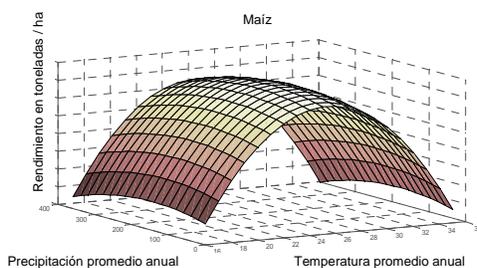
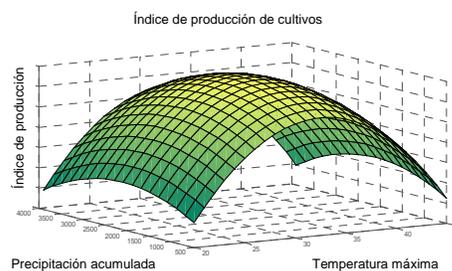
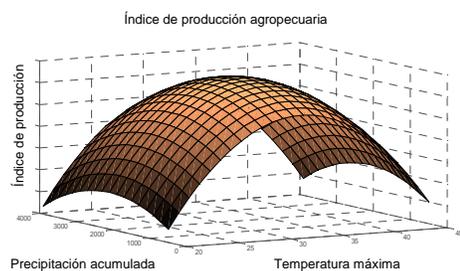


EL SALVADOR

EFFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE LA AGRICULTURA

Juan Luis Ordaz
Diana Ramírez
Jorge Mora
Alicia Acosta
Braulio Serna



Este documento de la CEPAL, proyecto “La economía del cambio climático en Centroamérica”, fue elaborado por Juan Luis Ordaz, Diana Ramírez, Jorge Mora y Alicia Acosta bajo la supervisión de Braulio Serna Hidalgo, Jefe de la Unidad de Desarrollo Agrícola de la Sede Subregional de la CEPAL en México.

El presente estudio considera los comentarios que el Comité Técnico Regional del Proyecto hizo a una versión anterior y no ha sido sometido al proceso de revisión editorial. Las opiniones expresadas en él son de exclusiva responsabilidad de los autores y no necesariamente coinciden con las de la Organización.

La presente versión podría ser revisada en el futuro para tomar en consideración comentarios adicionales que se reciban de las autoridades nacionales correspondientes.

LC/MEX/L.969

Copyright © Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), Sede Subregional en México
Todos los derechos reservados
Impreso en Naciones Unidas • México, D. F. • Agosto de 2010

ÍNDICE

RESUMEN EJECUTIVO	1
INTRODUCCIÓN	3
I. REVISIÓN DE LA LITERATURA	5
1. Enfoques metodológicos para estimar los efectos del cambio climático	5
2. Estudios previos para Centroamérica y El Salvador	8
II. EL SECTOR AGROPECUARIO Y EL CAMBIO CLIMÁTICO	10
1. La importancia del sector agropecuario	10
2. El Salvador ante el cambio climático	16
III. METODOLOGÍAS	18
1. Enfoque de la función de producción	18
2. Enfoque Ricardiano	20
IV. EL IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE	22
1. Impacto en las funciones de producción agropecuaria	23
2. Impacto sobre la producción de maíz, frijol y café	31
3. Impacto sobre el valor de la tierra. Datos y resultados del enfoque Ricardiano	38
V. LOS ESCENARIOS FUTUROS: IMPACTOS ECONÓMICOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE EL SECTOR AGROPECUARIO	44
1. Impactos sobre la producción agropecuaria	45
2. Impactos sobre los rendimientos de maíz, frijol y café	49
3. Proyecciones e impactos sobre el ingreso por alquiler de la propiedad	52
VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	56
BIBLIOGRAFÍA	59
ANEXOS	63
I IMPACTO EN LAS FUNCIONES DE PRODUCCIÓN AGROPECUARIAS	63
II IMPACTO SOBRE LOS RENDIMIENTOS DE MAÍZ, FRIJOL Y CAFÉ	65

RESUMEN EJECUTIVO

El cambio climático representa una seria amenaza para las sociedades centroamericanas por sus múltiples impactos previstos en la población y en los sectores productivos. En términos fiscales constituye un pasivo público contingente que afectará las finanzas públicas de los gobiernos por varias generaciones. Se estima que para 2030 Centroamérica aun producirá menos de 0,5% de las emisiones de los gases de efecto invernadero (GEI) del planeta¹, pero al mismo tiempo ya es una de las regiones más vulnerables ante los embates del cambio climático.

Al igual que el resto de los países centroamericanos, El Salvador es altamente vulnerable a los efectos climáticos. En años recientes este país ha visto aumentar el número y la intensidad de los desastres naturales, con sus altas repercusiones sobre la economía del país. Un sector que es fundamental como proveedor de empleos y como impulsor del crecimiento económico es el agropecuario, el cual es altamente dependiente del clima y sobre él se han contabilizado grandes pérdidas ante los efectos climáticos. A futuro se espera que éstos se intensifiquen, que aumente la temperatura general y que la precipitación se reduzca. Hacia el año 2100 algunos escenarios proyectan que el clima aumentará entre 2° C y 5° C y que la precipitación disminuirá entre 18% y 40%.

Lo anterior hace necesario orientar de forma adecuada las políticas agrícolas y ambientales, pero para ello es importante conocer cómo serán los impactos. Este estudio pretende contribuir en ese sentido, para lo cual se analizan los efectos económicos potenciales del cambio climático sobre el sector agropecuario en su conjunto. También, se analizan algunos subsectores relevantes, así como algunos de los cultivos más importantes para el país. Además, se aportan estimaciones de los posibles efectos sobre los ingresos de los productores agrícolas. En el análisis se emplean distintos escenarios climáticos y horizontes temporales hasta el año 2100.

Los resultados de este informe evidencian que el cambio climático ya está dando muestras de efectos adversos sobre el sector agropecuario, los cuales a futuro podrían intensificarse en caso de que las condiciones de producción permanezcan constantes.

Al examinar los casos del maíz, el frijol y el arroz, tres de los productos más importantes en la alimentación y la economía de los salvadoreños, se encuentra que es probable que la temperatura que permite los mayores rendimientos se haya superado, por lo que un clima más cálido podría traer consecuencias adversas sobre la producción. Niveles de precipitación ligeramente más elevados que los actuales podrían compensar dichas caídas; no obstante, las proyecciones indican que la precipitación tenderá a la baja.

A partir del análisis de la producción de cereales, la producción pecuaria y la agropecuaria en su conjunto se encuentra que es probable que esté por alcanzarse la temperatura que permite obtener los mayores rendimientos, por lo que el cambio climático podría ser benéfico para algunos cultivos y sectores. No obstante, ello únicamente ocurriría en el corto plazo, puesto que a largo plazo el sector agropecuario tendría pérdidas importantes, las cuáles podrían ubicarse, entre 2% y 8% del PIB de 2007 de forma acumulada hacia 2100 empleando tasas de descuento de 2% y 4% y dependiendo de la severidad de las variaciones climatológicas. Con menores tasas de descuento las pérdidas podrían multiplicarse cerca de tres veces.

¹ Suponiendo que las emisiones de cambio de uso de tierra se mantienen a los niveles de 2000.

Los resultados de este estudio muestran que el ingreso por concepto de alquiler de la propiedad se afectaría ante el cambio en el clima. El incremento de un grado Celsius en la temperatura media anual generaría una disminución de 0,3 dólares, lo que equivaldría a una disminución del 1,3% en los ingresos que provienen del alquiler de la propiedad, este decremento se agudiza si consideramos a los hogares rurales en distintos deciles. En particular, para los hogares rurales que se encuentran en los primeros ocho deciles del ingreso por alquiler de la propiedad se estima una caída mayor al 2%.

Este informe también considera los impactos de futuros cambios en el clima sobre los ingresos por alquiler. Los impactos de las proyecciones futuras predicen efectos negativos que van del 3% al 12%. De manera adicional, es posible observar que estos efectos muestran una dispersión considerable a través de las distintas regiones del territorio de El Salvador.

Si bien hay elementos que no fue posible incluir en el análisis, los resultados muestran de forma consistente la necesidad de actuar oportunamente a través de mecanismos que impidan que las pérdidas sobre el sector sean de magnitudes importantes como aquí se indica. Sin duda, será fundamental buscar herramientas que permitan elevar la productividad del sector, ello difícilmente se podrá lograr si los niveles de inversión y el capital humano siguen manteniéndose poco desarrollados como hasta ahora. Además, ante el escaso margen de maniobra que tienen los gobiernos de los países en desarrollo para revertir el cambio climático, será conveniente que se busquen mecanismos de adaptación al mismo. En estas direcciones se orientan las recomendaciones de este trabajo.

