguiente procedimiento:

El procedimiento utilizado para la estimación y evaluación de los efectos del cambio climático sobre las ganancias económicas en términos del valor contingente de la tierra del agricultor en Puno es mediante el enfoque ricardiano, con información obtenida de la base del IV Censo Nacional Agropecuario 2012 realizada por el Instituto Nacional de Estadística e informática (INEI), con una muestra de 39.724 encuestas aplicadas a los productores agropecuarios, complementadas con datos meteorológicos proporcionados por SENAMHI-Perú, correspondiente a las 33 estaciones meteorológicas e hidrológicas en todas las provincias del departamento de Puno. La descripción de las variables, unidad de medida y las estadísticas descriptivas como la media, desviación estándar y los valores mínimos y máximos se presentan en el anexo.

a) Orden de integración de las variables

Para determinar el grado de integrabilidad primero se evalúa la presencia de raíz unitaria en las variables utilizando los *test* de Dickey-Fuller Aumentado (ADF), Phillips Perron (PP) y Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin (KPSS); los resultados de estos *test* de raíz unitaria se presentan en la Tabla 1, donde nos permite concluir que a un nivel de significancia de 95% algunas series de las variables tienen problemas de raíz unitaria (son no estacionarias) en niveles como los rendimientos de los cultivos, temperatura máxima, temperatura mínima, y la participación porcentual del sector agropecuario en el PIB departamental, población rural, tasa de analfabetismo, PEA ocupado, entre otros, como se muestra a continuación:

Por otro lado, en las estimaciones realizadas por los *tests* en primeras diferencias indican que todas las series son estacionarias, lo que indica que todas las series son integradas de orden 1 (ver Anexo 2). En consecuencia, es factible encontrar relaciones de equilibrio de largo plazo entre las variables mediante la estimación de vectores de cointegración, debido a que las series de las variables incluidas en el modelo tienen el mismo orden de integración.

b) Pruebas de cointegración de Johansen

La presencia de raíz unitaria de las series en niveles (Tabla 1), y estacionaria en primeras diferencias (ver Anexo 2), nos lleva a concluir que es posible evaluar la existencia de cointegración; para establecer la existencia de un número dado de vectores de cointegración en el conjunto de variables incluidas en el modelo, primero se determina la estructura óptima de rezagos del Vector Autorregresivo (VAR), usando los criterios de Akaike (AIC), Schwarz (SC) y Hannan and Quinn (HQ), estos se pueden apreciar en la Tabla 2, donde se muestra que la estimación del modelo debe realizarse con un rezago.

A partir de la definición de la estructura del rezago se prosigue a la determinación de número de vectores de cointegración mediante el procedimiento de Larsson (1997), el que consiste en aplicar la prueba de traza a tres modelos diferentes explicadas en la sección de la metodología. Asimismo, es posible señalar que se incluye una variable *dummy*, esta captura los valores atípicos de las variables, sobre todo en la época de hiperinflación de la economía peruana, donde las variables monetarias se incrementan rápidamente.

Tabla 1. Test de raíz unitaria (variables en niveles)

Variables	Dickey Fuller Aumentado 1/		AR (Rezagos)	Phillips Perrón 1/		KPSS 2/	
	Constante	Constante y Tendencia		Constante	Constante y Tendencia	Constante	Constante y Tendencia
RPA	-0,2700	-3,9197	1	-1,1633	-3,9117	0,863	0,163
RHA	-2,8824	-5,1283	0	-4,4124	-5,0845	0,369	0,078
RQ	-0,8193	-1,9744	1	-2,3433	-3,5882	0,499	0,210
RCE	-1,0822	-4,1812	1	-3,1481	-4,4728	0,703	0,141
RT	-0,5969	-4,7545	1	-3,1556	-5,1354	0,710	0,147
RM	-1,0649	-2,5266	1	-1,0649	-2,3610	0,597	0,208
RCA	-6,4641	-6,0109	0	-3,5831	-6,0566	0,577	0,168
TMAX	-3,3534	-5,4080	1	-3,2337	-5,3275	0,785	0,201
TMAXEA	-6,4725	-8,0907	1	-6,7196	-8,0907	0,735	0,125
TMIN	-4,7656	-4,7882	1	-4,8311	-4,7352	0,154	0,052
TMINEA	-5,3586	-5,6342	1	-5,3844	-5,6510	0,374	0,085
PT	-5,3989	-5,3709	1	-5,3983	-5,3736	0,168	0,130
PDM	-6,3117	-6,3104	1	-6,3891	-6,3941	0,143	0,090
PAPIB	-1,8301	-0,5461	1	-1,5607	-2,5045	0,767	0,217
PPA	-6,9617	-6,9016	0	-6,9617	-6,9015	0,101	0,084
PHA	-6,5334	-6,4760	0	-6,5337	-6,4706	0,109	0,092
PQ	-6,8368	-6,7764	0	-6,8367	-6,7764	0,106	0,090
PCE	-6,9541	-6,8941	0	-6,9541	-6,8941	0,101	0,084
PT	-6,7991	-6,7394	0	-6,7991	-6,7394	0,106	0,090
PM	-6,7841	-6,7230	0	-6,7841	-6,7199	0,110	0,095
PCA	-7,0714	-7,0116	0	-7,0714	-7,0116	0,097	0,081
PIBP9	-1,1825	-0,9552	1	-1,1825	-0,9552	0,623	0,115
POBR	-1,4425	-0,2081	1	-2,2759	1,5223	0,894	0,177
TANF	-2,2819	-0,1507	1	-3,5762	0,8365	0,928	0,238
PEAO	-2,0383	0,2074	1	1,0676	-10,1320	0,959	0,500
IPALP	0,8090	-0,4665	1	0,7174	-0,4043	0,494	0,223
CO ₂ P	-0,0762	-1,8689	1	0,0702	-1,8689	0,916	0,114
Valores críticos al 95%	-2,9238	-3,5024		-2,9212	-3,5024	0,463	0,146
Valores críticos al 90%	-2,5999	-3,1807		-2,5986	-3,1807	0,347	0,119

1/ Ho: La serie es no estacionaria (algunos valores de las variables no son inferiores a los valores críticos de 95% y 90%, por lo tanto no se rechaza Ho).

2/ Ho: La serie es estacionaria (algunos valores de las variables no son inferiores a los valores críticos de 95% y 90%, por lo tanto se rechaza Ho).

