

Colegio Andino

Documentos de Trabajo

Título:

Impacto económico del cambio climático en la agricultura en la Región Cusco, Perú: una aproximación a través del modelo Ricardiano

Autor (es), Autora (s):

Esther Guzmán Pacheco

Documento de Trabajo Nro. 06-2015

Enero, 2015

www.cbc.org.pe



CIES
consorcio de investigación
económica y social



Impacto económico del cambio climático en la agricultura en la Región Cusco, Perú: una aproximación a través del modelo Ricardiano

**Informe Final
Proyecto Breve CIES
A1-PBCus-T07-01-2013**

Cusco, Enero 2015

Esther Guzmán Pacheco*

Centro de Estudios Regionales Andinos Bartolomé de las Casas

*Investigadora Asociada del Centro de Estudios Regionales Andinos Bartolomé de las Casas (CBC), dirección: Pasaje Pampa de la Alianza 164, Cusco – Perú, correo electrónico: estherguzmanp@hotmail.com

Resumen:

En este estudio se ha estimado el impacto económico del cambio climático en la agricultura de la Región Cusco, Perú. Para ello, se utilizó una aproximación empírica a través el Modelo Ricardiano y microdatos correspondientes a más de 9 mil unidades productivas familiares en la Región Cusco. La información empleada proviene del Censo Nacional Agropecuario de 1994 y 2012 y del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología entre 1984 y 2012. Los resultados de la estimación empírica del Modelo Ricardiano, sugieren que tanto la temperatura como la precipitación se asociarían de manera no-lineal con el desempeño agrícola, tales resultados, son congruentes con la literatura empírica para otros casos de estudio. En particular, se encuentra evidencia que el impacto económico del cambio climático en la agricultura ofrece resultados mixtos, tanto positivos como negativos; sin embargo, la mayoría de los efectos negativos se concentran en la agricultura bajo secano, lo cual evidencia la alta vulnerabilidad de este tipo de agricultura ante el cambio climático. La evidencia sugiere además que la promoción del acceso y uso de la infraestructura de riego podría ser una estrategia eficiente de adaptación y/o mitigación de las unidades familiares agrícolas a los efectos del cambio climático en la Región Cusco.

Abstract:

This study estimate the economic impact of climate change on agriculture in Cusco, Peru. Estimations are based on the Ricardian Model approach and micro-data for more than 9000 farming households. Data used comes from the National Agricultural Census 1994 and 2012 and the National Service of Meteorology and Hydrology between 1984 and 2012. The results of the empirical estimation of the Ricardian model, suggest that both temperature and precipitation are associate non-linearly with agricultural performance, these results are consistent with the empirical literature for other case studies. In particular, I found evidence that the economic impact of climate change on agriculture provides both positive and negative mixed results; however, most of the negative effects are concentrated in rainfed agriculture, which shows the high vulnerability of this type of agriculture to climate change. The evidence also suggests that promoting access and use of irrigation infrastructure could be an efficient strategy for adaptation and / or mitigation of farming householdls to the effects of climate change in Cusco.

Palabras clave: agricultura, cambio climático, impacto, Modelo Ricardiano.

Key Words: agricultura, climate change, impact assessment, Ricardian approach.

Contenido

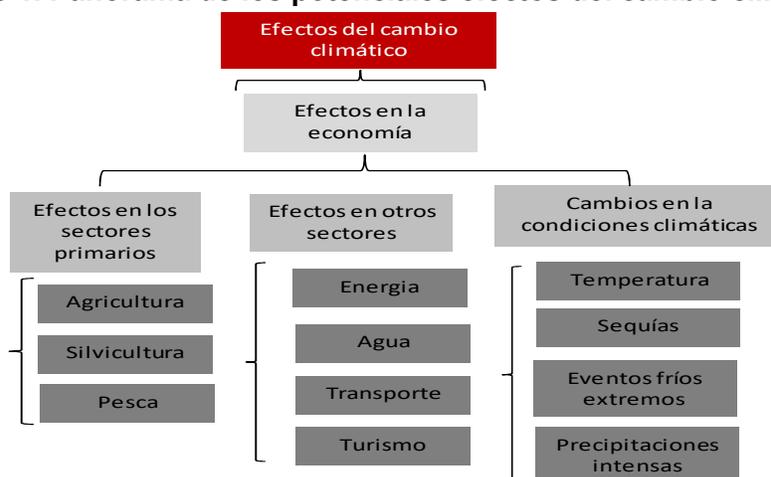
1. Introducción	Pág. 4
2. Revisión de la literatura	Pág. 9
3. Marco Teórico: impacto económico del cambio climático en la agricultura	Pág. 15
3.1 El Modelo Ricardiano	Pág. 15
3.2 Limitaciones del Modelo Ricardiano	Pág. 19
4. Metodología empírica	Pág. 21
4.1 Fuentes de datos	Pág. 21
4.2 Variables	Pág. 22
4.3 Estrategia empírica	Pág. 26
a) Modelo Ricardiano con datos de corte transversal	Pág. 26
b) Modelo Ricardiano con datos de pooled cross-sectional	Pág. 30
5. Resultados empíricos	Pág. 32
5.1 Hechos estilizados	Pág. 32
5.2 Estimación empírica del Modelo Ricardiano con datos de corte transversal	Pág. 36
5.3 Estimación empírica del Modelo Ricardiano con datos de <i>pooled cross-sectional</i>	Pág. 47
6. Conclusiones y recomendaciones	Pág. 55
7. Referencias Bibliográficas	Pág. 61
8. Anexos	Pág. 65

1. Introducción

De acuerdo con el Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), el cambio climático es una variación estadística significativa en el estado medio del clima o en su variabilidad, la cual persiste durante un periodo prolongado de tiempo. El cambio climático es un proceso generado por un calentamiento atmosférico a escala global, caracterizado, principalmente, por un aumento en la temperatura promedio de la atmósfera, lo cual podría generar cambios en los patrones del clima global. El calentamiento global es el resultado del aumento sostenido de emisiones de los gases de efecto invernadero, principalmente, dióxido de carbono. Al respecto, es un consenso mundial, que las actividades económicas que se sostienen en la quema de combustibles fósiles y la deforestación, incrementan la concentración de dióxido de carbono (CO₂) en la atmósfera; lo cual, estaría exacerbando el proceso de calentamiento global (IPCC, 2007).

El cambio climático es considerado como un fenómeno asociado, entre otros indicadores, con cambios de las temperaturas y la intensidad de las precipitaciones pluviales, respecto de los promedios de largo plazo. Ambas dinámicas pueden generar cambios positivos o negativos en distintos sectores de la economía a nivel global, nacional y local. En el Gráfico siguiente (Gráfico 1), se presentan algunos sectores de la economía donde el cambio climático podría tener efectos, entre ellos, sectores como la agricultura, energía, transporte y turismo; así como, a escala más general, el cambio climático podría generar cambios en las condiciones climáticas que afectarían no sólo el stock de capital de la economía o el Producto Bruto Interno potencial sino también el bienestar de la sociedad.

Gráfico 1. Panorama de los potenciales efectos del cambio climático



Fuente: Amiraslany (2010)

Durante los últimos años, se han desarrollado estudios y metodologías para analizar el efecto del cambio climático en diversas dimensiones económicas humanas, entre ellas, la agricultura. El análisis de los efectos del cambio climático en la agricultura es más ampliamente estudiado en la literatura. La razón de éste énfasis, se explicaría porque este sector es altamente sensible a los cambios en las condiciones climáticas, considerando la alta dependencia del proceso productivo agrícola a la disponibilidad de agua y las condiciones climáticas (Schlenker et al., 2006 y Amiraslany, 2010). El cambio climático afectaría la agricultura al variar las condiciones biofísicas necesarias para el apropiado funcionamiento de sistemas de producción y el mantenimiento de los niveles de producción de alimentos. Lo anterior es particularmente relevante considerando que para la mayoría de hogares rurales en estado de subsistencia, la producción agrícola propia es la fuente principal de alimentos (Ringler et al. 2010).

Respecto de los efectos del cambio climático en el Perú, en el Informe sobre el Desarrollo Humano 2013 del Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), se ha considerado dos aspectos relevantes:

- En primer término, se han proyectado cambios en las condiciones climáticas hacia el año 2030. En particular, se prevé que el cambio climático en la sierra sur del Perú, generaría un incremento de las temperaturas del orden de 1.2 C°, con más días secos y mayor radiación solar; así como, un incremento de las precipitaciones de hasta el 10%. De manera particular, de acuerdo con SENAMHI, la información histórica desde 1963 en la Región Cusco, sugiere los siguientes cambios en los patrones climáticos: incremento sostenido de las temperaturas extremas (máxima y mínima), del orden de 0.01 a 0.04 °C promedio por año; mayor variación en el rango térmico; tendencia decreciente de la precipitación (-12 mm por año) e incremento de la agresividad pluviométrica (lluvias torrenciales y en tiempos cortos).
- En segundo término, a nivel local y regional en el Perú, entre los actores sociales y políticos se considera aún que los efectos del cambio climático no afectan de manera significativa, en términos de magnitud, a la agricultura. Tal percepción, podría ser originada por la falta de información sobre los efectos económicos del cambio climático en dicho sector, afectando el proceso de toma de decisiones en términos de políticas públicas que permitan generar instrumentos que contribuyan a mejorar la adaptación de los agentes económicos ante el cambio climático.

Dentro de la formulación de políticas públicas relacionadas con la adaptación y/o mitigación del efecto del cambio climático en la agricultura tanto a nivel nacional como regional, se cuenta con los siguientes instrumentos de gestión: A nivel nacional, en el Plan Estratégico Sectorial Multianual 2012-2016 (PESEM) del Ministerio de Agricultura y Riego, se establece a la agricultura como una actividad importante para la población rural del país no solo como la actividad principal de generación de ingresos sino también como el soporte de los medios de vida rurales. En el PESEM 2012-2016, el MINAGRI considera que los fenómenos naturales exacerbados por el cambio climático podrían afectar la superficie agrícola, generar la pérdida de activos agropecuarios y consecuentemente reducir los ingresos rurales. Para afrontar tales efectos se considera como medidas de mitigación el desarrollo de proyecto de prevención¹, desarrollo de instrumentos financieros de seguro agropecuario y la implementación de fondos para el apalancamiento de proyectos productivos². Estas opciones de política han sido especificadas a nivel de políticas específicas y estrategias, en términos del desarrollo de seguros agrarios, promoción de la cultura de gestión del riesgo en productores agrarios, el uso de tecnologías de riego más eficientes, etc.

Por su parte, la Política Nacional del Ambiente, diseñada e implementada por el Ministerio del Ambiente³. Define explícitamente, como eje de política, la mitigación y adaptación al cambio climático en el Perú; y, de similar modo, en la Agenda Nacional de Acción Ambiental 2013-2014⁴, se formulan diversas estrategias de adaptación y/o mitigación ante el cambio climático sobre los sistemas productivos⁵; entre ellas, gestión sostenible de la tierra, reducción de la deforestación y degradación de los bosques, etc. Sin embargo, en ambos instrumentos de gestión, no se formulan políticas específicas relacionadas con la mitigación y/o adaptación de los sistemas productivos agrarios.

A nivel regional, en particular para el caso de la Región Cusco, se ha formulado la Estrategia Regional Frente al Cambio Climático⁶, con el objetivo que dicho instrumento de gestión se constituya como un marco de referencia que guíe la toma de decisiones sobre el tema del cambio climático en la Región Cusco. En dicho instrumento de gestión, se han definido las

¹ Proyectos tales como: defensas ribereñas, reforestación, etc.

² Tipo Agroemprende.

³ Aprobado por Decreto Supremo N° 012-2009-MINAM del 23 de Mayo de 2009.

⁴ Aprobada por Resolución Ministerial N° 026-2013-MINAM

⁵ En dicho instrumento se menciona que el cambio climático tendría un impacto económico negativo para el caso peruano, entre 1% y 4% del PBI al año 2030.

⁶ Aprobada por Ordenanza Regional N° 020-2012-CR/GR-CUSCO del 17 de Enero de 2012.

siguientes estrategias regionales referentes a la mitigación y/o adaptación de la agricultura ante los efectos potenciales del cambio climático: promoción del uso tecnificado del agua para riego, implementación de programas de manejo de plagas y enfermedades. No obstante, muchas de las estrategias planteadas son ambiguas y poco claras, lo cual limita seriamente la operatividad de las mismas en programas y/o proyectos concretos que permitan abordar de mejor manera el impacto del cambio climático en la agricultura. A nivel de las políticas públicas, tanto nacional como regional, se requiere evidencia empírica sobre el efecto del cambio climático en la agricultura que permita contar con mayor información para la toma de decisiones y la formulación de programas y/o proyectos de mitigación y/o adaptación más permitentes.

Por lo anterior, surge la siguiente pregunta: *¿Cuáles son los efectos económicos del cambio climático en la agricultura de la Región Cusco?* Considerando lo anterior, el objetivo del presente estudio consiste en evaluar el impacto económico del cambio climático en algunos indicadores relacionados con la agricultura para el caso específico de la Región Cusco. Se espera que, con los resultados, se puedan obtener algunas conclusiones relevantes para formular lineamientos de política que contribuyan a mejorar la efectividad de los programas y/o proyectos de adaptación ante el cambio climático.

Para alcanzar el objetivo de investigación, en el presente estudio se buscó armonizar información agraria con información climática. En análisis se sostiene en información proveniente, por un lado, del Censo Nacional Agropecuario (III CENAGRO 1994 y IV CENAGRO 2012) del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI); y por otro lado, en información sobre precipitación y temperatura, proveniente de las estaciones meteorológicas operativas del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) en la Región Cusco. Se estimó el impacto económico del cambio climático sobre la agricultura empleando el Modelo Ricardiano (Mendelsohn et al., 1994) con una muestra de más de 9 mil hogares rurales, dicha metodología empírica ha sido ampliamente empleada en la literatura para el análisis a nivel microeconómico de los efectos del cambio climático en la agricultura. Sin embargo, debe tenerse en cuenta las limitaciones de información (propias de datos provenientes de censos) que restringen en cierto modo la potencia y validez del análisis que se presenta en este estudio.

Los resultados de la estimación empírica del Modelo Ricardiano con datos de la Región Cusco, sugieren que tanto la temperatura como la precipitación se asociarían de manera no-lineal con

el desempeño agrícola, tales resultados, son congruentes con la literatura empírica para otros casos de estudio. En particular, se encuentra evidencia que sugiere que la temperatura y la precipitación tienen efectos mixtos en el desempeño agrícola en la Región Cusco; no obstante, el impacto económico del cambio climático en la agricultura en la Región Cusco ofrece resultados mixtos, tanto positivos como negativos; sin embargo, la mayoría de los efectos negativos se concentran en la agricultura bajo secano. Lo cual sugiere que, el acceso y uso de la infraestructura de riego podría ser una estrategia eficiente de adaptación y/o mitigación de las unidades familiares agrícolas de pequeña escala a los efectos del cambio climático en la Región Cusco.

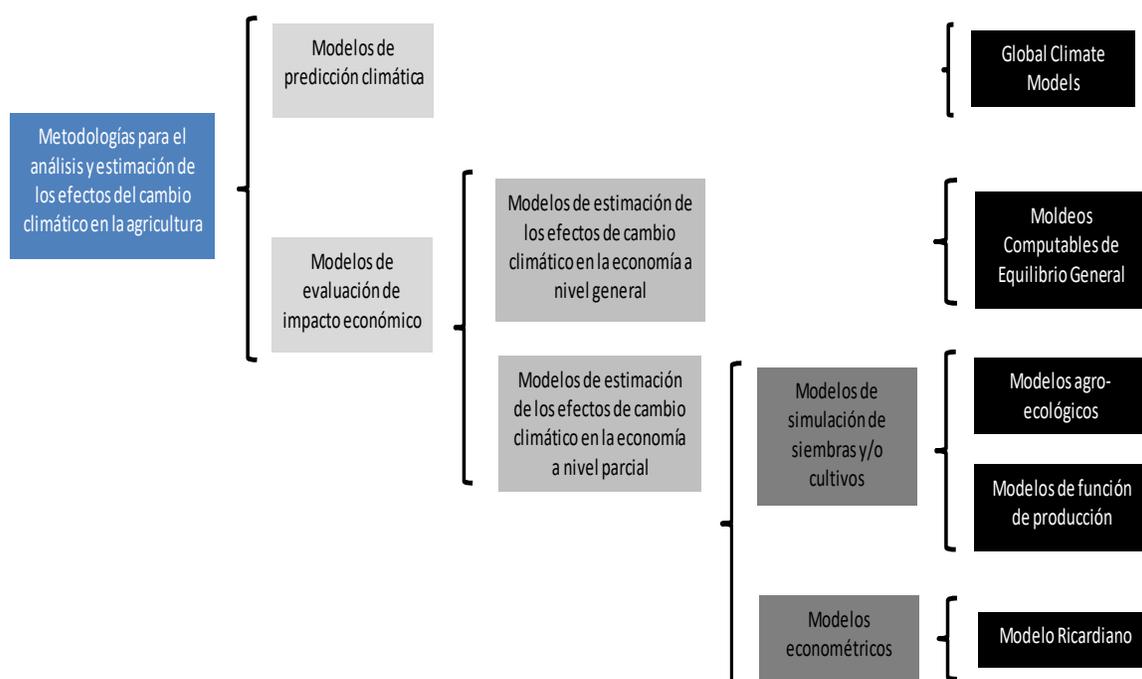
Este estudio aporta a la literatura empírica existente en dos sentidos: El primero, en este estudio se estima de manera relativamente rigurosa y de manera específica el efecto de cambios en las condiciones climáticas atribuibles al cambio climático en el desempeño agrícola de unidades familiares agrícolas de baja escala productiva en el contexto geográfico de los andes del sur peruano, zona que por definición es altamente vulnerable a los potenciales impactos del cambio climático (PACC 2012). El segundo aporte, implica que, a diferencia de la literatura empírica sobre el Modelo Ricardiano, en la cual se han utilizado generalmente datos agregados (Gbetibouo and Hasan, 2004; García and Vilandrich, 2005; García and Vilandrich, 2009; Seo and Mendelsohn, 2008), en el presente estudio se han empleado datos a nivel de hogares rurales. La utilización de microdatos permitiría una mayor eficiencia en los parámetros estimados en el contexto del Modelo Ricardiano.