Será importante desarrollar programas que busquen facilitar una adecuada adaptación a los efectos adversos del cambio climático para disminuir la vulnerabilidad a sus efectos.

a) Es importante fomentar la investigación a fin de aprovechar la tecnología aplicada en otros países o en algunas regiones de El Salvador, para que los cultivos puedan adaptarse a climas más cálidos, se aprovechen de forma más eficiente los recursos hídricos y se controlen de mejor manera las enfermedades por plagas.

b) Convendría facilitar la asociación entre pequeños y grandes productores a fin de obtener economías de escala y un mejor acceso a los mercados internacionales.

c) Será conveniente el uso de tecnologías adecuadas para la conservación de los suelos, la retención de humedad y la reducción de riesgos por desastres.

d) Mecanismos como el seguro agropecuario o la utilización de *futuros* podrían coadyuvar en elevar la productividad agrícola y en reducir los riesgos climáticos.

e) Las mejoras en la productividad y los incrementos en la producción necesariamente requieren del acceso al capital. Por ello será importante, crear mecanismos que faciliten el acceso al crédito y que se atraigan inversiones.

f) El desarrollo de una infraestructura rural que permita el procesamiento y la comercialización de los productos agrícolas puede ser un factor que contribuya a elevar la producción.

g) El incremento en el capital físico deberá acompañarse del desarrollo del capital humano, para ello convendría generar una estrategia en la que participen las escuelas agrícolas existentes en el país y se desarrollen sistemas de capacitación enfocados a las cadenas productivas.

INTRODUCCIÓN

El sector agropecuario es altamente dependiente del clima. El cambio climático influye directamente sobre el crecimiento y el desarrollo de plantas y cultivos, los balances hidrológicos, la frecuencia, tipo e intensidad de las siembras, así como en la severidad de la erosión de la tierra. También afecta, entre otras variables, la disponibilidad y temporalidad de los sistemas de irrigación.

Diversos estudios para distintas regiones y países han confirmado que el calentamiento global es ya un problema al que se debe prestar gran atención por sus repercusiones sobre el bienestar de los seres humanos. Los años de la última década han sido de los más cálidos en los registros históricos de la temperatura mundial (IPCC, 2007) y hacia el futuro se espera que la Tierra siga presentando cambios climatológicos al modificarse los patrones de temperatura y precipitación.

Algunos estudios (véase Adams y otros, 1988) han argumentado que como resultado del cambio climático se tendrían efectos adversos sobre la seguridad alimentaria ya que los rendimientos de algunos cultivos importantes disminuirían al igual que la productividad pecuaria. De igual forma se reduciría la disponibilidad de agua tanto para la agricultura como para el consumo humano.

Hasta ahora se han realizado ciertos esfuerzos para tratar de enfrentar el problema del cambio climático. En mayo de 1992, los Estados miembros de la ONU adoptaron la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (*United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC*) con el objetivo último de lograr la estabilización de las concentraciones de los gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropógenas peligrosas en el sistema climático y en un plazo suficiente para permitir que los ecosistemas se adapten naturalmente al cambio climático, asegurando que la producción de alimentos no se vea amenazada y permitiendo que el desarrollo económico prosiga de manera sostenible.

No obstante, aún con las políticas actuales de mitigación de los efectos del cambio climático y con las prácticas de desarrollo sostenible que aquéllas conllevan, existe evidencia abundante respecto a que las emisiones mundiales de GEI seguirán aumentando en los próximos decenios (IPCC, 2007). En el caso que lo hicieran a una tasa igual o superior a la actual, el calentamiento global aumentaría y el sistema climático mundial experimentaría durante el siglo XXI cambios probablemente mayores que los observados durante el siglo XX.

Diferentes investigaciones han aportado evidencia de que los más afectados serán los países en vías de desarrollo, los que soportarán aproximadamente entre el 75% y el 80% del costo de los daños provocados por la variación del clima (Banco Mundial, 2009). Para América Latina y Centroamérica, se ha encontrado que si no se tomaran en cuenta los efectos de CO₂, la reducción en la producción de granos podría ser hasta de 30% bajo el escenario de mayor temperatura. Sin embargo, si dichos efectos son tomados en consideración, la producción en algunos países podría incluso incrementarse (Parry y otros, 2004).

Con relación al resto de los países de América Latina, Centroamérica es una región altamente vulnerable a los fenómenos climáticos y meteorológicos dada su extensión y ubicación geográfica. Periódicamente, esta región se ve afectada por huracanes e inundaciones que impactan negativamente el desarrollo y el bienestar de sus habitantes y el desempeño de las actividades económicas. Como se documenta en Leary, Kulkarni y Seipt (2007), es muy probable que el cambio climático intensifique la gravedad de los fenómenos extremos, como los anteriores. En este sentido, cobra relevancia que los gobiernos de la región en conjunto con el resto de la población y actores económicos definan acciones de

política y medidas más específicas de prevención y de adaptación para hacerle frente a los escenarios que podrían suceder. Un primer paso para ello es tener mayores elementos que permitan conocer cómo se verá afectada esta región ante el cambio climático.

El presente estudio tiene como objetivo analizar algunos impactos potenciales del cambio climático sobre el sector agropecuario de El Salvador, con el propósito de aportar elementos que puedan considerarse en la formulación de las políticas agropecuarias y ambientales. Para ello se analizan los impactos de algunas variables climáticas sobre el sector agropecuario y se desarrollan posibles escenarios de los efectos que el cambio climático generaría en el sector agropecuario en su conjunto. Además se examinan algunos de los cultivos más importantes en el país, y se estudia desde una perspectiva Ricardiana cómo serán los efectos sobre los ingresos provenientes del alquiler de la propiedad de los agricultores.

En el primer capítulo de este documento se revisan algunos de los trabajos que han estudiado los impactos del cambio climático sobre el sector agropecuario de diferentes países y en Centroamérica, incluyendo a El Salvador. En el segundo capítulo se presenta la situación actual del sector agropecuario salvadoreño, así como algunas de las estrategias adoptadas ante el cambio climático. En el tercer capítulo se exponen las metodologías empleadas para analizar los potenciales efectos del cambio climático. Los posibles efectos del cambio climático sobre la producción agropecuaria se analizan en el capítulo cuarto. En el capítulo cinco se examinan los efectos económicos sobre la producción agropecuaria, incluyendo algunos de los cultivos más importantes en el país, y sobre los ingresos de los agricultores salvadoreños.

I. REVISIÓN DE LA LITERATURA

La agricultura y el cambio climático están vinculados en diferentes aspectos. Por ejemplo, el cambio climático tendrá grandes efectos sobre la agricultura pero muchos de ellos aún son inciertos. Además, la agricultura puede ayudar a mitigar el cambio climático y en general se sabe que los campesinos o productores más pobres serán los más afectados (Gerald, 2009).

Desde hace algunas décadas se ha manifestado un gran interés por analizar y medir los efectos del cambio climático en la actividad agrícola. Diferentes investigaciones se han enfocado en estudiar los efectos directos del cambio climático sobre la producción de distintos cultivos, incluyendo en los análisis las interacciones y canales de transmisión entre regiones.

En esta sección se realiza una descripción de los principales trabajos que han evaluado los efectos del cambio climático en el sector agropecuario de diferentes países y los enfoques metodológicos en los que se han basado. También se revisan algunas de las investigaciones realizadas para la región centroamericana y para el caso específico de El Salvador.

1. Enfoques metodológicos para estimar los efectos del cambio climático en el sector agropecuario

Los métodos utilizados para medir los efectos del cambio climático en el sector agropecuario se pueden agrupar a partir de dos enfoques metodológicos: el estructural y el espacial (McCarl y otros, 2001; Molua y otros, 2007, Schimmelpfennig y otros, 1996). El primero combina las respuestas físicas de los cultivos con las respuestas económicas de los agricultores. Aquí muchos de los estudios representativos se basan en una función de producción empírica para predecir los efectos del clima sobre las siembras (Adams y otros, 1988; Finger y Schmid, 2007).

El enfoque espacial, por su parte, explota las diferencias observadas en la producción agrícola y el clima entre regiones. Entre sus ventajas está el poder estimar el impacto directo del cambio climático en unidades con un elevado grado de desagregación (a nivel de granja, por ejemplo) y tomar en consideración otras variables relevantes como la calidad de la tierra. Los resultados que se derivan de estos modelos dependen de que los datos disponibles sean representativos de las unidades geográficas consideradas y de la capacidad del análisis estadístico para aislar efectos proclives a confundirse.

A pesar de que ambos métodos se han utilizado por separado en la mayoría de los trabajos que se reseñan en esta sección; también, es posible considerarlos complementarios. En el presente estudio, utilizaremos tanto el enfoque estructural como el espacial a fin de obtener resultados robustos metodológicamente. A continuación se describen ambos enfoques y algunos de los trabajos que se han inscrito en cada uno de ellos.

a) Enfoque estructural

Este enfoque utiliza modelos interdisciplinarios para simular cambios en cultivos específicos. Se parte de estimar la respuesta de los cultivos ante escenarios climáticos, comúnmente ante variaciones en la temperatura y la precipitación. Una vez obtenidas las contestaciones estimadas, éstas se incorporan en modelos económicos en los que se simulan cambios en la oferta de los cultivos y los precios del mercado. Un supuesto inherente a este enfoque metodológico consiste en que agricultores y consumidores

minimizan costos o maximizan su bienestar sujeto a las restricciones climáticas impuestas en el modelo. La utilización de esta herramienta metodológica tiene la ventaja que permite obtener información detallada de las respuestas físicas, biológicas y económicas, así como de los posibles ajustes. Una de sus desventajas es que para estudios agregados se requieren múltiples inferencias para grandes áreas y sistemas diversos de producción a partir de pocos lugares y cultivos (Schimmelpfennig y otros, 1996).