Fuente: Elaboración basada en los datos de información obtenida de SENAMHI-Puno, Dirección Regional Agraria Puno, BCRP, INEI

Tabla 2. Estructura óptima de rezago del VAR.

Rezagos	AIC	SC	HQ
0	36,93016	38,08842	37,3696
1	17,89576*	27,74095*	21,63101*

* Orden de rezago seleccionado.

Fuente: Elaboración a base de los datos de información obtenida de SENAMHI, Dirección Regional Agraria Puno, BCRP, INEI.

c) Estimación del modelo de los efectos del cambio climático en la producción agrícola

En la Tabla 3 se reportan los modelos de estimación seleccionados según los criterios de

AK y SCH, que explica el comportamiento de los residuales, como las mejores estimaciones para los 7 cultivos agrícolas alimentarios en Puno, que son utilizados para analizar los efectos sobre el rendimiento de los cultivos. En las especificaciones

Tabla 3. Resultado de las estimaciones en el rendimiento de los cultivos agrícolas en Puno (con temperaturas máximas).

Variables	Estimación papa	Estimación haba	Estimación quinua	Estimación cebada	Estimación trigo	Estimación maíz	Estimación cañihua
Constante	-248,23	37,43	12,55	28,07	-216,00	-75,37	-5,70
TMAXEA	13,36 [14,53]*	4,31 [10,06]*	4,13 [23,88]*	5,54 [48,08]*	16,31 [11,09]*	0,42 [1,77]*	0,83 [2,56]*
TMAXEA^2	-0,49 [-15,88]*	-0,11 [-7,79]*	-0,13 [-23,00]*	-0,17 [-45,17]*	-0,57 [-11,67]*	-0,02 [-2,62]*	-0,02 [-2,63]*
TMINEA							
TMINEA^2							
PDM	0,04 [2,78]*	0,04 [3,82]*	0,03 [10,71]*	0,07 [34,32]*	0,24 [9,05]*	0,02 [3,81]*	0,01 [1,91]*
PDM^2	-0,0001 [-2,35]*	-0,0001 [-2,04]*	-0,0001 [-11,36]*	-0,0003 [-38,74]*	-0,0011 [-12,40]*	-0,0001 [-3,97]*	-0,00002 [-2,12]*
PAPIB	0,14 [6,07]*	0,16 [8,63]*	0,01 [1,68]**	0,02 [6,99]*	1,26 [27,64]*	0,23 [28,11]*	-0,004 [-0,25]
LPPAR1	0,0002 [0,005]	0,36 [11,64]*	-0,08 [-13,40]*	0,15 [33,37]*	6,53 [103,70]*	0,29 [28,04]*	0,23 [3,45]*
TANF	-0,02 [-2,51]*	-0,03 [-1,26]	-0,04 [-5,61]*	-0,08 [-17,89]*	-1,38 [-22,59]*	-0,24 [-23,26]*	-0,02 [-1,19]
LPEAO	12,39 [10,38]*	5,81 [7,68]*	3,03 [12,25]*	-4,88 [-30,25]*	10,59 [5,175]*	5,66 [16,71]*	-0,006 [-0,01]
IPALP	0,02 [6,65]*	0,03 [16,73]*	0,01 [13,93]*	0,01 [29,69]*	0,03 [5,69]*	0,01 [10,38]*	0,005 [1,49]**
R^2	0,80	0,77	0,82	0,83	0,84	0,82	0,58
R ajustado	0,51	0,53	0,54	0,46	0,59	0,55	0,44
Log likelihood	-416,27	-355,19	-368,37	-357,33	-299,86	-368,45	-187,66
AK	29,42	26,82	27,38	26,91	24,46	27,38	20,91
SCH	40,24	37,64	38,20	37,73	35,29	38,21	21,46

[]/ Indican los valores estadísticos "t" (relevancia).

(*) Estimadores significativos estadísticamente al 5%.

(**) Estimadores significativos estadísticamente al 10%.

de los modelos se incluyen las variables ambientales como las temperaturas máximas promedio enero-abril, época de florecimiento, precipitaciones promedio; variables socioeconómicas como la participación de la agricultura en el PIB regional, precio de cultivo, tasa de analfabetismo, población económicamente activa ocupada e índice de consumo alimenticio *per cápita*. Asimismo, las estimaciones muestran una adecuada bondad de ajuste del modelo (R squared y Log likelihood) y los coeficientes son significativos estadísticamente; es decir, que las variables climáticas y socioeconómicas influyen sobre la productividad de los cultivos agrícolas alimentarios.

Seguidamente, para los modelos seleccionados se realizó el diagnóstico de los tests a los residuos mediante la prueba de Jarque-Bera para verificar la normalidad de los residuos de las estimaciones del vector de corrección de errores, así como la

prueba de autocorrelación de los residuales para corroborar el ruido blanco de las estimaciones, es decir, la no existencia de la correlación serial en los residuos. Estos *tests* son básicamente los más importantes para una adecuada interpretación de los resultados del modelo. Asimismo, es factible indicar el uso de primeras diferencias de la variable en series de tiempo mediante el método del vector de corrección de errores (VEC) de cointegración Johansen, que corrigen cualquier sospecha de problemas de multicolinealidad (Greene, 2000).

Seguidamente, en la Tabla 4 se reportan los modelos de estimación seleccionados para los siete cultivos agrícolas alimentarios en Puno, sustituyendo las temperaturas máximas por las temperaturas mínimas promedio de enero a abril en la especificaciones, para ver los efectos de las temperaturas extremas mínimas sobre los rendimientos de los cultivos.

Tabla 4. Resultado de las estimaciones en el rendimiento de los cultivos agrícolas en Puno (con temperaturas mínimas).

