

# Efectos de la variabilidad de la temperatura en la productividad y en los precios de los productos agrícolas: evidencia en Perú

Víctor Saldarriaga

Instituto para la Integración de  
América Latina y el Caribe  
(INTAL)  
Sector de Integración y  
Comercio  
(INT)

NOTA TÉCNICA N°  
IDB-TN-1091

# Efectos de la variabilidad de la temperatura en la productividad y en los precios de los productos agrícolas: evidencia en Perú

Víctor Saldarriaga

Septiembre 2016

Catalogación en la fuente proporcionada por la  
Biblioteca Felipe Herrera del  
Banco Interamericano de Desarrollo

Saldarriaga, Víctor.

Efectos de la variabilidad de la temperatura en la productividad y en los precios de los  
productos agrícolas: evidencia en Perú / Víctor Saldarriaga.

p. cm. — (Nota técnica del BID ; 1091)

Incluye referencias bibliográficas.

1. Crops and climate-Peru. 2. Agriculture-Environmental aspects- Peru. 3. Agricultural  
productivity-Peru. 4. Agricultural prices-Peru. I. Banco Interamericano de Desarrollo.  
Instituto para la Integración de América Latina y el Caribe (INTAL). II. Título. III. Serie.  
IDB-TN-1091

Códigos JEL: Q1; Q54; E2; C5; F

Palabras clave: Agricultura, Modelo de Gravedad, Productividad, Temperatura

<http://www.iadb.org>

Copyright © 2016 Banco Interamericano de Desarrollo. Esta obra se encuentra sujeta a una licencia Creative Commons IGO 3.0 Reconocimiento-NoComercial-SinObrasDerivadas (CC-IGO 3.0 BY-NC-ND) (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/igo/legalcode>) y puede ser reproducida para cualquier uso no-comercial otorgando el reconocimiento respectivo al BID. No se permiten obras derivadas.

Cualquier disputa relacionada con el uso de las obras del BID que no pueda resolverse amistosamente se someterá a arbitraje de conformidad con las reglas de la CNUDMI (UNCITRAL). El uso del nombre del BID para cualquier fin distinto al reconocimiento respectivo y el uso del logotipo del BID, no están autorizados por esta licencia CC-IGO y requieren de un acuerdo de licencia adicional.

Note que el enlace URL incluye términos y condiciones adicionales de esta licencia.

Las opiniones expresadas en esta publicación son de los autores y no necesariamente reflejan el punto de vista del Banco Interamericano de Desarrollo, de su Directorio Ejecutivo ni de los países que representa.



**EFFECTOS DE LA VARIABILIDAD DE LA TEMPERATURA  
EN LA PRODUCTIVIDAD Y EN LOS PRECIOS  
DE LOS PRODUCTOS AGRÍCOLAS:  
EVIDENCIA EN PERÚ**

**Victor Saldarriaga**

Septiembre, 2016

## **Presentación**

La investigación sobre los efectos económicos del cambio climático es un ámbito que sin duda demandará mayores esfuerzos en el futuro. El proceso de modificación de las condiciones climáticas del planeta tiene repercusiones sobre la producción y el comercio, y América Latina y el Caribe es una región donde esos efectos pueden tener importantes consecuencias para el crecimiento.

En esta dirección, la siguiente nota técnica es una exploración sobre los efectos de la variabilidad de la temperatura sobre la productividad y los precios de los productos agrícolas del Perú. Se trata, pues, de variables económicas de singular relevancia para el mercado interno y externo de ese país. El trabajo utiliza en forma creativa información histórica para evaluar econométricamente esas relaciones. El ejercicio es sugerente y contribuye a motivar la construcción de bases de datos y a realizar esfuerzos estadísticos que permitan, eventualmente, hacer un seguimiento y evaluación de estos procesos en una mayor cantidad de sectores y de países. Una perspectiva regional frente a estos desafíos aportaría muchísimo al combinar recursos y generar metodologías y datos armonizados que permitan dar respuestas, también regionales, a los desafíos que presenta el cambio climático.

Este trabajo mereció un Premio “Jóvenes Economistas” que hizo parte del Llamado a la presentación de Propuestas de Investigación del BID-INTAL y la Red Sudamericana de Economía Aplicada/Red Sur.

**Gustavo Beliz**

**Director del INTAL**



# Contenidos

Resumen .....	4
1. Introducción .....	5
2. Marco conceptual.....	8
2.1. Aspectos teóricos .....	8
2.2. Evidencia empírica previa .....	9
3. El cambio climático en el Perú .....	11
4. Metodología de estimación y datos.....	13
4.1. Datos utilizados .....	13
4.2. Estrategia empírica .....	17
5. Resultados .....	20
5.1. Resultados principales .....	21
5.2. Estrategias de adaptación.....	25
5.3. Efectos esperados a futuro.....	26
6. Conclusiones .....	28
Referencias .....	30
Gráficos .....	33

## Resumen

El presente estudio explora el efecto de la variabilidad de la temperatura en la productividad agrícola y los precios de los principales productos agrícolas del Perú. Los datos utilizados se obtienen al reunir información de temperaturas históricas globales a un detalle de 0.5 x 0.5 grados (cada grado corresponde aproximadamente a 56 Km alrededor del Ecuador) con información de producción agrícola proveniente de las Encuestas de Hogares del Perú del periodo 2004-2010. Los efectos de interés son estimados utilizando la variación interanual en las temperaturas dentro de cada municipalidad. Los resultados indican que un aumento de una desviación estándar por encima de la temperatura promedio histórica de la municipalidad reduce la producción por hectárea cultivada entre US\$ 170 y US\$ 190 y la rentabilidad por hectárea cultivada entre US\$ 150 y US\$ 200. Estos impactos, no obstante, varían de acuerdo a distintas zonas geográficas del país, siendo la actividad agrícola en la región amazónica la más afectada por una mayor variabilidad de la temperatura. Se encuentra también que son las temperaturas inusualmente cálidas y no las inusualmente frías las que afectan en mayor medida la productividad agrícola. Asimismo, de cumplirse los escenarios proyectados a futuro, una mayor variabilidad de la temperatura esperada para el periodo 2020-2040 reduciría la producción agrícola entre 5% y 6% con respecto a la producción actual.



## 1. Introducción

¿Cuáles son los alcances del calentamiento global en la actividad económica de los países?<sup>1</sup> Este interrogante es crucial para el diseño de políticas orientadas a la mitigación de los efectos del cambio climático y también para tener conocimiento de qué actividades y, por consiguiente, cuáles son las poblaciones que serán más afectadas por este fenómeno en los próximos años. La región de América Latina y El Caribe (en adelante, ALC) se presenta como un caso particular, debido a que se estima que será una de las regiones más afectadas por el cambio climático. Prueba de ello es que dos de los tres países más vulnerables al cambio climático se encuentran en la región de ALC: Honduras y Perú<sup>2</sup>.

En el futuro se espera un aumento en la temperatura global de aproximadamente 0.2 grados centígrados por década (IPCC, 2013). El aumento de la temperatura global trae consigo una mayor variabilidad climática, al mismo tiempo que se espera una mayor severidad de los eventos meteorológicos en el mundo (McMichael *et al.*, 2006; Easterling *et al.*, 2000). Una mayor temperatura global genera, a su vez, cambios en el ciclo hidrológico. Esto tendrá repercusiones en las precipitaciones, aumentando las lluvias en algunas partes del mundo y haciendo que los eventos de sequía sean más severos en otras.

Dado que la temperatura ambiental y la precipitación son insumos directos en la agricultura, se ha proyectado que la actividad agrícola será una de las actividades económicas más vulnerables al cambio climático. Esto es más alarmante aún para el caso de ALC, donde se concentran las reservas de terreno cultivable más grandes del mundo, con 576 millones de hectáreas. Esta cifra equivale, aproximadamente, al 30% de su territorio<sup>3</sup>. Además, la agricultura es una actividad bastante extendida en ALC: alrededor del 25% de la población económicamente activa se dedica a ella<sup>4</sup>. Asimismo, las exportaciones de ALC representan alrededor del 13% del comercio agrícola mundial y aproximadamente el 23% del total de exportaciones en la región son productos agrícolas (Banco Mundial, 2013).

Como consecuencia de la variabilidad climática, se espera que una gran cantidad de tierras aptas para el cultivo en ALC se pierdan a causa de inundaciones y sequías, se reduzca la disponibilidad de agua utilizada para el riego de tierras y disminuya la fertilidad de la tierra a causa de mayores temperaturas en la región. Más aún, el calentamiento global incrementaría

---

<sup>1</sup> Esta investigación ha sido realizada gracias al financiamiento otorgado a investigadores jóvenes a través del concurso “Premio Jóvenes Economistas 2014-2015” patrocinado por BID-INTAL y Red Sur. El autor agradece los valiosos comentarios de Rosario Campos, Alejandro Ramos y Christian Volpe en diferentes etapas de la investigación y muy especialmente la asesoría de José Gustavo Féres a lo largo de la elaboración del estudio. Cualquier error es de responsabilidad exclusiva del autor

<sup>2</sup> Tyndall Centre for Climate Change Research de Inglaterra (Brooks y Adger, 2003).

<sup>3</sup> Perspectivas del Medio ambiente: América Latina y El Caribe – PNUMA.

<sup>4</sup> Cifras obtenidas de CEPALSTAT ([http://estadisticas.cepal.org/cepalstat/WEB\\_CEPALSTAT/Portada.asp](http://estadisticas.cepal.org/cepalstat/WEB_CEPALSTAT/Portada.asp)).

los impactos de las plagas en los sembríos, afectando aún más la producción agrícola. Por ello, se prevé una disminución de los rendimientos de varios cultivos producidos en la región en el futuro a causa del cambio climático. Esta situación no solo tendrá repercusiones negativas sobre la economía regional, sino que también pondrá en peligro la seguridad alimentaria a nivel mundial. Si los escenarios previstos llegaran a darse, no solo se espera un aumento de la pobreza como consecuencia de la disminución de la productividad agrícola, sino también un aumento de la desnutrición y el hambre en ALC y a nivel global. Por este motivo, es necesaria la elaboración conjunta de una agenda que describa y aborde los desafíos que tienen los países de ALC con miras a mitigar los potenciales efectos del cambio climático, tanto en la agricultura como en otras dimensiones que pueden ser también directa o indirectamente afectadas.

La presente investigación explora el efecto de la variabilidad de la temperatura, como consecuencia del cambio climático, en la productividad agrícola y los precios de los principales productos agrícolas en el Perú. La importancia de medir dichos efectos radica en tener un mejor conocimiento de cuáles son los alcances del cambio climático tanto en la productividad agrícola como también en la integración de los países de ALC a la economía internacional. Asimismo, teniendo conocimiento de dichos efectos, es posible diseñar y formular políticas públicas orientadas a proteger la actividad agrícola (y la seguridad alimentaria) a corto y mediano plazo, al mismo tiempo que facilita la elaboración de un plan para la adaptación de la población y la economía regional ante el cambio climático en el futuro. Por último, dichos efectos permiten estimar los costos económicos asociados a la disminución en la productividad agrícola, lo cual no ha sido anteriormente abordado en la literatura. Cuantificar dichos costos es primordial para estimar la rentabilidad de las políticas públicas que pueden implementarse en la actualidad con el objetivo de mitigar los efectos del cambio climático.

Esta investigación también contribuye en aspectos académicos y de políticas públicas. Respecto a lo académico, la contribución se basa en añadir evidencia de los efectos de la variabilidad de la temperatura en la productividad agrícola a partir de datos provenientes de un país en desarrollo. A diferencia de países desarrollados, en el Perú y ALC en general el productor agropecuario representativo no cuenta con la tecnología necesaria para atenuar los impactos de cambios bruscos de temperatura (como por ejemplo, adecuados sistemas de riego o invernaderos) y mucho menos con los recursos para adquirirlos. Por ello, se espera que los efectos encontrados en países en desarrollo reflejen mejor el efecto del cambio climático en la productividad agrícola. Asimismo, y en contraste con estudios anteriores, este estudio permite tener un mejor conocimiento de cómo la variabilidad de la temperatura y no la temperatura en sí afectan los indicadores de resultado de interés. Medir los efectos de la temperatura en la productividad agrícola introduce un potencial problema de identificación, en el sentido en que no se pueden distinguir si los efectos encontrados se vinculan a la temperatura ambiental en sí o a otro tipo de factores, como por ejemplo la fertilidad del suelo.

En cuanto al diseño y formulación de políticas públicas, el estudio permite, primero, cuantificar los costos asociados a la pérdida de productividad agrícola por los efectos de la variabilidad de la temperatura, los cuales no han sido calculados. Segundo, es posible predecir, a partir de fuentes de información que calculan las temperaturas esperadas a futuro en la región, cuáles serán los efectos esperados del cambio climático en la productividad agrícola del Perú, a modo de realizar un plan de acciones preventivas desde la actualidad. Finalmente, la riqueza de información con la que se cuenta permite analizar qué tipo de tecnologías disponibles y, sobre todo, accesibles para el productor agropecuario representativo del Perú (y, potencialmente, de la región ALC) se han mostrado efectivas en atenuar los efectos de la variabilidad de la temperatura en la actividad agrícola.

Se utiliza la variación interanual de la temperatura durante el periodo de siembra de cada cultivo dentro de cada municipalidad para estimar el efecto de la variabilidad de la temperatura en la productividad agrícola y en los precios de los principales productos agrícolas. La consistencia de los efectos estimados se sustenta en el supuesto de que la variabilidad de la temperatura es impredecible dentro de una misma zona geográfica en particular a lo largo de los años.

Los resultados sugieren que un aumento de una desviación estándar por encima de la temperatura promedio histórica de la municipalidad reduce la producción por hectárea cultivada entre US\$ 170 y US\$ 190 y la rentabilidad por hectárea cultivada entre US\$ 150 y US\$ 200. Estos impactos, no obstante, varían de acuerdo a distintas zonas geográficas del país, siendo la actividad agrícola en la región amazónica la más afectada por una mayor variabilidad de la temperatura. Los resultados sugieren también que son las temperaturas inusualmente cálidas y no las inusualmente frías las que afectan en mayor medida la productividad agrícola. Asimismo, de cumplirse los escenarios proyectados a futuro, una mayor variabilidad de la temperatura esperada para el periodo 2020-2040 reduciría la producción agrícola entre 5% y 6% con respecto a la producción actual.

El documento se organiza de la siguiente manera. En la segunda sección se discute la literatura referida a los efectos de la temperatura en la productividad agrícola y los precios de los productos agrícolas. En la sección 3 se describe brevemente el estado del Perú frente al cambio climático. En la sección 4 se detalla la metodología de estimación empírica y se describen los datos utilizados. La sección 5 presenta los resultados. La sección 6 presenta las conclusiones del estudio.