El resto del documento consta de las siguientes partes: En la Sección 2, se revisa brevemente la literatura empírica sobre el modelo Ricardiano y se listan los estudios desarrollados para el caso de la Región Cusco. En la Sección 3, se plantea el marco conceptual que guía la investigación, se desarrolla y caracteriza la relación entre agricultura y cambio climático en el marco del Modelo Ricardiano. En la Sección 4, se describe la metodología empírica empleada para estimar el impacto económico del cambio climático en la agricultura de la Región Cusco. En la sección 5 se establecen presentan los principales resultados de la estimación empírica del Modelo Ricardiano con base en datos de la Región Cusco. Finalmente, en la Sección 6 se discuten los resultados del estudio, se esbozan algunas conclusiones relevantes y se listan algunas sugerencias de política pública a nivel regional y local.

2. Revisión de la literatura

Como se mencionó anteriormente, el análisis de los posibles efectos del cambio climático en la agricultura es más recurrente respecto de otros sectores, puesto que se considera que este sector se encuentra altamente expuesto a los cambios en las condiciones climáticas a nivel global (Schlenker et al., 2006). En el Gráfico 2, se mencionan las principales aproximaciones metodológicas para el análisis de los efectos del cambio climático en la agricultura. En general, las metodologías principales se dividen en modelos de predicción agroclimática y modelos que buscan analizar el impacto del cambio climático desde una perspectiva más agro-económica.

Gráfico 2. Principales metodologías para el análisis del cambio climático en la agricultura



Fuente: Deressa (2007)

En el primer caso, los modelos de predicción agroclimática estudian el comportamiento del sistema climático, sus componentes e interacciones a nivel biofísico y evalúan sus efectos en indicadores agrícolas. El diseño de estos modelos de predicción se enfoca, generalmente, en estudiar el proceso climático y la variabilidad climática, para proyectar la respuesta de los indicadores agrícolas ante cambios generados por la el clima en un contexto de incremento de los gases de efecto invernadero y cambio climático.

Dentro de este primer grupo de modelos, se han desarrollado modelos matemáticos complejos, entre ellos, el denominado “Global Climate Models” o “Global Circulation Models” (Deressa, 2007), el cual es una representación (modelización) matemática de la atmósfera, los océanos, superficie de la tierra, energía y sus interacciones. Tales modelos establecen simulaciones matemáticas que permiten predecir cambios esperados en el clima en respuesta a cambios en la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera y sus consecuentes interacciones con variables e indicadores relacionados con la agricultura, tales como producción, productividad, rendimientos agrícolas, etc.

En el segundo caso, los modelos que buscan analizar el impacto del cambio climático desde una perspectiva más agro-económica, se subdividen en dos dependiendo de la escala a la cual se busca estimar los efectos del cambio climático, a nivel general o a nivel más parcial o focalizado. Para el análisis general de los efectos del cambio climático, se han desarrollado metodologías basadas en modelos de equilibrio general y para el análisis parcial, se han desarrollado metodologías basadas en modelos de simulación de cultivos y modelos económicos.

En particular, los modelos de equilibrio general, son modelos analíticos que consideran a la economía como un sistema completo de componentes interdependientes (industria, factores, instituciones, etc.). Estos modelos, en general, incorporan complejas interacciones entre los diferentes sectores de la economía junto con variables relacionadas con la variabilidad climática. Un ejemplo de este tipo de metodología para el análisis de los efectos del cambio climático, es el “*Modelling System for Agricultural Impacts of Climate Change*”, denominado, MOSAICC⁷, modelo desarrollado por la Organización de Naciones Unidas para los Alimentos y la Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés). MOSAICC es en realidad un sistema de modelos, sistema que incorpora modelos de predicción climática e hidrológica, con modelos de siembras y modelos de impacto económico en la agricultura, principalmente, en el rendimiento agrícola. Dicho sistema fue diseñado para estimar, a través de simulaciones, los impactos del cambio climático en la agricultura.

Por su parte, el análisis parcial de los efectos del cambio climático se fundamenta en el análisis de una parte o fracción específica de toda la economía, es decir, enfocan el análisis en un mercado, sector o región específica. El análisis parcial se soporta en, principalmente, dos

⁷ Para más detalles sobre MOSAICC, ver: <http://www.fao.org/climatechange/mosaicc/en/>

aproximaciones metodológicas: modelos de simulación de siembras y modelos econométricos (Deressa, 2007).

Los modelos de simulación de siembras (modelos agronómicos) se han empleado para estimar el efecto del cambio climático en el rendimiento de los cultivos. La idea central implica modelar el proceso de crecimiento de un determinado cultivo controlando por sus características fenológicas propias. Estos modelos, se subdividen a su vez en:

- (i) Modelos agro-ecológicos, en los cuales se estiman cambios en la capacidad de la tierra para la producción de cultivos en función a cambios en variables climáticas, controlando por factores relacionados con características de tecnología, siembra, producción y características biofísicas.
- (ii) Modelos de funciones de producción, estos modelos analizan los efectos del cambio climático en la agricultura, con base en funciones de producción empíricas que buscan aproximar la relación entre la producción agrícola y el cambio climático. En esta metodología, se emplean, generalmente, variables climáticas como temperatura, precipitación y emisiones de dióxido de carbono como insumos de la producción agrícola, principalmente, se evalúa los efectos del cambio climático en los rendimientos de los cultivos.

El análisis parcial con base en modelos económicos, se basan principalmente en el denominado modelo Ricardiano (Mendelsohn et al., 1994), en dicho modelo, se analiza una muestra de unidades productivas bajo diferentes condiciones climáticas y se examina la relación entre el valor de la tierra o los ingresos netos y factores agro-climáticos. El modelo Ricardiano, estima la contribución marginal de las variables climáticas al valor de las unidades productivas agrícolas, a través de estimar el efecto de variables climáticas en el valor de la tierra. El valor de la tierra o los ingresos de las unidades productivas es aproximado a través de los ingresos netos o los precios de la tierra; por ello, el modelo Ricardiano es considerado como una aproximación a través de los precios hedónicos.

A nivel internacional diversos estudios han empleado el modelo Ricardiano para estimar los efectos económicos del cambio climático en la agricultura, para diversos casos de estudio y diferentes contextos (Mendelsohn et al., 1994; Madisson, 2000; Schlenker et al., 2006; Deressa et al., 2005; Deschenes and Greenstone, 2007; Deressa, 2007; Eid et al., 2007; Kaubo-Mariara

and Karanja, 2007; Mendelsohn et al., 2007; Mendelsohn et al., 2010; y, De Salvo et al., 2013), tales estudios han analizado el impacto económico del cambio climático en la agricultura en países como: USA, UK, Sudáfrica, Egipto, Kenya, México, Italia. Para una revisión detallada de la literatura sobre el modelo Ricardiano ver De Salvo et al., (2013).

En la literatura, el modelo Ricardiano es el instrumento de análisis más común para estimar a nivel microeconómico los efectos del cambio climático en la agricultura. La idea fundamental del modelo Ricardiano es que el objetivo de los productores agrícolas es maximizar sus beneficios a través de una combinación específica entre producción y utilización de insumos agrícolas, considerando en dicha maximización variables exógenas como el clima y otras características agronómicas. De la regresión entre los beneficios netos de la actividad agrícola con variables climáticas (principalmente temperatura y precipitación) y características productivas, es posible estimar los efectos marginales del cambio climático en los beneficios de las unidades agrícolas (Mendelsohn et al., 1994).

Dentro de la literatura disponible para el caso de la Región Cusco, se han revisado diversos estudios de caso promovidos, principalmente, por el Programa de Adaptación al Cambio Climático (PACC), los cuales han empleado distintas perspectivas metodológicas para analizar los efectos potenciales del cambio climático en la agricultura (en el Anexo 1, se describen de manera detalla los estudios revisados):

En primer término, Flores et al., (2012), analizan desde una perspectiva más cualitativa los efectos del cambio climático en el contexto específico de la microcuenca Huacrahuacho en la Provincia de Canas, Región Cusco. El estudio analiza los factores de vulnerabilidad de los hogares rurales ante el cambio climático, los autores encuentran una alta heterogeneidad de productores agrícolas, además, sistematizan las principales acciones tomadas por los campesinos como una forma de adaptación a la creciente variabilidad climática.

En segundo término, Guerrero (2012) estudia los efectos potenciales del cambio climático en los rendimientos agrícolas de los principales cultivos de las regiones de Cusco y Apurímac (maíz, papa, habas, trigo, etc.). El autor emplea un modelo agronómico, donde realiza una caracterización agroclimática de la actividad agrícola, encontrando que la principal amenaza climática son las heladas y granizadas, cuya incidencia es mayor periodo a periodo, aunque no calcula de manera específica el valor de las pérdidas. El estudio menciona que efectivamente

el cambio climático afecta la agricultura y la ganadería, principalmente, en agricultores de subsistencia o de pequeña escala.

En tercer término, Morales et al., (2012) analizan el concepto de economía del cambio climático, los autores destacan que el sector agricultura es más sensible a los cambios en la temperatura y la precipitación en el corto plazo; y, que a largo plazo el sector es más sensible al efecto de los cambios en la temperatura. En dicho estudio se estima que, por cada 1 grado de incremento en la temperatura máxima la tasa de crecimiento del Producto Bruto Interno Regional se reduciría en -1.7 puntos porcentuales; en términos de pérdidas en el volumen de producción a causa de eventos climáticos, los autores estiman que se perderían el 5% de la producción de papa, 60% de maíz y 22% de café. Por otro lado, los autores emplearon datos de corte transversal provenientes de ENAHO 2007 e información climática promedio entre 1970 y 2007 a nivel distrital, aprovechando la variabilidad transversal en la temperatura y la precipitación los autores estiman los efectos de la variabilidad climática en los ingresos agrícolas, el estudio encuentra que 1mm de incremento en la precipitación aumentaría en 0.8% los ingresos agrícolas. Sin embargo, este último resultado podría ser criticable, puesto que, las encuestas de hogares (ENAHO) a nivel regional no tienen el nivel de representatividad suficiente para analizar el ingreso de los hogares rurales en específico, como una unidad de análisis válida.

Considerando la literatura relevante para el presente caso de estudio. En esta investigación se buscó contribuir con la literatura empírica estimando de manera más explícita y relativamente rigurosa los potenciales efectos económicos del cambio climático en la agricultura para la Región Cusco. El objetivo principal de la investigación trata de cuantificar la dirección y la magnitud de los posibles impactos del cambio climático en la agricultura en la Región Cusco. Por lo cual el análisis empírico empleado debe ser considerado como una aproximación de equilibrio parcial; es decir, se buscará analizar la relación entre la agricultura y variables climáticas a nivel parcial, puesto que se considera un sector específico, la agricultura y un dominio geográfico concreto, la Región Cusco.

Considerando la revisión de las metodologías empíricas para el análisis de los efectos del cambio en la agricultura (ver Gráfico 2), son factibles dos aproximaciones: la primera a través de modelos agronómicos y la segunda a través de modelos económicos.

En los modelos agronómicos, no se modela explícitamente la capacidad de adaptación de las unidades productivas agrarias, aspecto relevante social y culturalmente en poblaciones andinas del sur del Perú. Analizar dicha capacidad adaptativa de los agentes económicos ante cambios en las condiciones climáticas es fundamental por un lado para aproximar adecuadamente el grado de vulnerabilidad de los hogares rurales ante el cambio climático; y por otro lado, para plantear medidas de priorización y/o focalización de grupos sociales con menores capacidades adaptativas. De acuerdo con García y Viladrich (2005), los modelos agronómicos son generalmente empleados para analizar cambios en los rendimientos agrícolas ante diferentes condiciones climáticas (bajo condiciones de laboratorio); sin embargo, no se incorporan potenciales cambios en el proceso productivo (prácticas adaptativas), por lo cual, los modelos de simulación de cultivos tienden a sobre estimar el impacto del cambio climático en la agricultura.

En contraste, los modelos económicos, en particular en el modelo Ricardiano, considera la posibilidad que los agentes económicos realicen actividades agrícolas que puedan generar procesos de adaptación ante las condiciones climática. Lo cual resulta razonable para la realidad del sur andino del Perú, donde tradicionalmente, la condiciones climáticas son adversas y son recurrentes procesos de adaptación ante tales condiciones periodo tras periodo (Flores et al., 2012).

Considerando, por un lado, la revisión de las metodologías para el análisis de los efectos del cambio climático en la agricultura; y por otro, la disponibilidad de datos para la aproximación de tales efectos para el caso particular de la Región Cusco, donde la productividad de la tierra y rendimientos agrícolas no son observables en las bases de datos disponibles (Encuestas de Hogares y Censos Agropecuarios). Se considera de interés emplear la metodología basada en modelos económicos de análisis de los efectos del cambio climático en la agricultura, denominado modelo Ricardiano (Mendelsohn et al., 1994). Una gran ventaja de este tipo de aproximación implica la posibilidad de incorporar prácticas propias de adaptación ante la variabilidad climática, principalmente la adopción de tecnologías de riego (Deressa, 2007). Mientras que, una gran desventaja de este tipo de modelo económico, es que no se basa en un experimento controlado, puesto que, el comportamiento de las unidades productivas agrícolas responde no solo ante cambios en las condiciones climáticas, sino también varía espacialmente y ante distintas características socioeconómicas.

3. Marco Teórico: impacto económico del cambio climático en la agricultura

3.1 El Modelo Ricardiano

El modelo Ricardiano fue propuesto en la literatura por Mendelsohn et al., (1994) y desarrollado ampliamente para el análisis del efecto económico del cambio climático en la agricultura para diversos países y casos de estudio (De Salvo et al., 2013). El concepto fundamental del modelo Ricardiano es que el valor de la tierra y las prácticas agrícolas esta correlacionas con las variables climáticas; es decir, que la productividad de los cultivos es una función de las variables climáticas, tales como: temperatura y precipitación.

En el modelo, se asume que las unidades productivas agrarias, ajustan sus niveles planificados de cultivos y producción a través de ajustar la cantidad de insumos agrícolas empleados o la cantidad de cultivos o producción efectiva; y, que continuamente se adaptan a las condiciones climáticas, asignando el uso de la tierra de la mejor manera posible, buscando maximizar los beneficios de la actividad agrícola. Se define entonces un vector de productos por parte de la unidad productiva “i” localizada en el centro poblado “j” (García and Viladrich, 2005): $F_{i,j} = (F_{i,j}^1, F_{i,j}^2, \dots, F_{i,j}^q)$, donde $F_{i,j}$ es el vector de productos agrícolas q, q=1, 2, ..., Q, producidos por la unidad productiva “i” en la localidad “j”.

Se asume que la función de producción ($F_{i,j}$), captura la relación, por un lado, entre los insumos agrícolas y las condiciones climáticas; y por otro lado, la producción agrícola. Adicionalmente, $F_{i,j}$, describe el nivel tecnológico de la unidad productiva “i” e incluye la posibilidad que la productividad agrícola pueda ser afectad por la rotación de cultivos, por lo cual la función de producción puede ser representada por:

$$F_{i,j} = f_{i,j}(K_{i,j}; E_j) \quad (1)$$

Donde el vector $K_{i,j}$ incluye los insumos agrícolas necesarios para la producción agrícola ($F_{i,j}$), en la localidad “j”. El vector E_j , por su parte, incluye las variables climáticas (temperatura y precipitación) que afectan la localidad “j”, se asume que cada unidad productiva está expuesta de similar manera a tales condiciones climáticas dentro de la localidad “j”.

La función de costos depende de la tecnología, los costos de los insumos agrícolas y de las condiciones climáticas, la función de costos puede ser definida como:

$$C_{i,j} = C_{i,j}(F_{i,j}; E_j; w) \quad (2)$$

Donde w es el vector de precios de los insumos agrícolas. De acuerdo con Mendelsohn et al., (1994), se asume que los precios de los insumos se definen en un mercado competitivo y que los precios son los mismo para cada unidad productiva. $C_{i,j}$, representa el costo total de la producción de $F_{i,j}$, dadas las condiciones climáticas en la localidad "j".

En el modelo Ricardiano, el factor de producción tierra es el más relevante en la producción agrícola, por lo cual recibe una consideración especial. Dicho factor puede ser denotado por $L_{i,j}$, el cual representa el número de hectáreas utilizadas en actividades agrícolas por la unidad productiva "i" en la localidad "j". El costo por el uso de la tierra, como factor productivo, es denotado por P_j^L . Asumiendo que, la unidad productiva "i" maximiza sus beneficios de la producción agrícola en un mercado de productos competitivo, donde $F_{i,j}$ maximiza la siguiente expresión:

$$\max_F [PF_{i,j} - C_{i,j}(F_{i,j}; E_j; w)] - P_j^L L_{i,j} \quad (3)$$

Donde P es el vector de precios de los productos agrícolas. Si la expresión $F_{i,j}^* = (F_{i,j}^{1*}, F_{i,j}^{2*}, \dots, F_{i,j}^{q*})$, denota el resultado del proceso de maximización de beneficios de la unidad productiva "i", el cual establece la igualdad entre ingresos y costos marginales, determinando el nivel de producción que minimiza la función de costos. De similar modo, $F_{i,j}^*$, denota el resultado óptimo de la mejor forma de asignar el factor tierra en el proceso productivo agrícola. Asumiendo competencia en los mercados de productos y factores, las condiciones de primer orden pueden denotarse de acuerdo con la siguiente expresión:

$$P_j^L L_{i,j} = [PF_{i,j} - C_{i,j}(F_{i,j}; E_j; w)] \quad (4)$$

Mediante la expresión establecida en (4), es posible expresar las condiciones de equilibrio de largo plazo en los siguientes términos:

$$\sum_{t=0}^{\infty} P_{j,t}^L L_{i,j,t} = \sum_{t=0}^{\infty} [P_t F_{i,j,t} - C_{i,j,t}(F_{i,j,t}; E_j; w_t)] \quad (5)$$

Considerando al tiempo como una variable continua, el valor presente del valor de la tierra empleada para fines productivos por la unidad productiva "i" en la localidad "j" ($V_{i,j}$), puede ser expresada como:

$$V_{i,j} = \int_0^{\infty} P_t F_{i,j,t} e^{-\delta t} dt = \int_0^{\infty} [P_t F_{i,j,t} - C_{i,j,t}(F_{i,j,t}; E_j; w_t)] e^{-\delta t} dt \quad (6)$$

En la expresión anterior $V_{i,j}$, representa el valor de la unidad productiva "i" en la localidad "j", el cual depende de los retornos futuros descontados a la tasa de retorno (δ).