VARIABLES	Estimación papa	Estimación haba	Estimación quinua	Estimación cebada	Estimación trigo	Estimación maíz	Estimación cañihua
Constante	-53,53	88,73	49,86	17,17	40,80	-38,00	1,98
TMAXEA							
TMAXEA^2							
TMINEA	2,04 [4,78]*	4,64 [6,65]*	1,16 [4,93]*	1,89 [8,33]*	0,84 [2,83]*	0,95 [4,66]*	0,13 [0,52]
TMINEA^2	-0,29 [-5,58]*	-0,53 [-6,43]*	-0,15 [-5,43]*	-0,20 [-7,52]*	-0,09 [-2,60]*	-0,09 [-3,56]*	-0,02 [-0,40]
PDM	0,11 [12,46]*	0,14 [7,81]*	0,08 [16,36]*	0,13 [23,12]*	0,10 [15,49]*	0,02 [5,17]*	0,001 [0,25]
PDM^2	-0,0005 [-15,90]*	-0,0005 [-7,95]*	-0,0003 [-17,32]*	-0,00045 [-24,08]*	-0,00036 [-16,41]*	-0,00004 [-2,75]*	0,00000 [-0,05]
PAPIB	1,01 [58,76]*	0,56 [13,80]*	0,19 [18,33]*	0,21 [22,57]*	0,18 [14,53]*	0,16 [18,16]*	-0,03 [-1,48]**
LPHAR1	1,22 [54,26]*	0,78 [8,39]*	0,29 [24,73]*	0,15 [10,73]*	0,07 [4,05]*	0,03 [2,29]*	0,26 [3,18]*
TANF	-0,59 [-34,01]*	-0,46 [-9,18]*	-0,18 [-18,87]*	-0,12 [-12,75]*	-0,13 [-10,72]*	-0,13 [-14,02]*	-0,01 [-0,47]
LPEAO	3,90 [6,85]*	8,47 [6,18]*	-3,30 [-10,78]*	-0,45 [-1,37]	2,52 [6,34]*	2,58 [9,41]*	-0,25 [-0,41]
IPALP	0,019 [11,94]*	0,031 [9,20]*	0,004 [3,58]*	0,003 [2,77]*	0,007 [5,49]*	0,015 [19,36]*	0,002 [0,57]
R^2	0,81	0,75	0,69	0,60	0,77	0,80	0,58
R ajustado	0,52	0,50	0,51	0,20	0,43	0,49	0,43
Log likelihood	-368,17	-319,37	-342,64	-347,51	-342,07	-344,75	-185,54
AK	27,37	25,29	26,28	26,49	26,26	26,37	20,69
SCH	38,19	36,12	37,11	37,32	37,08	37,20	21,24

[] Indican los valores estadísticos "t" (relevancia).

(*) Estimadores significativos estadísticamente al 5%.

(**) Estimadores significativos estadísticamente al 10%.

En los resultados de las estimaciones de los modelos se observa el nivel de rendimiento de los cultivos agrícolas alimentarios los que son explicados significativamente por los factores ambientales, productivos y socioeconómicos, siendo los factores ambientales como la temperatura máxima y la precipitación en época de florecimiento del cultivo los de mayor impacto sobre el rendimiento de los cultivos, alcanzando, para el caso de la papa, un impacto de 13,35 en forma lineal y de -0,49 en forma cuadrática, y de 0,83 y 0,02, respectivamente, para el cultivo de cañihua (Tabla 3). Seguidamente los factores productivos son también significativos, pero un impacto ligeramente menor que los ambientales. Dentro de los factores productivos tenemos la variable trabajo con mayor impacto en todos los cultivos; mientras que los factores socioeconómicos como el ingreso *per cápita*, precio de los cultivos y el nivel de educación del agricultor, son significativos

estadísticamente pero con impactos bastante menores que los otros factores explicados anteriormente.

Acerca de los resultados de las estimaciones se indica que los factores ambientales son los más importantes respecto del rendimiento de los cultivos agrícolas, seguido por los factores productivos y socioeconómicos, corroborándose a los estudios de Ordaz *et al.* (2009) para los países de Centroamérica, donde el rendimiento de los cultivos de maíz, café y frijol depende significativamente de los factores ambientales como las temperaturas y las precipitaciones con efectos superiores a los factores socioeconómicos. Estos últimos son a su vez no significativos estadísticamente; no considera los factores productivos debido a la limitada información existente en series temporales.

Por otro lado, se ha estimado las temperaturas máximas y mínimas óptimas que permiten maximizar el rendimiento de cada cultivo, siendo 13,52 °C y

3,75 °C para papa, 15,51 °C y 4,40 °C para haba, 19,39 °C y 3,80 °C para quinua, 15,91 y 4,66 °C para cebada, 14,19 °C y 4,55 °C para trigo, 13,25 °C y 5,5 °C para maíz, y 17,27 y 3,96 °C para cañihua. En la actualidad las temperaturas máximas y mínimas actuales son de 16,4 °C y 4 °C, respectivamente, ello, comparado con los requerimientos óptimos, se puede apreciar que los cambios en las temperaturas extremas tienen efectos negativos altos sobre el rendimiento de los cultivos de papa, haba y maíz, en vista de que han sobrepasado su umbral de quiebre; por su parte, el cultivo de cebada y trigo tienen aún efectos negativos leves, debido a que las temperaturas actuales son muy cercanos al umbral de quiebre. Mientras que el rendimiento del cultivo de quinua y cañihua se ven beneficiados positivamente con las variaciones de las temperaturas extremas.

Otro de los indicadores del cambio climático son las variaciones de precipitación promedio en época de florecimiento. Se observa que la producción agrícola alimentaria en todos los cultivos considerados aún no ha alcanzado a su umbral de quiebre, es decir, su rendimiento máximo con niveles de precipitación óptimas son superiores al de 2010, de 134,5 mm. Entonces los niveles de precipitación ligeramente inferiores aun no son perjudiciales para los cultivos mencionados.

El impacto futuro del cambio climático en la agricultura de Puno, basado en las funciones de producción estimadas para cada cultivo, comprende la aplicación de dos tipos de escenarios B2 y A2 basado en el promedio de los modelos HADGEM, GFDL y ECHAM, tales predicciones son recomendados por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático de la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente [PNUMA] (2001, 2007 y 2012), tales escenarios son:

- **El primer escenario “B2”** (bajas concentraciones de CO_2) describe un planeta con una población intermedia y un crecimiento económico intermedio, más orientada a las soluciones locales para alcanzar la sostenibilidad económica, social y medioambiental.
- **El segundo escenario “A2”** (altas concentraciones de CO_2) describe un mundo muy heterogéneo con crecimiento de población sólida, desarrollo económico lento, y cambio tecnológico lento.