## 2. Marco conceptual

En esta sección se discuten los aspectos teóricos y la evidencia empírica previa respecto de los efectos de la variabilidad de la temperatura en la productividad agrícola.

### 2.1. Aspectos teóricos

En general, existen dos modelos teóricos que han sido utilizados en la literatura empírica para explicar los efectos de variaciones en las condiciones de producción sobre la productividad agrícola: la metodología basada en la “función de producción” y el “modelo hedónico”. Cada uno de estos modelos ha sido desarrollado para describir tanto el uso óptimo de los insumos requeridos para la producción agrícola como el comportamiento de los productores en respuesta a variaciones imprevistas en las condiciones de producción, como es el caso específico de las variaciones en la temperatura ambiental.

El diseño experimental que subyace al modelo de producción permite estimar los efectos de variaciones en la temperatura sobre cultivos específicos netos de otros factores que pueden afectar la producción agrícola, como por ejemplo la fertilidad de la tierra (Decker *et al.*, 1986; Adams, 1989). La desventaja de este modelo es que asume que los productores no toman en cuenta las expectativas climáticas futuras para las decisiones en el presente. Dicho de otro modo, el modelo no considera potenciales cambios de comportamiento por parte de los productores como, por ejemplo, aumentar su *stock* de productos que serán destinados a la venta, usar fertilizantes, cambiar la combinación de cultivos, etc. cuando existan fluctuaciones inusuales en el clima.

El modelo hedónico, por su parte, resuelve este potencial cambio de comportamiento de los productores agrícolas ante variaciones climáticas al calcular el valor presente de la tierra usada para cultivo (Mendelsohn *et al.*, 1994). Si es que los mercados de tierras agrícolas son eficientes, entonces los precios deberían reflejar el valor presente de la renta de la tierra en el futuro infinito. Su validez, no obstante, se basa en la estimación consistente de los efectos de la variación del clima en el valor de la tierra. Muchos estudios han reconocido que características no observadas como la calidad de la tierra y la opción de usar la tierra en otro tipo de actividades pueden influenciar la producción agrícola y por tanto el valor de la tierra (Hoch, 1958; Hoch, 1962; Mundlak, 1961). Por este motivo, la metodología del modelo hedónico puede confundir el factor climatológico con otros determinantes de la producción agrícola, afectando tanto el signo como también la magnitud del efecto estimado.

Diversos estudios, no obstante, han encontrado evidencia en contra del uso del modelo hedónico para medir los efectos de factores climáticos en la productividad agrícola. Deschenes y Greenstone (2007) encuentran que las estimaciones basadas en este modelo

son extremadamente sensibles a cambios en las variables de control, cambios en la muestra y el uso de pesos muestrales en las regresiones. En este contexto, el uso del modelo basado en la función de producción puede ser de mayor utilidad para estimar los efectos de los cambios de temperatura en la productividad agrícola, especialmente para el caso peruano.

En el Perú, la producción agrícola se caracteriza por tener un gran número de pequeños productores agropecuarios, a quienes las grandes empresas o cooperativas compran su producción para ser posteriormente vendidas en las ciudades. Asimismo, muchos de estos pequeños productores destinan su producción para el autoconsumo. Dadas las características de la producción agrícola en el Perú, se encuentra poco factible que los productores agropecuarios actúen de manera estratégica para mitigar los potenciales efectos del clima en la producción futura. En este sentido, la metodología empírica en este estudio utiliza, al igual que Deschenes y Greenstone (2007), las fluctuaciones interanuales en la temperatura ambiental para estimar el efecto de la variabilidad de la temperatura en la productividad agrícola.

## **2.2. Evidencia empírica previa**

La evidencia empírica basada en el modelo hedónico o modelo ricardiano ha sido la más extendida en la literatura referente a los efectos de la variación del clima en la producción agrícola. Desde que fue inicialmente postulado por Mendelsohn *et al.* (1994), el modelo hedónico ha sido aplicado en distintos contextos, principalmente en países desarrollados, como es el caso de Estados Unidos (Mendelsohn *et al.*, 1999; Schlenker *et al.*, 2005; Schlenker *et al.*, 2006), pero también existe evidencia para países en desarrollo (Dinar *et al.*, 2008; Seo y Mendelsohn, 2008; Mendelsohn y Dinar, 2009). La evidencia en cuanto a los efectos de las temperaturas en la producción agrícola es mixta y se ha encontrado que los impactos difieren en gran medida al comparar tierras irrigadas con aquellas que se caracterizan por ser áridas, siendo la agricultura realizada en tierras irrigadas la más proclive a ser afectada por el calentamiento global. Una explicación que se ha dado es que el costo de adaptación ante el cambio climático y épocas de sequía es mayor en tierras relativamente mejor irrigadas.

En los últimos años, no obstante, las estimaciones basadas en el modelo hedónico han sido cuestionadas. Deschenes y Greenstone (2007) encuentran que las estimaciones basadas en el modelo hedónico son bastante sensibles ante cambios relativamente triviales en las variables de control, la muestra utilizada para las estimaciones y la inclusión de pesos muestrales en las regresiones. En base a estos resultados, la tendencia en los últimos años ha sido utilizar las variaciones interanuales en la temperatura (o precipitación) dentro de una misma unidad geográfica.

Sin embargo, los resultados encontrados utilizando esta técnica de estimación no resuelven la ambigüedad en el efecto de la temperatura en la productividad agrícola. Por ejemplo, mientras que Deschenes y Greenstone (2007) encuentran que la actividad agrícola no se verá afectada ante el cambio global, Guiteras (2009) encuentra impactos cuantitativa y cualitativamente significativos de la temperatura en la producción agrícola. El autor estima, por ejemplo, que los escenarios de calentamiento global proyectados para el periodo 2010-2039 reducen la producción agrícola de los principales cultivos en India entre 4,5% y 9%. En un estudio más reciente, Deschenes y Kolstad (2011) encuentran que las ganancias agrícolas se ven reducidas por efectos del calentamiento global en California (Estados Unidos), aunque los autores mencionan que sus estimaciones son imprecisas. Fisher *et al.* (2012), no obstante, muestran que las estimaciones realizadas por Deschenes y Greenstone (2007) se encuentran afectadas por error de medición debido a la imprecisión en la asignación de la información climática, uso de proyecciones climáticas relativamente antiguas y la dificultad de calcular correctamente las ganancias agrícolas debido a no poder separar la producción actual de las existencias (stock) agrícolas. Combinados, estos efectos hacen que sus estimadores estén sesgados hacia no encontrar un efecto del cambio climático en la producción agrícola.

El estudio de Deschenes y Greenstone (2007), sin embargo, presenta también algunas limitaciones en cuanto a la discusión de los efectos del cambio climático en la producción agrícola; en particular, dos. Una primera limitación es que el estudio identifica efectos de choques transitorios del clima en la producción agrícola. El cambio climático, no obstante, tiene que ver con efectos permanentes o de largo plazo. Por tal motivo, resulta difícil atribuir que los resultados presentados en dicho estudio se asocian totalmente al cambio climático. La segunda limitación tiene que ver con que el estudio no hace referencia a las estrategias de adaptación de los agricultores ante el cambio climático. Por ejemplo, en zonas con mayor variabilidad del clima o con tierras menos fértiles (más áridas), es posible que los agricultores adopten estrategias como la construcción de canales de irrigación para protegerse ante cambios inesperados en el clima, lo cual no estaría siendo captado en las estimaciones de dicho estudio.

La evidencia específica para la región de ALC es escasa. La falta de fuentes de información que cubran amplios periodos de tiempo así como la imprecisión en cuanto a los datos climatológicos en unidades geográficas reducidas (como, por ejemplo, municipalidades) es una de las principales causas de la poca evidencia existente en la región. Sanghi y Mendelsohn (2008) encuentran que el calentamiento global proyectado para el final del siglo perjudicará la producción agrícola entre 1% y 39% para el caso de Brasil. En un estudio relacionado, Suliano *et al.* (2009) encuentra que las épocas de sequía (precipitaciones relativamente bajas) se encuentran correlacionadas con una baja producción agrícola. En un estudio reciente, Féres *et al.* (2015) encuentran que los efectos del cambio climático en la agricultura serán más perjudiciales para la actividad agrícola en Brasil hacia el final del siglo en comparación con mediados del siglo. No obstante, los autores encuentran que el cambio

climático traerá consigo desigualdades significativas en cuanto a la actividad agrícola, siendo las zonas menos desarrolladas aquellas más vulnerables al calentamiento global proyectado para el futuro.

Este estudio busca expandir la evidencia existente al enfocarse (1) en la variabilidad de la temperatura más que en la temperatura ambiental en sí misma y (2) al incluir un análisis de cómo la variabilidad en la temperatura puede afectar los precios de los productos agrícolas. Respecto al primer punto, los expertos en el cambio climático señalan que el calentamiento global traerá consigo mayor variabilidad en los fenómenos climatológicos. Por este motivo, más importante que los efectos de la temperatura ambiental en sí misma, es medir los efectos que puede tener la variabilidad de la temperatura en la producción agrícola; esto permite observar, por ejemplo, si los productores agropecuarios se encuentran o no adaptados ante variaciones imprevistas en el clima. En cuanto a los precios, algunos estudios señalan que estos tenderán a aumentar si es que la producción agrícola se ve afectada por el clima (Mendelsohn *et al.*, 1999). Esto a su vez pone en cierta desventaja a los países productores más afectados por el calentamiento global en términos de comercio exterior de los productos agrícolas, pues mayores precios locales implican un encarecimiento relativo con respecto a los cultivos producidos en otros países, pudiendo reducir así las exportaciones de los productos agrícolas (Baldwin, 1988; Baldwin y Krugman, 1989; Campa, 2004).

### **3. El cambio climático en el Perú**

En la segunda mitad del siglo XX, la tendencia de la temperatura en Perú ha ido en aumento. La temperatura ambiental promedio en un periodo de 60 años se ha incrementado en 0.55 grados centígrados. No obstante, este aumento ha sido desigual en distintas zonas geográficas del país.

Año tras año se registran incrementos inusuales de las temperaturas, especialmente durante las épocas de verano. Esto trae como consecuencias mayores precipitaciones en la sierra y selva del país, con riesgos de inundaciones y desbordes de ríos<sup>5</sup>. Estas inundaciones afectan la producción agrícola del país y muchas extensiones de terreno cultivable son, año a año, perdidas por causa de desbordes de ríos. Asimismo, las altas temperaturas han llegado a

---

<sup>5</sup> Ver por ejemplo las noticias referentes a la exposición a la radiación UV extrema en los departamentos del norte del país (<http://elcomercio.pe/peru/pais/tumbes-y-piura-soportaran-niveles-extremos-radiacion-uv-noticia-1793053>) y las advertencias del SENAMHI en cuanto al desborde de ríos por lluvias intensas (<http://elcomercio.pe/peru/loreto/loreto-rio-ucayali-fue-declarado-alerta-hidrologica-roja-noticia-1788868>).

afectar la operatividad de las instituciones públicas, muchas veces retrasando los servicios públicos como es el caso de la educación<sup>6</sup>.

La Figura 1 muestra el cambio en la temperatura ambiental promedio entre las décadas de 1950-1960 y 2000-2010. En general, la mayoría de los distritos ha mostrado un incremento en la temperatura ambiental en la última mitad del siglo pasado. La región amazónica es la que ha experimentado un mayor aumento de la temperatura ambiental, especialmente en los departamentos de Loreto, Ucayali y Madre de Dios. La zona costera del centro del país, que comprende parte del departamento de Lima e Ica, ha mostrado también un incremento en la temperatura ambiental durante los últimos 60 años. Asimismo, algunas zonas en la costa norte del país, en especial en el departamento de Piura, muy cercano al Ecuador, han mostrado tendencias positivas en cuanto a la temperatura ambiental.

Una manera alternativa de evaluar los cambios que se han dado en cuanto a la temperatura ambiental en el Perú es a partir de la variabilidad de la temperatura, definida como las desviaciones respecto de la temperatura promedio de cada distrito. La Figura 2 presenta dos paneles: el panel superior que muestra la variabilidad de la temperatura y el panel inferior que muestra el porcentaje de distritos que experimentaron temperaturas inusuales (definido como temperaturas con una desviación estándar por encima o por debajo de la temperatura promedio histórica distrital) a lo largo de los años para el periodo 1950-2010.

Ambos paneles muestran tendencias interesantes en cuanto a la temperatura ambiental a lo largo del tiempo en el Perú. En cuanto a la variabilidad de la temperatura, es posible observar que hasta antes de la década de 1970 existía un balance en cuanto a los eventos de frío o calor. Es decir, la variabilidad de la temperatura podía encontrarse bien por encima o bien por debajo del promedio quinquenal. No obstante, en años posteriores se observa que los picos extremos se encuentran más asociados a temperaturas cálidas. Esto se condice con un cambio de tendencia que se describe en el panel inferior de la Figura 2. Antes de 1970, los eventos inusuales de frío se daban con mayor frecuencia en el país. No obstante, esta tendencia se revierte durante los últimos 40 años, siendo ahora las olas de calor las que se observan con mayor continuidad.

La evidencia mostrada en cuanto al incremento de la temperatura ambiental en el país da cuenta de la importancia del diseño de políticas sociales que tengan como finalidad tanto la prevención como también la adaptación de la población al cambio climático en la actualidad y también hacia el futuro. Entender las consecuencias del aumento de las temperaturas en el clima, la salud, la biodiversidad y la actividad económica en general es crucial para elaborar planes de acción que permitan mitigar los efectos del cambio climático.

---

<sup>6</sup> Ver <http://elcomercio.pe/peru/piura/piura-atrasa-clases-escolares-semana-altas-temperaturas-noticia-1793376>.



## 4. Metodología de estimación y datos

En esta sección se describen las fuentes de información y la estrategia empírica utilizada para la identificación de los efectos de interés. Diversas fuentes de información son utilizadas para obtener datos de la producción agrícola como también de los precios de los principales productos agrícolas. Asimismo, se describen las fuentes de información que proveen datos de las temperaturas y precipitaciones históricas y las proyecciones para el periodo 2020-2040. En cuanto a la metodología empírica, las estimaciones del efecto de las temperaturas en la productividad agrícola y los precios de los principales productos agrícolas en el Perú son obtenidas utilizando la variación inter-anual de la temperatura dentro de una misma unidad geográfica (a decir, la municipalidad).