Entre los estudios pioneros de impacto que se registran en este enfoque se encuentran los trabajos de Warrick (1984) y Terjung y otros (1984), en los cuales no se controla por la adaptación humana. Posteriormente, otros trabajos comenzaron a incorporar como variable relevante la adaptación de los agricultores al cambio climático, así como los efectos de factores no climáticos y no locales (Smit y otros, 1996). Los análisis realizados a partir de estos ajustes se vieron beneficiados ya que la inclusión de variables adaptativas de los agricultores en el análisis reduce la posibilidad de: i) sobreestimar los aspectos negativos, y ii) subestimar los impactos benéficos del cambio climático.

Otros estudios posteriores incluyeron un mayor número de adaptaciones a nivel de granja, sustituciones en los insumos y productos, efectos en los precios de los productos, e impactos en el bienestar. Por ejemplo, Adams y otros, (1988) analizaron los efectos económicos del calentamiento global sobre la región oeste de Estados Unidos. Sus resultados muestran que el cambio climático causado por el incremento en los niveles de CO₂ tendrá el potencial para modificar la estructura de la agricultura estadounidense, trayendo consigo importantes pérdidas económicas, superiores entre dos y diez veces a cualquier otro problema ambiental.

Darwin y otros (1995) evaluaron los efectos del cambio climático global sobre la agricultura mundial con base en un modelo que considera interacciones entre el clima, el sector agrícola, los recursos de agua, la producción, el comercio y el consumo. Los autores encontraron que: (i) la producción mundial declinaría si el cambio climático es suficientemente severo y si se obstaculiza la expansión de la tierra de cultivo, y (ii) que las pérdidas no serían homogéneas entre regiones pues, mientras que en las regiones montañosas y del ártico se incrementaría la cantidad de tierra cultivable, en las regiones tropicales decrecería la productividad agrícola ante una reducción en la humedad del suelo.

b) Enfoque espacial

Los modelos que se inscriben dentro del enfoque espacial buscan estimar los efectos del cambio climático en la agricultura con base en las diferencias observadas en los valores de la tierra, la producción agrícola y otros costos climáticos relacionados entre regiones utilizando métodos estadísticos o de programación para analizar cambios en los patrones espaciales de la producción (Molua, y otros, 2007). Los análisis de este enfoque se basan en modelos Ricardianos, desarrollado entre otros por Mendelsohn, y otros (1994), modelos de Equilibrio General Computable (CGE, por sus siglas en inglés) y modelos de Sistemas de Información Geográfica (SIG), entre otros.

c) Enfoque Ricardiano

Este enfoque se basa en la teoría de que en mercados competitivos, el precio de la tierra representa el monto presente de los ingresos netos esperados derivado del uso eficiente de la tierra. A través de técnicas de regresión, se estiman los efectos de variaciones en el clima y factores económicos y no económicos sobre el valor de la tierra agrícola con información desagregada a cierto detalle.

Mendelsohn y otros (1994) analizan la influencia del clima en la renta neta (o valor) de la tierra agrícola utilizando información transversal a nivel de condado para Estados Unidos. Encuentran que mayores temperaturas en todas las estaciones del año, excepto otoño, reducen los valores promedio de las tierras. También muestran que existen diferencias con respecto a la estimación por los métodos tradicionales que se basan en la función de producción.

En Mendelsohn, Dinar y Sanghi (2001), se realiza una comparación entre la sensibilidad al cambio climático de Estados Unidos y de la India utilizando el enfoque Ricardiano. El análisis revela que el calentamiento global tendrá mayores efectos negativos para el país asiático, esto debido a un menor desarrollo de la India respecto de Estados Unidos. Así, el análisis sugiere que los productores agrícolas en países subdesarrollados son más sensibles a los cambios climáticos que los productores de países desarrollados.

Con datos a nivel municipal para Brasil y a nivel de condados para Estados Unidos, Mendelsohn y otros (2007) muestran para Estados Unidos, que un incremento del 10% en la temperatura llevaría a una pérdida del 0,2% en el ingreso por habitante rural. Mientras que para Brasil la pérdida sería del 5,5%. También encuentran que ante un incremento del 10% en la temperatura se reduciría en 13% el valor de la tierra en Estados Unidos y del 33% en Brasil. Como lo muestran los autores, el valor de la tierra y el ingreso neto agrícola son causantes directos de los niveles de ingreso por habitante rural y, por lo tanto, el cambio climático podría ser un determinante importante de los niveles de pobreza en los años futuros.

Con una muestra de dos mil granjas en siete países sudamericanos Mendelsohn y Seo (2007) encuentran evidencia empírica de que el valor de la tierra es sensible a cambios climáticos. Incrementos en temperatura tienen efectos negativos en el valor de la tierra, mientras que una mayor precipitación tiende a incrementar el flujo de ingresos futuros de los productores. Sus resultados muestran que, en un escenario climático bastante severo, el valor de la tierra se reducirá 30% para el 2100. En ese sentido, Seo y Mendelsohn (2008a) con una muestra mayor a dos mil observaciones de granjas en Sudamérica pronostican que los productores agrícolas de la zona perderán, en promedio, hasta 62% de su flujo futuro de ingresos. De acuerdo con sus resultados, los productores de temporal son más sensibles a cambios en temperatura que los productores de riego, mientras que estos últimos lo son a cambios en la precipitación. En un análisis similar, Seo y Mendelsohn (2008b) estiman que, en promedio, productores grandes y pequeños perderán hasta el 25% del valor de su flujo de ingresos para 2060. El porcentaje se incrementa hasta 50% en el escenario climático más severo correspondiente a 2100.

Para México Mendelsohn, Christensen y Arellano (2009), encuentran resultados bastante parecidos, pues las pérdidas estimadas para 2100 son del orden del 42% al 54%, dependiendo de la severidad del escenario climático utilizado. Los productores de riego se ven ligeramente más afectados que los productores de temporal, mientras que no existe distinción clara entre los efectos para pequeños y grandes productores, pues varía de acuerdo con el escenario climático que se utilice.

Algo en común, entre los estudios aplicados en países latinoamericanos, es que la magnitud de los impactos resulta distinta para los diferentes países/regiones al interior de los mismos. A pesar de los efectos negativos agregados, es posible que algunas regiones al interior de los países, como en el caso de México, resulten beneficiadas por el cambio climático. Se observa, también, que los efectos negativos tienden a ser más adversos conforme el análisis se centra en el ecuador, con potenciales beneficios en el sur del continente (De la Torre, Fajnzylber y Nash (2009).

Es importante mencionar que, estos resultados, coinciden con los obtenidos a través del uso de modelos agronómicos de impacto. En dichos modelos se evalúa el efecto que el cambio climático puede

tener en el rendimiento por hectárea de determinados cultivos. Cline (2007) hace una comparación de los resultados obtenidos usando ambos enfoques. Se observa que, en la gran mayoría de casos, el efecto del cambio climático es siempre negativo en los países incluidos en su estudio. Al combinar los resultados de ambos modelos, se tiene que la producción agrícola global caerá 16% para 2080. En concordancia con Mendelsohn, Dinar y Sanghi (2001), los mayores efectos recaerán en países en vías de desarrollo, con pérdidas de alrededor del 25%, mientras que para países industrializados la disminución estimada es de sólo el 6%. Las mermas son también mayores para países cercanos al ecuador y en latitudes bajas en donde las temperaturas tienden a ser más elevadas.

Independientemente del enfoque metodológico en el que se inscriban, los estudios realizados al nivel de un país/región individual brindan las primeras estimaciones de cómo el cambio climático podría afectar los mercados agrícolas y la utilización de insumos. Por lo general, los resultados muestran de pequeñas a modestas reducciones en la producción de cultivos pero ganancias netas en el bienestar del agricultor una vez que se hubo adaptado, así como mayores precios de los cultivos y efectos del CO₂ en el crecimiento de los mismos.

d) Modelos de Equilibrio General Computable (CGE)

Los CGE modelan la agricultura respecto a otros sectores económicos y permiten el movimiento de recursos entre sectores en respuesta a los incentivos económicos. Sin embargo, aunque los CGE tienen la ventaja de tomar los precios como endógenos y consideran vínculos intersectoriales, esto lo hacen a costa de agregaciones muy drásticas, en las que los diversos sectores espaciales o económicos están caracterizados por una empresa o granja representativa (Schlenker y otros, 2006).