Las proyecciones son hacia el 2035, los escenarios climáticos A2 y B2 predicen que la temperatura máxima aumentará entre 4,4%

y 1,3%, mientras que la temperatura mínima disminuirá entre 14,8% y 7,8%, y la precipitación se aumentará entre 4,8% y 3,8%, respectivamente, coincidiendo con lo reportado por Cline (2007), quien en su investigación indica que las variaciones de temperaturas extremas promedio son de 0,2 °C equivalente al 2% por cada década. El impacto sobre el rendimiento de los cultivos está basado en dos especificaciones empleadas, la primera que considera las temperaturas máximas y la segunda temperaturas mínimas, manteniendo constante las demás variables con valores promedio 1960-2010. Por otro lado, los efectos económicos sobre la producción de cada uno de los cultivos agrícolas en estudio son valorados en términos del PIB Puno 2010, empleándose las siguientes tasas de descuento para proyectos ambientales 0,5%, 2%, 4% y 8%, que permita determinar los efectos al valor presente, evaluado y aplicado por Weitzman (2001).

En la Tabla 5 se presentan las predicciones de los impactos económicos agregados de las variabilidades climáticas sobre la agricultura alimentaria en Puno; considerando una tasa de descuento de 2%, las pérdidas acumuladas ocasionadas por el cambio climático al 2025 ascienden entre 0,31% y 0,16% del PIB de Puno 2010 para los escenarios A2 y B2, respectivamente, lo que significa en términos económicos, aproximadamente entre 11 y 5,6 millones de dólares para ambos escenarios.

Los efectos del cambio climático en la agricultura de Puno crecerá para cada periodo proyectado, hacia el 2035. Las pérdidas acumuladas estarían entre 0,58% y 0,26% del PIB de Puno 2010, en términos económicos equivale aproximadamente entre 20 y 9 millones de dólares para los escenarios A2 y B2, respectivamente. Dichos efectos coinciden con los hallazgos de Torres (2010), quien indica para el norte del Perú, al 2030, los cultivos agrícolas como el mango y plátano, disminuirían sus rendimientos en 7% y 30% respectivamente. De igual manera, Ordaz *et al.* (2009) sostienen que el país de El Salvador sufrirá grandes pérdidas en la agricultura ante los efectos climáticos. Para el 2100, el aumento de la temperatura estará entre 2 °C y 5 °C y la precipitación aumentará entre 18% y 40%, esto traerá una reducción entre 2% y 8% del PIB comparado al PIB del 2007. Finalmente, Galindo (2009), en su estudio realizado para México, indica que los impactos negativos de las variaciones climáticas alcanzarían en promedio 6,22% del PIB actual, mientras que los costos de

Tabla 5. Impacto económico del cambio climático en la producción agrícola alimentaria como porcentaje del PIB de Puno 2010.

Año	Escenario A2				Escenario B2			
	Tasa de descuento (r)				Tasa de descuento (r)			
	0,005	0,02	0,04	0,08	0,005	0,02	0,04	0,08
	Especificación 01 (Temperatura Máxima)				Especificación 01 (Temperatura Máxima)			
2015	-0,113%	-0,080%	-0,052%	-0,024%	-0,080%	-0,074%	-0,068%	-0,056%
2020	-0,224%	-0,168%	-0,116%	-0,057%	-0,131%	-0,113%	-0,093%	-0,064%
2025	-0,390%	-0,312%	-0,233%	-0,132%	-0,199%	-0,159%	-0,119%	-0,068%
2030	-0,508%	-0,431%	-0,349%	-0,233%	-0,290%	-0,218%	-0,148%	-0,069%
2035	-0,646%	-0,577%	-0,506%	-0,401%	-0,378%	-0,261%	-0,161%	-0,063%
	Especificación 02 (Temperatura Mínima)				Especificación 02 (Temperatura Mínima)			
2015	-0,038%	-0,021%	-0,014%	-0,011%	-0,013%	-0,012%	-0,009%	-0,007%
2020	-0,092%	-0,048%	-0,029%	-0,016%	-0,025%	-0,020%	-0,015%	-0,009%
2025	-0,201%	-0,124%	-0,076%	-0,034%	-0,054%	-0,044%	-0,033%	-0,018%
2030	-0,335%	-0,241%	-0,164%	-0,077%	-0,103%	-0,084%	-0,064%	-0,040%
2035	-0,598%	-0,461%	-0,339%	-0,197%	-0,291%	-0,244%	-0,209%	-0,149%

Fuente: Elaboración propia.

mitigación de 50% de las emisiones representan el 0,70% y 2,21% del PIB, a 10 y 30 dólares la tonelada de carbono, respectivamente.

Efectos del cambio climático sobre las ganancias económicas de los agricultores en la región de Puno

El procedimiento utilizado para la estimación y evaluación de los efectos del cambio climático sobre las ganancias económicas expresadas en términos del valor contingente de la tierra del agricultor es mediante el enfoque ricardiano con información obtenida de la base del IV Censo Nacional Agropecuario 2012 realizada por el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), con una muestra de 39.724 encuestas aplicadas a los productores agropecuarios, complementados con datos de variables climáticas por zonas o localidades agrícolas para el total de la muestra empleada, proporcionados por SENAMHI-Perú, correspondiente a las 33 estaciones meteorológicas e hidrológicas en todas las provincias del departamento de Puno. La descripción de las variables, unidad de medida y las estadísticas descriptivas como la media, desviación estándar y los valores mínimos y máximos se presentan en el Anexo 3.

La estimación de los resultados del enfoque ricardiano es mediante el método de mínimos cuadrados ordinarios (MCO) que permite realizar regresiones lineales y no lineales, con el que se

analizarán efectos del cambio climático sobre los ganancias agrícolas del agricultor expresadas por el valor contingente de la tierra que mide la rentabilidad del uso de la tierra en Puno; tales resultados son robustos estadísticamente y se aprecian en la Tabla 6.

Los resultados de la especificación anterior considera la variable dependiente ganancias agrícolas, medido con el valor del terreno agrícola por hectárea, está explicada significativamente por factores ambientales climáticos como la temperatura media y precipitación acumulada entre enero a abril, época de florecimientos de los cultivos; factores socioeconómicos como el nivel de educación, tamaño familiar, edad del jefe de hogar y si el terreno agrícola cuenta con un almacén, resultando la variable sexo del jefe de hogar no significativo. Los factores productivos muestran significancia estadística con impacto ligeramente menor que los factores ambientales y mayor a los socioeconómicos. Dentro de los factores productivos tenemos a la variable área de explotación agrícola, trabajo, aplicación de fertilizantes y si el terreno agrícola cuenta con algún sistema de riego. Asimismo, los resultados muestran validez de la bondad de ajuste del modelo mediante el estadístico R^2 de 63% y el estadístico F con 796,20.