De acuerdo con Mendelsohn et al., (1994) la razonabilidad del modelo Ricardiano, se soporta en los siguientes supuestos: (i) Los mercados de productos e insumos son competitivos (ii) La tasa de descuento del capital es igual para cada proporción de tierra empleada para fines productivos.

En la formulación previa es posible incorporar cambios en las condiciones climáticas; en particular, es posible incorporar dos estados en el vector E_j , un estado inicial A y un estado siguiente B, en ambos estados las condiciones climáticas se asumen diferentes ($E_j^A; E_j^B$). Esta expresión permite analizar cómo cambios en las condiciones climáticas pueden afectar el nivel de bienestar, a través de afectar el valor de las unidades productivas agrícolas. Se asume el cambio en el bienestar social de acuerdo con los siguientes términos:

$$\begin{aligned} \Delta W(E_j^A - E_j^B) &= \int_0^{\infty} [P_t F_{i,j,t}(A) - C_{i,j,t}(F_{i,j,t}(A); E_j^A; w_t)] e^{-\delta t} dt \\ &- \int_0^{\infty} [P_t F_{i,j,t}(B) - C_{i,j,t}(F_{i,j,t}(B); E_j^B; w_t)] e^{-\delta t} dt \end{aligned} \quad (7)$$

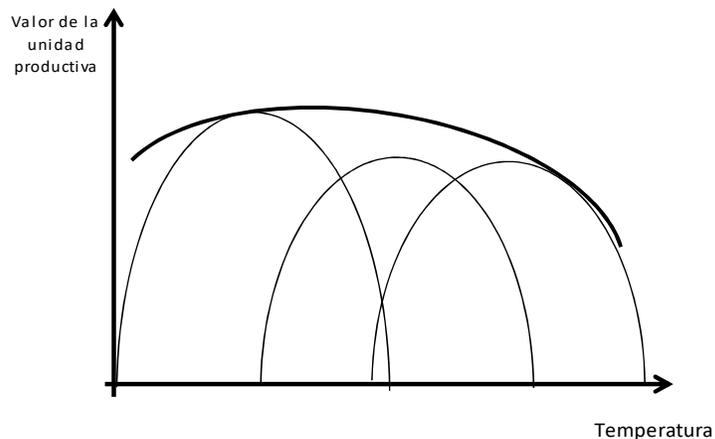
Por la expresión anterior, es posible definir los cambios en el bienestar social causados por cambios en las condiciones climáticas a través del valor de la unidad productiva, de acuerdo con:

$$\Delta W(E_j^A - E_j^B) = V_{i,j}^A - V_{i,j}^B \quad (8)$$

Donde $V_{i,j}^A$ es el valor de la unidad productiva “i” bajo condiciones climáticas en el estado A y $V_{i,j}^B$ es el valor de la unidad productiva “i” bajo condiciones climáticas en el estado B.

El modelo Ricardiano establece que la relación funcional básica entre la variable climática (E) y el valor de la unidad productiva ($V_{i,j}$) es cóncava (ver Gráfico 3). Considerando en particular a la temperatura, cuando se incrementa la temperatura, se incrementa también la productividad agrícola ($\partial V_{i,j}/\partial E > 0$), hasta un determinado punto, que por condiciones fenológicas, un nuevo incremento de la temperatura reduce el valor de la unidad productiva ($\partial V_{i,j}/\partial E < 0$), es decir, el modelo Ricardiano asume una relación no lineal entre las variables de interés, este razonamiento puede extenderse para el caso de múltiples cultivos, por lo cual el objetivo empírico implica estimar la función envolvente, de acuerdo con el siguiente gráfico.

Gráfico 3. Hipótesis del modelo Ricardiano sobre la relación entre el valor de la unidad productiva y la variable climática



Fuente: García y Viladrich (2005)

De acuerdo con Mendelsohn et al., (1994), la relación entre la variable dependiente de interés y las variables climáticas (temperatura y precipitación) se asociarían de manera cuadrática (no-lineal). En la literatura, diversos estudio que han empleado esta metodología, asumieron formas funcionales cuadráticas para relacionar la temperatura y la precipitación con las variables dependientes (Mendelsohn, et al., 1994; Schlenker et al., 2006; Deressa et al., 2005, Deschenes and Greenstone, 2007; Deressa, 2007; Eid et al., 2007; Mendelsohn et al., 2010).

El modelo Ricardiano ha sido empleado en la literatura empleando tanto datos de corte transversal (Mendelsohn et al., 1994; Schlenker et al., 2006; Deressa, 2007; Eid et al., 2007; etc.); así como, con datos de panel (Deschenes and Greenstone, 2007). En particular, el uso de datos tipo panel, permite en el contexto de la metodología Ricardiana, remover efectos temporales y generar coeficientes de impacto del cambio climático más estables. En particular, la aproximación a través de datos de panel, podría contribuir a resolver las distorsiones generadas por la correlación entre variables climáticas y estrategias adaptativas de los agentes económicos (De Salvo et al., 2013). Por lo anterior, en el presente estudio se emplearán ambas aproximaciones empíricas, tanto empleando datos de corte transversal, como datos de un pseudo panel. En la sección metodológica se describen en detalle cada uno de los modelos empíricos considerados.

3.2 Limitaciones del Modelo Ricardiano

No obstante, la amplia utilización en la literatura empírica del modelo Ricardiano en el análisis de los efectos del cambio climático en la agricultura, han surgido diversas críticas a la formulación teórica y a la aplicación empírica de dicha aproximación metodológica. Las principales críticas y consideraciones son las siguientes (De Salvo et al., 2013):

- El modelo Ricardiano es útil para analizar los efectos del cambio climático solamente desde una perspectiva de equilibrio parcial, por lo cual, es posible que los resultados que ofrezca dicha metodología tiendan a sobreestimar los efectos negativos del cambio climático (Cline, 1996).
- El modelo Ricardiano tiene una naturaleza estática, lo anterior es particularmente relevante considerando que los efectos del cambio climático en la agricultura pueden ser considerados como un fenómeno dinámico en el tiempo (Quiggin and Horowitz, 1999).
- En el modelo Ricardiano no se modela explícitamente el rol del riego en el valor de las unidades productivas agrícolas, la omisión de dicha variable podría generar estimaciones incorrectas de los efectos marginales del cambio climático en la agricultura (Fisher and Hanemann, 1998).

Por el lado de la aplicabilidad del modelo Ricardiano, una dificultad obvia es la disponibilidad de información, tanto climática como agrícola. En general, en la literatura empírica se han empleado dos indicadores fundamentales para aproximar el valor de las unidades productivas: ingresos netos y precio de la tierra. Estos indicadores si bien disponibles para la mayoría de países desarrollados, son inaccesibles o inexistentes para países en desarrollo como el caso peruano. La información sobre ingresos netos o rentabilidad de las unidades productivas rurales es información que podría estar siendo capturada en las encuesta de hogares (Como ENAHO); sin embargo, estas encuestas no son representativas a nivel departamental para el área rural y no serían útiles para presente el caso de estudio.

Por su parte, los censos agropecuarios, por su escala, no capturan información sobre ingresos, precios y/o producción agrícola, lo cual plantea serias dificultades empíricas para el presente estudio. Sin embargo, en la literatura se han utilizado indicadores alternativos para aproximar el valor de las unidades productivas; en particular, Mendelsohn et al., (2007) han sugerido la utilización de la proporción de tierra cultivada respecto del total de tierra como variable dependiente para estimar los efectos del cambio climático. De similar modo, García y Viladrich (2005) han empleado el número de hectáreas cultivadas como proxy del valor de la tierra, ante la ausencia de información sobre precios de la tierra.

4. Metodología empírica

4.1 Fuentes de datos

En el presente estudio, se buscó combinar bases de datos agrarias y climáticas. Las primeras provienen de los Censos Nacionales Agropecuarios del INEI (III CENAGRO de 1994 y IV CENAGRO de 2012); mientras que, la segunda fuente principal de datos son los registros históricos de Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI). Con tales fuentes de datos se considera factible emplear la metodología Ricardiana planteada en la sección previa para estimar el efecto económico del cambio climático en la agricultura de la Región Cusco.

En primer término, los datos agrarios a nivel de unidades productivas agrarias provienen del III CENAGRO 1994 y IV CENAGRO 2012, las cuales son bases de datos disponibles con base en información censal de la población rural a nivel nacional. Se ha considerado que estas bases de datos serían adecuadas para los objetivos de la presente investigación respecto de fuentes de datos alternativas (como las encuestas de hogares ENAHO). Al utilizar datos censales existen ventajas pero también desventajas; respecto de las primeras, se reducen los problemas de inferencia estadística que son propios de las encuestas de hogares representativas, como ya se ha discutido, este problema sería particularmente importante cuando se busca analizar el caso particular de una región o departamento en el Perú. Por lo cual, al utilizar datos censales es posible realizar un análisis heterogéneo más preciso. Sin embargo, la principal desventaja se concentra en la calidad de la información, generalmente, las encuestas de hogares capturan mayor información sobre las características de los hogares mientras que los censos capturan mucho menor información dada su magnitud operativa.

En segundo término, los datos climáticos de SENAMHI para la Región Cusco, incluye información sobre la precipitación acumulada mensual (mm) y temperatura media mensual (C°) para el total de estaciones meteorológicas de la Región Cusco, se dispondrá de información de un total de 20 estaciones, entre el periodo 1964 y 2012. Las estaciones consideradas fueron: Estaciones: Acomayo, Anta, Caycai, Ccatca, Challabamba, Chontachaca, Colquepata, Kayra, Machupicchu, Paruro, Paucartambo, Pisac, Pomacancha, Quebrada Honda, Quillabamba, Quincemil, Santo Tomás, Sicuani, Urubamba y Yauri.

4.2 Variables

a) Variable dependiente

Considerando la disponibilidad de información tanto en los Censos Agropecuarios del INEI y siguiendo lo planteado por Mendelsohn et al., (2007) y García y Viladrich (2005), es posible replantear la ecuación (4) en los siguientes términos:

$$P_j^L L_{i,j} / L_{i,j}^\psi = [PF_{i,j} - C_{i,j}(F_{i,j}; E_j; w)] / L_{i,j}^\psi \quad (9)$$

Donde $L_{i,j}^\psi$, representa la cantidad total de tierra disponible de la unidad productiva “i” en la localidad “j”. Asumiendo que $P_j^L = 1$, de acuerdo con el planteamiento del modelo Ricardiano P_j^L representa el precio de la tierra, parámetro que resume el aporte de la tierra a los costos de producción agrícola, al asumir que dicho precio es la unidad, se asume que el incremento marginal de la utilización de dicho factor incrementa proporcionalmente el costo marginal; en otros términos, la relación entre el factor tierra y los costos, se puede explicar a través de asumir rendimientos constantes a escala de dicho factor productivo. El supuesto de rendimientos constantes a escala, implica que a medida que aumenta la capacidad instalada de la unidad productiva agrícola, por un lado, el producto aumenta en igual proporción; y por otro lado, la productividad del factor de producción se mantiene constante. Por lo anterior, la expresión (9) se reformula en los siguientes términos:

$$L_{i,j} / L_{i,j}^\psi = [PF_{i,j} - C_{i,j}(F_{i,j}; E_j; w)] / L_{i,j}^\psi \quad (10)$$

Con lo cual el valor de la unidad agrícola puede ser expresada por:

$$V_{i,j} = \int_0^\infty L_{i,j} / L_{i,j}^\psi e^{-\delta t} dt = \int_0^\infty [F_{i,j,t} - C_{i,j,t}(F_{i,j,t}; E_j; w_t)] e^{-\delta t} dt \quad (11)$$

En tal sentido, de acuerdo con Mendelsohn et al., (2007), la variable dependiente considerada puede ser definida como la proporción (%) de la cantidad de hectáreas cultivadas respecto del

total de hectáreas disponibles para fines productivos⁸. Por lo cual, se asume que una mayor proporción relativa de tierra cultivada se correlaciona positivamente con un mayor valor de la unidad productiva (García y Viladrich, 2005).

No obstante lo anterior, se ha optado por sub-dividir la variable dependiente dos:

- (i) Proporción (%) de la cantidad de hectáreas cultivadas bajo riego respecto del total de hectáreas disponibles para fines productivos.
- (ii) Proporción (%) de la cantidad de hectáreas bajo secano cultivadas respecto del total de hectáreas disponibles para fines productivos. Dicha subdivisión busca en algún modo analizar separadamente las implicancias de la adopción de tecnologías de riego ante el cambio climático.

Tales variables se encuentran determinadas en los Censos Agropecuarios (III y IV CENAGRO de 1994 y 2012, respectivamente). En ambas bases de datos es posible identificar la cantidad declarada de hectáreas sembradas por parcela y por unidad productiva; así como, la cantidad total declarada de cada parcela y de toda la unidad productiva⁹.

Se ha optó por subdividir la variable dependiente en términos del desempeño agrícola bajo riego y bajo secano debido a las siguientes consideraciones: En primer lugar, la omisión del riego podría generar estimaciones incorrectas de los efectos marginales del cambio climático sobre el valor de las unidades productivas (Fisher and Hanemann, 1998), siguiendo a Schlenker et al., (2006). En segundo lugar, la consideración explícita del riego en el desempeño agrícola podría ser una aproximación de la capacidad de adaptación ante el cambio climático de las unidades productivas agrarias.

⁸ Se considera el agregado de todas las hectáreas cultivadas por la unidad productiva, por lo cual se consideran todos los cultivos realizados.

⁹ En ambos casos la información a nivel de unidad productiva está disponible en el IV módulo sobre uso de la tierra, destino de la producción y régimen de tenencia de la tierra.

b) Variables climáticas

Para el presente estudio, los datos climáticos provienen de SENAMHI para la Región Cusco. Los indicadores climáticos fueron la precipitación acumulada mensual (mm) y la temperatura mínima media mensual (C°) para el total de estaciones meteorológicas de la Región Cusco. Se dispuso de información mensual de un total de 20 estaciones, entre el periodo 1984 y 2012. La información climática fue clasificada y agrupada considerando el ciclo representativo de la agricultura en la Región Cusco, de acuerdo con el siguiente gráfico:

Gráfico 4. Ciclo agrícola en la Región Cusco

Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio
Época de siembras				Época de crecimiento					Época de cosechas		
Temporada seca			Temporada de lluvias					Temporada seca			

Elaboración: Propia

Por lo anterior, las variables climáticas que se emplearán en el presente estudio quedan definidas de la siguiente manera (Deressa et al., 2005):

Cuadro 1: Variables climáticas

Variables	Definición	Fuente de información
Temperatura	Promedio de la temperatura media mensual (°C) en época de siembra (entre agosto y noviembre) entre 1984 y 2012	SENAMHI
	Promedio de la temperatura media mensual (°C) en época de crecimiento (entre diciembre y abril) entre 1984 y 2012	SENAMHI
	Promedio de la temperatura media mensual (°C) en época de cosecha (entre mayo y julio) entre 1984 y 2012	SENAMHI
Precipitación	Promedio de la precipitación acumulada mensual (mm) en época de siembra (entre agosto y noviembre) entre 1984 y 2012	SENAMHI
	Promedio de la precipitación acumulada mensual (mm) en época de crecimiento (entre diciembre y abril) entre 1984 y 2012	SENAMHI
	Promedio de la precipitación acumulada mensual (mm) en época de cosecha (entre mayo y julio) entre 1984 y 2012	SENAMHI

c) Variables de control

De acuerdo con la literatura revisada sobre la aplicación empírica del modelo Ricardiano y para controlar la heterogeneidad observable entre las unidades agropecuarias en la Región Cusco, se incorporarán en el análisis empírico las siguientes variables de control:

Cuadro 2: Variables de control

Variab les	Definición	Fuente de información
Calidad del suelo	Aplica guano, estiércol u otro abono orgánico (variable dummy, que equivale a 1 si realiza esa práctica agrícola, 0 de otro modo);	CENAGRO
	Aplica fertilizantes químicos (variable dummy, que equivale a 1 si realiza esa práctica agrícola, 0 de otro modo).	CENAGRO
Altitud de la unidad productiva	Altitud en metros sobre el nivel del mar de la localidad “j”, variable imputada a cada unidad productiva “i” en la localidad “j”.	CENAGRO
Tamaño familiar	Número de miembros de la unidad productiva.	CENAGRO
Distancia al mercado más cercano	Número de horas de distancia entre la unidad productiva y la capital distrital	variable disponible sólo para el IV CENAGRO 2012
	Pertenencia a alguna asociación, comité o cooperativa de productores (variable dummy, que equivale a 1 si está asociado, 0 de otro modo).	CENAGRO
Fuerza laboral	Número de trabajadores (eventuales y permanentes) durante la última campaña agrícola.	CENAGRO
Activos productivos	Cuenta con arado (de hierro o palo con tracción animal)	CENAGRO
	Cuenta con fumigadora manual	CENAGRO
	Cuenta con tractor	CENAGRO
	Número de cabezas de ganado vacuno	CENAGRO
	Cuenta con andenes	CENAGRO
Características socioeconómicas del jefe de hogar de la unidad productiva	Nivel educativo del jefe de hogar (variables dummy para cada nivel educativo: sin nivel, educación primaria, educación secundaria, superior),	CENAGRO
	Sexo del jefe de hogar (dummy que equivale a 1 si es mujer, 0 de otro modo)	CENAGRO
	Edad del jefe de hogar.	CENAGRO

Acceso a apoyo institucional	Acceso a asistencia técnica (dummy que es igual a 1 si en los últimos 12 meses recibió algún tipo de asistencia técnica, 0 de otro modo)	CENAGRO
Acceso a crédito formal	Acceso a crédito (dummy que es igual a 1 si en los últimos 12 meses obtuvo algún tipo de crédito de alguna institución formal ¹⁰ , 0 de otro modo)	CENAGRO
Variables adicionales	Régimen de tenencia de la tierra (dummy por cada categoría predominante a nivel de la unidad productiva: propia con título, propia sin título, comunal)	CENAGRO
	Otros ingresos no agropecuarios (dummy que es igual a 1 si la unidad productiva se dedica a algún actividad no agropecuaria que le genera ingresos, 0 de otro modo).	CENAGRO

Elaboración: Propia

4.3 Estrategia empírica

a) Modelo Ricardiano con datos de corte transversal

Como modelo básico se considerará inicialmente una aproximación a través de estimar empíricamente el modelo Ricardiano con base en datos de corte transversal provenientes del III y IV CENAGRO, para los años 1994 y 2012, de manera separada.