Entre los estudios basados en CGE sobresale el de Rosenzweig y Parry (1994), quienes examinaron los efectos del cambio climático en la producción mundial de cereales y la distribución de dichos impactos entre los países desarrollados y en desarrollo para el año 2060. Estos autores reportaron una disminución en la producción mundial de granos que oscila entre el 1% y el 8%, y los precios se elevaron entre 24% y 145%. El incluir las adaptaciones de los agricultores a nivel de granja contribuyó a mitigar los impactos anteriores; así, los cambios en la producción mundial de cereales oscilaron entre -2,5% al 1%, mientras que los cambios en el precio mundial se ubicaron en -5% a 3,5%.

2. Estudios previos para Centroamérica y El Salvador

Centroamérica es una región en la que los efectos del clima se han manifestado a través de importantes desastres naturales que, para el sector agropecuario, se han traducido en pérdidas significativas. Al respecto, Harmeling (2007) muestra que los centroamericanos se encuentran entre los principales países con alto riesgo climático ya que constantemente reciben gran impacto por fenómenos climáticos, tanto en frecuencia como intensidad. Esto hace necesario conocer las posibles implicaciones que tendrá hacia el futuro el cambio climático sobre la agricultura, sector clave para las economías de la región.

Vega y Gámez (2003) a través de su estudio buscaron determinar las implicaciones económicas de los desastres por eventos hidrometeorológicos en la economía centroamericana, en específico la de Costa Rica. Analizan el período 1996 - 2001 y estiman una pérdida en cultivos promedio anual para dicho país de 1,07% del PIB agrícola.

Magrin y Gay (en Alfaro y Rivera, 2008), encuentran que para los países de Mesoamérica, si no se consideran los efectos del CO₂, las reducciones en el rendimiento de los granos podrían alcanzar 30%

para el 2080 en el escenario más cálido. Se espera que para esta región, el cambio climático ocasione la salinización y desertificación de las tierras agrícolas. Así, para el 2050, estos fenómenos afectarán el 50% de dichas tierras. Por otro lado, se proyecta que la demanda de agua para irrigación se incremente ante un clima más caliente y ocasione mayor competencia entre el uso doméstico y el agrícola.

a) El caso de El Salvador

El análisis de los efectos del cambio climático en la agricultura salvadoreña ha sido un tema relativamente poco explorado. Algunos de los estudios disponibles fueron realizados en el marco de la Primera Comunicación Nacional sobre Cambio Climático de El Salvador.

En este marco, los resultados de un estudio de Monterrosa de Tobar (1998) sobre las zonas costeras de El Salvador muestran que el cambio climático podría ocasionar pérdidas para la producción de los granos básicos en su conjunto de 10.9 millones de dólares en el año 2025 y de 24.9 millones de dólares en el 2100. Estas mermas se refieren únicamente a las relacionadas con las sequías que se prevé se presenten derivadas del aumento en la temperatura promedio y la disminución en los niveles de precipitación. Para las zonas costeras se calculan menguas mayores, éstas serán de 27.4 y 45.3 millones de dólares en el 2025 y 2100, respectivamente. Un último efecto que analiza el autor es el de la disminución de áreas de cultivo a causa de un incremento en el nivel del mar. En términos de área dañada para su uso potencial en el cultivo de granos básicos, el autor señala que el detrimento se ubica desde 48,3 km² en el escenario optimista hasta los 136.2 km² en el escenario pesimista extremo². El autor también estima que los individuos que se dedican a la cosecha de granos básicos y caña de azúcar perderían alrededor de 7 millones de dólares. Considerando los escenarios optimista y pesimista extremo en relación al incremento esperado en el nivel del mar, las pérdidas por salarios no pagados en el sector de acuerdo con sus resultados son: 1.9 y 40.9 millones de dólares, respectivamente.

En el estudio de Merino (1998) se evalúan los impactos del cambio climático en la seguridad alimentaria de El Salvador. En dicho estudio, el autor señala que entre los principales efectos del fenómeno ENSO (El Niño-Southern Oscillation) se encuentran modificaciones al régimen pluviométrico que se han visto reflejadas en un prolongamiento de la época seca. Bajo estas modificaciones al patrón de lluvias, los rendimientos de la producción de los principales granos al compararse con aquellos de temporadas normales presentan reducciones notables. Por ejemplo, en las sequías, la disminución promedio en el rendimiento del maíz blanco y el arroz es del 14% y 13%, respectivamente; mientras que, con lluvias anormales, el descenso promedio es del 23% y 25%, respectivamente. Estos dos granos básicos junto con el frijol constituyen la dieta básica de la población salvadoreña y su principal fuente de proteínas y calorías. Ello muestra la importancia de los impactos del cambio climático en la disponibilidad para la población de estos alimentos.

² El escenario optimista está representado por un incremento en el nivel del mar de 13 centímetros; mientras que, el escenario pesimista extremo por un incremento de 110 centímetros.

II. EL SECTOR AGROPECUARIO Y EL CAMBIO CLIMÁTICO

En este capítulo se describe la situación actual del sector agropecuario, se analiza la estructura productiva, se enuncian algunos de los posibles retos del mismo y se indican algunos de los costos económicos que han traído el cambio climático, así como algunas de las acciones tomadas por El Salvador.

1. La importancia del sector agropecuario

El sector agropecuario salvadoreño es muy importante en el desarrollo económico del país. En la presente década su contribución al PIB total ha sido siempre superior a 11%, alcanzando 13% en 2008. Considerando al PIB ampliado agroalimentario la proporción es cercana a 23% (véase el cuadro 1).

La importancia del sector agropecuario no solamente radica en el hecho de que contribuye en gran medida al crecimiento económico, sino que es un sector que absorbe y emplea una buena parte de mano de obra. Alrededor de 41% de la población salvadoreña habita en las zonas rurales del país, de ella alrededor de 40% se emplea en el sector agropecuario, con lo que este sector emplea a alrededor de 17% de la población ocupada en todo el país. Ello, no obstante, que el sector ha venido presentando una disminución en la proporción de trabajadores empleados (véase de nuevo el cuadro 1).

El medio rural, a través de la exportación de productos agropecuarios y agroindustriales, y de la recepción de remesas provenientes de ciudadanos que laboran en el exterior, aporta una fuente importante de generación de divisas en El Salvador. La captación de remesa en este país se ha acentuado notablemente en los últimos años y, en mayor medida, a finales de los años noventa. Éstas representan un soporte importante para el país, ya que contribuyen a suavizar el impacto de los choques externos e internos sobre el consumo en los hogares. De acuerdo con el Banco Central de Reserva de El Salvador es a partir de 1999 cuando de manera más pronunciada se intensifica la captación de remesas, las cuales pasaron de 3.017,2 millones de dólares en 2005 a 3.787,6 millones de dólares en 2008, esto representó 18% y 17% del PIB, de manera respectiva.

a) Estructura y dinámica productiva

Dentro del sector agropecuario, el sector más importante es el agrícola pues aporta cerca del 60% del valor agregado; le sigue el subsector pecuario cuyo aporte es de 29%, y finalmente se encuentran la silvicultura, y la pesca y caza, que participan con 6% y 3%, respectivamente (véase el cuadro 2).

En el subsector agrícola, los granos básicos (maíz, frijol, arroz y sorgo) y los cultivos no tradicionales³ han ganado importancia relativa en el valor agregado del sector agropecuario. Los primeros pasaron de 19% a 23% entre 2000 y 2008, mientras que los cultivos no tradicionales incrementaron su participación de 18% a 23% en los mismos años. Por el contrario, los cultivos de exportación, entre los que se incluye el café, la caña de azúcar y el algodón redujeron su aporte al valor agregado agropecuario total de 25% a 16% en el mismo período.

Del subsector pecuario, mientras la ganadería mantuvo su participación en el valor agregado agropecuario en 18% entre 2000 y 2008, la avicultura la disminuyó ligeramente de 13% a 12%.

³ Incluye panela, tabaco, semilla de algodón, henequén, kenaf, semilla de ajonjolí, bálsamo, copra, semilla de aceituno, frutas y verduras y servicios agrícolas.