Para el modelo seleccionado se realizó los respectivos contrastes de violación de supuestos, como las pruebas de multicolinealidad, heterocedasticidad y autocorrelación, mediante los estadísticos factor de inflación de la varianza (FIV), *test* de White y *test* de

Tabla 6. Resultado de las estimaciones sobre valor de la tierra agrícola en Puno (bajo modelo ricardiano).

Variables	IV Censo Agropecuario 2012
Constante	7,80
	-0,93
	[-17,85]*
	TPEA
	TPEA^2
VARIABLES CLIMÁTICAS	
	-0,01
	[-7,63]*
	PAC
	PAC^2
	0,02
	[4,60]*
	TF
	0,11
	[8,41]*
	NEJ
	0,003
	[9,78]*
VARIABLES SOCIOECONÓMICAS	
	-0,21
	[-0,51]
	SEX
	0,24
	[13,12]*
	TALM
	AGUA
	-0,11
	[-7,47]*
	AREXA
	0,16
	[13,61]*
	TRB
VARIABLES PRODUCTIVAS	
	0,27
	[13,19]*
	AFER
	0,18
	[5,95]*
	RIEGO
Estadístico F	796,20
R^2	0,68

[]/ Indican los valores estadísticos “t” (relevancia).

(*) Estimadores significativos estadísticamente al 5%.

(**) Estimadores significativos estadísticamente al 10%.

Fuente: Elaboración propia.

Breusch-Godfrey respectivamente, además el modelo se estimó utilizando el procedimiento de NEW-WEST de los errores estándar robustos, que corrige cualquier sospecha de autocorrelación; por lo tanto, se descarta cualquier sospecha de multicolinealidad, heterocedasticidad y autocorrelación.

Los resultados de los efectos marginales de las variables climáticas sobre las ganancias de los agricultores indican que un incremento de un grado Celsius de la temperatura media provoca una disminución de 0,93 miles de nuevos soles, que equivale a 320 dólares por hectárea respecto del promedio del valor contingente de la tierra por hectárea (496 dólares). Por tanto existe un impacto negativo en el valor contingente de la tierra por hectárea ante

aumentos ligeros en la temperatura media anual. De forma similar acontece con la variable precipitación acumulada, pero con impacto relativamente menor, un incremento en una unidad de la precipitación acumulada anual implica una contracción aproximada de 0,123 mil nuevos soles por hectárea (equivalente a 5 dólares), es decir, las ganancias agrícolas promedio por hectárea se reducirían menos de 10 centavos de soles ante un crecimiento de 10 mm en la precipitación acumulada anual.

Las proyecciones al 2035 con tasa de descuento del 2% se presentan en la Tabla 7, donde el impacto económico expresado en pérdidas de las ganancias de los productores agrarios alcanzan a 14,14%, equivalente a 55,13 dólares por hectárea

Tabla 7. Impacto del cambio climático sobre el valor de la tierra por hectárea en Puno (dólares y %).

Año	Ingreso por renta de la propiedad actual y futuro	
	Dólares (\$)	%
2010	389,79	0,00%
2015	399,62	2,52%
2020	383,87	-1,52%
2025	367,80	-5,64%
2030	351,39	-9,85%
2035	334,66	-14,14%

Fuente: Elaboración propia.

en relación con el 2010, el que es producto del aumento de 1,6 °C de la temperatura media en los meses de enero a abril, época de florecimiento del cultivo agrícola en Puno, y un aumento de 55,96 mm de la precipitación acumulada en relación con los valores medios históricos. Tales resultados son concordantes al estudio de Seo & Mendelsohn (2007) donde predicen efectos del cambio climático sobre la agricultura para el continente africano, sobre la base de una muestra de 2.000 observaciones, los productores grandes y pequeños perderán hasta el 25% del valor de su flujo de ingresos para el 2060, el porcentaje se incrementa hasta 50% en el escenario climático más severo correspondiente al 2100. Asimismo, Ramírez *et al.* (2010) corrobora que en Nicaragua, para el 2050, se experimentará un incremento de la temperatura media anual de 3,08 °C y una disminución de 76,49 mm en la precipitación acumulada. Estos cambios implican una disminución de 37% en el valor contingente de la renta de la tierra, respecto del 2006.

Medidas de adaptación de la agricultura alimentaria al cambio climático en Puno

Para reducir el impacto negativo del cambio climático se hace necesario tomar medidas de adaptación como una respuesta de ajuste a las alteraciones que buscan reducir tal impacto en el sector agrícola, así como aprovechar los beneficios que contrae el cambio climático. La nueva revolución agrícola debe enfocarse en una intensificación sostenible (prácticas con pocos insumos externos, pocas emisiones y desechos) y en la diversificación de cultivos y resiliencia al cambio climático (Meza & Gonzalez, 2011).

Por medio de la revisión de diversos estudios y sus principales resultados, así como la metodología

desarrollada por Margulis & Narain (2010) sobre los costos de adaptación al cambio climático en los países en desarrollo, y por Galarza & Von Hesse (2011) sobre análisis costo-beneficio de incorporar las externalidades al flujo de caja, estudio realizado al caso del proyecto “Evaluación de la rentabilidad social de las medidas de reducción del riesgo de desastre en los proyectos de inversión pública”, elaborado por el MEF. Las principales medidas de adaptación al cambio climático en el sector agrícola serían la incorporación en las prácticas culturales de una adecuación en las fechas de siembra y rotación de cultivos, cambio en cédula de cultivos, mejora de sistemas de drenaje e irrigación para el control de inundaciones, fortalecimiento de sistemas de alerta temprana, mejora de acceso al mercado, investigación y desarrollo, implementación y transferencias de nuevas tecnologías, y uso de seguros y subvenciones agrícolas.

Para el análisis costo-beneficio de las medidas de adaptación al cambio climático se estima los costos y beneficios comparando dos situaciones: i) situación sin medida y ii) situación con medida, los costos de producción agrícola a precios privados se han obtenido de los boletines estadísticos sobre la estructura de los costos unitarios, elaborado por la Dirección Regional Agraria Puno (2010), donde se consideran los factores de mano de obra como la limpieza del terreno, de las acequias, el abonamiento del suelo, riegos, la cosecha y almacenaje; maquinaria agrícola, aquellas máquinas y equipos necesarios para realizar los cultivos agrícolas en Puno por campaña; insumos como las semillas, fertilizantes, abonos, pesticidas y las insecticidas; poscosecha como el costo total del acopio y comercialización del producto, así como los gastos administrativos y otros costos como el análisis del suelo, alquiler de terreno y los equipos adicionales, entre otros. Mientras que los beneficios vienen dados por los ingresos generados por la valoración de la producción agrícola alimentaria por campaña o año.