### 4.1. Datos utilizados

Los datos utilizados para el análisis empírico provienen de distintas fuentes de información. En las siguientes líneas se describe cada una de ellas, así como también la construcción de los indicadores utilizados para las regresiones.

#### A. Temperaturas históricas

Los datos de temperatura ambiental provienen del *Terrestrial Air Temperature and Precipitation: 1900-2010 Gridded Monthly Time Series, Version 3.01* (Matsuura y Willmott, 2009). Esta base de datos provee la temperatura y precipitación promedio mensual a nivel global a un detalle de 0.5 x 0.5 grados (cada grado corresponde a una distancia promedio de 56 kilómetros alrededor del Ecuador) para el periodo 1900-2010. Dicha fuente de información ha sido también utilizada en estudios previos como Dell *et al.* (2008) y Rocha y Soares (2015).

Para asignar la temperatura mensual a cada una de las municipalidades se siguen dos métodos distintos. El primero de ellos es asignar la temperatura correspondiente al nodo más cercano al centroide de la municipalidad. El segundo método asigna a cada municipalidad la temperatura promedio de cada uno de los cuatro nodos que engloban el centroide de la municipalidad: los nodos del noreste, sureste, suroeste y noroeste. A la combinación de estos cuatro nodos se les denominará la grilla de la municipalidad. Los ponderadores en este caso son la inversa de la distancia entre el nodo de temperatura y el centroide de la municipalidad. Así, los nodos más cercanos tendrán un mayor peso para el cálculo de la temperatura mensual de la municipalidad.

A partir de las temperaturas asignadas a cada municipalidad, se construyen indicadores de variabilidad de la temperatura. El primero de ellos, las desviaciones estándar con respecto al promedio histórico distrital, es construido de la siguiente manera:

$$D_{mt} = \frac{1}{12} [\sum_{\tau-11}^{\tau} (temp_{m\tau} - témp_m) / \sigma_m] ,$$

donde  $temp_{m\tau}$  denota la temperatura promedio de la municipalidad  $m$  en el mes de inicio de la temporada de cosecha pasada,  $\tau$ , del cultivo más representativo de cada municipalidad<sup>7</sup>. La variable  $témp_m$  representa la temperatura promedio de la municipalidad para el periodo 1950-2010 y  $\sigma_m$  es la desviación estándar de la temperatura en la municipalidad  $m$ . En palabras, el indicador  $D_{mt}$  es el número de desviaciones estándar de la temperatura observada en la municipalidad  $m$  durante los 12 meses previos al periodo de cosecha del cultivo más representativo con respecto al promedio histórico de cada municipalidad. Se toman 12 meses previos al periodo de cosecha para aproximar la temperatura promedio distrital durante el periodo de siembra en cada municipalidad.

El subíndice  $t$  denota el año en que el dato de producción agrícola ha sido reportado. Por ejemplo, si es que se observa que el dato del valor de la producción agrícola fue reportado en el mes de julio del año 2007, entonces la temperatura asignada a esa observación corresponderá a la temperatura promedio durante los 12 meses previos al mes de inicio de la temporada de cosecha pasada para el cultivo más representativo de dicha municipalidad. La información de inicio del periodo de cosecha se toma del portal web del Ministerio de Agricultura y Riego del Perú (MINAG)<sup>8</sup>.

Adicionalmente, se construyen cinco indicadores en base a las desviaciones estándar con respecto al promedio histórico municipal en cada año de siembra:  $< -1.5\sigma$ ;  $[-1.5\sigma, -0.5\sigma]$ ;  $[-0.5\sigma, 0.5\sigma]$ ;  $[0.5\sigma, 1.5\sigma]$ ;  $> 1.5\sigma$ . Estos indicadores de variabilidad de la temperatura permitirán analizar si los eventos de frío inusual tienen el mismo efecto en la producción agrícola que los eventos de calor inusual dentro de una misma zona geográfica. Asimismo, estos indicadores permiten explorar si existen efectos no lineales de la variabilidad de la temperatura en la productividad agrícola.

Finalmente, es preciso indicar que en el presente estudio no se busca explorar los efectos de la precipitación en la productividad agrícola. A pesar de que la evidencia empírica indica

---

<sup>7</sup> El cultivo más representativo es aquel que tiene mayor número de reporte (cultivo modal) dentro de cada municipalidad.

<sup>8</sup> Para mayor información, visitar el portal web: [http://frenteweb.minag.gob.pe/sisca/?mod=consulta\\_cult](http://frenteweb.minag.gob.pe/sisca/?mod=consulta_cult).

que la precipitación es un determinante clave de la producción agrícola, explorar sus efectos no forma parte del objetivo del presente estudio. Sin embargo, se utiliza información de precipitaciones como un regresor adicional a modo de controlar cualquier tipo de efecto que la lluvia pueda tener en la fertilidad de la tierra.

## **B. Temperaturas futuras**

Con el fin de predecir cuáles serán las consecuencias del cambio climático en la productividad agrícola a futuro, se utilizan datos de proyecciones del estado climatológico futuro a partir del modelo CCSM3 A2 (*Community Climate System Model*, por sus siglas en inglés), el mismo modelo que fue utilizado para elaborar el Informe de Evaluación N°4 del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (*Assessment Report 4 - IPCC*). Este pronóstico del estado climatológico futuro es elaborado por el *National Center for Atmospheric Research - National Science Foundation* de Estados Unidos.

El modelo CCSM3 A2, no obstante, asume un desarrollo económico y crecimiento poblacional continuo, lo cual conlleva a una mayor emisión de gases de efecto invernadero y, por consiguiente, mayores temperaturas proyectadas. A diferencia de modelos como, por ejemplo, el modelo B2, el modelo A2 es un modelo pesimista en cuanto a las proyecciones de temperaturas futuras y, por ende, es necesario tener en cuenta que cualquier inferencia a partir de los datos provenientes de este modelo puede sobreestimar el impacto esperado de la variabilidad de la temperatura en la productividad agrícola.

La base de datos del CCSM3 A2 es provista a un detalle de 1.4 x 1.4 grados (aproximadamente 155 kilómetros cuadrados alrededor del Ecuador) y contiene las proyecciones de temperatura y precipitaciones mensuales para el periodo 2020-2040. Al igual que las temperaturas históricas, la temperatura promedio distrital para el periodo 2020-2040 se asigna en base al nodo de temperatura más cercano al centroide de la municipalidad. La Figura 3 muestra la distribución de las municipalidades y nodos de temperatura (históricos y futuros) en el sistema de coordenadas geográficas.

## **C. Productividad agrícola**

La información referente a la productividad agrícola en el Perú es obtenida del Módulo del Productor Agropecuario en la Encuesta Nacional De Hogares (ENAHO). Esta encuesta es realizada con una periodicidad anual por el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) y tiene representatividad a nivel nacional, regional y por ámbito geográfico (urbano y rural). En particular, se utilizan datos del periodo 2004-2010. Anualmente, cerca de 20 mil

hogares son encuestados por la ENAHO, de los cuales alrededor del 40% dependen de actividades agropecuarias como forma de ingreso principal o secundario.

A partir de los datos de la ENAHO se construyen dos indicadores de productividad agrícola: (1) valor total de la producción por hectárea de tierra destinada al cultivo y (2) utilidad por hectárea de tierra destinada al cultivo. En cuanto a los numeradores, el valor total de la producción se calcula como el valor antes de impuestos (en US\$ a precios corrientes) de la producción total destinada al autoconsumo, venta, semilla, subproductos o intercambio. La utilidad es calculada restando los costos de producción del valor total de la producción. Los costos de producción incluyen pagos de alquiler de la tierra, pagos por jornadas laborales a otros trabajadores agrícolas, gastos en maquinaria y activos destinados a la agricultura, semillas, fertilizantes, entre otros. Todas las unidades monetarias son expresadas en precios constantes del año 2009, para lo cual se utiliza el Índice de Precios al Consumidor (IPC) que reporta mensualmente el Banco Central de Reserva del Perú<sup>9</sup>. Una vez deflactados los valores de producción, se convierten los valores a dólares americanos (US\$) utilizando el tipo de cambio corriente. El denominador para los dos indicadores se calcula como el total de hectáreas de tierras destinadas al cultivo de productos agrícolas, pastos y pastoreo de animales.

Finalmente y con el objetivo de vincular el análisis de productividad con el de precios de los principales productos agrícolas, el análisis se limita a incluir los principales productos de cada región, los cuales son listados por el MINAG. La Tabla 1 proporciona información de los cultivos, superficie cultivable y temperatura promedio anual de cada región. Las estadísticas descriptivas de la muestra, una vez seleccionadas las unidades productoras de acuerdo a los principales cultivos de cada región, son mostradas en la Tabla 2.

#### **D. Calidad de la tierra**

Para obtener las características de la tierra (pH, textura, salinidad y drenaje del suelo) se hace uso de la información provista por la *Harmonized World Soil Database V1.2*. Esta base de datos (de tipo *raster*) es elaborada por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y contiene información de las características de la tierra a un detalle de 30 arco-segundos. Sin embargo, debido a la estrategia empírica seguida, es

---

<sup>9</sup> Para verificar la sensibilidad de los resultados ante diferentes índices de precios, se utiliza también el Índice de Precios al Por Mayor (IPM) reportado por el INEI. En comparación con el IPC, el IPM considera precios de productos de los sectores agricultura, pesca y ganadería, y manufactura. Ello puede reflejar en mejor medida la evolución de los precios agrícolas a lo largo del periodo de estudio. Los resultados no muestran una variación significativa al utilizar dicho índice.

necesario obtener información de las características de la tierra a un detalle más fino que la municipalidad.

A partir del diseño muestral de la ENAHO es posible vincular cada conglomerado con un centro poblado en el Perú. Debido a que el centro poblado es una unidad administrativa contenida dentro de una municipalidad, es posible obtener datos de la característica de la tierra a un detalle más fino que la municipalidad combinando los datos del *Harmonized World Soil Database* y la geo-referencia de cada centro poblado. Utilizando un programa especializado (ArcGIS 10.0), es posible interpolar las características del suelo para cada centro poblado en el Perú y con ello agregar estas características como variables de control en el análisis empírico.

### **E. Precios de los principales productos agrícolas**

Los precios de los principales productos agrícolas en el Perú son obtenidos del portal web del MINAG. Dichos precios son reportados a nivel regional y con una periodicidad mensual desde el año 1997 en adelante. Para efectos del análisis empírico, se toma el precio promedio anual de cada cultivo en cada región.

Se complementa el análisis del efecto de la variabilidad de la temperatura en los precios de los principales productos agrícolas con información proveniente de la ENAHO (valor unitario de los productos agrícolas). Las estimaciones basadas en estos datos servirán como referencia para evaluar la consistencia de los coeficientes estimados a partir de los datos del MINAG.

### **4.2. Estrategia empírica**

La metodología utilizada para identificar los efectos de interés se basa en utilizar la variación interanual en la variabilidad de la temperatura dentro de una municipalidad. En la práctica, lo que esta estrategia hace es comparar unidades productoras dentro de una misma municipalidad que, por haber sido entrevistadas en años distintos, fueron expuestas a diferentes temperaturas durante el periodo de siembra de cada cultivo. Los coeficientes son estimados, por tanto, utilizando las desviaciones en la temperatura observada en cada año con respecto a la temperatura habitualmente observada en cada municipalidad durante el periodo de siembra de cada cultivo.

El modelo básico consiste en estimar regresiones por Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO) del efecto de la variabilidad de la temperatura en indicadores de productividad agrícola y precios de los principales productos agrícolas. No obstante, la estructura de datos con la

que se cuenta (a nivel de hogar para la productividad agrícola y a nivel regional para los precios de los principales productos agrícolas) hace necesaria la distinción entre modelos a estimar de acuerdo a cada uno de los indicadores de resultado considerados.

### A. Productividad agrícola

La estructura de datos de la ENAHO permite medir la productividad agrícola para cada hogar en cada municipalidad, mes y año de encuesta. Bajo esta consideración, el modelo a estimar puede escribirse formalmente como sigue:

$$a_{umt} = \beta_0 + \beta_1 D_{mt} + Z'_{umt} \gamma + F_{mt} + \varepsilon_{umt} , \quad (1)$$

para el indicador de variabilidad de la temperatura en desviaciones estándar y

$$a_{umt} = \sum_g \theta_g I_{umt}^g + Z'_{umt} \lambda + A_{mt} + \mu_{umt} , \quad (1')$$

para los indicadores discretos de variabilidad de la temperatura, donde  $I_{umt}^g$  denota cada uno de los cinco niveles de variabilidad de la temperatura anteriormente descritos, con  $g = \{1,2,3,4,5\}$ . La variable  $a_{umt}$  del lado izquierdo de cada ecuación representa el indicador de productividad agrícola de la unidad productora  $u$  localizada en el distrito  $m$  y que reporta datos en el año  $t$ . Las variables  $D_{mt}$  e  $I_{umt}^g$  en las ecuaciones (1) y (1'), respectivamente, representan los indicadores de variabilidad de la temperatura, tanto en su forma continua como discreta.  $Z_{umt}$  es un vector de características de la unidad productora,  $F_{mt}/A_{mt}$  denotan efectos fijos a nivel de la municipalidad y año de entrevista y  $\varepsilon_{umt}/\mu_{umt}$  son términos de error que capturan todos los demás factores omitidos.

A diferencia de la ecuación (1'), la ecuación (1) asume que el efecto de la variabilidad de la temperatura en los rendimientos agrícolas es lineal. En contraste, la ecuación (1') permite una mayor flexibilidad de los datos en cuanto a la potencial no-linealidad del efecto de la variabilidad de la temperatura en la productividad agrícola. Asimismo, la especificación basada en la ecuación (1') permite observar asimetrías en cuanto a los efectos de interés.

Bajo el supuesto de que el indicador de variabilidad o severidad de la temperatura no se encuentre correlacionado con el término de error, los parámetros de interés  $\beta_1$  y  $\theta_g$  pueden ser estimados de manera consistente a través de MCO. Este supuesto es factible debido a que, a pesar de anticipar la periodicidad, los individuos no pueden anticipar la variabilidad/severidad de los cambios en la temperatura en las diferentes zonas geográficas. Si estos parámetros son negativos y estadísticamente significativos, entonces esto significaría que la variabilidad de la temperatura, tanto para temperaturas inusualmente cálidas como también inusualmente frías, reduce la productividad agrícola.