CUADRO 1
EL SALVADOR: PRINCIPALES INDICADORES, 2000-2008

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008 ^a
	Tasas de crecimiento								
Indicadores sectoriales									
Producto interno bruto agropecuario (precios de 1991)	-3,1	-2,6	0,4	0,9	2,8	4,9	7,5	8,6	7,3
Producto interno bruto agropecuario por habitante (precios de 1991)	-4,0	-3,3	-0,2	0,3	2,2	4,3	7,1	8,1	6,8
	Porcentajes								
PIB agropecuario/PIB total	12,3	11,8	11,5	11,4	11,5	11,7	12,1	12,5	13,1
PIB ampliado agroalimentario/PIB total ^b	22,2	22,0	21,7	21,6	21,8	21,9	22,2	22,0	22,6
Exportaciones agroindustriales/exportaciones totales de bienes	7,0	7,2	8,4	8,4	8,9	11,8	15,7	16,2	16,9
Exportaciones agropecuarias/exportaciones totales de bienes	12,5	6,2	5,5	5,5	5,7	6,6	6,7	6,4	7,2
Importaciones agropecuarias/importaciones totales de bienes	6,4	6,7	6,9	6,7	8,5	9,0	8,6	8,9	7,8
Importaciones agroindustriales/importaciones totales de bienes	7,4	7,7	8,2	8,3	8,3	8,7	9,7	9,8	11,3
Gasto agropecuario/gasto gobierno central total	1,8	1,7	1,1	1,2	1,2	1,2	1,1	1,2	1,4
Crédito agropecuario/crédito total	6,8	6,8	3,3	3,6	3,1	3,3	3,6	3,2	4,2
	Porcentajes								
Indicadores sociales									
Población rural/población total	44,8	44,2	43,7	43,2	42,7	42,2	41,7	41,2	40,7
PEA rural/PEA total	39,9	39,4	38,9	38,4	38,0	37,5	37,1	36,7	36,2
PEA rural mujeres/PEA rural total	26,9	27,3	27,7	28,1	28,5	28,9	29,3	29,7	30,0
Población ocupada sector agropecuario/población ocupada total	21,6	21,8	19,7	18,2	19,1	20,0	18,9	16,5	...
Población ocupada sector rural/población ocupada total	38,4	37,2	38,7	36,4	36,1	36,3	45,9	32,1	...
Tasa de desempleo abierto	7,0	7,0	6,2	6,2	6,8	7,2	6,6	6,3	...
Tasa de desempleo abierto rural	7,5	7,0	6,3	8,2	7,2	7,1	8,0	7,4	...
Hogares rurales en situación de pobreza	53,3	51,6	49,4	46,2	43,6	42,4	35,8	43,8	...
Hogares rurales en situación de pobreza extrema	27,1	26,1	26,0	22,1	19,3	16,9	12,2	16,3	...
Índice de concentración de Gini rural	...	0,48	...	...	0,46	...	...	...	...
Analfabetismo nacional ^c	17,1	16,6	16,6	15,9	15,5	14,9	14,6	13,9	...
Analfabetismo rural ^c	28,3	26,5	26,8	25,7	24,7	23,1	23,0	22,4	...
Escolaridad promedio a nivel nacional (años)	5,4	5,4	5,5	5,6	5,6	5,7	5,8	5,9	...
Escolaridad promedio zonas rurales (años)	3,3	3,4	3,4	3,6	3,7	3,8	3,9	4,0	...
Gasto en educación en relación al PIB	...	...	...	...	...	...	2,8	2,8	...
	Tasas de crecimiento								
Indicadores macroeconómicos									
Producto interno bruto	2,2	1,7	2,3	2,3	1,9	3,1	4,2	4,7	2,5
Índice de precios al consumidor (promedio anual)	2,3	3,7	1,9	2,1	4,5	4,7	4,0	4,6	7,3
Rango de competitividad ^d	49	58	60	48	53	60	63	67	79

Fuente: Sobre la base de cifras oficiales del Ministerio de Trabajo y Previsión Social (MINTRAB), Banco Central de Reserva de El Salvador (BCR), Ministerio de Economía, (MINEC), Dirección General de Estadística y Censos (DIGESTYC), Encuestas de Hogares.

^a Cifras preliminares.

^b Incluye el PIB agropecuario primario y de la industria manufacturera las ramas a dos dígitos de: carne y sus productos, productos lácteos, productos elaborados de la pesca, productos de molinería y panadería, azúcar y otros productos alimenticios.

^c Tasa de analfabetismo por cada 100 personas de 10 años o más.

^d Lugar que ocupa a nivel mundial. En 2002 eran 80 países, en 2003, 102; en 2004, 104; en 2005, 117, en 2006, 125, en 2007, 121 y en 2008, 134.

CUADRO 2
EL SALVADOR: VALOR AGREGADO DE LA PRODUCCIÓN AGROPECUARIA A PRECIOS DE MERCADO
(En millones de colones constantes de 1990)

						Tasas de crecimiento				Estructura	
	2000	2005	2006 ^a	2007 ^a	2008 ^b	2006	2007	2008	2000-2008	2000	2008
Total agropecuario ^c	925	984	1,058	1,149	1,235	7,5	8,6	7,4	3,7	100,0	100,0
Agrícola	567	575	622	683	760	8,2	9,8	11,2	3,7	61,3	61,6
Granos básicos ^d	171	189	210	234	279	11,2	11,3	19,1	6,3	18,5	22,6
Cultivos de exportación	231	181	178	192	198	-1,8	7,6	3,2	-1,9	24,9	16,0
Café	174	125	125	137	142	-0,4	9,3	3,7	-2,6	18,8	11,5
Caña de azúcar	55	55	52	55	56	-4,4	4,9	2,4	0,2	6,0	4,5
Algodón	1	1	1	0	0	-25,3	-74,3	-76,4	-31,6	0,1	0,0
No tradicionales ^e	165	204	234	258	283	14,4	10,2	10,0	7,0	17,8	23,0
Pecuario	284	323	341	365	361	5,6	6,9	-0,8	3,1	30,7	29,3
Ganadería	164	176	190	205	220	8,0	7,7	7,2	3,7	17,8	17,8
Avicultura	120	147	151	160	142	2,7	5,8	-11,1	2,2	12,9	11,5
Silvicultura	52	57	59	62	71	4,5	5,5	13,4	3,8	5,7	5,7
Pesca y caza	22	30	36	39	42	20,2	8,6	8,5	8,6	2,4	3,4

Fuente: Banco Central de Reserva de El Salvador.

^a Cifras preliminares.

^b Cifras proyectadas.

^c Incluye los sectores agrícola, pecuario, silvícola y pesca.

^d Incluye maíz, frijol, arroz y sorgo.

^e Incluye panela, tabaco, semilla de algodón, henequén, kenaf, semilla de ajonjolí, bálsamo, copra, semilla de aceituno, frutas y verduras y servicios agrícolas.

CUADRO 3
EL SALVADOR: RENDIMIENTO DE LOS CULTIVOS PRINCIPALES, 2005-2008
(En miles de hectáreas)

	2005	2006	2007
Granos			
Arroz	7,29	7,49	7,54
Frijol	0,77	1,05	1,06
Maíz	2,97	3,12	3,26
Sorgo	1,6	1,86	1,94
Cultivos de exportación			
Banano	14,65	14,14	14,41
Café	0,55	0,56	0,58
Caña de azúcar	81,94	80,63	82,94
Cultivos no tradicionales			
Piña	17,25	14,6	16
Plátano	31,56	30,96	32
Semillas y oleaginosas			
Soya	2,45	2,27	2,27
Cultivos industriales			
Algodón	1,15		
Cacao	0,9	0,94	0,96
Tabaco	1,83	1,83	1,83

Fuente: CEPAL, Sistema de Información Agropecuaria (SIAGRO)

A pesar del dinamismo mostrado por algunos cultivos, la productividad de los mismos en general es baja y ha permanecido relativamente estancada en los últimos años, incluso en algunos productos se ha reducido. Ello se observa en los rendimientos obtenidos por hectárea.

De los granos básicos más importantes, sobresale el frijol cuyos rendimientos aumentaron 38%; no obstante, este avance que pudiera parecer muy significativo sólo representó un aumento de 0,3 toneladas por hectárea; en la misma cantidad incrementaron los otros tres granos básicos más importantes: arroz, maíz y sorgo (véase el cuadro 3).

Dentro de los cultivos de exportación, en el banano los rendimientos se redujeron ligeramente de 14,7 a 14,4 por hectárea entre 2005 y 2007, a la vez que el café no presentó avances y la caña de azúcar sólo aumentó una tonelada por hectárea.

En el resto de los cultivos más importantes en cada uno de los grupos restantes: cultivos no tradicionales, semillas y oleaginosas, y cultivos industriales, sólo la piña redujo sus rendimientos en más de una tonelada por hectárea, mientras los demás permanecieron prácticamente estancados en sus mismos niveles de 2005.

b) Inserción comercial y competitividad internacional

El Salvador fue el primer país de Centroamérica en ratificar el CAFTA en el año de 2004. Con este Tratado el sector agropecuario de El Salvador podría aprovechar algunas de sus ventajas, ya que ciertos productos que pagaban un impuesto arancelario dejarán de hacerlo. Además, se ha conseguido una mejoría en cuanto a la protección de la producción de café, un libre acceso a los mercados étnicos y, en general, comienzan a generarse incipientes cadenas productivas aprovechables en las pequeñas y medianas empresas (MINEC, 2008).

El café es uno de los principales productos tradicionales agrícolas que exporta El Salvador y es en uno de los cuales se sustenta su competitividad. Su participación es superior al 75% del total de exportaciones tradicionales. Este producto mostró un crecimiento importante en 2008 de 38,2% en relación al año anterior. Otro producto de exportación tradicional es el azúcar, el cual tiene una participación superior al 20% en el período de análisis y su crecimiento alcanzó 5,2% en 2008. Dentro de las principales exportaciones no tradicionales destaca la producción de melaza de caña con una participación promedio cercana al 1% (véase el cuadro 4).