En primer lugar se plantea la estrategia de identificación de las unidades de análisis considerando los datos agroeconómicos y climáticos disponibles. Se ha definido un conjunto de centros poblados, de acuerdo con el Censo de Centro Poblados del INEI, localizados dentro de un radio de 20 kilómetros respecto de cada una de las estaciones meteorológicas activas operadas por SENAMHI en la Región Cusco. De acuerdo con PACC (2012), resulta necesario acotar el rango geográfico de análisis, considerando que en las zonas de análisis la variabilidad de pisos ecológicos es alta y la topografía es compleja. El procedimiento para la definición de las unidades de análisis implicó las siguientes etapas:

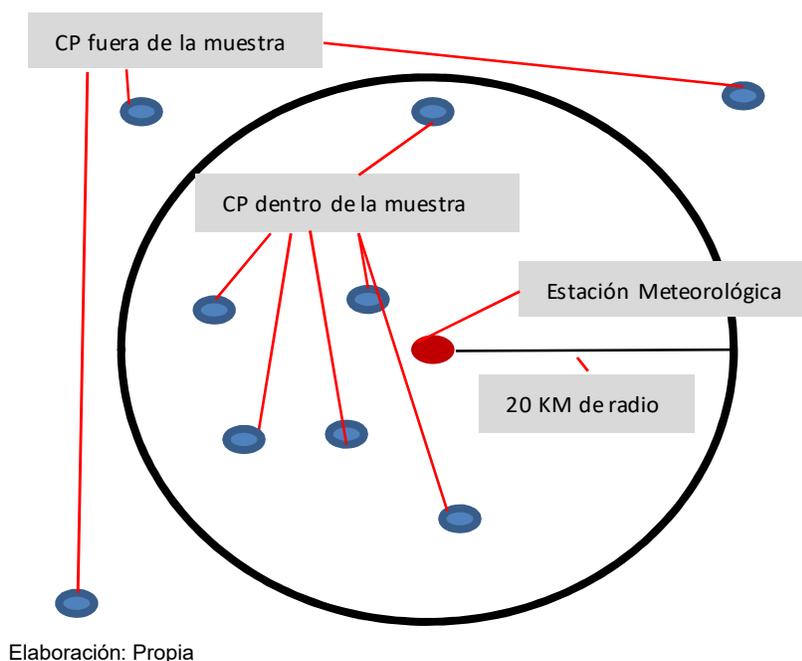
- Determinación de estaciones meteorológicas activas operadas por SENAMHI en la Región Cusco y geo-referenciación de las mismas, cada estación constituye un centroide sobre el cual se generó una circunferencia con un radio de 20 kilómetros, dentro de dicha circunferencia se identificaron un conjunto de centros poblados, esta

¹⁰ Institución formal incluye a: comerciante de insumos, habilitador de la producción, Agrobanco, Banca Múltiple, Cajas Municipales y Rurales y EDPYME.

identificación resulta fundamental para ubicar a esos mismos centros poblados en la base de datos de CENAGRO¹¹ (III y IV, correspondientes a los años 1994 y 2012, respectivamente).

- Imputación de datos de SENAMHI en CENAGRO (III y IV), se ubicaron los mismos centros poblados en ambas bases de datos como identificador único en el rango georeferenciado considerado.

Gráfico 5. Estrategia de identificación de unidades de análisis, muestra de corte transversal.

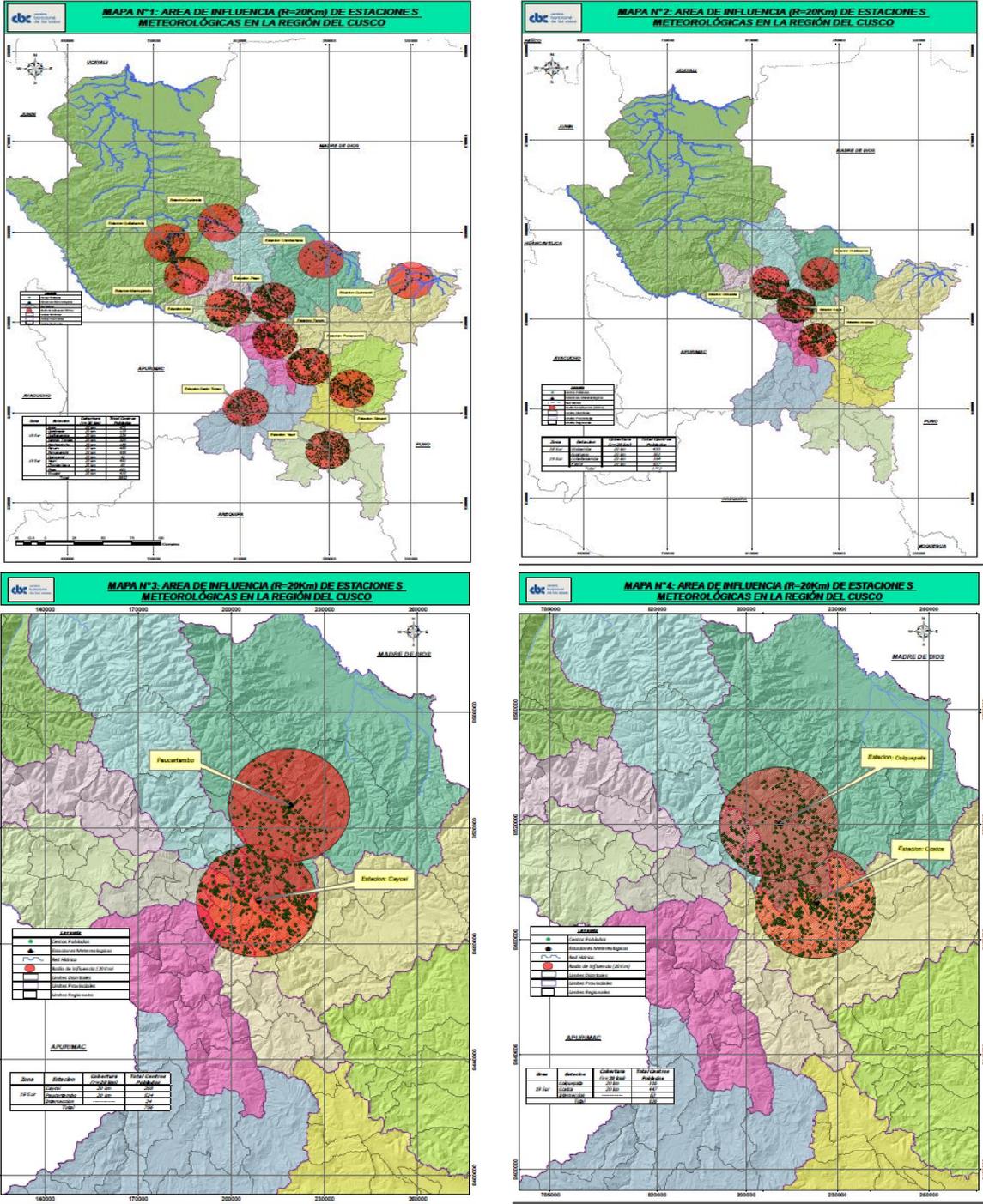


En el siguiente gráfico se muestra el proceso de identificación de unidades de análisis en las bases de datos de corte transversal. Debe mencionarse que, en algunos casos un mismo centro poblado se encontraba en el radio de afectación de hasta dos estaciones meteorológicas; en tales casos, se identificó que estación estaría más próxima en términos geográficos y se imputó sus mediciones climáticas. Finalmente, se han definido 15 estaciones meteorológicas en la Región Cusco con información disponible y completa para el periodo de análisis (1984-2012)¹².

¹¹ En ambas bases de datos es posible identificar el Centro Poblado al cual cada unidad productiva se encuentra más cerca, de manera declarativa, esta identificación constituye el nexo por el cual es posible imputar data climática a nivel de estación meteorológica a cada unidad agropecuaria a nivel de centro poblado localizado dentro de un radio de 20 kilómetros próximos a dicha estación.-

¹² Se excluyeron 5 estaciones meteorológicas por no existir información climática para calcular promedios de la temperatura y la precipitación entre 1984 y 2012.

Gráfico 6: Localización de centroides y definición del rango de medición de las estaciones meteorológicas de SENAMHI en la Región Cusco



Fuente: SENAMHI Cusco.
Elaboración: Propia

En segundo lugar, para estimar el impacto del cambio climático en las variables dependientes de interés se formula la siguiente especificación empírica:

$$Y_{i,j} = \alpha + \sum_{k=1}^S \beta_1^S T_{j,s} + \sum_{k=1}^S \beta_2^S T_{j,s}^2 + \sum_{k=1}^S \gamma_1^S P_{j,s} + \sum_{k=1}^S \gamma_2^S P_{j,s}^2 + \sum_{n=1}^N \theta_n Z_{i,j,n} + \varepsilon_{i,j} \quad (12)$$

Donde $Y_{i,j}$ son las variables dependientes de la unidad productiva “i” ubicada en la localidad “j” (centro poblado): $L_{i,j}/L_{i,j}^\psi$, es la proporción de tierra cultivada bajo riego y proporción de tierra cultivada bajo seco. $T_{j,s}$ es la temperatura media mensual en la localidad “j”, en las “s” temporadas o periodos climáticos considerados (época de siembras, crecimiento y cosecha; y, temporada de lluvias y seca)¹³, $T_{j,s}^2$ es la temperatura al cuadrado. $P_{j,s}$ es la precipitación acumulada mensual en la localidad “j” en las “s” temporadas o periodos climáticos considerados (época de siembras, crecimiento y cosecha; y, temporada de lluvias y seca), $P_{j,s}^2$ es la precipitación al cuadrado. $Z_{i,j,n}$, es el vector de variables de control, descritas anteriormente. $\varepsilon_{i,j}$, es el término de error¹⁴. Las variables climáticas se calcularán de la siguiente manera, para cada corte transversal, se considerarán el promedio mensual de 10 años en cada caso; para el III CENAGRO 1994, se considerará el promedio de las variables climáticas entre enero de 1984 y diciembre de 1994 y para el IV CENAGRO 2012, se considerará el promedio de las variables climáticas entre enero de 2002 y diciembre de 2012.

De acuerdo a la forma funcional cuadrática, los efectos marginales de las variables climáticas en las variables dependientes de interés pueden ser formulados de la siguiente manera:

Efecto marginal de la temperatura:

$$\frac{\partial V_{i,j}(Y_{i,j})}{\partial T_{j,s}} = \beta_1^S + 2\beta_2^S T_{j,s} \quad (13a)$$

Efecto marginal de la precipitación:

$$\frac{\partial V_{i,j}(Y_{i,j})}{\partial P_{j,s}} = \gamma_1^S + 2\gamma_2^S P_{j,s} \quad (13b)$$

¹³ Para la cual se considerará el promedio entre 1984-1994 y entre 2002-2012, para el análisis de corte transversal con el III CENAGRO y IV CENAGRO, respectivamente.

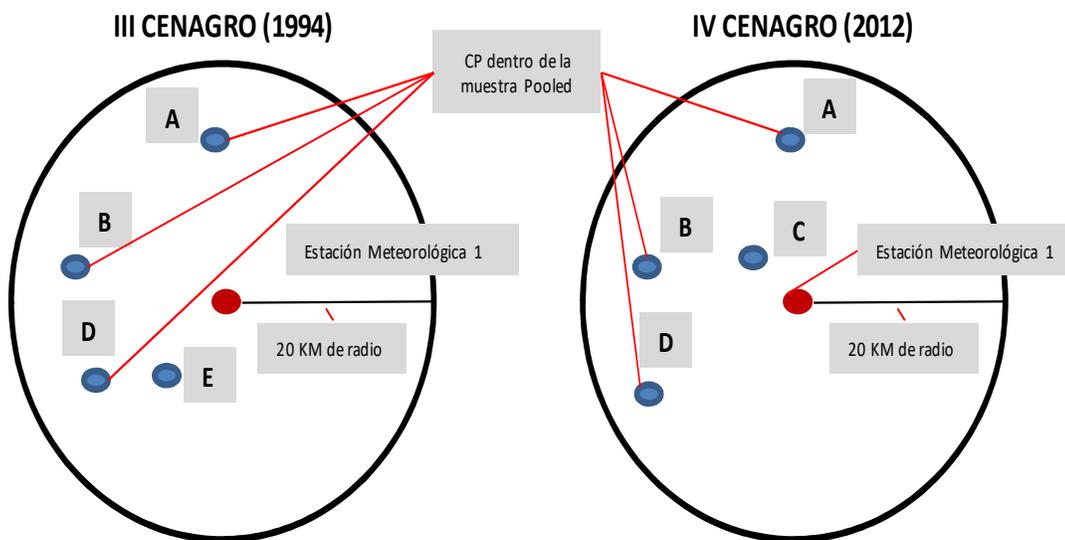
¹⁴ En la formulación es de esperar que los parámetros β_2^S y γ_2^S , sean negativos, lo cual permitirían verificar la Hipótesis del modelo Ricardiano sobre la relación entre el valor de la unidad productiva y la variable climática

b) Modelo Ricardiano con datos de pooled cross-sectional

Considerando las limitaciones de información, únicamente se podrán analizar dos puntos en el tiempo, uno en 1994 y otro en 2012, donde tampoco se podrá contar con un panel de datos puro (no resulto posible identificar a la misma unidad productiva tanto en el III CENAGRO como en el IV CENAGRO. Por lo cual se construirá una base de datos de tipo “pooled cross sectional”.

De similar modo, para construir la base de datos tipo “pooled cross-sectional”, se ha definido un conjunto de centros poblados, de acuerdo con el Censo de Centro Poblados del INEI, localizados dentro de un radio de 20 kilómetros respecto de cada una de las estaciones meteorológicas activas operadas por SENAMHI en la Región Cusco tanto para el III CENAGRO como IV CENAGRO, solo se consideran aquellos centros poblados que son posibles identificara en ambos censos agropecuarios, dicho procedimiento se muestra en el gráfico siguiente:

Gráfico 7. Estrategia de identificación de unidades de análisis, muestra pooled cross sectional.



Elaboración: Propia

Para estimar el impacto del cambio climático en las variables dependientes de interés se formula la siguiente especificación empírica:

$$Y_{i,j,t} = \alpha_j + \mu_t + \sum_{k=1}^S \beta_1^S T_{j,s,t} + \sum_{k=1}^S \beta_2^S T_{j,s,t}^2 + \sum_{k=1}^S \gamma_1^S P_{j,s,t} + \sum_{k=1}^S \gamma_2^S P_{j,s,t}^2 + \sum_{n=1}^N \theta_n Z_{i,j,n,t} + \varepsilon_{i,j,t} \quad (14)$$

Donde $Y_{i,j,t}$ son las variables dependientes de la unidad productiva “i” ubicada en la localidad “j” (centro poblado) en los años 1994 y 2012: $L_{i,j,t}/L_{i,j,t}^\psi$, es la proporción de tierra cultivada bajo riego y proporción de tierra cultivada bajo seco. $T_{j,s,t}$ es la temperatura media mensual en la localidad “j”, en las “s” temporadas o periodos climáticos considerados (época de siembras, crecimiento y cosecha; y, temporada de lluvias y seca) en el periodo t, $T_{j,s,t}^2$ es la temperatura al cuadrado. $P_{j,s}$ es la precipitación acumulada mensual en la localidad “j”, en las “s” temporadas o periodos climáticos considerados (época de siembras, crecimiento y cosecha; y, temporada de lluvias y seca) en el periodo t, $P_{j,s}^2$ es la precipitación al cuadrado. $Z_{i,j,n,t}$, es el vector de variables de control, descritas anteriormente en cada periodo. $\varepsilon_{i,j}$, es el término de error. α_j , son efectos fijos a nivel de la localidad “j”, la cual es la misma tanto en el III CENAGRO como en el IV CENAGRO, se espera que la especificación con efectos fijos permita capturar características no observables correlacionadas con la variable dependiente; así como, abordar explícitamente el sesgo por variables omitidas, empleando para ello la variación intra-grupos en el tiempo.

Las variables climáticas se calcularán de las siguiente manera: se considerará el promedio mensual de 10 años en cada caso; para el III CENAGRO 1994, se considerará el promedio de las variables climáticas entre enero de 1984 y diciembre de 1994 y para el IV CENAGRO 2012, se considerará el promedio de las variables climáticas entre enero de 2002 y diciembre de 2012. De acuerdo a la forma funcional cuadrática, los efectos marginales de las variables climáticas en las variables dependientes de interés pueden ser formulados de la siguiente manera Efecto marginal de la temperatura:

$$\frac{\partial V_{i,j,t}(Y_{i,j,t})}{\partial T_{j,s,t}} = \beta_1^S + 2\beta_2^S T_{j,s,t} \quad (15a)$$

Efecto marginal de la precipitación:

$$\frac{\partial V_{i,j,t}(Y_{i,j,t})}{\partial P_{j,s,t}} = \gamma_1^S + 2\gamma_2^S P_{j,s,t} \quad (15b)$$

5. Resultados empíricos

En esta sección se presentan los resultados empíricos de acuerdo con la metodología de estimación descrita en la sección anterior. En primer término, se presentan los hechos estilizados con base en las estadísticas descriptivas de las variables incluidas en el análisis. En segundo término, se discuten los resultados empíricos del Modelo Ricardiano estimado con base en datos de corte transversal. Finalmente, se discuten los resultados empíricos del Modelo Ricardiano estimado con base en datos pooled cross-sectional, junto en una sola muestra tanto CENAGRO 1994 y CENAGRO 2012.