Un potencial problema para la identificación es que en las zonas más afectadas por temperaturas extremas (principalmente en la sierra sur del Perú, debido a las heladas entre los meses de mayo y septiembre) existe una alta tasa de pobreza, lo cual puede afectar negativamente la productividad agrícola. No obstante, la inclusión de efectos fijos por municipalidad y año de entrevista hacen que se controle por cualquier tipo de factor asociado a eventos climatológicos o socioeconómicos que son constantes para cada municipalidad en cada uno de los años del periodo de referencia. Por este motivo, es poco probable que los coeficientes estimados se encuentren sesgados debido a la omisión de variables que podrían estar correlacionadas con los términos de error  $\varepsilon_{umt}/\mu_{umt}$ .

Por último, debido a que se utiliza la variación interanual dentro de una municipalidad que potencialmente puede compartir un mismo nodo de temperatura con otra municipalidad distinta, se estiman los errores estándar de dos maneras distintas. La primera de ellas es agrupando a nivel de municipalidad y la segunda es agrupando a nivel de nodo de temperatura<sup>10</sup>. Con ello se pretende ser conservador en cuanto a la significancia estadística de los efectos estimados.

## **B. Precio de los principales productos agrícolas**

Los precios de los principales productos agrícolas son provistos por el MINAG a nivel regional y para cada cultivo y mes. Para efectos de explicación del modelo, se toma únicamente el indicador de variabilidad de la temperatura en desviaciones estándar con respecto al promedio histórico de la región para el periodo de siembra de cada cultivo,  $D_{cra}$ , como ejemplo. Formalmente se estiman regresiones basadas en la siguiente ecuación:

---

<sup>10</sup> Se estiman también errores estándar agrupados a nivel de municipalidad y año de reporte de datos, y nodo de temperatura y año de reporte de datos. A pesar de que los resultados basados en estas metodologías de cálculo de los errores estándar no son mostrados, estos son similares a aquellos obtenidos al estimar los errores estándar a nivel de municipalidad y nodo de temperatura. Los resultados pueden ser provistos a pedido del lector.

$$\log(p_{cra}) = b_0 + b_1 D_{cra} + W'_{cra} \omega + H_{ra} + H_c + u_{cra} , \quad (2)$$

donde  $p_{cra}$  es el precio del cultivo  $c$  en la región  $r$  para el año  $a$ .  $W_{cra}$  es un vector de características del cultivo y de la región,  $H_{ra}$  son indicadores de región y año,  $H_c$  son indicadores de cultivos y  $u_{cra}$  es un término de error. La inclusión de efectos fijos por región y año permite controlar por cualquier tipo de *estacionalidad* que genere variación en los precios dentro de una misma región.

Nótese que debido a la estructura de los datos, el indicador de interés  $D_{cra}$  es calculado a nivel regional y no a nivel distrital, para cada uno de los cultivos y años incluidos en la base de datos. Es posible estimar también el efecto de la variabilidad de la temperatura en el valor unitario de cada uno de los cultivos dentro de cada municipalidad a partir de la información provista por la ENAHO. Este ejercicio, no obstante, debe tomarse como un análisis de robustez, debido a que el valor unitario de los cultivos puede variar substancialmente entre productores agropecuarios incluso dentro de una misma municipalidad.

El parámetro estimado  $b_1$  se interpreta como el cambio porcentual en el nivel de precios promedio de los principales cultivos generado por un aumento de una desviación estándar de la temperatura anual con respecto al promedio histórico regional (Guerrero-Compeán, 2013). Si la variabilidad de la temperatura afecta los precios de los productos agrícolas a través de una menor producción, entonces se esperaría que los precios de los productos agrícolas aumenten *a priori*. Sin embargo, este efecto puede verse influenciado también por la oferta de cada producto agrícola en otros países o, de ser el caso de un producto más expuesto a mercados internacionales, como es el caso del maíz, la producción interna no tendría mucho efecto en los precios internacionales de dicho producto.

## 5. Resultados

Esta sección presenta los resultados del estudio. Se discuten primero los resultados principales del efecto de la variabilidad de la temperatura en la productividad agrícola. Luego, se presentan los resultados obtenidos del efecto de la variabilidad de la temperatura en los precios de los principales productos agrícolas del Perú. Finalmente, se discuten los resultados que toman en cuenta las estrategias de adaptación así como también las predicciones para décadas futuras en el Perú.



## 5.1. Resultados principales

Se presentan, en primer lugar, los resultados del efecto de la variabilidad de la temperatura en la productividad agrícola. Se discuten también los efectos heterogéneos de acuerdo a cada región natural del Perú. Finalmente, se presentan los resultados del efecto de la variabilidad de la temperatura en los precios de los principales productos agrícolas del Perú.

### A. Productividad agrícola

Los resultados del efecto de la variabilidad de la temperatura (desviaciones estándar con respecto al promedio histórico distrital durante el periodo de siembra) son reportados en la Tabla 3. El Panel A de la tabla muestra los efectos estimados al asignar la temperatura en base al nodo de temperatura más cercano al centroide de la municipalidad, mientras que el Panel B de la tabla muestra los coeficientes resultantes cuando la temperatura se asigna en base al promedio ponderado de los cuatro nodos que engloban a la municipalidad (grilla de la municipalidad). En cada columna se muestran los resultados al agregar distintos controles en las regresiones. Los errores estándar estimados al nivel de la municipalidad se reportan en paréntesis, mientras que los errores estándar estimados a nivel del nodo de temperatura se reportan en corchetes.

La columna 1 muestra los resultados de la regresión bivariada del efecto de la variabilidad de la temperatura en la productividad agrícola (valor de la producción por cada hectárea de tierra). El estimador puntual para el caso de la temperatura basada en el nodo más cercano al distrito es -263.10, lo que implica que un aumento de una desviación estándar por encima del promedio histórico de la municipalidad reduce la productividad de la tierra en US\$ -263 por cada hectárea cultivada. El coeficiente estimado es significativo en el sentido estadístico al 1%. En la columna 2 se agregan efectos fijos por municipalidad, a modo de controlar por todo tipo de factores invariantes en el tiempo que pueden afectar de manera homogénea a los productores agropecuarios dentro de una misma municipalidad. El coeficiente estimado no cambia de manera considerable al introducir efectos fijos por municipalidad ni tampoco se ve afectada la significancia estadística del mismo. En la columna 3 se agregan efectos fijos por año de siembra. El coeficiente estimado se reduce a -235.03 y es estadísticamente significativo al 5%. En la columna 4 se agregan efectos fijos por municipalidad y año de siembra, similar a la técnica de estimación seguida por Deschenes y Greenstone (2007). El coeficiente estimado se reduce a -175.81, pero sigue siendo estadísticamente significativo al 10%. Finalmente, la columna 5 presenta la especificación más comprehensiva que incluye

efectos fijos por municipalidad y año de siembra, y controles adicionales<sup>11</sup>. El coeficiente estimado es -170.23 y es estadísticamente significativo al 10%.

Los coeficientes resultantes cuando la temperatura es calculada en base al promedio ponderado de los cuatro nodos de temperatura que engloban al distrito (ver Panel B de la Tabla) son mayores, en términos absolutos, que aquellos mostrados en el Panel A. Sin embargo, los coeficientes resultantes cuando se incluyen efectos fijos por municipalidad y año de siembra son bastante similares entre una metodología y otra de asignación de la temperatura ambiental (ver columna 5). El coeficiente estimado bajo la especificación más comprehensiva indica que un aumento de la temperatura ambiental en una desviación estándar por encima del promedio histórico municipal reduce la productividad de la tierra en US\$ 190 por hectárea cultivada. Estos resultados implican que la producción agrícola se ve reducida entre US\$ 170 y US\$ 190 cuando la temperatura promedio durante el periodo de siembra se ve aumentada en una desviación estándar con respecto al promedio histórico municipal.

En cuanto a la utilidad por hectárea cultivada, un indicador que aproxima de mejor manera los rendimientos agrícolas, los resultados sugieren que un aumento en la variabilidad de la temperatura tiene también un impacto negativo sobre este indicador (ver Tabla 4). De manera resumida, se encuentra que una desviación estándar por encima de la temperatura histórica de la municipalidad durante el periodo de siembra reduce la utilidad por hectárea cultivada entre US\$ 150 y US\$ 200 de acuerdo a las especificaciones más comprehensivas. Esta reducción en la utilidad por hectárea cultivada es bastante similar a la reducción en el valor de la producción, lo cual sugiere que los costos no son afectados por la variabilidad de la temperatura. Ello conlleva a dos interpretaciones: (i) que la variabilidad de la temperatura en realidad es inesperada, lo cual valida la estrategia de identificación seguida en el estudio y (ii) que los productores agrícolas no realizan inversiones adicionales a modo de mitigar los efectos de la variabilidad de la temperatura sobre la producción.

Una pregunta que queda por responder es si la productividad agrícola se ve igualmente afectada ante eventos de frío o de calor inusual. A modo de responder a este interrogante, se estiman modelos basados en la ecuación (1'). Los coeficientes resultantes junto con sus respectivos intervalos de confianza al 95% son reportados en la Figura 4. El Panel A de la Figura 4 muestra los resultados para el modelo de valor de la producción por hectárea

---

<sup>11</sup> El vector de controles adicionales incluye: un indicador de cultivo, indicadores de número de cultivos cosechados (1, 2, 3+), superficie cultivada (en HA), precipitaciones durante los 12 meses previos al periodo de cosecha en el distrito (en mm.), indicadores de calidad de la tierra (pH, salinidad, textura y drenaje del suelo), un indicador de actividad agrícola realizada permanentemente (durante todo el año), indicadores de tipo de riego (tecnificado, por gravedad, secano, agua subterránea) y un indicador de si parte de la producción agrícola fue destinada a la venta.

cultivada, mientras el Panel B de la misma figura muestra los resultados para el modelo de utilidad por hectárea cultivada.

La Figura muestra un patrón interesante: la productividad agrícola es afectada ante eventos de calor inusual, mas no se encuentran efectos significativos en el sentido estadístico para eventos de frío inusual (cuando las temperaturas durante el periodo de siembra estuvieron por debajo de la temperatura histórica de la municipalidad). La producción agrícola parece disminuir entre US\$ 250 y US\$ 750 cuando la temperatura ambiental durante el periodo de siembra estuvo por encima de lo habitual. Este impacto es de una magnitud considerable, representando una reducción de entre 25% y 65% con respecto al valor promedio de la producción por hectárea. En cuanto a la utilidad (rendimiento por hectárea cultivada), a pesar de que los efectos son menores en relación con aquellos encontrados para el valor de la producción, estos siguen siendo estadísticamente significativos. En particular, la utilidad por hectárea cultivada disminuye entre US\$ 200 y US\$ 250, lo cual representa una reducción de entre 20% y 30% con respecto al promedio.

Estas magnitudes, a pesar de ser considerables, no son inusuales para países en desarrollo. Existe evidencia de efectos considerables de la temperatura en la producción agrícola para el caso de la India. Por ejemplo, Colmer (2014) encuentra que un incremento de 1°C en la temperatura ambiental reduce la producción agrícola en alrededor de 27%. Entre las posibles explicaciones a estas magnitudes se encuentran: (1) la falta de infraestructura necesaria para mitigar los efectos de calor inusual en países en desarrollo, como por ejemplo los canales de irrigación; (2) la aparición de plagas ante temperaturas inusualmente altas; y (3) la falta de conocimiento de los agricultores acerca de los cultivos que se adaptan de mejor manera a temperaturas inusuales.

No obstante, como muestra la Figura 1, las variaciones en la temperatura han sido desiguales a lo largo del territorio del país. Para profundizar, la Figura 5 muestra los efectos de diferentes niveles de variabilidad de la temperatura en la producción (Panel A) y utilidad (Panel B) por hectárea cultivada para las tres regiones naturales del Perú: Costa, Sierra o región andina y Selva o región amazónica. Los resultados sugieren que la variabilidad de la temperatura afecta la actividad agrícola en la región andina y, en mayor medida, en la región amazónica. No se encuentran resultados significativos en el sentido estadístico para la región costera del país. Estos resultados se condicen con el hecho de que la región amazónica ha sido la que ha experimentado un mayor aumento en las temperaturas ambientales durante los últimos 60 años, tal y como muestra la Figura 1. Este resultado es importante en términos de política, pues implica una priorización geográfica en cuanto a los recursos orientados a la mitigación de los efectos del cambio climático en la actividad agrícola.

Finalmente, se realizan dos pruebas de falsificación con el objetivo de corroborar la robustez de los resultados encontrados<sup>12</sup>. En la primera de ellas se utiliza como variable explicativa la variabilidad de la temperatura en los dos años previos al periodo de cosecha. Es decir, se utiliza la variabilidad de la temperatura durante el penúltimo año (y no el último año) de siembra como variable explicativa principal. En la segunda prueba de falsificación se utiliza la variabilidad de la temperatura en el periodo de siembra *posterior* al periodo de cosecha. Bajo la hipótesis de que la variabilidad de la temperatura afecta únicamente la productividad agrícola en un año en particular, los coeficientes estimados para ambas pruebas de falsificación no deberían ser estadísticamente significativos. Este resultado es encontrado para ambas especificaciones. Más aún, los coeficientes asociados a la variabilidad de la temperatura durante el periodo de siembra siguen siendo estadísticamente significativos aun cuando se controla por la variabilidad de la temperatura en los dos años previos y en el año posterior al periodo de cosecha correspondiente<sup>13</sup>.

## **B. Precios de los principales productos agrícolas**

La Tabla 5 presenta los coeficientes estimados basados en la ecuación (2). Los datos de los precios de los principales productos agrícolas de cada región son tomados del Sistema de Abastecimiento y Precios (SISAP) del MINAG. Estos precios son reportados con una periodicidad mensual para las principales ciudades de cada una de las 24 regiones del Perú. En cada una de las columnas, al igual que las tablas anteriores, se agregan distintas variables de control en las regresiones.

Las especificaciones más comprehensivas son mostradas en la columna 6 de la tabla. Los resultados sugieren que un aumento de una desviación estándar por encima de la temperatura histórica de la municipalidad aumenta los precios entre 3.5 y 3.8 puntos logarítmicos, lo que se aproxima a un aumento en los precios de entre 3.5% y 4%. Resultados similares se obtienen cuando se utiliza el valor unitario de venta a partir de la información provista por la ENAHO, lo cual da cuentas de la robustez de dichas estimaciones<sup>14</sup>. Estos resultados, a su vez, son consistentes con aquellos reportados en estudios previos. Por

---

<sup>12</sup> Por cuestiones de extensión del documento, los resultados de estas pruebas de falsificación no son mostrados, pero pueden ser provistos a pedido del lector.

<sup>13</sup> Adicionalmente, se realizan pruebas de sensibilidad en donde se utilizan (i) el periodo 1980-2010 y (ii) el promedio móvil que corresponde a los 10 años previos al año de cosecha como periodos de referencia para calcular la temperatura histórica de la municipalidad. Los resultados no varían considerablemente ante cualquiera de estos cambios.