En general, las exportaciones totales en 2008 alcanzaron una cifra de US\$ 4.549 millones, reportando un crecimiento de 14,2% con respecto al año anterior. Lo más destacable en ese mismo año fue el crecimiento de las exportaciones no tradicionales que generaron 334,7 millones de dólares en divisas, con un aumento de 28,9%.

No obstante lo anterior y que algunos productos han mostrado gran dinamismo en años recientes, en general la competitividad internacional de El Salvador ha tendido a caer desde 2003. En 2008, de 134 países, El Salvador ocupó el lugar 79 en competitividad, lo cual contrasta con 2003 cuando ocupó el lugar 48 de 102 países (véase de nuevo el cuadro 1).

CUADRO 4
EL SALVADOR: EXPORTACIONES DE BIENES FOB, 2005-2008

	Millones de dólares				Composición porcentual				Tasas de crecimiento			
	2005	2006	2007	2008 a	2005	2006	2007	2008 a	2005	2006	2007	2008 a
Total	3,418,20	3,705,60	3,984,00	4,549,10	100,0	100,0	100,0	100,0	3,4	8,4	7,5	14,2
Centroamérica	1,163,90	1,186,80	1,342,60	1,627,90	34,1	32,0	33,7	35,8	41,7	2	13,1	21,3
Panamá	52	63,6	90,6	122,8	1,5	1,7	2,3	2,7	12,6	22,5	42,4	35,6
Resto del mundo	2,202,30	2,455,10	2,550,90	2,798,30	64,4	66,3	64,0	61,5	-9,6	11,5	3,9	9,7
Exportaciones tradicionales	233	262,7	259,8	334,7	100,0	100,0	100,0	100,0	40,6	12,7	-1,1	28,9
Café	163,6	188,7	187,2	258,7	70,2	71,8	72,1	77,3	32,6	15,3	-0,8	38,2
Azúcar	66,6	71,7	71,8	75,5	28,6	27,3	27,6	22,6	78,7	7,7	0,2	5,2
Camarón	2,9	2,4	0,8	0,5	1,2	0,9	0,3	0,1	-43,2	-17,3	-68	-31,5
Exportaciones no tradicionales	1,363,90	1,667,50	1,920,50	2,286,00	100,0	100,0	100,0	100,0	12,2	22,3	15,2	19
Melaza de caña	9,3	10,4	15	10,7	0,7	0,6	0,8	0,5	30	11,6	45	-28,5

Fuente: CEPAL, sobre la base de cifras del Banco Central de Reserva de El Salvador.

^a Cifras preliminares.

A fin de presentar un análisis más desagregado de la competitividad internacional de los productos de El Salvador, se realizó una clasificación de algunos de ellos, a partir de su comportamiento relativo en los mercados mundiales en el período 2000-2007, con base en las cifras del Módulo para Analizar el Crecimiento del Comercio Internacional (MAGIC). Los resultados se presentan en el cuadro 5. Como ahí se observa, productos que han ganado participación en los mercados mundiales son los lácteos, la miel, las legumbres, las hortalizas y los cereales. Por el contrario, entre los productos que han permanecido estancados o que han perdido participación se encuentran la carne bovina, las plantas y flores y el café.

CUADRO 5
EL SALVADOR: COMPETITIVIDAD DE LAS EXPORTACIONES AGROALIMENTARIAS
A ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA, 2000 - 2007

Código	Producto	Tipología ^a
Agropecuarios		
1	Animales Vivos	Estrella menguante
2	Carne bovina fresca y refrigerada	Estrella menguante
3	Peces vivos	Retirada
4	Lácteos y miel	Estrella naciente
5	Demás productos de origen animal	Retirada
6	Plantas y flores	Retirada
7	Legumbres y hortalizas	Estrella naciente
8	Frutos comestibles	Estrella naciente
9	Café sin tostar, té, yerba mate y especias	Retirada
10	Cereales	Estrella naciente
12	Semillas y frutos oleaginosos	Oportunidad perdida
Agroindustriales		
11	Productos de la molinería	Estrella naciente
13	Gomas y resinas	Estrella menguante

(Continúa)

CUADRO 5 (continuación)

Código	Producto	Tipología ^a
14	Materias trenzables y demás productos	Estrella naciente
15	Grasas y aceites animales o vegetales	Oportunidad perdida
16	Preparaciones de carne	Estrella naciente
17	Azúcares y artículos de confitería	Estrella naciente
18	Cacao y sus preparaciones	Estrella naciente
19	Preparaciones a base de cereales	Estrella naciente
20	Preparación legumbres, hortalizas y frutas	Estrella naciente
21	Preparaciones alimenticias diversas	Oportunidad perdida
22	Bebidas, líquidos alcohólicos	Estrella naciente
23	Alimentos balanceados y residuos	No definido
24	Tabaco y sucedáneos del tabaco	No definido
44	Madera y manufacturas de madera	Retirada

Fuente: CEPAL, sobre la base de cifras del Módulo para Analizar el Crecimiento del Comercio Internacional MAGIC.

^a Estrellas nacientes: mercados dinámicos y los productos ganan participación. Estrellas menguantes: mercados dinámicos y los productos pierden participación. Oportunidades perdidas: mercados estancados y los productos ganan participación. Estrellas en retirada o retroceso: mercados estancados y los productos pierden participación. Los sectores dinámicos son los que aumentan su importancia relativa en los flujos comerciales entre un año base y un año final. Los sectores competitivos son los que aumentan su participación en el mercado, contribución o especialización entre un año base y un año final. Los sectores no competitivos son los que disminuyen su participación en el mercado, contribución o especialización entre un año base y un año final. Los sectores estacionarios o estancados son los que disminuyen su importancia relativa en los flujos comerciales entre un año base y un año final.

c) Algunos desafíos: capitalizar al medio rural y al sector agropecuario y, en particular, elevar el capital humano

Aunque entre 2006 y 2008 la proporción del gasto del gobierno ha aumentado año con año, logrando 1,4% en 2008, dicha cifra es inferior a lo que se alcanzó en 2000 y 2001, cuando se destinaba al menos 1,7% (véase de nuevo el cuadro 1).

De igual forma aunque la proporción del crédito total destinada al sector agropecuario ha tenido un ligero avance en los últimos años al pasar de 3,1% en 2004 a 4,2% en 2008, esta cifra está muy por debajo del nivel cercano al 7% que se tenía en 2000 o 2001.

Por otra parte, el capital humano en el país está poco desarrollado. De acuerdo con las cifras de 2007 alrededor de 44% de los hogares del medio rural se encuentran en condición de pobreza, mientras que 16% padece de pobreza extrema.

El gasto en educación del gobierno salvadoreño para los años de 2006 y 2007 representó sólo 2,8% del PIB nacional, esta cifra ha sido insuficiente para los elevados índices de analfabetismo nacional y rural que aún persisten en el país. El nivel de escolaridad en las zonas rurales, es de alrededor de cuatro años en promedio, cifra ligeramente inferior al promedio de escolaridad en las zonas urbanas. Además, 22 de cada 100 habitantes del medio rural de 10 años o más son analfabetas (véase de nuevo el cuadro 1).

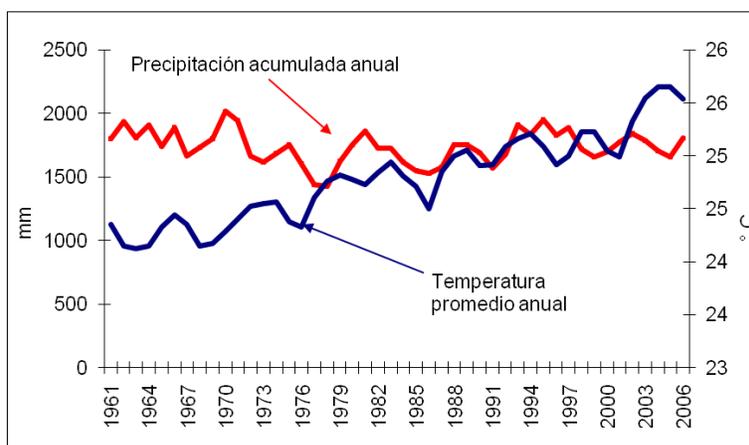
A pesar de la importancia del medio rural en el crecimiento económico, tal y como se ha podido constatar, los recursos dirigidos al campo han resultado insuficientes; ello ha dado lugar a una cierta

descapitalización al no haberse avanzado tanto en el capital físico como en el humano. Así, El Salvador tiene el reto de apoyar mediante políticas económicas prácticas y efectivas al medio rural. La amplitud de canales de transmisión, tales como la introducción de mejores cultivos, mejorar las prácticas agrícolas y la introducción de nuevas tecnologías que contribuyan a mejorar la productividad, podrían afectar positivamente el nivel de bienestar de la población en el medio rural.