En este estudio se emplearon microdatos a nivel de familias rurales para la Región Cusco. Tales familias realizan sus actividades productivas dentro de un radio de 20 kilómetros próximos a estaciones las estaciones meteorológicas de SENAMHI. Las estaciones consideradas fueron: Anta, Kayra, Paruro, Pisac, Pomacanchi, Quebrada Honda, Santo Tomás, Sicuani, Urubamba, Yauri¹⁵. Las unidades de análisis se localizan en un conjunto de 54 centros poblados localizados en distintos ámbitos de la Región Cusco; la muestra se distribuye en 9 de las 13 provincias que conforman la región, se incluyeron unidades productivas familiares de las provincias de Cusco (distritos de Cusco y San Jerónimo), Acomayo (distritos de Pomacanchi y Rondocan), Anta (distritos de Anta y Ancahuasi), Calca (distritos de Calca, Coya y Lares), Canas (distritos de Yanaoca y Túpac Amaru), Canchis (distritos de Sicuani, Checacupe y Marangani), Chumbivilcas (distritos de Santo Tomás), Espinar (distritos de Espinar y Coporaque) y Paruro (distritos de Paruro y Huanquite)¹⁶.

5.1 Hechos estilizados

Las variables dependientes representan la proporción de hectáreas cultivadas tanto en riego como en secano respecto del total de hectáreas de tierra disponible para propósitos agropecuarios, respectivamente. Las variables de interés provienen de información disponible en las bases de datos de III CENAGRO DE 1994 y del IV CENAGRO de 2012. De acuerdo con Mendelsohn et al., (2007), tales variables representan por un lado el valor de la unidad productiva agraria y por otro lado constituyen indicadores de medición del desempeño

¹⁵ Tales estaciones presentan información relativamente completa en el periodo de estudio 1984 – 2012.

¹⁶ No se incluyeron observaciones localizadas en las provincias de Paucartambo, La Convención, Quispicanchi y Urubamba.

productivo agrícola. De acuerdo con Fisher and Hanemann (1998), típicamente en el modelo Ricardiano no se modela explícitamente el rol del riego en el valor de las unidades productivas agrícolas, la omisión de dicha variable podría generar estimaciones incorrectas de los efectos marginales del cambio climático en la agricultura. Por lo anterior en el presente estudio se han estimado los efectos potenciales de variables climáticas (temperatura y precipitación) en la tierra irrigada como en secano de manera diferenciada.

En el Cuadro A2.1 del Anexo 2, se presentan las estadísticas descriptivas básicas de las variables dependientes de interés. Considerando información del III CENAGRO de 1994, la proporción de tierra cultivada bajo riego fue de 32%; mientras que, la proporción de tierra cultivada bajo secano fue de 37%. En dicho periodo, en promedio, el número de hectáreas cultivadas bajo riego y secano fueron 0.37 y 0.52 hectáreas, respectivamente. Considerando información del IV CENAGRO de 2012, la proporción de tierra cultivada bajo riego fue de 33%; mientras que, la proporción de tierra cultivada bajo secano fue de 25%. En dicho periodo, en promedio, el número de hectáreas cultivadas bajo riego y secano fueron 0.26 y 0.24 hectáreas, respectivamente. La dimensión promedio de los predios cultivados, sugiere que, en general, la producción agrícola es a pequeña escala para el caso de estudio. Finalmente, el número de observaciones (unidades productivas familiares) incluidas en el estudio son 3942 y 5685 para CENAGRO 1994 y CENAGRO 2012, respectivamente.

Para la zona de estudio, con base en CENAGRO 1994, el 61% de los cultivos agrícolas se realizan bajo secano; es decir que, 6 de cada 10 hectáreas son mayormente dependientes de la lluvia como principal fuente de riego para los cultivos; mientras que con base en CENAGRO 2012, el 48% de los cultivos agrícolas se realizan bajo secano, 5 de cada 10 hectáreas son dependientes de las lluvias.

Las variables climáticas empleadas en el presente estudio son la temperatura y precipitación, desagregada en determinados periodos del año agrícola de acuerdo con el ciclo agrícola en la Región Cusco. En términos más específicos, se han incluido la temperatura promedio mensual (C°) en época de siembra (entre agosto y noviembre), precipitación promedio mensual (mm) en época de siembra (entre agosto y noviembre), temperatura promedio mensual (C°) en época de crecimiento (entre diciembre y abril), precipitación promedio mensual (mm) en época de crecimiento (entre diciembre y abril).

Se ha subdivido la información climática en dos periodos, de acuerdo con la temporalidad de información del Censo Agrario, para su posterior imputación. En primer término, se ha considerado los promedios mensuales entre 1984 y 1994 de las estaciones consideradas en el estudio en cada uno de las etapas del ciclo agrícola. En segundo término, se ha considerado los promedios mensuales entre 2002 y 2012 de las estaciones consideradas en el estudio en cada uno de las etapas del ciclo agrícola. Para ambos periodos de análisis se emplea el mismo rango de tiempo de 10 años. Finalmente, se han incorporado los promedios mensuales en términos anuales.

En el Cuadro A2.2 del Anexo 2, se presentan las estadísticas descriptivas básicas de las variables climáticas de interés. La comparación de la evolución en el tiempo de las variables climáticas entre dos rangos de tiempo (1984 y 1994) y (2002-2012), sugiere los siguientes aspectos relevantes:

- Primero, en la mayoría de variables climáticas en las etapas del ciclo agrícola se ha incrementado la dispersión de los datos, lo cual sugiere que se han incrementado los puntos extremos, meses con mayores temperaturas y con mayor precipitación en el periodo 2002-2012, respecto del periodo 1984-1994.
- Segundo, la temperatura promedio mensual en época de siembra se ha incrementado en 1.04 C° durante los últimos 28 años en la Región Cusco, lo cual sería atribuible al efecto del cambio climático. Mientras que, la temperatura promedio mensual en época de crecimiento se ha incrementado en 0.57 C° durante similar periodo en la Región Cusco. Por su parte, la temperatura promedio anual se ha incrementado en 0.54 C°.
- Tercero, la precipitación pluvial promedio mensual en época de siembra se ha incrementado en 0.38 mm durante los últimos 28 años en la Región Cusco. Mientras que, la precipitación promedio mensual en época de crecimiento se ha incrementado en 43.58 durante similar periodo en la Región Cusco. Por su parte, la precipitación pluvial promedio anual se ha incrementado en 23.95 mm.

En el Cuadro A2.3 del Anexo 2, se presentan las estadísticas descriptivas de las variables de control que fueron empleadas en la estimación de los efectos de las variables climáticas en la agricultura de la Región Cusco. De acuerdo con la estrategia de identificación que fue

empleada en el presente estudio, las unidades de análisis provienen de los mismos centros poblados censados tanto en 1994 como en 2012, por lo cual su comparabilidad podría ser razonable. En tal sentido, los principales cambios económicos, sociales e institucionales en la zona de estudios entre 1994 y 2012 pueden resumirse en las siguientes:

- En la zona de estudio entre 1994 y 2012, el tamaño familiar promedio se ha reducido casi en un miembro por familia.
- El logro educativo de los jefes de hogar (secundaria completa) se ha incrementado en 5 puntos porcentuales.
- La edad promedio de los jefes de hogar se ha incrementado en casi 4 años, lo cual sugiere que en la zona de estudio se evidenciaría un relativo envejecimiento de la población rural.
- El uso de fertilizantes químicos se ha reducido en 9 puntos porcentuales.
- La demanda laboral agropecuaria en la zona de estudio entre 1994 y 2012 se ha incrementado en 1 trabajador en promedio.
- La proporción de familias con propiedad de la tierra se ha reducido considerablemente, lo cual se explicaría por un proceso de parcelización de la tierra en la zona de estudio.
- La acumulación de activos productivos se habría incrementado, en particular la acumulación de ganado ovino, la cual se ha incrementado entre 1995 y 2012 en aproximadamente 4 unidades en promedio por familia.
- En general, en la zona de estudio, la infraestructura agropecuaria ha mejorado considerablemente, en particular la tenencia de almacenes y galpones para aves.
- La asociatividad se ha incrementado en 5 puntos porcentuales.
- El acceso al crédito no muestra un avance importante, éste se ha incrementado apenas 2 puntos porcentuales entre 1994 y 2012.
- Finalmente, la proporción de jefes de hogar que dejan las labores agropecuarias para trabajar en otras actividades económicas y proveerse de ingresos adicionales se ha incrementado en 16 puntos porcentuales. Lo cual podría explicarse, por diversos factores, entre ellos, por un deterioro en la productividad agropecuaria que repercutiría en los ingresos generados por dicha actividad; adicionalmente, el incremento en la rentabilidad laboral de otras actividades económica, como el empleo en el sector público y/o el sector minero.

5.2 Estimación empírica del Modelo Ricardiano con datos de corte transversal

a) Resultados del modelo

Los resultados empíricos del Modelo Ricardiano con datos de corte transversal se presentan en el Cuadro 3. Los resultados presentados provienen de la estimación de la ecuación 12, a través de la aplicación del estimador de Mínimos Cuadrados Ordinarios. La ecuación 12 fue estimada considerando CENAGRO 1994 y 2012 como dos muestras de corte transversal de manera separada y considerando además tanto la tierra cultivada bajo riego como bajo seco.

Usualmente, en las regresiones con datos de corte transversal, pueden surgir determinados problemas econométricos, entre ellos, la endogeneidad de los regresores, heterocedasticidad en el término de error, multicolinealidad entre las variables explicativas y sesgos generados por outliers. Para abordar de la mejor manera posible tales problemas potenciales, en el presente estudio, se ha empleado una forma reducida del Modelo Ricardiano, se han corregido los errores por heterocedasticidad siguiendo la metodología planteado por White (1981), no se ha considerado información climática relacionada con la época de cosecha de acuerdo con el ciclo agrícola en la Región Cusco (la omisión de dichas variables resolvió el problema de colinealidad que se evidenciaba en las regresiones iniciales) y finalmente todas las variables que fueron incorporadas en el análisis fueron “limpiadas” de outliers.

Se han estimado 4 modelos empíricos: i) El primero se relaciona con la tierra cultivada bajo riego considerando CENAGRO 1994 e información climática entre 1984 y 1994. ii) El segundo se relaciona con la tierra cultivada bajo seco considerando CENAGRO 1994 e información climática entre 1984 y 1994. iii) El primero se relaciona con la tierra cultivada bajo riego considerando CENAGRO 2012 e información climática entre 2002 y 2012. ii) El segundo se relaciona con la tierra cultivada bajo seco considerando CENAGRO 2012 e información climática entre 2002 y 2012.

Primer modelo empírico: tierra cultivada bajo riego (CENAGRO 1994) e información climática entre 1984 y 1994.

El primer modelo estimado que relaciona la tierra cultivada bajo riego e información climática entre 1984 y 1994 explicaría el 30% de la variación en la variable dependiente (Estadístico

F=117.6), lo cual sugiere que dicho modelo estimado tiene una aceptable bondad de ajuste, lo cual permitiría hacer inferencias sobre las variables en análisis.

En general, las variables climáticas consideradas resultaron significativas (en la mayoría de casos la significancia es al 1%) y evidencian una relación cuadrática con la variable dependiente, es decir, que tanto la temperatura como la precipitación se relacionan de manera no lineal con el desempeño agrícola bajo riego de las unidades familiares rurales en la zona de estudio. La relación teórica planteada entre la variable climática y la variable de interés por el Modelo Ricardiano (“U” invertida, ver gráfico 6), se verifica para la precipitación pluvial en época de siembra, lo cual sugiere, que a medida que se incrementa la precipitación el desempeño agrícola se incrementa hasta determinado punto (el cual maximiza la relación no lineal) a partir del cual un mayor incremento en la precipitación reduce dicho desempeño, dicho punto es 52.87 mm.

La temperatura promedio mensual muestra una relación de tipo “U” con la variable dependiente, es decir que, a medida que se incrementa la temperatura el desempeño agrícola bajo riego se reduce hasta determinado punto, luego del cual, el desempeño se incrementa. En particular, para la temperatura promedio en época de siembra y en época de crecimiento, tales puntos son, 10.75 C° y 12.63 C°, respectivamente. De similar modo, a medida que la precipitación pluvial se incrementa en época de crecimiento el desempeño agrícola bajo riego se reduce hasta determinado punto (11 mm), luego del cual éste se incrementa.

Respecto de variables no-climáticas que afectan el desempeño agrícola en la zona de estudio, se encuentra que entre los factores relacionados con las características socioeconómicas de las unidades productivas familiares rurales, la altitud del centro poblado y un mejor logro educativo se relaciona inversamente con un mayor desempeño agrícola bajo riego. Respecto de características productivas, se encuentra que el uso de abonos orgánicos y el uso de fertilizantes químicos incrementarían el desempeño agrícola bajo riego, de similar modo la tenencia de la propiedad de la tierra. Por su parte, la tenencia de activos productivos, principalmente, el arado incrementaría el desempeño agrícola bajo riego. Finalmente, la asociatividad incrementaría el desempeño productivo en la zona de estudio.

Segundo modelo empírico: tierra cultivada bajo secano (CENAGRO 1994) e información climática entre 1984 y 1994.

El segundo modelo estimado, que relaciona la tierra cultivada bajo secano e información climática entre 1984 y 1994, explicaría el 21% de la variación en la variable dependiente (Estadístico $F=40.42$), lo cual sugiere que dicho modelo estimado tiene una aceptable bondad de ajuste, lo cual permitiría hacer inferencias sobre las variables en análisis.

En general, las variables climáticas consideradas resultaron significativas (en la mayoría de casos la significancia es al 1%) y evidencian una relación cuadrática con la variable dependiente, es decir, que tanto la temperatura como la precipitación se relacionan de manera no lineal con el desempeño agrícola bajo secano de las unidades familiares rurales en la zona de estudio. La relación teórica planteada entre la variable climática y la variable de interés por el Modelo Ricardiano (“U” invertida, ver gráfico 6), se verifica para la temperatura en época de crecimiento y para la precipitación pluvial en época de siembra y de crecimiento, lo cual sugiere, que a medida que se incrementa la temperatura y la precipitación se incrementa el desempeño agrícola bajo secano, pero hasta cierto punto (punto máximo), a partir del cual incrementos adicionales en tales variables climáticas reducen el desempeño productivo de la agricultura.

La temperatura promedio mensual en época de siembra muestra una relación de tipo “U-invertida” con la variable dependiente congruente con la hipótesis del Modelo Ricardiano; es decir que, a medida que se incrementa la temperatura promedio el desempeño agrícola bajo riego se incrementa hasta determinado punto, luego del cual, el desempeño se reduce, para la zona de estudio, dicho umbral es 11.32 °C. De similar modo, tanto la precipitación pluvial en época de siembra como en época de crecimiento muestra una relación tipo “U-invertida”, lo cual implica que a medida que se incrementa la precipitación la agricultura en secano se incrementa hasta determinados puntos máximos, luego de los cuales el desempeño de la producción se reduce. Tales umbrales son 106 mm y 15 mm, para la precipitación en época de siembra y de crecimiento, respectivamente.

La temperatura promedio mensual en época de crecimiento muestra una relación de tipo “U” con la variable dependiente, es decir que, a medida que se incrementa la temperatura el

desempeño agrícola bajo secano se reduce hasta determinado punto, luego del cual, el desempeño se incrementa. Dicho umbral es de 10.2 C°.

Respecto de variables no-climáticas que afectan el desempeño agrícola en la zona de estudio, se encuentra que entre los factores relacionados con las características socioeconómicas de las unidades productivas familiares rurales, la altitud del centro poblado se relaciona directamente con la agricultura bajo secano. Respecto de características productivas, se encuentra que el uso de fertilizantes químicos reduciría el desempeño agrícola bajo secano, de similar modo la tenencia de la propiedad de la tierra. Por su parte, la tenencia de activos productivos relacionados eminentemente con las actividades pecuarias reduciría la agricultura en secano.

Tercer modelo empírico: tierra cultivada bajo riego (CENAGRO 2012) e información climática entre 2002 y 2012.

El tercer modelo estimado que relaciona la tierra cultivada bajo riego e información climática entre 2002 y 2012, explicaría el 45% de la variación en la variable dependiente (Estadístico $F=155$), lo cual sugiere que dicho modelo estimado tiene una aceptable bondad de ajuste, lo cual permitiría hacer inferencias sobre las variables en análisis.

En general, las variables climáticas consideradas resultaron significativas y evidencia una relación cuadrática con la variable dependiente, es decir, que tanto la temperatura como la precipitación se relacionan de manera no lineal con el desempeño agrícola bajo riego de las unidades familiares rurales en la zona de estudio. La relación teórica planteada entre la variable climática y la variable de interés por el Modelo Ricardiano (“U” invertida, ver gráfico 6), se verifica para la temperatura promedio en época de siembra y para la precipitación pluvial en época de crecimiento. En ambos casos, incrementos en las variables climáticas incrementan el desempeño agrícola bajo riego, hasta determinados umbrales, a partir de los cuales incrementos adicionales en la temperatura y la precipitación reducen el desempeño agrícola. Tales umbrales son, 15.6 C° y 40 mm.

La temperatura promedio mensual en época de crecimiento y la precipitación en época de siembra muestran una relación de tipo “U” con la variable dependiente, es decir que, a medida que se incrementan tales variables climáticas, el desempeño agrícola bajo riego se reduce

hasta determinado punto, luego del cual, el desempeño se incrementa. En particular, para la temperatura promedio en época de crecimiento el umbral es de 10.73 C° y para la precipitación en época de siembra es 85 mm.

Respecto de variables no-climáticas que afectan el desempeño agrícola en la zona de estudio, se encuentra que entre los factores relacionados con las características socioeconómicas de las unidades productivas familiares rurales, la altitud del centro poblado y un mejor logro educativo se relacionan directamente con un mayor desempeño agrícola bajo riego. Respecto de características productivas, se encuentra que el uso de abonos orgánicos y el uso de fertilizantes químicos incrementarían el desempeño agrícola bajo riego. Por su parte, la tenencia de activos productivos, principalmente, el arado incrementaría el desempeño agrícola bajo riego. Por su parte, la tenencia de activos productivos relacionados eminentemente con las actividades pecuarias reduciría la agricultura en riego. Finalmente, respecto de factores institucionales, un mayor grado de lejanía y la decisión de empleo en otras actividades económicas no agrícolas por parte del jefe de hogar reducen el desempeño de la agricultura bajo riego; mientras que, la asociatividad incrementa dicho desempeño.

Cuarto modelo empírico: tierra cultivada bajo secano (CENAGRO 2012) e información climática entre 2002 y 2012.