<sup>14</sup> A partir del valor unitario de venta reportado en la ENAHO, se obtienen estimados de 0.043 y 0.038 cuando se calcula la variabilidad de la temperatura en base al punto más cercano al centroide de la región y la grilla del centroide, respectivamente.

ejemplo, Guerrero (2013) encuentra que cada día adicional por encima de los 30°C durante el periodo de siembra aumenta los precios de los productos agrícolas alrededor de 7% en México.

## **5.2. Estrategias de adaptación**

La heterogeneidad en los impactos de la variabilidad de la temperatura en la productividad agrícola de acuerdo a las distintas zonas geográficas hace necesaria la puesta en práctica de estrategias de adaptación que sean específicas a cada una de las regiones. En esta subsección se abordan algunas de las principales estrategias de adaptación frente a la variabilidad de la temperatura.

Diferentes estrategias de adaptación son revisadas en base a los datos disponibles provenientes del IV Censo Agropecuario 2012, llevado a cabo por el INEI. En particular, se explora cómo la variabilidad de la temperatura afecta la utilidad por hectárea cultivada cuando se tienen en consideración estrategias de mitigación como el uso de irrigación tecnificada (aspersión o goteo), uso de fertilizantes, uso de insecticidas, herbicidas y fungicidas, y uso de andenería o terrazas. Asimismo, el análisis empírico se realiza de manera separada para cada región natural.

### ***Región costera***

La Tabla 6 muestra los coeficientes resultantes del indicador de variabilidad de la temperatura y las interacciones de este indicador con: el porcentaje de superficie cultivada en la municipalidad con riego tecnificado, el porcentaje de la superficie cultivada en la municipalidad en donde se utilizan fertilizantes, el porcentaje de la superficie cultivada en la municipalidad en donde se utilizan pesticidas, herbicidas y fungicidas, y el porcentaje de la superficie cultivada de la municipalidad que usa andenería/terrazas. Diferentes regresiones son realizadas para cada una de las estrategias de mitigación descritas. Cada una de estas regresiones es mostrada en las distintas columnas de la Tabla.

En general, la región costera del Perú no presenta efectos significativos en el sentido estadístico para la variable principal de variabilidad de la temperatura ni para las interacciones con las distintas estrategias de mitigación. Una de las posibles explicaciones a la ausencia de efectos estadísticamente significativos es que la región costera del Perú es la más avanzada en términos del uso de tecnologías agrícolas y, por consiguiente, los productores agrícolas son capaces de responder oportunamente ante cambios inesperados en la temperatura. Esto se refuerza con el hecho de que la región costera es una región desértica, donde las tecnologías de riego son importantes para la productividad agrícola.

### ***Región andina***

La Tabla 7 muestra los coeficientes resultantes para la región andina. Para esta región, los resultados señalan que el uso de fertilizantes atenúa el impacto negativo de la variabilidad de la temperatura en la utilidad por hectárea cultivada. Sin embargo, la significancia estadística de este efecto desaparece cuando los errores estándar son agrupados a nivel de la grilla de la municipalidad. De manera interesante, los resultados indican que el uso de andenería o terrazas, que es tradicional en las zonas andinas del país dado el relieve escabroso de dicha región, disminuye el efecto negativo de la variabilidad de la temperatura en la productividad agrícola.

Una de las razones por las cuales el uso de andenería en la sierra del Perú atenúa el efecto de la variabilidad de la temperatura en la productividad agrícola es que estas tecnologías tradicionales regulan también la temperatura de la tierra. Los andenes no solamente permiten retener una mayor cantidad de agua durante las lluvias, sino que también estabilizan la temperatura del suelo a lo largo del día, absorbiendo un mayor calor durante el día y permaneciendo cálido durante la noche. De igual manera, debido a que los andenes contienen piedras, gravilla y arena en su interior (por debajo de la tierra de cultivo), el agua absorbida durante las lluvias hace que la tierra permanezca fresca aun cuando ésta ha sido expuesta a altas temperaturas (Lane, 2014).

### ***Región amazónica***

De acuerdo a las comparaciones entre la temperatura promedio durante la década de 1950 y la década de 2000, la región amazónica es la que más ha aumentado su nivel de temperatura promedio (ver Figura 1). Esto hace que esta región sea de particular interés para explorar las estrategias de adaptación a la variabilidad de la temperatura.

La Tabla 8 muestra los coeficientes resultantes para la región amazónica. Los resultados sugieren que, para el caso de esta región, la irrigación tecnificada se muestre como la estrategia de adaptación más efectiva. Se encuentran también efectos estadísticamente significativos para el uso de insecticidas, herbicidas y fungicidas; no obstante, estos resultados no son robustos al agrupar los errores estándar a nivel de la *grilla* de la municipalidad. No se encuentran resultados significativos en el sentido estadístico para otras estrategias de adaptación.

### **5.3. Efectos esperados a futuro**

A partir de la información de temperaturas futuras provenientes del modelo CCSM3 A2 es posible pronosticar cómo se verá afectada la producción agrícola en el Perú debido a la

variabilidad de la temperatura esperada en el periodo 2020-2040<sup>15</sup>. Para realizar estos pronósticos, es necesario el uso de los coeficientes estimados del efecto de la variabilidad de la temperatura en la producción y utilidad por hectárea cultivada mostrados en la sección 5.1. Bajo el supuesto de que estos estimadores son consistentes, es posible utilizar dichos coeficientes para calcular la variación esperada en la producción o utilidad agrícola a nivel nacional.

El cambio predicho en la producción agrícola es calculado por separado para cada municipalidad. Para realizar este cálculo, primero se obtienen las predicciones de la producción (o utilidad) por hectárea cultivada utilizando la variabilidad actual de la temperatura y la variabilidad predicha para el periodo 2020-2040. El impacto predicho debido a una mayor variabilidad de la temperatura esperada a futuro se obtiene al restar las predicciones obtenidas utilizando la variabilidad de la temperatura actual de aquellas predicciones obtenidas utilizando la variabilidad de la temperatura futura. El cambio resultante en la producción (o utilidad) por hectárea cultivada es luego multiplicado por el total de hectáreas cultivadas. Luego, el efecto nacional es obtenido al sumar los cambios predichos en cada una de las municipalidades<sup>16</sup>. Nótese que este ejercicio asume, primero, que ningún otro factor climático (como, por ejemplo, las precipitaciones) cambiará entre el periodo 2020-2040 y la actualidad y, segundo, que la superficie cultivada en cada municipalidad también se mantendrá invariante en el tiempo. Finalmente, por tratarse de dos variables aleatorias pero correlacionadas, los errores estándar de los cambios predichos son calculados como la raíz cuadrada de la suma de varianzas de las predicciones (utilizando los datos actuales y futuros) menos la covarianza entre ambas<sup>17</sup>.

Las predicciones resultantes son mostradas en la Tabla 9. La Tabla muestra también el cambio relativo en la producción y la utilidad total con respecto al dato más reciente de producción agrícola correspondiente al año 2014 (según los datos del BCRP) y de utilidad agrícola correspondiente al año 2012 (según el IV Censo Agropecuario 2012). Dadas las proyecciones del modelo CCSM3 A2, los resultados sugieren que las pérdidas en términos de producción agrícola debido a una mayor variabilidad de la temperatura esperada en el periodo 2020-2040 serán de entre US\$ 442 millones y US\$ 495 millones, lo cual representa alrededor del 6% de la producción agrícola del año 2014. En términos de rentabilidad, de cumplirse los

---

<sup>15</sup> Para las predicciones se utiliza el promedio del periodo 2020-2040 en lugar de predicciones basadas en un año en particular, pues de este modo se evita que las predicciones se encuentren sesgadas por imprecisiones o extremos propios de un año en particular.

<sup>16</sup> Este último cálculo fue realizado utilizando los pesos muestrales provistos por la ENAHO. De este modo, la superficie cultivada a nivel nacional se aproxima de mejor manera a aquella reportada en el IV Censo Agropecuario 2012.

<sup>17</sup> En la práctica, los errores estándar reportados provienen de calcular diferentes muestras aleatorias a partir de la técnica de *bootstrapping*.

escenarios proyectados, se esperan pérdidas de entre US\$ 250 y US\$ 270, representando cerca del 10% de la rentabilidad actual.

Es preciso señalar que las proyecciones no consideran las diferencias regionales en los impactos (como se ha discutido en la sección 5.1), sino que son promedios de todo el territorio nacional. Si bien es cierto que las magnitudes de estas pérdidas predichas en la productividad agrícola son considerables, es bastante probable que estas estimaciones sean distintas a lo largo del territorio nacional, habiendo regiones que puedan verse afectadas más que otras. Adicionalmente, como se hace referencia en la sección anterior, las temperaturas proyectadas provenientes del modelo CCSM3 A2 son pesimistas en el sentido que este modelo asume un desarrollo y crecimiento poblacional constantes. Por tal motivo, las estimaciones presentadas pueden representar una cota inferior del efecto verdadero de la variabilidad de la temperatura en la productividad agrícola a futuro.

## **6. Conclusiones**

El presente estudio analiza los efectos de la variabilidad de la temperatura en la productividad y los precios de los principales productos agrícolas en el Perú. Estos efectos son estimados explorando la variación interanual de la temperatura ambiental dentro de una misma zona geográfica: la municipalidad. Se exploran también algunas estrategias de adaptación para una mayor variabilidad de la temperatura esperada a futuro. En particular, se explora si es que el riego tecnificado, el uso de fertilizantes, el uso de pesticidas, herbicidas y fungicidas y el uso de andenería o terrazas en distintas regiones del Perú atenúan los efectos de una mayor variabilidad de la temperatura en la productividad agrícola.

La evidencia sobre los impactos de la variabilidad de la temperatura en la productividad agrícola permite sacar tres conclusiones. En primer lugar, la variabilidad de la temperatura, definida como el número de variaciones estándar con respecto al promedio histórico de la municipalidad, afecta negativamente tanto a la producción como a la utilidad por hectárea cultivada. Este resultado es importante, pues se espera que a futuro no solamente haya un incremento de la temperatura promedio en el mundo, sino también una mayor variabilidad de los eventos climáticos. Segundo, son los eventos de calor inusual, y no los de frío inusual, los que tienen mayores efectos sobre la productividad agrícola. Finalmente, la variabilidad de la temperatura afecta de manera desigual a la actividad agrícola en diferentes zonas geográficas. Este dato es crucial pues permite a los tomadores de decisiones políticas priorizar eficientemente los recursos orientados a la mitigación de los efectos del cambio climático en la agricultura.



En cuanto a los precios de los principales productos agrícolas del Perú, se encuentra que una mayor variabilidad de la temperatura incrementa los precios de dichos productos entre 3.5% y 4%. Este resultado se condice con un aumento de una magnitud similar encontrado para el valor unitario de la producción agrícola. En perspectiva, es probable que una mayor variabilidad de la temperatura a futuro genere un escenario de inseguridad alimentaria debido a un aumento de los precios de los alimentos. Esto podría perjudicar en mayor medida a los hogares pobres, donde una mayor proporción del ingreso del hogar es gastado en alimentación. Por otro lado, se encuentra también que diferentes estrategias de adaptación pueden mitigar los efectos de una mayor variabilidad de la temperatura para el caso particular de cada región. En el caso de la región andina, por ejemplo, se encuentra que el uso de fertilizantes y andenería o terrazas se muestran como estrategias accesibles para el productor agrícola local con el objetivo de atenuar los efectos de una mayor variabilidad de la temperatura. En el caso de la región amazónica, la región que se ha visto más afectada por el calentamiento global entre los años 1950 y 2010, el riego tecnificado se muestra como la mejor estrategia de adaptación para una mayor variabilidad de la temperatura esperada a futuro.

Finalmente, a partir de la información de temperaturas futuras provistas por el modelo CCSM3 A2, se encuentra que la producción agrícola se verá reducida entre 5% y 6% en el periodo 2020-2040 de cumplirse las proyecciones descritas por dicho modelo. La rentabilidad o utilidad agrícola, por su parte, se verá reducida entre 10% y 11%. Estas estimaciones son consistentes con la evidencia empírica previa encontrada para países en desarrollo y se consideran estimaciones conservadoras del escenario verdadero esperado a futuro. Dados estos resultados, es necesario contar con planes de acción desde la actualidad para la adaptación de la actividad agrícola a una mayor variabilidad de la temperatura esperada a futuro. Estos planes de adaptación tendrán que considerar también las características específicas de cada región, con el fin de no impactar significativamente en la productividad agrícola y, por este medio, la seguridad alimentaria y pobreza en América Latina y El Caribe.

## Referencias

- Adams, R. (1989). Global Climate Change and Agriculture: An Economic Perspective. *American Journal of Agricultural Economics*, 71(5), 1272-79.
- Baldwin, R. (1988). *Hysteresis in import prices: the beachhead effect*. National Bureau of Economic Research.
- Baldwin, R., & Kugman, P. (1989). Persistent Trade Effects of Large Exchange Rate Shocks. *The Quarterly Journal of Economics*, 104(4), 635-654.
- Banco Mundial. (2013). *Agricultura para la Nutrición en América Latina y El Caribe: De la Cantidad a la Calidad*. Washington DC.
- Brooks, N., & Adger, W. N. (2003). *Country level risk measures of climate-related natural disasters and implications for adaptation to climate change*. Norwich: Tyndall Centre for Climate Change Research.
- Campa, J. M. (2004). Exchange rates and trade: How important is hysteresis in trade? *European Economic Review*, 48(3), 527-548.
- Colmer, J. (2014). Manufacturing Productivity, Factor Reallocation, and Environmental Change in Developing Countries. *Mimeo*.
- Decker, W., Jones, V., & Achutuni, R. (1986). The impact of climate change from increased atmospheric carbon dioxide on American agriculture, DOE/NBB-0077. Washington, DC: U.S. Department of Energy.
- Dell, M., Jones, B. F., & Olken, B. A. (2008). Climate change and economic growth: Evidence from the last half century. National Bureau of Economic Research.
- Deschenes, O., & Greenstone, M. (2007). The economic impacts of climate change: evidence from agricultural output and random fluctuations in weather. *The American Economic Review*, 354-385.
- Deschenes, O., & Kolstad, C. (2011). Economic impacts of climate change on California agriculture. *Climatic change*, 109(1), 365-386.
- Dinar, A., Hassan, R., Mendelsohn, R., & Benhin, J. (2008). Climate Change and Agriculture in Africa: Impact Assessment and Adaptation Strategies. *EarthScan*, London.