En la estimación de los resultados se ha planteado cambio en la cédula de cultivos como una medida de adaptación para disminuir el impacto negativo, mediante la sustitución del 10% del área sembrada de los cultivos agrícolas tradicionales más sensibles al cambio climático como la papa, haba y el maíz por otros cultivos alternativos más rentables que demanden menos agua y más resistentes a los efectos del cambio climático como la quinua y cañihua, acompañado por la asistencia técnica en

el proceso productivo y el manejo eficiente ante la presencia de heladas, granizadas e inundaciones efecto del cambio climático. Considerando la tasa de descuento del 2% en los flujos de costos y beneficios sociales incrementales, se obtiene un valor actual neto social positivo de US\$ 6.429.122, lo que equivale al 1,1% del PIB agropecuario departamental 2010; estos beneficios de las medidas de adaptación representan una disminución de las pérdidas económicas ocasionadas por el cambio climático de 28,79% y 43,93% para los escenarios A2 y B2, respectivamente, coincidiendo con los hallazgos de Galarza & Von Hesse (2011), reemplazo de una campaña de arroz con frijol en un año en el distrito de Morón, Piura, implicaría un ahorro de costos y beneficios adicionales, equivalente a un VAN social positivo de S/ 5.767,77 (US\$ 2.136).

Conclusiones

Los resultados del análisis muestran que las variables climáticas como la temperatura máxima y mínima promedio anual, participación de la agricultura en el PIB regional, precio de cultivo, tasa de analfabetismo, población económicamente activa ocupada e índice de consumo alimenticio *per cápita* regional influyen significativamente en el rendimiento de la producción agrícola alimentaria más importantes como papa, habas, quinua, cebada, trigo, maíz y cañihua en Puno, Perú. La bondad de ajuste de los modelos en peor de los casos está explicada en más del 60%; el indicador de verosimilitud es alta, por lo que se justifica la validez y significancia del modelo considerado.

Las temperaturas máximas y mínimas actuales (16,4 °C y 4 °C) tienen efectos negativos altos sobre el rendimiento de los cultivos de papa, haba y maíz, en vista de que han sobrepasado su requerimiento óptimo para la producción, que es de 13,52 °C y 3,75 °C para papa, 15,51 °C y 4,40 °C para haba, 13,25 °C y 5,5 °C para maíz; el cultivo de cebada y trigo tienen aún efectos negativos leves debido a que las temperaturas actuales son muy cercanas a su requerimiento óptimo; mientras para los cultivos de quinua y cañihua los efectos del cambio climático son positivos. En relación con las evoluciones de las precipitaciones promedio en época de florecimiento,

se observa que la producción agrícola alimentaria en todos los cultivos considerados aún no ha alcanzado su requerimiento óptimo; es decir, los niveles de precipitación ligeramente inferiores aun no son perjudiciales a los cultivos mencionados.

Según las predicciones, con una tasa de descuento de 2%, las pérdidas acumuladas ocasionadas por el cambio climático al 2025 ascienden entre 0,31% y 0,16% del PIB Puno 2010 para los escenarios A2 y B2, respectivamente, lo que significa en términos económicos, aproximadamente entre 11 y 5,6 millones de dólares para ambos escenarios. Mientras que para el 2035 las pérdidas acumuladas estarían entre 0,58% y 0,26% del PIB Puno 2010, en términos económicos equivale aproximadamente entre 20 y 9 millones de dólares para los escenarios A2 y B2, respectivamente.

En relación con el enfoque ricardiano, el cambio climático muestra los efectos negativos sobre las ganancias agrícolas, incremento en un grado celsius de la temperatura media implica una disminución de 320 dólares americanos por hectárea respecto del promedio del valor contingente de la tierra por hectárea. Para el 2035, el impacto económico expresado en pérdidas de las ganancias de los productores agrarios alcanzan a 14,14% respecto del 2010, producto del aumento de 1,6 °C de la temperatura media en los meses de enero a abril, época de florecimiento del cultivo agrícola en Puno, y un aumento de 55,96 mm de la precipitación acumulada en relación con los valores medios históricos.

En la situación con medida de adaptación al cambio climático para disminuir los impactos negativos, escenario que considera reemplazo del 10% del área sembrada de la producción de papa, haba y maíz por otros cultivos alternativos más rentables que demanden menos agua y más resistentes a los efectos del cambio climático como la quinua y cañihua. Los resultados muestran beneficios positivos, considerando una tasa de descuento del 2% en los flujos de costos y beneficios sociales incrementales, se obtiene un valor actual neto social positivo de US\$ 6.429.122, lo que equivale al 1,1% del PIB agropecuario regional 2010, representando una disminución de las pérdidas económicas ocasionadas por el cambio climático de 28,79% y 43,93% para los escenarios A2 y B2, respectivamente.