El cuarto modelo estimado que relaciona la tierra cultivada bajo riego e información climática entre 2002 y 2012, explicaría el 23% de la variación en la variable dependiente (Estadístico $F=44.2$), lo cual sugiere que dicho modelo estimado tiene una aceptable bondad de ajuste, lo cual permitiría hacer inferencias sobre las variables en análisis.

Solamente la temperatura promedio resultaron significativas (en este modelo empírico, la precipitación pluvial no resulto significativa estadísticamente para explicar cambios en el desempeño agrícola bajo secano), la temperatura evidencia una relación cuadrática con la variable dependiente. La relación teórica planteada entre la variable climática y la variable de interés por el Modelo Ricardiano ("U" invertida, ver gráfico 6), se verifica para la temperatura promedio en época de crecimiento. Es decir que, incrementos en la temperatura incrementan el desempeño agrícola bajo secano, hasta un determinado umbral, a partir del cual un incremento adicional en la temperatura reduce el desempeño agrícola. Dicho umbral es de 14.32 C°.

La temperatura promedio mensual en época de siembra muestra una relación de tipo “U” con la variable dependiente, es decir que, a medida que se incrementa tal variable climática, el desempeño agrícola bajo riego se reduce hasta determinado punto, luego del cual, el desempeño se incrementa. En particular, para la temperatura promedio en época de crecimiento el umbral es de 15.05 C°.

Respecto de variables no-climáticas que afectan el desempeño agrícola en la zona de estudio, se encuentra que entre los factores relacionados con las características socioeconómicas de las unidades productivas familiares rurales, la altitud del centro poblado se relaciona inversamente con un mayor desempeño agrícola bajo secano. Respecto de características productivas, se encuentra que el uso de abonos orgánicos mejora el desempeño agrícola; mientras que el uso de fertilizantes químicos reduce el desempeño agrícola bajo secano. Por su parte, la tenencia de activos productivos, principalmente, el arado de palo reduciría el desempeño agrícola bajo secano. Finalmente, respecto de factores institucionales, un mayor grado de lejanía incrementa la agricultura bajo secano, lo cual evidencia que la dispersión poblacional reduce el acceso a infraestructura de riego. La asociatividad, la decisión de trabajo en otras actividades no agrícolas y la participación en programas sociales, principalmente, el Programa Juntos, reducen la agricultura en secano en la zona de estudio.

Cuadro 3: Estimación del Modelo Ricardiano con datos de corte transversal (CENAGRO 1994 y 2012)

Variables independientes	CENAGRO 1994		CENAGRO 2012	
	Riego	Secano	Riego	Secano
	Proporción (%) hectáreas de tierra cultivada bajo riego/hectáreas de tierra disponible para actividades agropecuarias	Proporción (%) hectáreas de tierra cultivada bajo secano/hectáreas de tierra disponible para actividades agropecuarias	Proporción (%) hectáreas de tierra cultivada bajo riego/hectáreas de tierra disponible para actividades agropecuarias	Proporción (%) hectáreas de tierra cultivada bajo secano/hectáreas de tierra disponible para actividades agropecuarias
Temperatura promedio mensual en época de siembra (C°, agosto-noviembre)	-2.086*** (0.449)	2.808*** (0.446)	1.092*** (0.219)	-0.512** (0.226)
Temperatura promedio mensual en época de siembra (C°, agosto-noviembre) ²	0.097*** (0.020)	-0.124*** (0.020)	-0.035*** (0.007)	0.017** (0.007)
Temperatura promedio mensual en época de crecimiento (C°, diciembre-abril)	-8.089*** (0.853)	-4.284*** (1.021)	-1.636*** (0.242)	0.283* (0.243)
Temperatura promedio mensual en época de crecimiento (C°, diciembre-abril) ²	0.320*** (0.034)	0.170*** (0.040)	0.052*** (0.007)	-0.007* (0.007)
Precipitación promedio mensual en época de siembra (mm, agosto-noviembre)	0.423*** (0.030)	0.106*** (0.036)	0.017** (0.007)	0.006 (0.007)
Precipitación promedio mensual en época de siembra (mm, agosto-noviembre) ²	-0.004*** (0.000)	-0.001*** (0.000)	-0.001 (0.000)	0.000 (0.000)
Precipitación promedio mensual en época de crecimiento (mm, diciembre-abril)	-0.022*** (0.002)	0.015*** (0.002)	0.008* (0.004)	0.007 (0.004)
Precipitación promedio mensual en época de crecimiento (mm, diciembre-abril) ²	0.001*** (0.000)	-0.001*** (0.000)	-0.001* (0.000)	-0.001 (0.00)
<i>1. Características socioeconómicas</i>				
Altitud del centro poblado (en logs)	-0.216*** (0.045)	0.377*** (0.051)	0.828*** (0.054)	-0.612*** (0.058)
Tamaño familiar	0.001 (0.001)	-0.001 (0.002)	-0.004 (0.002)	0.005** (0.002)
Nivel educativo del jefe de hogar: primaria incompleta	-0.003 (0.011)	0.018 (0.013)	-0.001 (0.010)	-0.003 (0.010)
Nivel educativo del jefe de hogar: primaria completa	-0.039*** (0.012)	0.017 (0.015)	0.022 (0.013)	-0.001 (0.013)
Nivel educativo del jefe de hogar: secundaria incompleta	-0.011 (0.016)	0.004 (0.019)	0.033* (0.01)	-0.014 (0.015)
Nivel educativo del jefe de hogar: secundaria completa	-0.040** (0.018)	-0.020 (0.022)	0.037** (0.015)	-0.021 (0.014)

Sexo del jefe de hogar (varón)	-0.006 (0.011)	0.030** (0.013)	-0.005 (0.010)	0.001 (0.009)
Edad del jefe de hogar	0.000 (0.000)	-0.001*** (0.000)	0.001*** (0.000)	-0.001*** (0.000)
<i>2. Características productivas</i>				
Aplica abono guano, estiércol u otro abono orgánico	0.036*** (0.013)	-0.034 (0.017)	0.127*** (0.018)	0.050*** (0.018)
Aplica fertilizantes químicos	0.061*** (0.011)	-0.047*** (0.012)	0.075*** (0.009)	-0.034*** (0.009)
Número de trabajadores eventuales	0.000 (0.000)	0.002** (0.001)	-0.002*** (0.000)	0.003*** (0.000)
Tenencia de la tierra: propietario	0.063*** (0.011)	-0.142*** (0.013)	0.025 (0.018)	-0.067*** (0.017)
Obtiene información agrícola de: radio	...	...	-0.053*** (0.009)	0.015 (0.009)
Obtiene información agrícola de: tv	...	...	0.005 (0.017)	0.048*** (0.015)
<i>3. Activos e infraestructura productiva</i>				
Cuenta con arado de hierro	0.105** (0.043)	-0.008 (0.044)	0.026 (0.028)	-0.003 (0.026)
Cuenta con arado de palo	0.046*** (0.010)	0.000 (0.011)	0.127*** (0.015)	-0.106*** (0.013)
Cuenta con fumigadora manual (mochila)	-0.057*** (0.013)	0.037** (0.016)	-0.024** (0.012)	0.022* (0.010)
Número de ganado vacuno	0.001 (0.001)	-0.002 (0.002)	0.002 (0.160)	-0.009*** (0.001)
Número de ganado ovino	-0.003*** (0.000)	0.000 (0.000)	-0.001*** (0.000)	0.002*** (0.001)
Número de aves de corral	0.000 (0.000)	0.002 (0.001)	-0.001 (0.000)	0.002** (0.000)
Número de animales menores	0.000 (0.000)	0.001** (0.000)	0.000 (0.000)	-0.001*** (0.000)
Cuenta con andenes	-0.063 (0.131)	0.124 (0.079)	0.034 (0.066)	-0.006 (0.062)
Cuenta con almacenes de granos, insumo o forrajes	0.008 (0.012)	-0.065*** (0.019)	-0.084*** (0.009)	-0.009 (0.009)

Cuenta con silos	0.030 (0.052)	0.077 (0.060)	-0.048 (0.027)	0.039 (0.023)
Cuenta con galpones para aves	0.005 (0.035)	0.034 (0.074)	0.063*** (0.018)	-0.020 (0.018)
Cuenta con malla ganadera	-0.099 (0.054)	-0.120* (0.056)	-0.050*** (0.019)	-0.026 (0.020)
4. Institucionalidad				
Distancia en horas a la capital distrital (en logs)	...	...	-0.078*** (0.008)	0.059*** (0.008)
Pertenece a alguna asociación, comité o cooperativa de productores	0.042*** (0.010)	-0.018 (0.012)	0.266*** (0.011)	-0.190*** (0.010)
Recibió capacitación	...	...	-0.027 (0.015)	0.021 (0.014)
Recibió asistencia técnica	...	...	-0.016 (0.025)	0.015 (0.023)
Recibió asesoría empresarial	...	...	0.028 (0.046)	-0.003 (0.041)
Obtuvo crédito agropecuario	-0.030 (0.016)	-0.030 (0.021)	-0.028 (0.015)	0.005 (0.013)
Deja de trabajar para conseguir otros ingresos no agrícolas	-0.001 (0.000)	0.005 (0.012)	-0.020** (0.008)	-0.053*** (0.008)
Beneficiario de programas sociales: Programa Juntos	...	...	0.004 (0.010)	-0.045*** (0.010)
Beneficiario de programas sociales: Vaso de leche	...	...	0.043*** (0.010)	-0.023** (0.010)
Beneficiario de programas sociales: Desayuno/almuerzo escolar	...	...	-0.012 (0.011)	0.019 (0.011)
Constante			-3.051*** (0.588)	5.799*** (0.603)
Número de observaciones	3954	3954	5635	5635
R2	0.3	0.21	0.45	0.23
F-test	117.6	40.42	155	44.2
prob(F)	0.000	0.000	0.000	0.000

Notas:

Errores estándar corregidos por heterocedasticidad (entre paréntesis).

Los símbolos *, ** y ***; representan significancia estadística al 10%, 5% y 1%, respectivamente.

Elaboración: Propia.

b) Efectos marginales de las variables climáticas

Los efectos marginales de las variables climáticas, ha sido calculados de acuerdo con las ecuaciones 13a y 13b para el efecto marginal de la temperatura y la precipitación pluvial, respectivamente. En el siguiente (Cuadro 4) se presentan tales cálculos.

En general, los efectos marginales representan el efecto del incremento de 1C° o 1mm en la proporción de la tierra cultivada respecto del total de tierra disponible, por lo cual los efectos marginales estimados se expresan en puntos porcentuales de cambio. Lo cual representan, en el contexto del Modelo Ricardiano aplicado en este estudio, el efecto marginal de la temperatura y la precipitación en el desempeño agrícola bajo riego y bajo seco.

Considerado información de CENAGRO 1994 e información climática entre 1984 y 1994, se encuentra que en general las variables climáticas tienen efectos marginales positivos en el desempeño agrícola tanto de la agricultura en riego como en seco. Sin embargo, se encuentra evidencia de algunos efectos marginales negativos, en particular, un incremento de 1 C° en época de siembra reduce en 31 puntos porcentuales el desempeño agrícola bajo seco, lo cual evidencia la alta vulnerabilidad de este tipo de agricultura a cambios en las condiciones climáticas.

Por su parte, considerado información de CENAGRO 2012 e información climática entre 2002 y 2012, se encuentra que en general las variables climáticas tienen efectos marginales negativos en el desempeño agrícola tanto de la agricultura en riego como en seco. No obstante, se evidencia que los mayores efectos marginales provienen de cambios en la temperatura promedio. En particular se encuentra evidencia que sugiere que, un incremento de 1 C° en la temperatura promedio en época de siembra reduce en 14 y 5 puntos porcentuales el desempeño de la agricultura bajo riego y seco, respectivamente. Mientras que, el incremento de 1 C° en la temperatura promedio en época de crecimiento de los cultivos reduce en 15 y 48 puntos porcentuales el desempeño de la agricultura bajo riego y seco, respectivamente. Lo anterior brinda evidencia adicional sobre el mayor grado de vulnerabilidad de la agricultura en seco ante cambios en las condiciones climáticas en la zona de estudio. Finalmente, no se obtiene evidencia de efectos marginales significativos de la precipitación sobre el desempeño de la agricultura.

Cuadro 4: Estimación de los efectos marginales del Modelo Ricardiano con datos de corte transversal (CENAGRO 1994 y 2012)

Efectos marginales	CENAGRO 1994		CENAGRO 2012	
	Riego	Secano	Riego	Secano
	Proporción (%) hectáreas de tierra cultivada bajo riego/hectáreas de tierra disponible para actividades agropecuarias	Proporción (%) hectáreas de tierra cultivada bajo secano/hectáreas de tierra disponible para actividades agropecuarias	Proporción (%) hectáreas de tierra cultivada bajo riego/hectáreas de tierra disponible para actividades agropecuarias	Proporción (%) hectáreas de tierra cultivada bajo secano/hectáreas de tierra disponible para actividades agropecuarias
Temperatura promedio mensual en época de siembra (C°, agosto-noviembre)	0.353	-0.309	0.139	-0.049
Temperatura promedio mensual en época de crecimiento (C°, diciembre-abril)	0.509	0.279	-0.153	-0.479
Precipitación promedio mensual en época de siembra (mm, agosto-noviembre)	0.155	0.039	0.003	No significativo
Precipitación promedio mensual en época de crecimiento (mm, diciembre-abril)	-0.008	0.000	-0.003	No significativo

Notas:

Los efectos marginales son cambios en puntos porcentuales generados por incrementos de 1°C en la temperatura promedio o incrementos de 1 mm en la precipitación promedio.

Elaboración: Propia.

5.3 Estimación empírica del Modelo Ricardiano con datos de *pooled cross-sectional*

a) Resultados del modelo

Los resultados empíricos del Modelo Ricardiano con datos de *pooled cross-sectional* entre 1994 y 2012 se presentan en el Cuadro 5. Los resultados presentados provienen de la estimación de la ecuación 14, a través de la aplicación del estimador por efectos fijos. Dicha ecuación fue estimada considerando CENAGRO 1994 y 2012 como dos muestras juntas (panel a nivel de centros poblados) y considerando además tanto la tierra cultivada bajo riego como bajo seco. Se han estimado 2 modelos empíricos: i) El primero se relaciona con la tierra cultivada bajo riego. ii) El segundo se relaciona con la tierra cultivada bajo seco.

Primer modelo empírico: tierra cultivada bajo riego (pooled CENAGRO 1994 - 2012) e información climática entre 1984 y 2012.

En el primer modelo estimado, únicamente la temperatura en época de crecimiento se muestra significativa como variable explicativa de cambios en el desempeño agrícola bajo riego, el resto de variables climáticas no resultaron significativas estadísticamente para el presente caso de estudio. La temperatura promedio en época de crecimiento muestra una relación de tipo “U” con la variable dependiente, es decir que, a medida que se incrementa la temperatura el desempeño agrícola bajo riego se reduce hasta determinado punto, luego del cual, el desempeño se incrementa. Dicho umbral se calculó en 10.32 C°.

Respecto de variables no-climáticas que afectan el desempeño agrícola en la zona de estudio, se encuentra que entre los factores relacionados con las características socioeconómicas de las unidades productivas familiares rurales, el sexo (varón) de los jefes de hogar reduce el desempeño agrícola bajo riego (resultado significativo al 10%), mientras que una mayor edad del jefe de hogar se relacionaría de manera positiva con dicho desempeño. Respecto de características productivas, se encuentra evidencia que sugiere que tanto el uso de abonos orgánicos como el uso de fertilizantes químicos incrementarían el desempeño agrícola bajo riego, de similar modo la tenencia de la propiedad de la tierra. Por su parte, la tenencia de activos productivos, principalmente, la tenencia de arado, de mochila fumigadora incrementarían el desempeño agrícola bajo riego; de similar modo, la infraestructura productiva, principalmente

la tenencia de almacenes de granos, insumo y forrajes incrementaría el desempeño agrícola. Finalmente, la asociatividad incrementaría el desempeño productivo en la zona de estudio.

Segundo modelo empírico: tierra cultivada bajo secano (pooled CENAGRO 1994 - 2012) e información climática entre 1984 y 2012.

En el segundo modelo estimado, en general, las variables climáticas consideradas resultaron significativas (en la mayoría de casos la significancia es al 1%); y se evidencian una relación cuadrática con la variable dependiente. En otros términos, tanto la temperatura como la precipitación se relacionan de manera no lineal con el desempeño agrícola bajo secano de las unidades familiares rurales en la zona de estudio, tales resultados sugieren que la agricultura en secano es altamente vulnerable a cambios en las condiciones climáticas. La relación teórica planteada entre la variable climática y la variable de interés por el Modelo Ricardiano (“U” invertida), se verifica para la temperatura en época de crecimiento y para la precipitación pluvial en época de siembra. Lo anterior sugiere que a medida que se incrementa la temperatura y la precipitación se incrementa el desempeño agrícola bajo secano, pero hasta cierto punto (punto máximo), a partir del cual incrementos adicionales en tales variables climáticas reducen el desempeño productivo de la agricultura.

La temperatura promedio mensual en época de crecimiento de los cultivos muestra una relación de tipo “U-invertida” con la variable dependiente, resultado congruente con la hipótesis del Modelo Ricardiano; es decir que, a medida que se incrementa la temperatura promedio el desempeño agrícola bajo secano se incrementa hasta determinado punto, luego del cual, el desempeño se reduce, para la zona de estudio, dicho umbral es 12.48 °C. De similar modo, tanto la precipitación pluvial en época de siembra muestra una relación tipo “U-invertida”, lo cual implica que a medida que se incrementa la precipitación la agricultura en secano se incrementa hasta un umbral máximo luego del cual el desempeño de la producción se reduce. Tal umbral se estima en 55 mm.

La temperatura promedio mensual en época de siembra muestra una relación de tipo “U” con la variable dependiente, es decir que, a medida que se incrementa la temperatura el desempeño agrícola bajo secano se reduce hasta determinado punto, luego del cual, el desempeño se incrementa. Dicho umbral es de 11.96 °C. Similar relación, se evidencia para la precipitación en época de crecimiento, donde el umbral estimado es 105 mm.