- Easterling, D. R., Meehl, G. A., Parmesan, C., Changnon, S. A., Karl, T. R., & Mearns, L. O. (2000). Climate extremes: observations, modeling, and impacts. *Science*, 289(5487), 2068-2074.
- Féres, J., Reis, E., & Speranza, J. (2015). Assessing the Effect of Climate Change on the Brazilian Agricultural Sector. Mimeo. Institute for Applied Economic Research.
- Fisher, A. C., Hanemann, W. M., Roberts, M. J., & Schlenker, W. (2012). The economic impacts of climate change: evidence from agricultural output and random fluctuations in weather. *The American Economic Review*, 3749-3760.
- Guerrero-Compeán, R. (2013). Weather and Welfare: Health and Agricultural Impacts of Climate Extremes, Evidence from Mexico (No. IDB-WP-391). Inter-American Development Bank, Research Department.
- Guiteras, R. (2009). The impact of climate change on Indian Agriculture. Manuscript. Department of Economics, University of Maryland, College Park, Maryland.
- Hoch, I. (1958). Simultaneous Equations Bias in the Context of the Cobb-Douglass Production Function. *Econometrica*, 30, 566-578.
- Hoch, I. (1962). Estimation of Production Function Parameters Combining Time Series and CrossSection Data. *Econometrica*, 30, 34-53.
- IPCC (2013). Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.
- Lane, K. (2014). Water Technology in the Andes. Living Reference Work Entry. Encyclopedia of the History of Science, Technology, and Medicine in Non-Western Cultures, 1-24.
- Matsuura, K., & Willmott, C. J. (2009). Terrestrial precipitation: 1900–2008 gridded monthly time series. *Center for Climatic Research Department of Geography Center for Climatic Research, University of Delaware*.
- McMichael, A. J., Woodruff, R. E., & Hales, S. (2006). Climate change and human health: present and future risks. *The Lancet*, 367(9513), 859-869.
- Mendelsohn, R., Nordhaus, W. D., & Shaw, D. (1994). The impact of global warming on agriculture: a Ricardian analysis. *The American Economic Review*, 753-771.

Mendelsohn, R., Nordhaus, W. D., & Shaw, D. (1999). The Impact of Climate Variation on U.S. Agriculture. In Robert Mendelsohn and James E. Neumann (editors), *The Impact of Climate Change on the United States Economy*, Cambridge University Press.

Mendelsohn, R. O., & Dinar, A. (2009). *Climate change and agriculture: an economic analysis of global impacts, adaptation and distributional effects*. Edward Elgar Publishing.

Mundlak, Y. (1961). Empirical Production Function Free of Management Bias. *Journal of Farm Economics*, 43, 44-56.

Rocha, R., & Soares, R. R. (2015). Water scarcity and birth outcomes in the Brazilian semiarid. *Journal of Development Economics*, 112, 72-91.

Sanghi, A., & Mendelsohn, R. (2008). The impacts of global warming on farmers in Brazil and India. *Global Environmental Change*, 18(4), 655-665.

Schlenker, W., Hanemann, W. M., & Fisher, A. C. (2005). Will U.S. Agriculture Really Benefit from the Global Warming? Accounting for Irrigation in the Hedonic Approach. *The American Economic Review*, 95(1): 395-406.

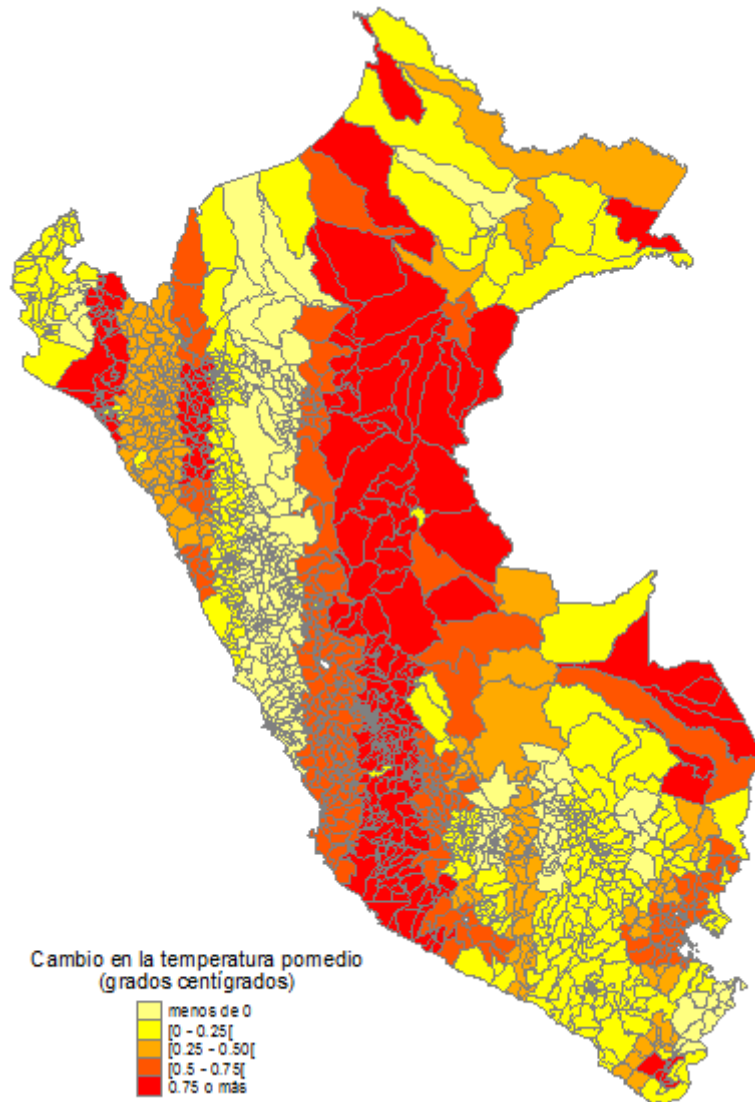
Schlenker, W., Hanemann, W. M., & Fisher, A. C. (2006). The Impact of Global Warming on U.S. Agriculture: An Econometric Analysis of Optimal Growing Conditions. *Review of Economics and Statistics*, 88(1), 113-125.

Seo, S. N., & Mendelsohn, R. (2008). Measuring impacts and adaptations to climate change: a structural Ricardian model of African livestock management. *Agricultural economics*, 38(2), 151-165.

Suliano, D.C., Magalhaes, K.A., & Soares, R.B. (2009). A Influencia do Clima no Desempenho da Economia Cearense. IPECE, Texto para Discussão N.56.

## Gráficos

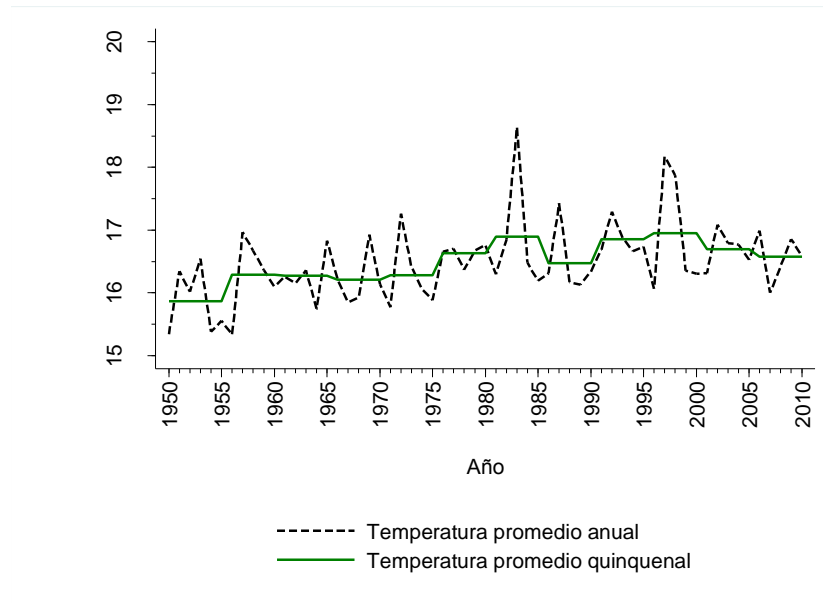
**Figura 1**  
**Cambio en la temperatura ambiental promedio en el Perú**  
**(1950-1960/2000-2010)**



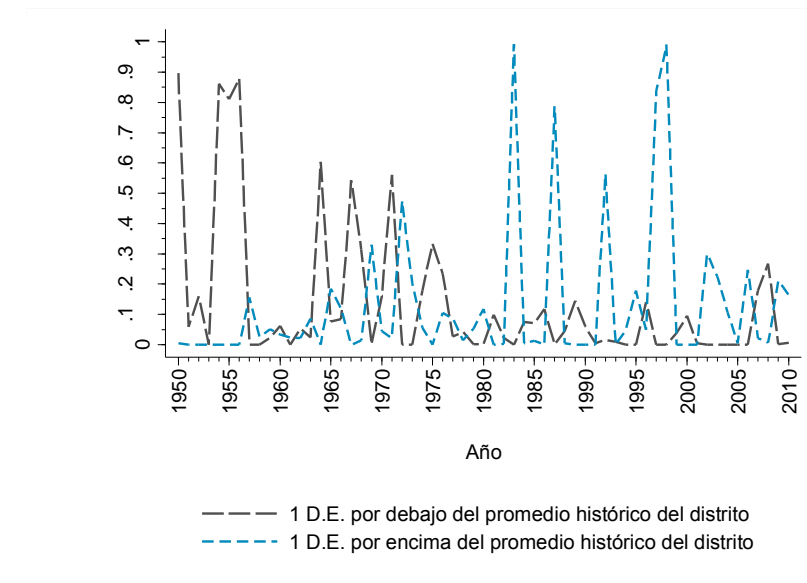
Notas: La figura muestra el cambio en la temperatura ambiental promedio (en grados centígrados) para todos los distritos del Perú entre las décadas de 1950-1960 y 2000-2010.

Fuente: Elaboración propia en base a *Terrestrial Air Temperature and Precipitation: 1900-2010 Gridded Monthly Time Series, Version 3.01* (Matsuura y Willmott, 2009).

**Figura 2**  
**Panel A: Variabilidad de la temperatura en el Perú (1950-2010)**



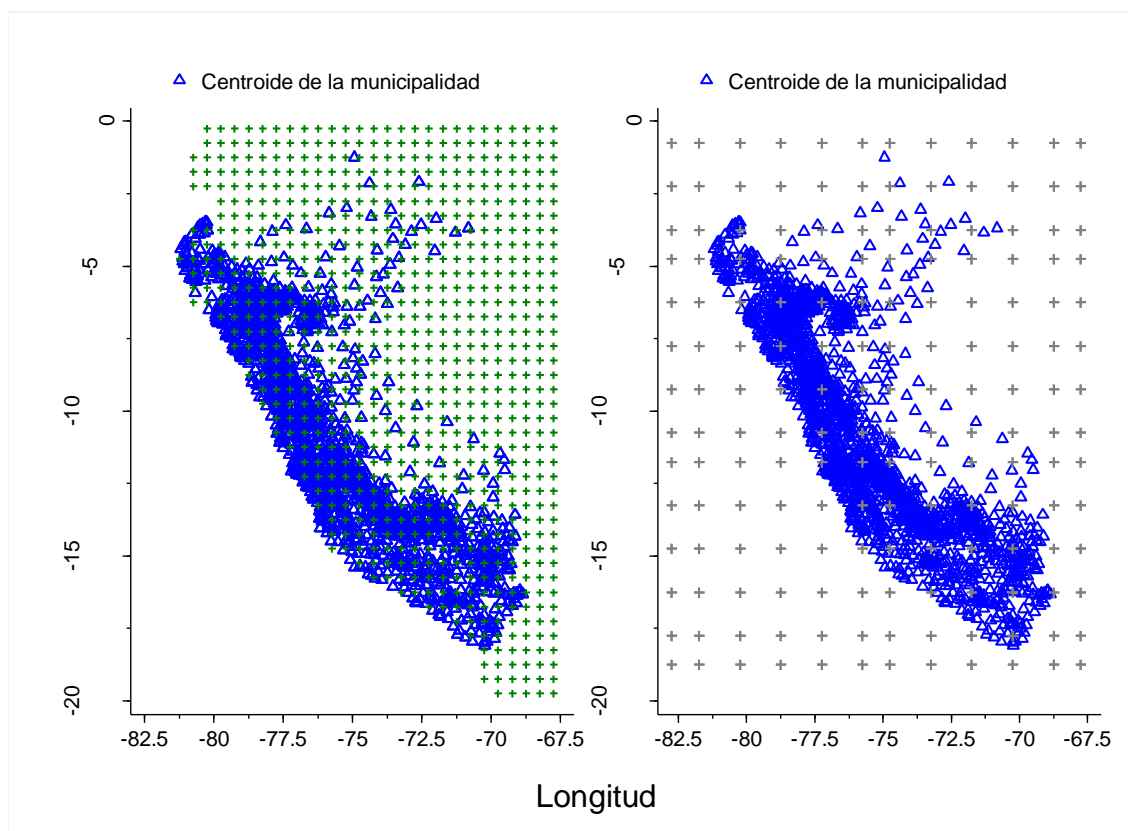
**Panel B: Severidad de la temperatura en el Perú (1950-2010)**



**Notas:** La figura muestra la temperatura anual y temperatura promedio quinquenal para el periodo 1950-2010 (Panel A) y el porcentaje de distritos del Perú cuya temperatura promedio anual se encuentra por debajo o encima de 1 desviación estándar respecto del promedio histórico distrital (Panel B).

Fuente: Elaboración propia en base a UBIGEOS 2010 (Instituto Nacional de Estadística e Informática - INEI) y *Terrestrial Air Temperature and Precipitation: 1900-2010 Gridded Monthly Time Series, Version 3.01* (Matsuura y Willmott, 2009).