Literatura Citada

- Banco Central de Reserva del Perú [BCR].
2012. Síntesis Económica de Puno desde Enero 2012 hasta Diciembre 2011. Departamento de Estudios Económicos. Puno Perú, 50 p.
- Cline, W.R.
2007. Global Warming and Agriculture: Impact Estimates by Country. Center for Global Development y Peterson Institute for International Economics, Washington, D.C., 178 p.
- Fleischer, A.; Lichtman, I.; Mendelsohn R.
2007. Climate Change, Irrigation, and Israeli Agriculture: Will Warming Be Harmful? World Bank, Policy Research Working Paper, N° 4135, 22 p.
- Galarza, E.; Von Hesse, M.
2011. Análisis Costo Beneficio para medidas de Adaptación al Cambio Climático. Cooperación Alemana al Desarrollo (GIZ). Lima Perú, 75 p.
- Galindo, L.M.
2009. La Economía del Cambio Climático en México, Síntesis. Secretaría de Hacienda y Crédito Público de México-Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales de México, México, 67 p.
- Gobierno Regional Puno.
2009. Plan Estratégico Regional del Sector Agrario de Puno 2009-2015. Dirección de Información Regional (DRA), 59 p.
- Greene, W.H.
2000. *Econometric Analysis* (4ª ed). New York University. USA: Prentice-Hall. 1004 p.
- Isaza, J.G. & Mesa, C.A.
2004. La Demanda de Trabajo: Teoría y Evidencia Empírica para el caso Colombiano. *Revista Equidad y Desarrollo*, 2: 35-64
- Larsson, R.
1997. Likelihood-Based Inference in Cointegrated Vector Autoregressive Models by Søren Johansen. Book review. *The Scandinavian Journal of Economics*, 99(2): 351-354.
- Lutkepohl, H.
2005. *New Introduction to Multiple Time Series Analysis*. New York: Springer, 764 p.
- Margulis, S.; Narain, U.
2010. The costs to developing countries of adapting to climate change: new methods and estimates-the global report of the economics of adaptation to climate change study. Washington, DC: World Bank, 98 p.
- Meza, L.; González, M.
2011. Herramientas para la Adaptación y Mitigación del Cambio Climático en el Sector Agropecuario. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), 89 p.
- Mitchell, J.
2005. Climate change and the greenhouse effect. A briefing from the Hadley Centre. United Kingdom: Met Office, 69 p.
- Ordaz, J.; Ramírez, D.; Mora, J. Acosta, A.; Serna, B.
2009. El Salvador: Efectos del Cambio Climático sobre la Agricultura. México, D. F: Comisión Económica para América Latina y el Caribe-CEPAL, 66 p.
- Organización de las Naciones Unidas [ONU].
1992. Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), realizada en el Río de Janeiro de Brasil, 50 p.
- Ramírez, D.; Ordaz, J.; Mora, J.; Acosta, A.
2010. Nicaragua: Efectos del Cambio Climático sobre la Agricultura. Comisión Económica para América Latina y el Caribe-CEPAL, 93 p.
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología [SENAMHI].
2010. Resumen Técnico del Cambio Climático Nacional, Lima-Perú, 23 p.
- Seo, S.N.; Mendelsohn, R.
2007. Climate Change Impacts on Animal Husbandry in Africa: A Ricardian Analysis. Washington, DC.: World Bank Policy Research Working Paper, N° 4621. 48 p.
- Torres, L.
2010. Análisis Económico del Cambio Climático en la Agricultura de la Región Piura-Perú, Caso: Principales Productos Agroexportables. Consorcio de Investigación Económica y Social (CIES), Lima Perú, 101 p.
- Weitzman, M.
2001. Gamma Discounting. *American Economic Review*, 91(1): 261-271.
- World Bank.
2010. Adaptation to climate change vulnerability assessment and economic aspects-Plurinational state of Bolivia. Washington, DC: World Bank. 120 p.

Anexos

Anexo 1. Resumen de estadísticas descriptivas de productos agrícolas en Puno, periodo 1960-2010.

Variables	Definición	Obs.	Media	Desviación estándar	Máximo	Mínimo	
Variables productivas	RPA	Rendimiento de papa (t/ha).	51	6,00	2,46	11,13	1,80
	RHA	Rendimiento de habas (t/ha).	51	1,00	0,27	1,60	0,35
	RQ	Rendimiento de quinua (t/ha).	51	0,73	0,26	1,21	0,31
	RCE	Rendimiento de cebada (t/ha).	51	0,80	0,24	1,18	0,31
	RT	Rendimiento de trigo (t/ha).	51	0,80	0,23	1,19	0,37
	RM	Rendimiento de maíz (t/ha).	51	1,24	0,25	1,70	0,90
	RCA	Rendimiento de cañihua (t/ha).	21	0,65	0,15	0,78	0,24
	PEAO	Población Económica Activa Ocupado (personas)	51	495974	153199,70	759166	239375
	TECN	Tecnología (escala)	51	26	14,87	51	1
Variables climáticas	TPT	Temperatura promedio anual (°C).	51	9,17	0,40	10,44	8,43
	TPEA	Temperatura promedio enero-abril (°C).	51	9,90	0,55	11,97	8,93
	TMAX	Temperatura máxima anual (°C).	51	14,89	0,57	16,61	14,05
	TMAXEA	Temperatura máxima enero-abril (°C).	51	14,78	0,68	17,19	13,66
	TMIN	Temperatura mínima anual (°C).	51	1,70	0,37	2,72	0,77
	TMINEA	Temperatura mínima enero-abril (°C).	51	4,08	0,48	5,45	2,91
	PT	Precipitación total promedio anual (mm/mo).	51	302,72	1849,69	13210,00	0,18
	PDM	Precipitación promedio diciembre-marzo (mm/mo).	51	132,20	23,14	191,23	89,30
CO ₂ P	Concentración de emisiones (Mill. t)	51	22,06	7,50	39,20	8,17	
Variables Socio-económicas	PAPIB	Participación de agricultura en PIB Puno (% PIB).	51	24,55	6,10	36,88	16,50
	PPA	Precio de papa (S/. / kg).	51	417,63	2760,83	19735,00	0,14
	PHA	Precio de habas (S/. / kg).	51	334,82	1986,98	14171,00	0,36
	PQ	Precio de quinua (S/. / kg).	51	274,58	1664,19	11894,00	0,21
	PCE	Precio de cebada (S/. / kg).	51	490,35	3245,52	23200,00	0,14
	PT	Precio de trigo (S/. / kg).	51	302,72	1849,69	13210,00	0,18
	PM	Precio de maíz (S/. / kg).	51	162,03	926,36	6612,00	0,21
	PCA	Precio de cañihua (S/. / kg).	21	402,23	1839,85	8432,00	0,20
	PIBP9	PIB per cápita Puno, base 2009 (S/. / persona)	51	6811,73	2444,57	11071,52	2612,18
	POBT	Población total Puno (personas)	51	967320	200170,30	1321822	678969
	POBR	Población rural Puno (personas)	51	621549	34414,72	661103	558074
	PANF	Población analfabeta Puno (personas)	51	168287	47058,92	255585	111873
TANF	Tasa de analfabetismo Puno (%)	51	33,07	17,27	65,70	12,40	
IPALP	Índice de consumo de alimentos/hab (%)	51	82,78	18,63	125,81	61,00	

Fuente: Elaboración propia con información obtenida de DRA-Puno, BCRP, INEI, SENAMHI, UNA, Gobierno Regional Puno, Municipalidades Locales y Asociación de Productores en Puno.

Anexo 2. Test de raíz unitaria (variables en primeras diferencias).