Respecto de variables no-climáticas que afectan el desempeño agrícola en la zona de estudio, se encuentra que entre los factores relacionados con las características socioeconómicas de las unidades productivas familiares rurales, el sexo (varón) de los jefes de hogar incrementa el desempeño agrícola bajo riego (resultado significativo al 5%), mientras que una mayor edad del jefe de hogar se relacionaría de manera negativa con dicho desempeño. Respecto de características productivas, se encuentra evidencia que sugiere que el uso de fertilizantes químicos reduciría el desempeño agrícola bajo secano (resultado significativo al 1%), de similar modo la tenencia de la propiedad de la tierra. Por su parte, la tenencia de activos productivos, principalmente, la tenencia de ganado vacuno y animales de corral incrementaría el desempeño agrícola bajo secano; la infraestructura productiva, principalmente la tenencia de almacenes de granos, insumo y forrajes reduciría el desempeño agrícola bajo secano. Finalmente, la asociatividad reduciría el desempeño productivo en la zona de estudio; de similar modo, la decisión de orientar la oferta laboral por parte de los jefes de hogar hacia actividades no agrícolas reduciría la agricultura bajo secano.

Cuadro 5: Estimación del Modelo Ricardiano con datos *pooled cross-sectional* (CENAGRO 1994 - 2012)

Variables independientes	CENAGRO <i>pooled</i> 1994 2012	
	Riego	Secano
	Proporción (%) hectáreas de tierra cultivada bajo riego/hectáreas de tierra disponible para actividades agropecuarias	Proporción (%) hectáreas de tierra cultivada bajo secano/hectáreas de tierra disponible para actividades agropecuarias
Temperatura promedio mensual en época de siembra (C°, agosto-noviembre)	0.165 (0.254)	-1.963*** (0.278)
Temperatura promedio mensual en época de siembra (C°, agosto-noviembre)^2	-0.015 (0.010)	0.082*** (0.011)
Temperatura promedio mensual en época de crecimiento (C°, diciembre-abril)	-0.537* (0.268)	1.948*** (0.294)
Temperatura promedio mensual en época de crecimiento (C°, diciembre-abril)^2	0.026*** (0.010)	-0.078*** (0.011)
Precipitación promedio mensual en época de siembra (mm, agosto-noviembre)	0.005 (0.012)	0.111*** (0.013)
Precipitación promedio mensual en época de siembra (mm, agosto-noviembre)^2	0.000 (0.000)	-0.001*** (0.000)
Precipitación promedio mensual en época de crecimiento (mm, diciembre-abril)	-0.003 (0.002)	-0.025*** (0.003)
Precipitación promedio mensual en época de crecimiento (mm, diciembre-abril)^2	0.000 (0.000)	0.001*** (0.000)
<i>1. Características socioeconómicas</i>		
Tamaño familiar	-0.001 (0.001)	0.002 (0.001)
Nivel educativo del jefe de hogar: primaria incompleta	-0.009 (0.006)	0.014 (0.007)
Nivel educativo del jefe de hogar: primaria completa	-0.001 (0.008)	-0.002 (0.008)
Nivel educativo del jefe de hogar: secundaria incompleta	0.010 (0.009)	-0.003 (0.010)
Nivel educativo del jefe de hogar: secundaria completa	0.012 (0.009)	-0.013 (0.010)

Sexo del jefe de hogar (varón)	-0.012* (0.006)	0.016** (0.006)
Edad del jefe de hogar	0.001*** (0.000)	-0.001*** (0.000)
<i>2. Características productivas</i>		
Aplica abono guano, estiércol u otro abono orgánico	0.055*** (0.000)	0.011 (0.010)
Aplica fertilizantes químicos	0.054*** (0.009)	-0.032*** (0.006)
Número de trabajadores eventuales	0.000 (0.000)	0.000 (0.000)
Tenencia de la tierra: propietario	0.075*** (0.008)	-0.175*** (0.009)
<i>3. Activos e infraestructura productiva</i>		
Cuenta con arado de hierro	0.060*** (0.019)	-0.028 (0.021)
Cuenta con arado de palo	0.055*** (0.007)	-0.024*** (0.007)
Cuenta con fumigadora manual (mochila)	0.022*** (0.007)	-0.013 (0.007)
Número de ganado vacuno	-0.001 (0.000)	-0.002* (0.001)
Número de ganado ovino	-0.001*** (0.000)	0.001*** (0.000)
Número de aves de corral	0.001 (0.000)	0.001*** (0.000)
Número de animales menores	0.001** (0.000)	0.000 (0.000)
Cuenta con andenes	0.005 (0.046)	0.048 (0.050)
Cuenta con almacenes de granos, insumo o forrajes	0.025*** (0.007)	-0.049*** (0.008)
Cuenta con silos	0.032 (0.021)	-0.016 (0.023)
Cuenta con galpones para aves	0.005 (0.014)	-0.012 (0.016)

Cuenta con malla ganadera	-0.043 (0.022)	-0.043 (0.024)
<i>4. Institucionalidad</i>		
Pertenece a alguna asociación, comité o cooperativa de productores	0.133*** (0.007)	-0.056*** (0.007)
Obtuvo crédito agropecuario	-0.013 (0.009)	-0.008 (0.010)
Deja de trabajar para conseguir otros ingresos no agrícolas	-0.006 (0.005)	-0.032*** (0.006)
Constante	2.532*** (0.856)	-0.316 (0.938)
Número de observaciones	9608	9608
R2 - overall	0.01	0.02
Efectos fijos a nivel de centro poblado	Si	Si
Efectos fijos de tiempo	Si	Si

Notas:

Errores estándar (entre paréntesis).

Los símbolos *, ** y ***; representan significancia estadística al 10%, 5% y 1%, respectivamente.

Elaboración: Propia.

b) Efectos marginales de las variables climáticas

Los efectos marginales de las variables climáticas, ha sido calculados de acuerdo con las ecuaciones 15a y 15b para el efecto marginal de la temperatura y la precipitación pluvial, respectivamente. En el siguiente (Cuadro 6) se presentan tales cálculos. En general, los efectos marginales representan el efecto del incremento de 1C° o 1mm en la proporción de la tierra cultivada respecto del total de tierra disponible, por lo cual los efectos marginales estimados se expresan en puntos porcentuales de cambio. Lo cual representan, en el contexto del Modelo Ricardiano aplicado en este estudio, el efecto marginal de la temperatura y la precipitación en el desempeño agrícola bajo riego y bajo seco.

Se encuentra que la mayoría de variables climáticas no tienen efectos marginales significativos en el desempeño agrícola bajo riego. Sin embargo, se encuentra evidencia de algunos efectos marginales positivos, en particular, un incremento de 1 C° en época de crecimiento incrementa en 18 puntos porcentuales el desempeño agrícola bajo riego, lo cual podría ser explicado por factores fenológicos de los cultivos, donde una mayor temperatura contribuiría positivamente para el incremento relativo de la superficie cultivada.

Respecto de la agricultura bajo seco, se encuentran efectos marginales mixtos en el desempeño agrícola de la agricultura, tal evidencia sugiere la sensibilidad de este tipo de agricultura ante cambios en las condiciones climáticas de largo plazo, efecto atribuible a los efectos del cambio climático. Se obtiene evidencia que la magnitud del efecto marginal de la temperatura es mayor respecto de la precipitación pluvial. Los resultados mixtos sugieren que, por un lado, un incremento de 1 C° en la temperatura promedio en época de siembra incrementa en 20 puntos porcentuales el desempeño de la agricultura bajo seco; mientras que, por otro lado, el incremento de 1 C° en la temperatura promedio en época de crecimiento de los cultivos reduce en 23 puntos porcentuales el desempeño de la agricultura bajo seco. Dicha evidencia sugiere que el efecto neto de la temperatura en ambas etapas del ciclo agrícola sería negativo, e implicaría que el incremento marginal de la temperatura reduce en 3 puntos porcentuales el desempeño agrícola bajo seco en la Región Cusco. Lo anterior brinda evidencia adicional sobre el mayor grado de vulnerabilidad de la agricultura en seco ante cambios en las condiciones climáticas en la zona de estudio.

Cuadro 6: Estimación de los efectos marginales del Modelo Ricardiano con datos pooled cross-sectional (CENAGRO 1994 - 2012)

Efectos marginales	CENAGRO pooled 1994 - 2012	
	Riego	Secano
	Proporción (%) hectáreas de tierra cultivada bajo riego/hectáreas de tierra disponible para actividades agropecuarias	Proporción (%) hectáreas de tierra cultivada bajo secano/hectáreas de tierra disponible para actividades agropecuarias
Temperatura promedio mensual en época de siembra (C°, agosto-noviembre)	No significativo	0.200
Temperatura promedio mensual en época de crecimiento (C°, diciembre-abril)	0.179	-0.226
Precipitación promedio mensual en época de siembra (mm, agosto-noviembre)	No significativo	0.044
Precipitación promedio mensual en época de crecimiento (mm, diciembre-abril)	No significativo	-0.006

Notas:

Los efectos marginales son cambios en puntos porcentuales generados por incrementos de 1°C en la temperatura promedio o incrementos de 1 mm en la precipitación promedio.

Elaboración: Propia.

6. Conclusiones y recomendaciones

El objetivo central del presente estudio implicó estimar el impacto económico del cambio climático en algunos indicadores relacionados con la agricultura para el caso específico de la Región Cusco. Para ello, se utilizó una muestra de más de 9 mil unidades productivas familiares localizadas en 9 provincias de la Región Cusco. Para las estimaciones se ha utilizado información proveniente del III y IV Censo Nacional Agropecuario (CENAGRO) del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) para los años 1994 y 2012. En dicha base de datos se imputaron variables climáticas (temperatura y precipitación) entre el periodo 1984 y 2012 a nivel de centros poblados localizados en un rango de 20 kilómetros de radio de un total de 10 estaciones meteorológicas del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI).

Para estimar los efectos económicos del cambio climático en la agricultura en la Región Cusco se empleó el Modelo Ricardiano, aproximación ampliamente utilizada en la literatura para estimar tales efectos, entre otros por: Mendelsohn et al., 1994; Fisher and Hanemann, 1998, Quiggin and Horowitz, 1999; Gbetibouo and Hasan, 2004; García and Vilandrigh, 2005; Kabubo-Mariara and Karanja, 2006; Deschenes and Greenstone, 2007; Deressa, 2007; Eid, et al., 2007; Mendelsohn et al., 2007; García and Vilandrigh, 2009; Seo and Mendelsohn, 2008; Amiraslany, 2010; Thapa and Joshi, 2010; Mendelsohn et al., 2010; Di Falco, et al., 2011. Los resultados empíricos obtenidos en el presente estudio son, en general, congruentes con la literatura revisada.

En el presente estudio, se han empleado dos aproximaciones del Modelo Ricardiano, una empleando datos de corte transversal (se estimó el Modelo Ricardiano tanto para 1994 como 2012 de manera separada); y otra aproximación, empleando datos de panel a nivel de centro poblado (se estimó el Modelo Ricardiano empleando los datos de 1994 y 2012 de manera conjunta: *pooled cross-sectional data*). Esta segunda aproximación buscó corregir problemas econométricos relacionados con variables omitidas y características no observables que afectarían los efectos potenciales de las variables climáticas en las variables dependientes de interés.

De similar modo, en la metodología empírica, se ha incorporado explícitamente la capacidad de adaptación de las unidades productivas agrarias, en términos de la adopción y utilización de

infraestructura de riego. Es decir, se ha analizado de manera complementaria la agricultura bajo riego y bajo seco, la primera se considera como una práctica de adaptación y/o mitigación ante la variabilidad climática atribuible al cambio climático. Analizar dicha capacidad adaptativa de los agentes económicos ante cambios en las condiciones climáticas es fundamental para aproximar el grado de vulnerabilidad de los hogares rurales y para plantear estrategias de priorización y/o focalización de recursos públicos que contribuyan a promover la adaptación y/o mitigación del cambio climático en los hogares rurales de la Región Cusco.

En general, los resultados de la estimación del Modelo Ricardiano ofrecen la siguiente evidencia empírica para el caso de estudio:

- En primer término, se encuentra evidencia que sugiere que tanto la temperatura como la precipitación se asociarían de manera no-lineal con el desempeño agrícola, validando la hipótesis planteada en el marco del Modelo Ricardiano. En particular, considerando la muestra panel nivel de centros poblados, la relación teórica planteada entre la variable climática y la variable de interés por el Modelo Ricardiano (“U” invertida), se verifica empíricamente para la temperatura en época de crecimiento y para la precipitación pluvial en época de siembra. Lo cual sugiere que a medida que se incrementa la temperatura y la precipitación se incrementa el desempeño agrícola bajo seco, pero hasta cierto punto (punto máximo), a partir del cual incrementos adicionales en tales variables climáticas reducen el desempeño productivo de la agricultura.
- En segundo término, el impacto económico del cambio climático en la agricultura en la Región Cusco ofrece resultados mixtos, tanto positivos como negativos; sin embargo, la mayoría de los efectos negativos se concentran en la agricultura bajo seco.
- En tercer término, se obtiene evidencia que el acceso a la infraestructura de riego por parte de unidades familiares agrícolas de pequeña escala podría ser considerada una estrategia eficiente que mitigue/adapte de algún modo a los efectos del cambio climático. Lo cual sugiere que, el incremento del acceso y uso a la infraestructura de riego en la agricultura podría ser un mecanismo relevante para promover la adaptación y/o mitigación del cambio climático en los hogares rurales de la Región Cusco.

Adicionalmente, en el contexto del Modelo Ricardiano, se posible estimar los efectos de variables no-climáticas sobre el desempeño agrícola. En el presente estudio, se estimaron los efectos de características socioeconómicas, características productivas, activos e infraestructura productiva e institucionalidad como factores explicativos del desempeño agrícola bajo riego y seco, los resultados sugieren la siguiente evidencia empírica:

- Respecto de las características de las unidades familiares productivas, se encuentra evidencia que sugiere que el menor logro educativo y la edad del jefe de hogar se asociarían con un menor desempeño agrícola.
- Respecto de las características productivas, un mayor uso de fertilizantes químicos reduciría el desempeño de la agricultura en seco; mientras que un mayor uso de abonos orgánicos incrementaría el desempeño de la agricultura bajo riego.
- Respecto de la tenencia de activos, se encuentra que la tenencia de arado incrementaría el desempeño agrícola bajo riego.
- Finalmente, respecto de características institucionales y de contexto, se encuentra que la lejanía de la unidad productiva familiar reduce el desempeño de la agricultura de riego; de similar modo la decisión de los jefes de hogar de ofertar su fuerza laboral en otras actividades económicas no agrícolas, junto con la participación en programas sociales, principalmente la participación en el Programa Juntos reducen el desempeño agrícola. Se encuentra evidencia que sugiere que la asociatividad incrementa el desempeño de la agricultura bajo riego.

Los resultados empíricos respecto del efecto de variables no climáticas en el desempeño agrícola sugieren algunos lineamientos para identificar aquellos hogares con un mayor grado de vulnerabilidad ante factores de riesgo e incertidumbre de la actividad agropecuaria, en tal sentido los hogares más vulnerables son aquellos que cuentan con un menor logro educativo y una menor dotación de activos productivos; así mismo, otros factores que incrementan la vulnerabilidad de los hogares implican un mayor uso fertilizantes químicos, mayor lejanía de las capitales distritales y menor asociatividad.

En el presente estudio, se han estimado efectos marginales de la temperatura y la precipitación sobre el desempeño agrícola, tanto de la agricultura bajo riego como bajo seco, en diferentes etapas del ciclo agrícola en la Región Cusco (etapa de siembra y etapa de crecimiento), con el objetivo de explorar impactos diferenciados por estación climática. Los resultados del análisis marginal sugieren la siguiente evidencia empírica:

- La magnitud del efecto marginal de la temperatura es mayor, en términos relativos, respecto del efecto marginal de la precipitación sobre la agricultura para el caso de la Región Cusco; las estimaciones sugieren que inclusive el efecto marginal de la precipitación pluvial no es significativo estadísticamente.
- El incremento de 1° C. en la temperatura promedio en época de siembra (entre agosto y noviembre) tiene efectos mixtos en la agricultura bajo riego como bajo seco. El efecto marginal de la temperatura es positivo en la agricultura bajo riego; mientras que dicho efecto, es negativo en la agricultura bajo seco, lo cual evidencia la mayor vulnerabilidad de la agricultura bajo seco ante el cambio climático.
- El incremento en la temperatura promedio en época de crecimiento de los cultivos (entre diciembre y abril) tiene también efectos mixtos en la agricultura en la Región Cusco. No obstante, es posible identificar dos patrones relevantes: El primero implica que existirían cambios significativos en los patrones climáticos de largo plazo en la Región Cusco, los cuales afectarían significativamente el desempeño agrícola. El segundo sugiere que, el riego se constituiría en una práctica adaptativa relevante que limitaría los efectos negativos del cambio climático en la Región Cusco. En particular, desde una perspectiva de pérdidas evitadas, el acceso al riego reduciría en 33 puntos porcentuales las pérdidas generadas en los cultivos generados por el incremento de las temperaturas.

Los resultados del presente estudio se relacionan con el actual stock de políticas públicas sobre el impacto del cambio climático en la agricultura en los siguientes términos: En general, en los instrumentos de política multisectorial, en particular entre agricultura y ambiente, no se observa de manera transversal del concepto de cambio climático y además no se formulan claramente canales de coordinación intersectorial para afrontar y/o aprovechar los potenciales efectos del cambio climático en la agricultura. A nivel del MINAGRI en el PESEM no se observa

la inclusión explícita de los potenciales efectos del cambio climático en los sistemas productivos agrarios, el concepto de cambio climático sólo es visto como la *“intensificación de fenómenos naturales como el Fenómeno del Niño”*, por su parte el MINAM si ha incorporado el concepto de cambio climático de manera específica.