**Figura 3**  
**Asignación de temperatura a nivel de la municipalidad**

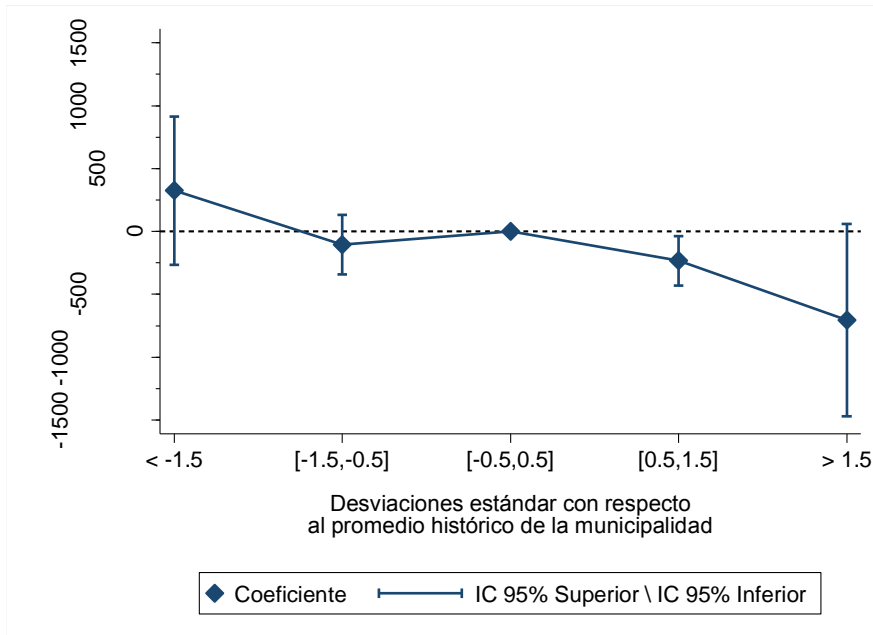


**Notas:** La figura muestra la ubicación geográfica (longitudes y latitudes) del centroide de cada municipalidad del Perú (triángulos azules) y los *nodos* para los que se cuenta con información de temperatura mensual del periodo 1900-2010 (cruces verdes; panel izquierdo) y los pronósticos para el periodo 2020-2040 (cruces grises; panel derecho). La temperatura de cada municipalidad se asigna en base al nodo de temperatura más cercano al centroide de la unidad geográfica.

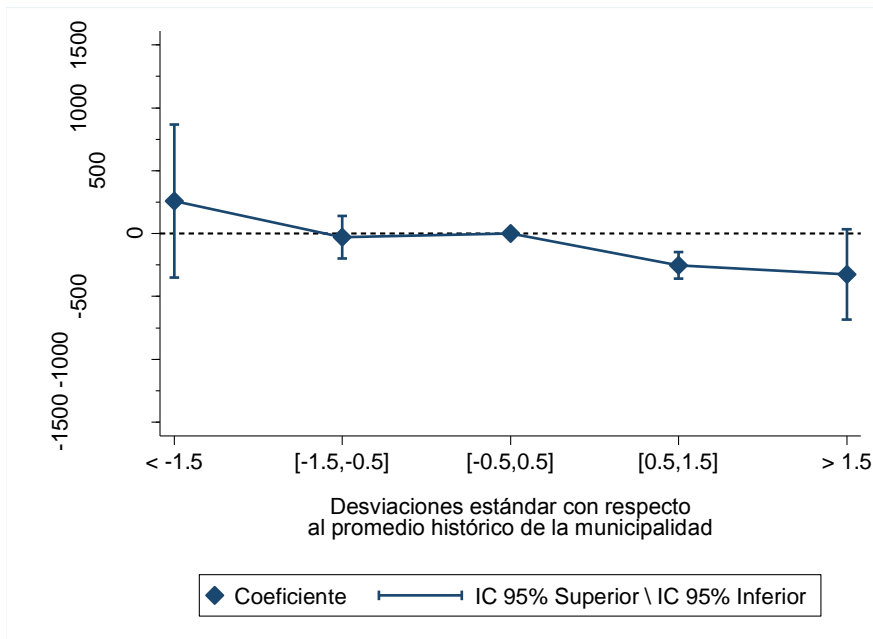
Fuente: Elaboración propia en base a UBIGEOS 2010 (Instituto Nacional de Estadística e Informática - INEI), CCSM3 A2 (NCAR) y *Terrestrial Air Temperature and Precipitation: 1900-2010 Gridded Monthly Time Series, Version 3.01* (Matsuura y Willmott, 2009).

**Figura 4**

**Panel A: Efecto de la variabilidad de la temperatura en la producción por HA**



**Panel B: Efecto de la variabilidad de la temperatura en la utilidad por HA**



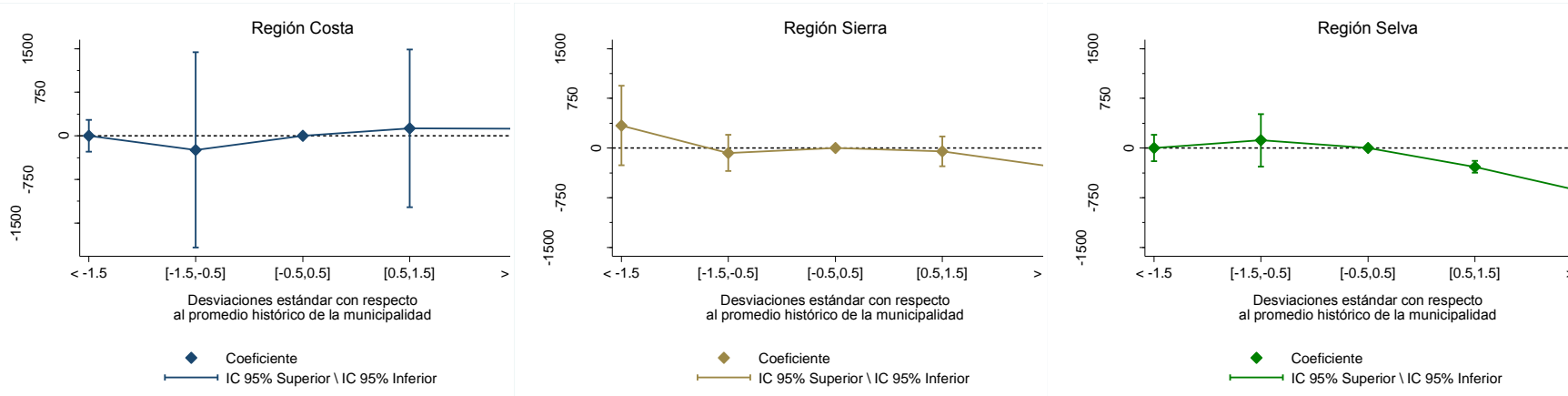
**Notas:** La Figura muestra los efectos de diferentes niveles de variabilidad de la temperatura, junto con sus respectivos intervalos de confianza al 95%, en el valor de la producción, en US\$, por hectárea cultivada (Panel A) y la utilidad, en US\$, por hectárea cultivada (Panel B).

Fuente: Elaboración propia en base a Encuesta Nacional de Hogares (ENAH) 2004-2010 y *Terrestrial Air Temperature and Precipitation: 1900-2010 Gridded Monthly Time Series, Version 3.01* (Matsuura y Willmott, 2009).

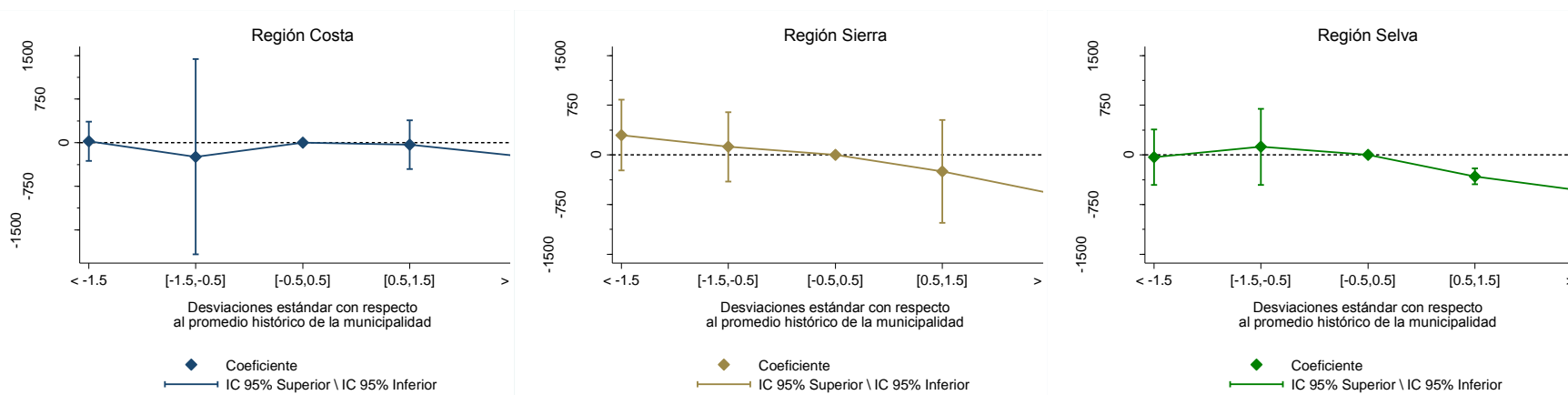


**Figura 5**

**Panel A: Efecto de la variabilidad de la temperatura en la producción por HA, por región natural**



**Panel B: Efecto de la variabilidad de la temperatura en la utilidad por HA, por región natural**



**Notas:** El gráfico muestra los efectos de diferentes niveles de variabilidad de la temperatura, junto con sus respectivos intervalos de confianza al 95%, en el valor de la producción, en US\$, por hectárea cultivada (Panel A) y la utilidad, en US\$, por hectárea cultivada (Panel B) para las tres regiones naturales del Perú: Costa (izquierda), Sierra o región andina (centro) y Selva o región amazónica (derecha).

Fuente: Elaboración propia en base a Encuesta Nacional de Hogares (ENAH) 2004-2010 y *Terrestrial Air Temperature and Precipitation: 1900-2010 Gridded Monthly Time Series, Version 3.01* (Matsuura y Willmott, 2009).

**Tabla 1**  
**Perú: Principales cultivos, superficie cultivable y temperatura promedio por departamento**

Departamento	Principales cultivos*	Superficie cultivable (HA)**	Temperatura promedio anual (°C)
Amazonas	Plátano	817.692,03	18.18
Ancash	Trigo	353.386,02	17.82
Apurímac	Maíz	106.394,82	13.27
Arequipa	Cebolla, Trigo	136.242,50	15.06
Ayacucho	Quínua	272.228,83	11.00
Cajamarca	Café, Maíz	869.558,55	18.21
Cusco	Café, Maíz, Té, Papa	637.096,58	16.82
Huancavelica	Papa	75.583,67	13.63
Huánuco	Café, Papa	744.789,75	19.41
Ica	Algodón, Espárrago, Uva (Vid)	137.925,47	17.35
Junín	Café, Maca, Papa, Té	769.767,05	16.14
La Libertad	Arroz, Caña de azúcar, Espárragos, Maíz, Tomates	315.410,14	16.30
Lambayeque	Arroz, Caña de azúcar, Mango	295.827,48	20.93
Lima y Callao	Algodón, Caña de azúcar, Espárrago, Mango, Maíz, Uva (Vid)	262.862,29	17.37
Loreto	Plátano, Yuca	1.113.739,54	21.27
Madre de Dios	Cacao, Plátano	274.196,52	24.43
Moquegua	Uva (Vid)	24.536,57	13.52
Pasco	Papa	396.319,98	20.54
Piura	Algodón, Mango, Limón	365.372,55	22.94
Puno	Papa, Quinua, Quiwicha	700.621,16	8.33
San Martín	Arroz, Cacao, Maíz, Palma aceitera, Té	1.644.576,89	20.02
Tacna	Uva (Vid)	24.077,52	11.23
Tumbes	Plátano	14.986,60	24.41
Ucayali	Yuca	932.141,42	19.59

\* Fuente: Ministerio de Agricultura y Riego del Perú (MINAG).

\*\* Información correspondiente al año 2000. Fuente: Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI).

**Tabla 2****Estadísticas descriptivas**

Variable	Promedio	Desviación Estándar
Valor de la producción por hectárea cultivada (US\$)	1121.718	(4924.536)
Utilidad por hectárea cultivada (US\$)	638.410	(429.632)
Superficie cultivada (HA)	6.132	(22.934)
Número de cultivos	2.148	(3.271)
pH (30 cm.)	6.471	(2.211)
Textura (mm.)	0.003	(0.008)
Salinidad (dS/m)	51.113	(8.371)
Temperatura promedio*	17.080	(5.993)
Variabilidad de la temperatura (desviaciones estándar)*	0.410	(0.898)
Observaciones	58,318	

\* Durante el periodo de cosecha

**Tabla 3**

**MCO: Efecto de la variabilidad de la temperatura (12 meses antes del periodo de cosecha) en la productividad agrícola**

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Variable dependiente:	Valor de la producción por HA				
<b>Panel A: Temperatura en base al punto más cercano al centroide</b>					
Variabilidad de la temperatura (en Desv. Est.) (12 meses previos al periodo de cosecha)	-263.101 (60.196)*** [65.626]***	-261.167 (66.729)*** [72.983]***	-235.031 (104.224)** [116.881]**	-175.810 (107.691)* [111.603]*	-170.232 (99.140)* [102.463]*
<b>Panel B: Temperatura en base a la grilla del centroide</b>					
Variabilidad de la temperatura (en Desv. Est.) (12 meses previos al periodo de cosecha)	-492.073 (55.256)*** [77.879]***	-527.472 (76.897)*** [102.092]***	-529.977 (128.076)*** [154.721]***	-190.996 (115.629)* [119.629]*	-188.541 (101.220)* [105.471]*
Número de observaciones	51,318	51,318	51,318	51,318	51,318
Número de grupos (errores estándar; municipalidades)	1,144	1,144	1,144	1,144	1,144
Número de grupos (errores estándar; grilla)	284	284	284	284	284
Efectos fijos por municipalidad	Sí	Sí	Sí	No	No
Efectos fijos por año	No	No	Sí	No	No
Efectos fijos por municipalidad y año	No	No	No	Sí	Sí
Controles adicionales	No	No	No	No	Sí
Pesos muestrales	No	Sí	Sí	Sí	Sí
Restricciones de muestra	Ninguna	Ninguna	Ninguna	Ninguna	Ninguna

**Notas:** Cada entrada en la tabla corresponde a una regresión distinta. Los errores estándar agrupados a nivel de la municipalidad son reportados en paréntesis. Los errores estándar agrupados a nivel de la grilla son reportados en corchetes. Los controles adicionales incluyen: un indicador de cultivo, superficie cultivada (en HA), precipitaciones durante los 12 meses previos al periodo de cosecha en el distrito (en mm.), indicadores de calidad de la tierra (pH, salinidad, textura y drenaje del suelo), un indicador de actividad agrícola realizada permanentemente (durante todo el año), indicadores de tipo de riego (tecnificado, por gravedad, secano, agua subterránea) y un indicador de si parte de la producción agrícola fue destinada a la venta. Detalles adicionales de cada especificación son descritos en la tabla. La muestra utilizada para las estimaciones corresponde a todos los hogares/unidades de producción que reportan ingresos por "productor agropecuario" en la Encuesta Nacional de Hogares (ENAH) de Perú. Los datos utilizados para las regresiones provienen de la ENAH 2004-2010, *Harmonized World Soil Database V1.2* y del *Terrestrial Air Temperature and Precipitation: 1900-2010 Gridded Monthly Time Series, Version 3.01* (Matsuura y Willmott, 2009).