2. El Salvador ante el cambio climático

En El Salvador, durante los últimos años la temperatura ha tendido a incrementarse y la precipitación a reducirse (véase el gráfico 1), además ha visto intensificarse los fenómenos climatológicos extremos sobre su territorio, lo que ha generado grandes deterioros económicos. El huracán Mitch, ocurrido en 1998, trajo pérdidas de alrededor de 388 millones de dólares, de las cuales cerca de 40% fueron absorbidas por el sector agropecuario. Por su parte, la tormenta Stan trajo consigo, daños para la economía salvadoreña superiores a 355 millones de dólares (véase el cuadro 6).

GRÁFICO 1
EL SALVADOR: EVOLUCIÓN DE LA PRECIPITACIÓN Y LA TEMPERATURA, 1961-2006
Promedio móvil de 3 años



Fuente: Estimaciones del Grupo de Cambio Climático y Radiación Solar del Centro de Ciencias de la Atmósfera de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)

En agosto de 1995 El Salvador firmó la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (*United Nations Framework Convention on Climate Change*, UNFCCC) y, con ello, se comprometió a elaborar, actualizar periódicamente, publicar y facilitar informes (denominados *Comunicación Nacional*) en los que se presente su inventario de gases de efecto invernadero (GEI). Lo anterior con el objetivo de lograr la estabilización de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropógenas peligrosas en el sistema climático.

Hasta el momento, El Salvador sólo ha publicado su Primera Comunicación Nacional. En dicho documento, se presenta el inventario de GEI elaborado a partir de información base del año 1994 y la población para ese año (véase el cuadro 7). Del inventario de emisiones de GEI, es posible observar que el dióxido de carbono (CO₂) es el de mayor nivel entre los tres gases considerados y que el sector energético y el cambio en el uso del suelo son los principales sectores que contribuyen a ello (MARN,

2000). Al considerar la emisión de CO₂ por habitante, en 1994 cada salvadoreño contribuyó con 1,6 toneladas, cifra que está muy por debajo del promedio de 9,46 toneladas de CO₂ por habitante obtenidas para un grupo de 36 países industrializados. Lo anterior es una muestra de que la contribución de El Salvador a la problemática global de emisiones de GEI es relativamente baja.

CUADRO 6
EL SALVADOR: DAÑOS Y PÉRDIDAS EN EL SECTOR AGROPECUARIO
POR LOS DESASTRES, 1982-2008
(En millones de dólares)

Año	Evento	Daños y pérdidas totales	Agropecuario			Porcentajes		
			Total	Daños ^a	Pérdidas ^b	Agropecuario/total	Daños/agropecuario	Pérdidas/agropecuario
1982	Terremoto	128,5	87,5	74,4	13,1	68,1	85	15
1998	Mitch	388,1	158,3	111,7	46,6	40,8	70,6	29,4
2001	Sequía	31,4	25,5	-	25,5	81,2	-	100
2005	Tormenta Stan	355,6	48,7	21,6	27,1	13,7	44,4	55,6

Fuente: CEPAL, sobre la base de cifras oficiales de la Base de Datos de la Unidad de Desastres.

^a Se refiere a la destrucción total o parcial del acervo o capital.

^b Se refiere a las pérdidas o alteraciones en los flujos.

No obstante lo anterior, los impactos previstos del cambio climático en ciertas variables relevantes son de consideración. Entre las razones que contribuyen a explicar la mayor vulnerabilidad de El Salvador en relación a otros países del continente están las relativas a su ubicación geográfica, principalmente. A este respecto, está ubicado dentro del cinturón tropical entre los trópicos de Cáncer y el de Capricornio, en la vertiente pacífica centroamericana. Como ya se señaló, esta subregión de Centroamérica es sumamente vulnerable a los efectos del fenómeno del ENSO (Fournier y Di Stefano, 2004) y los países de la región centroamericana, en general, tienen los mayores índices de riesgo climático (Harmeling, 2007).

CUADRO 7
SÍNTESIS DE LAS EMISIONES DE GEI DE EL SALVADOR, 1994

	Emisiones CO ₂	Absorción CO ₂	Metano (CH ₄)	Óxido nitroso (N ₂ O)
Total nacional (Gg)	9 363,64	-718,70	148,50	13,21
1. Energía	4 224,18		18,09	0,52
2. Procesos industriales	490,12			
3. Agricultura			88,14	12,69
4. Cambio de uso del suelo y silvicultura	4 649,34	-718,70	0,52	3,6 x 10 ⁻³
5. Desechos			41,75	

Fuente: MARN (2000).

Nota: Gg = Gigagramos = 1,000 toneladas métricas.

III. METODOLOGÍAS

Dentro de los enfoques para analizar los efectos del cambio climático sobre la agricultura sobresalen dos: 1) el de la función de producción y 2) el modelo Ricardiano. Ambos tienen ventajas y limitaciones, y han sido ampliamente utilizados en diferentes trabajos previos, tal como se mostró en el capítulo I. Sin embargo, en la mayoría de estos trabajos se emplea uno u otro método, pero no los dos a la vez.

En esta investigación tratamos de aprovechar las ventajas de estas dos metodologías, por ello las utilizamos conjuntamente. La función de producción es más adecuada para analizar los efectos del cambio climático en cultivos o sectores de producción específicos, mientras que el modelo Ricardiano es más útil para conocer los impactos sobre el valor de la tierra.

En el cuadro 8 se describen las ventajas y limitaciones de estas dos herramientas. Como ahí se presenta, además de ser factible para analizar los efectos en cultivos específicos, el enfoque de la función de producción permite identificar los umbrales de temperatura y precipitación a partir de los cuales los efectos pueden ser benéficos o perjudiciales. Dentro de sus limitaciones están que puede sobrestimar los efectos negativos del clima y que no considera posibles adaptaciones al cambio climático.

El enfoque Ricardiano tiene, entre sus ventajas, que permite corregir los posibles sesgos de sobrestimación a través de la función de producción. Además, al medir directamente los precios agrícolas considera los impactos directos del clima en los diversos cultivos, así como la sustitución de diferentes insumos, la introducción de actividades y otras adaptaciones potenciales a climas distintos (Mendelsohn, Nordhaus y Shaw, 1994). También permite analizar cómo los agricultores tienen la posibilidad de responder a futuros cambios en el clima mediante la búsqueda de una mayor renta de la tierra (otros usos de la tierra). Entre sus desventajas se tiene que no permite conocer los efectos sobre cultivos específicos ni permite identificar umbrales a partir de los cuales el clima puede afectar positiva o negativamente.

Así, el enfoque de la función de producción permitirá estudiar los posibles efectos del cambio climático sobre la producción total del sector agropecuario y en sectores relevantes. También se empleará para analizar los efectos en la producción de cultivos importantes. Por su parte, el modelo Ricardiano se utilizará para tener aproximaciones del impacto del cambio climático sobre el valor de la tierra.

1. Enfoque de la función de producción

Una función de producción agrícola relaciona la producción (Q) con variables endógenas (W) como trabajo, capital y otros insumos; con variables exógenas (Z) que comprenden variables climáticas e irrigación y con las características de los agricultores (X) entre las que se incluyen variables de capital humano (Fleischer, Lichtman y Mendelsohn, 2007).

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

$$Q_i = f(W, Z, X) \quad (1)$$

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

La forma funcional que permite conocer los valores de la temperatura a la cual el clima o la precipitación pueden tener efectos adversos es la cuadrática, por ello es la más utilizada. En este estudio se hará uso de una forma funcional con esas características.

El método de estimación que se empleará será el de mínimos cuadrados ordinarios (MCO) y se analizarán efectos del cambio climático sobre algunos de los cultivos más relevantes del país y sobre sectores agregados. En el primer caso la variable de interés son los rendimientos por hectárea; en el segundo se emplean índices de producción.

El procedimiento para el análisis es el siguiente: a partir de la información pasada, se encuentra un modelo que sea robusto metodológicamente para explicar cómo las variables climáticas se relacionan con las variables de interés. Una vez hecho esto, la relación estimada, se utiliza para pronosticar cómo evolucionaría la producción en los siguientes años dados distintos escenarios climáticos.

CUADRO 8
VENTAJAS Y LIMITACIONES DE LA FUNCIÓN DE PRODUCCIÓN Y EL ENFOQUE RICARDIANO EN LOS ANÁLISIS DE LOS EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE LA AGRICULTURA

	Función de producción	Enfoque Ricardiano
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> • Permite analizar efectos sobre cultivos específicos. • Permite identificar los umbrales de temperatura y precipitación a partir de los cuales los efectos pueden ser benéficos o perjudiciales. 	<ul style="list-style-type: none"> • Considera los impactos directos del clima en los diferentes cultivos, así como la sustitución de diferentes insumos, la introducción de diferentes actividades y otras adaptaciones potenciales a climas distintos. • Los sesgos de estimación pueden ser menores que en las funciones de producción. • Permite analizar cómo los agricultores pueden responder a futuros cambios en el clima mediante la búsqueda de una mayor renta de la tierra.
Limitaciones	<ul style="list-style-type: none"> • Puede sobrestimar los efectos negativos del clima • No considera posibles adaptaciones como la sustitución de insumos, la introducción de diferentes actividades, cambios en precios y otras adaptaciones potenciales a climas distintos, entre otras. • Puede generar problemas de colinealidad en las estimaciones 	<ul style="list-style-type: none"> • No permite analizar efectos sobre cultivos específicos. • No permite identificar los umbrales de temperatura y precipitación a partir de los cuales los efectos pueden ser benéficos o perjudiciales. • No incluye medidas, por parte de los productores, respecto al costo de adaptación al cambio climático.