Los resultados obtenidos en el presente estudio podrían ser relevantes para la formulación de las políticas públicas sobre la adaptación de la agricultura ante el cambio climático, en los siguientes términos:

- A nivel nacional, surge la necesidad de promover una mayor transversalidad del concepto de cambio climático a nivel multisectorial, en términos de establecer, en principio, una definición unánime del concepto de cambio climático a nivel interministerial, específicamente entre los sectores de agricultura y ambiente.
- A nivel regional las estrategias de adaptación y/o mitigación de la agricultura ante el cambio climático requieren de un mayor grado de especificidad; es decir, resulta necesario que se establezcan líneas de intervención más específicas sobre dicha temática que permita una formulación de programas y proyectos más clara y concreta.
- Los resultados del presente estudio sugieren claramente que la promoción del uso y adopción del riego en la agricultura sería una estrategia óptima de adaptación y/o mitigación ante la variabilidad climática atribuible al cambio climático en la Región Cusco. Por ello, se sugiere que el Gobierno Regional Cusco, podría definir aspectos tales como: ¿Cómo incrementar el acceso y uso de los sistemas de riego en la Región cusco?; ¿Cómo hacer sostenible el uso de los sistemas de riego?, ¿Quiénes asumen los costos de la operación y mantenimiento de los sistemas de riego?, ¿Cuál es la estructura tarifaria óptima sobre el uso de los recursos hídricos en la agricultura?
- En línea con lo anterior, tanto a nivel regional como local, resultan necesarios programas o proyectos que busquen incrementar el acceso a infraestructura de riego de las unidades productivas familiares.

- Otra sugerencia de política implica la necesidad de generar infraestructura adicional relacionada con asegurar la sostenibilidad de los sistemas de riego, a través principalmente, de mecanismo de captura (cosecha de agua), resulta relevante que para garantizar la sostenibilidad de los sistema de riego, los proyectos de inversión que se formulen sobre el incremento de infraestructura de riego cuenten entre sus componentes, con un componente que asegure mecanismo de cosecha de aguas, principalmente, en las cabeceras de las cuencas hidrográficas.
- Finalmente, la inversión en infraestructura de riego es significativa en términos presupuestales, por lo cual es de esperar que tanto el Gobierno Regional como los Gobiernos Locales de la Región Cusco, jueguen un papel fundamental en la provisión de esta infraestructura. En tal sentido, resulta necesario incorporar de manera explícita y transversal el concepto e implicancias del cambio climático en los proyectos de inversión pública en el marco del Sistema Nacional de Inversión Pública (SNIP). Al respecto, el Ministerio de Economía y Finanzas (MEF), ha venido desarrollando manuales sobre como incorporar el concepto del cambio climático en los proyectos SNIP. Resulta relevante entonces, capacitar tanto a las unidades formuladoras como evaluadoras del gobierno regional como de los gobiernos locales, en como incorporar y evaluar la efectividad de tal componente en la inversión pública.

7. Referencias bibliográficas

Amiraslany, A. 2010. "The impact of climate change on Canadian agricultura: A Ricardian Approach". PhD. Thesis, Department of Bioresorce, Policy, Business and Economics. University of Saskatchewan.

Cline, W.R. 1996. "The impact of global warming on agriculture" [Comment]. *American Economic Review* 86(5): 1309-1311.

Deschenes O and M. Greenstone. 2007. "The economic impacts of climate change: evidence from agricultural output and random fluctuations in weather". *American Economics Review*, 97(1): 354-384.

Deressa, T., R. Hassan, D. Poonyth. 2005. "Measuring the impact of climate change on South African agriculture: the case of sugar-cane growing regions". *Agrekon* 44(4): 524-542.

Deressa, T. 2007. "Measuring the economic impact of climate change on Ethiopian agriculture: Ricardian approach". World Bank Policy Research Report 4342. The World Bank.

De Salvo, M., D. Begalli and G. Signorello. 2013. "The Ricardian analysis twenty years after the original model: Evolution, unresolved issues and empirical problems". *Journal of Development and Agricultural Economics* 6(3): 124-131.

Di Falco, S., M. Yesuf, G. Kohlin and C. Ringler. 2011. "Estimating the impact of Climate Change on Agriculture in Low-Income Countries: Household Level Evidence from the Nile Basin, Ethiopia". *Environmental and Resource Economics* 24:1-22.

Eid, H.M., S. El-Marsafawy and S.A. Ouda. 2007. "Assessing the economic impacts of climate change on agriculture in Egypt: A Ricardian approach". World Bank Policy Research Working Paper 4293. The World Bank.

Fisher A.C. and M. Hanemann. 1998. "The impact of global warming on agriculture: Rethinking the Ricardian approach". Working Paper Series, Department of Agricultural and Resource Economics, University of California at Berkeley, Berkeley.

Flores Moreno, A.; Kancha, K.; Miñán, F.; Romero, G.; Damonte, G. 2012. "Impactos de la variabilidad y cambio climático en los sistemas productivos rurales y en las condiciones de vida y desarrollo campesinos: una visión desde la población rural de la región Cusco". Serie de investigación regional N°9. Programa de Adaptación al Cambio Climático

García, M. and M. Viladrich. 2005. "The economic relevance of climate variables in agricultura: A Ricardian approach". Working Paper, Department of Economics, Universidad Pública de Navarra, Spain.

García, M, and M. Viladrich. 2009. "The economics relevance of climate variables in agricultura: The case of Spain". *Economía Agraria y Recursos Naturales*. Vol 9,1. Pp. 149-180.

Gbetibouo, G.A., and R.M. Hasan. 2005. "Measuring the economic impact of climate change on mejor South African field crops: a Ricardian approach". *Global and Planetary Change* 47: 143-152.

Gobierno Regional Cusco. Estrategia Regional Frente al Cambio Climático.

Guerrero, J. 2012. "Caracterización agroclimática de cultivos priorizados y evaluación de impactos de la variabilidad y cambio climático sobre el desarrollo fenológico de los cultivos y su productividad: medidas actuales de adaptación en las regiones Apurímac y Cusco". Serie de investigación regional # 14. Programa de Adaptación al Cambio Climático PACC - Perú.

Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC. 2007. " Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report: Climate Change 2007 ". Solomon S.D., Q. M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tigno and H.L. Miller (Eds.). Cambridge University Press. Cambridge, UK.

Kabubo-Mariara, J. and F.K. Karanja. 2007. "The economic impact of climate change on Kenyan crop agriculture: a Ricardian approach". World Bank Policy Research Working Paper 4334. The World Bank.

Madisson D. 2000. "A hedonic analysis of agricultural land prices in England and Wales". *European Review of Agricultural Economics* 27:519-532.

Mendelsohn, R., W.D. Nordhaus, and D. Shaw. 1994. "The impact of global warming on agriculture: A Ricardian analysis". *American Economics Review* 84(4): 753-771.

Mendelsohn, R., A. Basist, A. Dinar, P. Kurukulasuriya and C. Williams. 2007. "What explains agricultural performance: climate normal or climate variance?". *Climate Change*, 81(1): 85-99.

Mendelsohn R., and N. Seo. 2007. "Changing farm types and irrigation as an adaptation to climate change in Latin America agriculture". *World Bank Policy Research Working Papers* 4161. The World Bank.

Mendelsohn R., P. Christensen and J. Arellano-Gonzalez. 2010. "The impact of climate change on Mexican agriculture: A Ricardian analysis". *Environmental and Development Economics* 15:153-171.

Ministerio de Agricultura y Riego. Plan Estratégico Sectorial Multianual 2012 – 2016.

Ministerio de Ambiente. Agenda Nacional de Acción Ambiental 2013 – 2014.

Ministerio de Ambiente. Política Nacional del Ambiente.

Morales R, Moreno E, Cruzado, V, Montes R, Dueñas Ó, Gutiérrez M. 2012. "Economía del cambio climático en las regiones Cusco y Apurímac". Serie de investigación regional # 21. Programa de Adaptación al Cambio Climático PACCC - Perú.

Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo – PNUD. 2013. "Informe sobre Desarrollo Humano Perú 2013". Lima, Perú.

Quiggin J. and J.K. Horowitz. 1999. "The impact of global warming on agriculture: A Ricardian Analysis". *American Economics Review* 89(4): 1044-1045.

Ringler C., T. Zhu, X. Cai, J. Koo, and D. Wang. 2010. "Climate Change impacts on food security in sub-saharina Africa". IFPRI Discussion Paper 01042.

Schlenker, W., M. Hanemann, and A. Ficher. 2006. "The impact of global warming on U.S. agricultura: An econometric analysis of optimal growing conditions". *Review of Economics and Statistics*. 88: 1, 113-125.

Seo N.S, and R. Mendelsohn. 2008. "A Ricardian analysis of the impact of climate change on south american farms". *Chilean Journal of Agricultural Research* 68(1): 69-79.

Thapa S., and G.R. Joshi. 2010. "A Ricardian analysis of the climate change impact on Nepalese agriculture". MPRA Paper Nro. 29785.

8. Anexos

Anexo 1: Revisión de la literatura

Cuadro A1.1. Revisión de la literatura específica para la Región Cusco		
Referencia	Metodología empírica	Principales resultado
<p>Flores Moreno, A.; Kancha, K.; Miñán, F.; Romero, G.; Damonte, G. 2012. "Impactos de la variabilidad y cambio climático en los sistemas productivos rurales y en las condiciones de vida y desarrollo campesinos: una visión desde la población rural de la región Cusco". Serie de investigación regional N°9. Programa de Adaptación al Cambio Climático PACC - Perú.</p>	<p>Poblaciones campesino- indígenas de Cusco, microcuencas, Huacrahuacho en la provincia de Canas-Cusco. (Tauca-Umasbamba-Cuper y Phinaya)</p>	<p>-El estudio describe los factores de vulnerabilidad de la región evidenciando la existencia de heterogeneidad ecológico-cultural dentro de la región, que involucra la especificidad de cada una de las comunidades de manera que no todos los resultados pueden ser generalizados.</p> <p>-Los cambios que surgen a nivel del ecosistema en la región deben ser estudiados en conjunto no solo como efecto del cambio climático sino de otros factores como la marginación socioeconómica, el crecimiento demográfico, la fragmentación de tierras productivas o la falta de representación adecuada.</p> <p>-Los actores interesados en la promoción del desarrollo rural no tienen buenos resultados si es que no respetan el uso de las tecnologías tradicionales.</p>
<p>Guerrero, J. 2012. "Caracterización agroclimática de cultivos priorizados y evaluación de impactos de la variabilidad y cambio climático sobre el desarrollo fenológico de los cultivos y su productividad: medidas actuales de adaptación en las regiones Apurímac y Cusco". Serie de investigación regional # 14. Programa de Adaptación al Cambio Climático PACC - Perú.</p>	<p>Estudio en las regiones de Cusco y Apurímac en cultivos de maíz, papa, habas, trigo cebada y anís Cusco (Microcuenca Huacrahuacho - Distritos de Checca y Kunturkanki) y Apurímac (Microcuenca de Mollebamba, Distrito Juan Espinoza Medrano, Curahuasi y el Valle de Chumbao (Andahuaylas). Periodo 1964-2009. Data extraída de: SENAMHI, 2010 PREDES,2010</p>	<p>-En la región la principal amenaza climática son las heladas – granizadas, fenómenos de friaje (SENAMHI,2010). La frecuencia de heladas multianual varía entre 146 y 216, siendo los años 1995, 2003 y 2008 los que registraron mayor frecuencia de heladas. La frecuencia media anual es de 183 heladas. Durante todo el año se presentan heladas, salvo la tercera década de enero.</p> <p>-Los estudios evidencian un cambio en el inicio de las precipitaciones de setiembre a diciembre con sequías severas durante los años 2007 – 2008 – 2009.</p> <p>-A partir del año 2000 existe un incremento de la radiación térmica diaria que ocasiona quemaduras en cultivos de oca en la puna.</p> <p>-El fenómeno de friaje, ocasiona daños a la agricultura y la ganadería, evidencia años 1970 - 1988 -1993- 1995-1997-2004-2008</p> <p>-Los cultivos de papa tiene rendimientos por debajo del</p>

		<p>promedio de la Región Cusco (8344 kg/ha), dado que no son tan resistentes a sequías y heladas, así como el caso del trigo y la alfalfa sensibles a sequías (2004 y 2008)</p>
<p>Morales R, Moreno E, Cruzado, V, Montes R, Dueñas Ó, Gutiérrez M. 2012. "Economía del cambio climático en las regiones Cusco y Apurímac". Serie de investigación regional # 21. Programa de Adaptación al Cambio Climático PACC - Perú.</p>	<p>Estudio de los principales sectores económicos y su respectivo PIB en las regiones de Cusco y Apurímac. A través del análisis en tres escenarios. Escenario sin cambios (control), Escenario con cambio climático al 2030 (tratamiento) y escenario con adaptación al cambio climático al 2030 (tratamiento) Periodo 1970 al 2007 utilizando la base de datos de ENAHO 2007</p>	<p>El sector agricultura es sensible a los cambios en la temperatura y la precipitación en el corto plazo (efecto nivel), pero es solo sensible a los cambios en temperatura en el largo plazo (efecto crecimiento). Por cada grado de incremento en la temperatura máxima, la tasa de crecimiento del PBI agrícola se reduce en -1.7 puntos porcentuales respecto a su tasa potencial, en cuanto a los cultivos se estima una pérdida de 5% en el volumen de producción de papa, 60% en maíz, y 22% en café (caso Cusco). Si se implementaran medidas de adaptación para el sector agrícola: la recuperación y gestión de acuíferos, la recuperación de suelos, y las buenas prácticas agrícolas (uso de semillas de calidad), la pérdida acumulada ya no sería de 8.3% en el PBI de los próximos 20 años, sino de 4%, la variación es significativa porque Cusco presenta más hectáreas degradadas y con mayor capacidad de recuperación.</p>

Anexo 2: Estadísticas descriptivas

Cuadro A2.1: Estadísticas descriptivas de las variables dependientes

Variables dependientes	CENAGRO 1994		CENAGRO 2012	
	<i>Media</i>	<i>Desviación Estándar</i>	<i>Media</i>	<i>Desviación Estándar</i>
Proporción (%) hectáreas de tierra cultivada bajo riego/hectáreas de tierra disponible para actividades agropecuarias	32%	0.29	33%	0.39
Proporción (%) hectáreas de tierra cultivada bajo seco/hectáreas de tierra disponible para actividades agropecuarias	37%	0.33	25%	0.32
Hectáreas de tierra cultivada bajo riego	0.37	0.5	0.26	0.61
Hectáreas de tierra cultivada bajo seco	0.58	1.02	0.24	0.67
Número de observaciones	3942		5685	

Fuente: III CENAGRO y IV CENAGRO. INEI.
Elaboración: Propia.

Cuadro A2.2: Estadísticas descriptivas de las variables climáticas

Variables climáticas	Periodo 1984 - 1994		Periodo 2002 - 2012	
	<i>Media</i>	<i>Desviación Estándar</i>	<i>Media</i>	<i>Desviación Estándar</i>
Temperatura promedio mensual en época de siembra (C°, agosto-noviembre)	12.57	1.04	13.61	1.74
Precipitación promedio mensual en época de siembra (mm, agosto-noviembre)	33.48	8.82	33.86	12.42
Temperatura promedio mensual en época de crecimiento (C°, diciembre-abril)	13.42	1.22	13.99	1.66
Precipitación promedio mensual en época de crecimiento (mm, diciembre-abril)	68.97	33.04	112.55	22.22
Temperatura promedio anual (C°)	12.54	1.08	13.08	1.66
Precipitación promedio anual (mm)	39.03	14.07	62.98	12.26
Estaciones meteorológicas en la Región Cusco:	Anta, Kayra, Paruro, Pisac, Pomacanchi, Quebrada Honda, Santo Tomás, Sicuani, Urubamba, Yauri.			

Fuente: SENAMHI Cusco.
Elaboración: Propia.

Cuadro A2.3: Estadísticas descriptivas de las variables independientes

Variables independientes	CENAGRO 1994		CENAGRO 2012	
	Media	Desviación Estándar	Media	Desviación Estándar
<i>1. Características socioeconómicas</i>				
Altitud del centro poblado	3385	387.03	3385	325
Tamaño familiar	4.53	2.38	3.62	1.97
Nivel educativo del jefe de hogar: primaria incompleta	31.20%	0.46	32%	0.46
Nivel educativo del jefe de hogar: primaria completa	20%	0.4	18%	0.38
Nivel educativo del jefe de hogar: secundaria incompleta	12%	0.32	12%	0.32
Nivel educativo del jefe de hogar: secundaria completa	8.50%	0.27	14%	0.34
Sexo del jefe de hogar (varón)	78.30%	0.41	73%	0.44
Edad del jefe de hogar	46.76	16.34	50.63	15.24
<i>2. Características productivas</i>				
Aplica abono guano, estiércol u otro abono orgánico	87.70%	0.32	94%	0.22
Aplica fertilizantes químicos	52%	0.49	41%	0.49
Número de trabajadores eventuales	2.38	5.43	3.1	4.88
Tenencia de la tierra: propietario	25.70%	0.43	7.20%	0.26
Obtiene información agrícola de: radio	...	...	70.20%	0.45
Obtiene información agrícola de: tv	...	...	8.20%	0.27
<i>3. Activos e infraestructura productiva</i>				
Cuenta con arado de hierro	1.50%	0.12	2%	0.13
Cuenta con arado de palo	38.20%	0.48	14%	0.34
Cuenta con fumigadora manual (mochila)	15%	0.35	19%	0.39
Número de ganado vacuno	2.3	2.78	2.24	2.98
Número de ganado ovino	5.18	11.17	9.43	15.91
Número de aves de corral	3.97	5.21	3.06	4.93
Número de animales menores	7.11	8.25	7.76	13.51
Cuenta con andenes	0.10%	0.04	0.10%	0.05
Cuenta con almacenes de granos, insumo o forrajes	7.10%	0.25	37%	0.48

Cuenta con silos	0.10%	0.08	2%	0.14
Cuenta con galpones para aves	0.10%	0.05	5%	0.22
Cuenta con malla ganadera	0.10%	0.06	2%	0.14
4. Institucionalidad				
Distancia en horas a la capital distrital	...	...	1.5	2.01
Pertenece a alguna asociación, comité o cooperativa de productores	24.58%	0.43	29%	0.45
Recibió capacitación	...	...	8%	0.28
Recibió asistencia técnica	...	...	3%	0.18
Recibió asesoría empresarial	...	...	0.10%	0.06
Obtuvo crédito agropecuario	7%	0.25	8.80%	0.28
Deja de trabajar para conseguir otros ingresos no agrícolas	29.00%	0.45	45.50%	0.49
Beneficiario de programas sociales: Programa Juntos	...	...	24.10%	0.42
Beneficiario de programas sociales: Vaso de leche	...	...	20.80%	0.42
Beneficiario de programas sociales: Desayuno/almuerzo escolar	...	...	19.20%	0.39
Número de observaciones		3954		5685

Fuente: III CENAGRO y IV CENAGRO. INEI.

Elaboración: Propia.