\*\*\* p < 0.01, \*\* p < 0.05, \* p < 0.1

**Tabla 4**

**MCO: Efecto de la variabilidad de la temperatura (12 meses antes del periodo de cosecha) en la utilidad por HA**

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Variable dependiente:	Utilidad por HA				
<b>Panel A: Temperatura en base al punto más cercano al centroide</b>					
Variabilidad de la temperatura (en Desv. Est.) (12 meses previos al periodo de cosecha)	-168.410 (48.169) <sup>***</sup> [52.136] <sup>***</sup>	-165.289 (46.229) <sup>***</sup> [52.633] <sup>***</sup>	-153.149 (51.410) <sup>***</sup> [56.113] <sup>***</sup>	-155.035 (77.196) <sup>**</sup> [81.001] <sup>**</sup>	-154.884 (79.204) <sup>**</sup> [82.331] <sup>**</sup>
<b>Panel B: Temperatura en base a la grilla del centroide</b>					
Variabilidad de la temperatura (en Desv. Est.) (12 meses previos al periodo de cosecha)	-221.259 (56.602) <sup>***</sup> [59.336] <sup>***</sup>	-219.751 (61.971) <sup>***</sup> [60.273] <sup>***</sup>	-206.322 (63.136) <sup>***</sup> [66.948] <sup>***</sup>	-211.361 (68.700) <sup>***</sup> [79.654] <sup>***</sup>	-208.471 (84.415) <sup>**</sup> [82.964] <sup>**</sup>
Número de observaciones	51,318	51,318	51,318	51,318	51,318
Número de grupos (errores estándar; municipalidades)	1,144	1,144	1,144	1,144	1,144
Número de grupos (errores estándar; grilla)	284	284	284	284	284
Efectos fijos por municipalidad	Sí	Sí	Sí	No	No
Efectos fijos por año	No	No	Sí	No	No
Efectos fijos por municipalidad y año	No	No	No	Sí	Sí
Controles adicionales	No	No	No	No	Sí
Pesos muestrales	No	Sí	Sí	Sí	Sí
Restricciones de muestra	Ninguna	Ninguna	Ninguna	Ninguna	Ninguna

**Notas:** Cada entrada en la tabla corresponde a una regresión distinta. Los errores estándar agrupados a nivel de la municipalidad son reportados en paréntesis. Los errores estándar agrupados a nivel de la grilla son reportados en corchetes. Ver las notas en la Tabla 2 para mayor detalle respecto de las variables de control incluidas en las regresiones. Detalles adicionales de cada especificación son descritos en la tabla. La muestra utilizada para las estimaciones corresponde a todos los hogares/unidades de producción que reportan ingresos por “productor agropecuario” en la Encuesta Nacional de Hogares (ENAH) de Perú. Los datos utilizados para las regresiones provienen de la ENAH 2004-2010, *Harmonized World Soil Database V1.2* y del *Terrestrial Air Temperature and Precipitation: 1900-2010 Gridded Monthly Time Series, Version 3.01* (Matsuura y Willmott, 2009).

\*\*\* p < 0.01, \*\* p < 0.05, \* p < 0.1

**Tabla 4**

**MCO: Efecto de la variabilidad de la temperatura (12 meses antes del periodo de cosecha) en el precio de los principales productos agrícolas**

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Variable dependiente:	Precio de los principales productos agrícolas (logs.)				
<b>Panel A: Temperatura en base al punto más cercano al centroide</b>					
Variabilidad de la temperatura (en Desv. Est.)	0.062	0.061	0.061	0.043	0.038
(desviaciones estándar)	(0.014) <sup>***</sup>	(0.014) <sup>***</sup>	(0.022) <sup>***</sup>	(0.025) <sup>**</sup>	(0.022) <sup>**</sup>
<b>Panel B: Temperatura en base a la grilla del centroide</b>					
Variabilidad de la temperatura (en Desv. Est.)	0.053	0.050	0.051	0.039	0.035
(desviaciones estándar)	(0.014) <sup>***</sup>	(0.014) <sup>***</sup>	(0.022) <sup>***</sup>	(0.025) <sup>**</sup>	(0.021) <sup>**</sup>
Número de observaciones	7,728	7,728	7,728	7,728	7,728
Número de grupos (errores estándar; regiones)	24	24	24	24	24
Efectos fijos por región	Sí	Sí	Sí	No	No
Efectos fijos por año	No	No	Sí	No	No
Efectos fijos por región y año	No	No	No	Sí	Sí
Controles adicionales	No	No	No	No	Sí
Restricciones de muestra	Ninguna	Ninguna	Ninguna	Ninguna	Ninguna

**Notas:** Cada entrada en la tabla corresponde a una regresión distinta. Los errores estándar agrupados a nivel de la región son reportados en paréntesis. Los controles adicionales incluyen: precipitaciones durante los 12 meses previos al periodo de cosecha en el distrito (en mm.), la producción total de cada cultivo por año y el producto bruto per cápita en cada año. Detalles adicionales de cada especificación son descritos en la tabla. La muestra utilizada para las estimaciones corresponde a los cultivos principales producidos en cada región (ver Tabla 1 para mayor información) provistos por el MINAG a nivel de cultivo en cada región y con una periodicidad mensual (1997-2010). Los precios de cada cultivo son promediados a nivel anual y por región. Los datos utilizados para las regresiones provienen del Sistema de Abastecimiento y Precios (SISAP - MINAG) y del *Terrestrial Air Temperature and Precipitation: 1900-2010 Gridded Monthly Time Series, Version 3.01* (Matsuura y Willmott, 2009).

\*\*\*  $p < 0.01$ , \*\*  $p < 0.05$ , \*  $p < 0.1$

**Tabla 6**

**Variabilidad de la temperatura y estrategias de mitigación: Región costa**

Variable dependiente:	(1)	(2)	(3)	(4)
	Utilidad por HA			
Variabilidad de la temperatura (en Desv. Est.)	-110.610 (88.912) [93.247]	-105.330 (86.114) [91.854]	-108.232 (91.716) [104.236]	- 115.881 (87.228) [99.687]
Variabilidad de la temperatura	11.690			
X Irrigación tecnificada (% de la municipalidad)	(10.554) [12.669]			
Variabilidad de la temperatura		5.488		
X Fertilizantes (% de la municipalidad)		(7.001) [8.471]		
Variabilidad de la temperatura			-0.341	
X Insecticidas, Herbicidas y Fungicidas (% de la municipalidad)			(4.001) [6.337]	
Variabilidad de la temperatura				22.697
X Andenería/Terrazas (% de la municipalidad)				(37.001) [36.241]
Número de observaciones	19,192	19,192	19,192	19,192
Número de grupos (errores estándar; municipalidades)	321	321	321	321
Número de grupos (errores estándar; grilla)	167	167	167	167
Efectos fijos por municipalidad y año	Sí	Sí	Sí	Sí
Controles adicionales	Sí	Sí	Sí	Sí
Pesos muestrales	Sí	Sí	Sí	Sí
Restricciones de muestra	Ninguna	Ninguna	Ninguna	Ninguna

**Notas:** Cada entrada en la tabla corresponde a una regresión distinta. Los errores estándar agrupados a nivel de la municipalidad son reportados en paréntesis. Los errores estándar agrupados a nivel de la grilla son reportados en corchetes. Ver las notas en la Tabla 2 para mayor detalle respecto de las variables de control incluidas en las regresiones. Detalles adicionales de cada especificación son descritos en la tabla. La muestra utilizada para las estimaciones corresponde a todos los hogares/unidades de producción que reportan ingresos por “productor agropecuario” en la Encuesta Nacional de Hogares (ENAHO) de Perú. Los datos utilizados para las regresiones provienen de la ENAHO 2004-2010, *Harmonized World Soil Database V1.2*, IV Censo Nacional Agropecuario 2012 (Perú) y del *Terrestrial Air Temperature and Precipitation: 1900-2010 Gridded Monthly Time Series, Version 3.01* (Matsuura y Willmott, 2009).

\*\*\* p < 0.01, \*\* p < 0.05, \* p < 0.1

**Tabla 7**

**Variabilidad de la temperatura y estrategias de mitigación: Región andina**

Variable dependiente:	(1)	(2)	(3)	(4)
	Utilidad por HA			
Variabilidad de la temperatura (en Desv. Est.)	-148.325 (75.633) <sup>***</sup> [70.254] <sup>***</sup>	-152.123 (73.742) <sup>***</sup> [75.223] <sup>***</sup>	-150.893 (76.355) <sup>***</sup> [81.476] <sup>**</sup>	-161.937 (75.262) <sup>***</sup> [82.727] <sup>**</sup>
Variabilidad de la temperatura X Irrigación tecnificada (% de la municipalidad)	4.572 (4.487) [6.609]			
Variabilidad de la temperatura X Fertilizantes (% de la municipalidad)		5.730 (3.248) <sup>*</sup> [3.953]		
Variabilidad de la temperatura X Insecticidas, Herbicidas y Fungicidas (% de la municipalidad)			2.801 (2.287) [3.598]	
Variabilidad de la temperatura X Andenería/Terrazas (% de la municipalidad)				4.760 (1.742) <sup>**</sup> [1.770] <sup>**</sup>
Número de observaciones	22,548	22,548	22,548	22,548
Número de grupos (errores estándar; municipalidades)	548	548	548	548
Número de grupos (errores estándar; grilla)	63	63	63	63
Efectos fijos por municipalidad y año	Sí	Sí	Sí	Sí
Controles adicionales	Sí	Sí	Sí	Sí
Pesos muestrales	Sí	Sí	Sí	Sí
Restricciones de muestra	Ninguna	Ninguna	Ninguna	Ninguna

**Notas:** Cada entrada en la tabla corresponde a una regresión distinta. Los errores estándar agrupados a nivel de la municipalidad son reportados en paréntesis. Los errores estándar agrupados a nivel de la grilla son reportados en corchetes. Ver las notas en la Tabla 2 para mayor detalle respecto de las variables de control incluidas en las regresiones. Detalles adicionales de cada especificación son descritos en la tabla. La muestra utilizada para las estimaciones corresponde a todos los hogares/unidades de producción que reportan ingresos por “productor agropecuario” en la Encuesta Nacional de Hogares (ENAH) de Perú. Los datos utilizados para las regresiones provienen de la ENAHO 2004-2010, *Harmonized World Soil Database V1.2*, IV Censo Nacional Agropecuario 2012 (Perú) y del *Terrestrial Air Temperature and Precipitation: 1900-2010 Gridded Monthly Time Series, Version 3.01* (Matsuura y Willmott, 2009).

\*\*\* p < 0.01, \*\* p < 0.05, \* p < 0.1



**Tabla 8**

**Variabilidad de la temperatura y estrategias de mitigación: Región amazónica**

Variable dependiente:	(1)	(2)	(3)	(4)
	Utilidad por HA			
Variabilidad de la temperatura (en Desv. Est.)	-285.681 (173.623)* [155.310]**	-273.459 (160.445)* [154.961]**	-270.361 (164.554) [160.868]*	-265.236 (160.322) [154.473]*
Variabilidad de la temperatura X Irrigación tecnificada (% de la municipalidad)	4.210 (1.347)*** [1.971]***			
Variabilidad de la temperatura X Fertilizantes (% de la municipalidad)		0.587 (1.693) [1.929]		
Variabilidad de la temperatura X Insecticidas, Herbicidas y Fungicidas (% de la municipalidad)			1.247 (0.731)* [0.906]	
Variabilidad de la temperatura X Andenería/Terrazas (% de la municipalidad)				-0.411 (0.532) [1.980]
Número de observaciones	9,578	9,578	9,578	9,578
Número de grupos (errores estándar; municipalidades)	275	275	275	275
Número de grupos (errores estándar; nodos)	54	54	54	54
Efectos fijos por municipalidad y año	Sí	Sí	Sí	Sí
Controles adicionales	Sí	Sí	Sí	Sí
Pesos muestrales	Sí	Sí	Sí	Sí
Restricciones de muestra	Ninguna	Ninguna	Ninguna	Ninguna

**Notas:** Cada entrada en la tabla corresponde a una regresión distinta. Los errores estándar agrupados a nivel de la municipalidad son reportados en paréntesis. Los errores estándar agrupados a nivel de la grilla son reportados en corchetes. Ver las notas en la Tabla 2 para mayor detalle respecto de las variables de control incluidas en las regresiones. Detalles adicionales de cada especificación son descritos en la tabla. La muestra utilizada para las estimaciones corresponde a todos los hogares/unidades de producción que reportan ingresos por “productor agropecuario” en la Encuesta Nacional de Hogares (ENAH) de Perú. Los datos utilizados para las regresiones provienen de la ENAHO 2004-2010, *Harmonized World Soil Database V1.2*, IV Censo Nacional Agropecuario 2012 (Perú) y del *Terrestrial Air Temperature and Precipitation: 1900-2010 Gridded Monthly Time Series, Version 3.01* (Matsuura y Willmott, 2009).

\*\*\* p < 0.01, \*\* p < 0.05, \* p < 0.1

**Tabla 9**

**Cambios predichos en la producción agrícola para el periodo 2020-2040**

Variable dependiente:	(1)	(2)	(3)	(4)
	Producción		Utilidad	
Cambio en la rentabilidad (millones de US\$)	-495.031 (194.648)	-442.224 (225.413)	-268.004 (114.257)	-249.761 (106.104)
Variación relativa (%)	-5.913	-5.282	-10.734	-10.000
Efectos fijos por municipalidad y año	Sí	Sí	Sí	Sí
Controles adicionales	No	Sí	No	Sí

Notas: Cada entrada en la tabla corresponde a una regresión distinta. Los errores estándar corregidos por el método de *bootstrapping* son reportados en paréntesis. La muestra utilizada para las estimaciones corresponde a todos los hogares/unidades de producción que reportan ingresos por “productor agropecuario” en la Encuesta Nacional de Hogares (ENAH) de Perú. Los datos utilizados para las regresiones provienen de la ENAH 2004-2010, *Harmonized World Soil Database V1.2*, IV Censo Nacional Agropecuario 2012 (Perú), CCSM3 A2 (NCAR) y del *Terrestrial Air Temperature and Precipitation: 1900-2010 Gridded Monthly Time Series, Version 3.01* (Matsuura y Willmott, 2009).