Variables	Dickey Fuller Aumentado 1/		Phillips Perrón 1/		KPSS 2/	
	Constante	Constante y Tendencia	Constante	Constante y Tendencia	Constante	Constante y Tendencia
RPA	-8,6325	-8,5648	-14,1151	-15,6080	0,133	0,109
RHA	-11,8399	-11,9140	-11,7857	-11,7719	0,148	0,081
RQ	-13,3975	-13,6249	-15,1467	-26,8250	0,362	0,500
RCE	-7,2412	-7,2046	-11,1904	-11,2461	0,052	0,054
RT	-8,2095	-8,2389	-15,5188	-15,9896	0,054	0,050
RM	-7,7453	-8,0040	-7,7449	-8,0909	0,224	0,062
RCA	-3,4218	-7,0175	-16,0148	-40,8854	0,297	0,192
TMAX	-9,0033	-9,0485	-16,1455	-32,2253	0,312	0,240
TMAXEA	-7,6867	-7,6761	-34,6167	-53,5161	0,379	0,334
TMIN	-8,6443	-8,5592	-23,1940	-22,8133	0,500	0,500
TMINEA	-10,4167	-10,2998	-26,9646	-26,5292	0,500	0,500
PT	-7,9685	-7,9214	-22,4611	-29,7090	0,330	0,300
PDM	-13,3674	-13,2635	-19,5923	-20,0257	0,144	0,122
PAPIB	-10,8108	-11,2166	-11,4593	-12,6559	0,202	0,089
PPA	-8,1538	-8,0653	-47,3203	-48,3383	0,500	0,500
PHA	-7,9436	-7,8577	-43,0872	-44,2400	0,500	0,500
PQ	-8,0844	-7,9970	-45,9928	-47,2311	0,500	0,500
PCE	-8,1506	-8,0620	-47,2568	-48,2670	0,500	0,500
PT	-8,0677	-7,9804	-45,6322	-46,8365	0,500	0,500
PM	-8,0538	-7,9671	-45,3292	-46,7686	0,500	0,500
PCA	-8,2160	-8,1264	-48,5205	-49,3381	0,500	0,500
PIBP9	-5,6137	-5,6156	-5,6559	-5,6539	0,181	0,151
POBR	-6,9690	-7,0570	-6,9690	-7,0645	0,161	0,082
TANF	-7,1379	-7,0996	-7,3090	-7,3957	0,110	0,069
PEAO	-7,0873	-7,6567	-16,9257	-17,0156	0,386	0,392
IPALP	-6,2682	-6,7711	-6,2858	-6,7673	0,450	0,115
CO2P	-7,3189	-7,2818	-7,3369	-7,3149	0,138	0,118
Valores críticos al 95%	-2,9238	-3,5024	-2,9252	-3,5085	0,463	0,146
Valores críticos al 90%	-2,5999	-3,1807	-2,6007	-3,1842	0,347	0,119

1/ Ho: La serie es no estacionaria (todos los valores de las variables son inferiores a los valores críticos (95% y 90%), por lo tanto se rechaza Ho).

2/ Ho: La serie es estacionaria, (Todos los valores de las variables son inferiores a los valores críticos (95% y 90%), por lo tanto no se rechaza Ho).

Fuente: Elaboración a base de los datos de información obtenida de SENAMHI, Dirección Regional Agraria Puno, BCRP, INEI.

Anexo 3. Resumen de estadísticas descriptivas de los productores agrícolas en Puno, periodo 2013.

Variables		Unidad de medida	Obs.	Media	Desviación estándar	Máximo	Mínimo
Variables socio-económicas	TF	Tamaño familiar (personas)	39724	3,50	1,70	12,00	1,00
	NEJ	Educación del jefe de hogar (años)	39724	3,78	2,02	10,00	1,00
	LEER	Sabe leer y escribir el jefe de hogar	39724	0,80	0,40	1,00	0,00
	ED	Edad del jefe de hogar (años)	39724	55,10	16,31	98,00	15,00
	SEX	Sexo del jefe de hogar (1=Hombre; 0=Mujer).	39724	0,60	0,49	1,00	0,00
	TALM	Tenencia de almacén en el predio (1=si tiene ; 0=demás casos).	39724	0,08	0,28	1,00	0,00
	IDIO	Si el productor habla un idioma nativo	39724	0,87	0,33	1,00	0,00
	ACA	Acceso al crédito agropecuario	39724	0,04	0,20	1,00	0,00
AG	Agua (1=si tiene conexión domiciliaria; 0=demás casos).	39724	4,86	1,78	7,00	1,00	
Variables productivas	VT	Valor contingente de la tierra (soles/há)	39724	1340,19	470,17	2520,00	840,00
	SCUL	Superficie de cultivo agrícola (ha)	39724	5,41	119,94	8000,00	0,00
	RIEGO	Tenencia de riego	39724	0,07	0,25	1,00	0,00
	CAP	Capacitación recibida	39724	0,03	0,17	1,00	0,00
	AT	Asistencia técnica	39724	0,01	0,10	1,00	0,00
	AEMP	Asistencia empresarial	39724	0,00	0,05	1,00	0,00
	TRA	Trabajo (1: si tiene trabajador remunerado; 0 demás casos)	39724	0,30	0,46	1,00	0,00
	AFER	Aplica fertilizantes	39724	0,45	0,21	1,00	0,00
AINSQUI	Aplica insecticidas químicos	39724	0,49	0,50	1,00	0,00	
Variables climáticas	TP	Temperatura promedio anual (°C)	39724	9,01	0,25	9,76	8,65
	TPEA	Temperatura promedio de enero abril (°C)	39724	9,75	0,25	10,46	9,40
	TMAX	Temperatura máxima promedio anual (°C)	39724	14,57	0,31	15,01	13,96
	TMAXEA	Temperatura máxima promedio de enero abril (°C)	39724	14,55	0,29	14,99	13,84
	TMIN	Temperatura mínima promedio anual (°C)	39724	1,55	0,76	2,72	0,48
	TMINEA	Temperatura mínima promedio de enero-abril (°C)	39724	3,80	0,52	4,82	3,20
	PP	Precipitación promedio anual (mm/mo)	39724	63,90	6,29	73,66	54,94
	PPDM	Precipitación promedio diciembre-marzo (mm/mo)	39724	135,29	14,32	151,04	112,68
	PAC	Precipitación acumulada anual (mm/mo)	39724	767,17	70,98	883,95	667,08
	PACDM	Precipitación acumulada diciembre-marzo (mm/mo)	39724	542,35	54,62	604,15	455,71
PACSM	Precipitación acumulada septiembre-marzo (mm/mo)	39724	727,28	64,10	834,58	637,59	

Fuente: IV Censo Nacional Agropecuario 2012.