Fuente: Elaboración propia.

La producción que proyectan los modelos escogidos y los escenarios climáticos se compara con la producción que se obtendría en caso de que el clima no variara. Ello permite tener aproximaciones de cuáles serían los costos económicos una vez que se calcula el valor de la producción en los casos con y sin cambio climático.

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

2. Enfoque Ricardiano

El modelo Ricardiano debe su nombre a David Ricardo, quien notó que el valor de la tierra muestra su productividad neta por el ingreso neto de la tierra (π). Así, al analizar los efectos del clima sobre el valor de la tierra se pueden conocer los efectos sobre la productividad agrícola. Ello permite conocer las ganancias (o pérdidas agregadas) sin necesidad de hacer un análisis de cada cultivo o de cada sector.

En este modelo se asume que los productores agrícolas maximizan sus ingresos menos sus costos, esto es su ingreso neto (π). Los ingresos son función de la producción (Q_i) y de su precio (P_i). Los costos son función de los insumos (W) y de sus precios (P_w). En tanto que, la producción es función de W , Z y X (véase la ecuación 1). Formalmente se tiene:

$$\pi = \sum P_i Q_i(W, Z, X) - \sum P_w W \quad (2)$$

Los productores eligen las cantidades de W que permiten maximizar los ingresos en cada cultivo, dadas las variables climáticas (Z), las características de los agricultores (X), y el precio de mercado de los productos. La función óptima resultante es:

$$\pi^* = f(P_i, W, Z, P_w) \quad (3)$$

A partir de la especificación anterior se determina cómo cambios en variables exógenas contenidas en \mathbf{X} y \mathbf{Z} afectan la productividad neta de la tierra. El valor de la tierra (VT) es por tanto el valor presente del flujo de ingresos netos:

$$VT = \int_0^{\infty} \pi_i^* \cdot e^{-rt} dt \quad (4)$$

Donde r representa la tasa de interés del mercado.

En la estimación del modelo Ricardiano se puede emplear como variable dependiente el valor de la tierra o el ingreso neto anual. El valor de la tierra refleja la expectativa de ingresos en un horizonte de varios años, mientras el ingreso neto anual sólo ofrece un resultado que puede ser válido para un año, pero puede tener el problema de que si ese año es atípico los resultados serían sesgados, por ello el valor de la tierra se considera una mejor medida. No obstante, la utilización de una u otra variable depende en gran parte de la disponibilidad de datos.

La ecuación (4) se puede representar econométricamente de la siguiente forma (Seo y Mendelsohn, 2008a)

$$VT = \beta_0 + \beta_1 \cdot T + \beta_2 \cdot T^2 + \beta_3 \cdot P + \beta_4 \cdot P^2 + \beta_2 T \cdot P + \sum_j \lambda_j \cdot Z_j + e \quad (5)$$

Donde la variable dependiente es el valor de la tierra por hectárea, T y P representan temperatura y precipitación, respectivamente⁴. Z representa un conjunto de variables relevantes (socioeconómicas y características de suelos), β_k y λ_j son parámetros a ser estimados y e es el término de error.

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

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

$$\frac{\partial VT_i}{\partial T} = \beta_1 + 2 \cdot \beta_2 \cdot T + \beta_5 \cdot P \quad (6)$$

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

El cambio en el valor de la tierra como resultado del cambio de escenario climático C_0 a C_1 está dado por:

$$\Delta VT = VT(C_1) - VT(C_0) \quad (7)$$

Así, una vez estimada la relación funcional del valor de la tierra y las variables climáticas, basta evaluar la función Ricardiana en uno y otro escenario climático para obtener el monto monetario por el cual el valor de la tierra, o flujo neto de ingresos, será afectado. Si $\Delta VT < 0$, hay evidencias de efectos negativos del cambio climático en la rentabilidad agrícola.

Es importante señalar que el resultado de la ecuación (7) se basa en el supuesto de que el resto de las variables explicativas (por ejemplo, sociodemográficas) no cambian entre los escenarios C_0 y C_1 . Se asume, por ejemplo, que cualquier cambio en los niveles de educación entre $t = 0$ y $t = 1$ no tendrá efectos en la productividad de la tierra. Otra de las limitaciones es que no se incluyen, en el análisis, los cambios en los precios agrícolas. Tampoco se incluyen medidas, por parte de los productores, respecto al costo de adaptación al cambio climático.

⁴ En la práctica, es común hacer una distinción entre temperaturas y precipitaciones en diferentes estaciones del año.

IV. EL IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE EL SECTOR AGROPECUARIO

En este capítulo se analizan los efectos del cambio climático sobre la producción agropecuaria. El análisis se extiende hasta el año 2100. Se presentan estimaciones para la producción agropecuaria total y para los subsectores de producción pecuaria y cereales. Además se examinan por separado tres de los cultivos más importantes que produce El Salvador. En estos casos la metodología utilizada es la de las funciones de producción a partir de cifras anuales en el período 1961-2006⁵. También, con base en el enfoque Ricardiano, se presentan resultados de los efectos sobre los ingresos por renta de la propiedad de los agricultores.

Los datos meteorológicos (precipitación y temperatura) que se utilizan en el análisis fueron proporcionados por el Grupo de Cambio Climático y Radiación Solar del Centro de Ciencias de la Atmósfera de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

Es importante señalar que las estimaciones que aquí se presentan no pueden considerarse pronósticos de tipo puntual, ya que están basadas en escenarios probables, los cuales de modificarse pueden cambiar los resultados. No obstante, sí ofrecen una amplia perspectiva de cómo serán los efectos aproximados en caso de que los mecanismos para incentivar la producción no se mejoren.

En el caso de las funciones de producción se emplean formas funcionales cuadráticas en las variables climáticas, que son temperatura y precipitación. Lo cual permite, como se argumentó en el capítulo tercero, conocer los valores aproximados de tales variables a los que se pueden tener efectos adversos sobre la producción agrícola. Un punto a considerar es que cuando se emplean términos cuadráticos de las variables de clima tiende a presentarse un problema de multicolinealidad⁶ en las estimaciones por ser variables altamente relacionadas y por ello, en ocasiones la significancia estadística tiende a ser baja (Segerson y Dixon, 1998). No obstante, ello no implica que no exista relación entre el clima y la producción agropecuaria. A fin de descartar la presencia de regresiones espurias se realizan diferentes pruebas de cointegración⁷, con lo que se asegura que los parámetros que se estiman son adecuados para realizar análisis económico.

Para las estimaciones de las funciones de producción se partió de dos formas de especificar a las variables de control relevantes (Población económicamente activa (PEA) rural y población total): logarítmica y lineal; a partir de las cuáles se realizaron diferentes estimaciones y se escogieron las expresiones de temperatura y precipitación con las que las variables de interés tuvieran las mayores

⁵ En el caso de los índices de producción las cifras abarcan hasta 2005, por ser el último año para el que se tiene información disponible para todas las variables empleadas.

⁶ La multicolinealidad en los modelos econométricos es una situación en la que existe una fuerte correlación entre variables explicativas, lo cual incrementa las varianzas de los estimadores de los coeficientes estimados y con ello las pruebas de significancia estadística de los coeficientes pudieran no ser adecuadas.

⁷ La existencia de una relación de cointegración entre un conjunto de variables puede interpretarse como la existencia de una relación lineal de equilibrio entre ellas, dada por un vector de cointegración. Ello implica que existe una relación de largo plazo entre las variables consideradas.

correlaciones⁸. Después se eligieron aquellas formas funcionales que fueran robustas metodológicamente para estudiar los efectos del cambio climático⁹.

1. Impacto en las funciones de producción agropecuaria

En el presente apartado se examina el impacto de los cambios en la temperatura y la precipitación sobre el sector agropecuario en su conjunto. Las funciones de producción agropecuarias se construyeron a partir de la metodología de MCO utilizando datos anuales del período 1961-2005. Las estadísticas descriptivas de los datos se muestran en el cuadro 9. Esta metodología hace uso de los índices de producción agropecuaria tipo Laspeyres, construidos por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO)¹⁰. También se recurrió a variables de control, como PEA rural, PEA total y población. Estas variables provienen de la base FAOSTAT¹¹ y de CELADE.

a) Resultados

Se construyeron tres funciones de producción basadas en los índices de producción agropecuaria, producción de cereales y producción pecuaria. Las variables climáticas utilizadas en las especificaciones son: temperatura promedio anual, temperatura mínima anual, precipitación acumulada en los meses de mayo a octubre (que se considera como época de lluvia) y precipitación acumulada anual, con sus respectivos términos cuadráticos. Las variables de control incluidas son variables relacionadas con el trabajo: PEA rural, PEA total y población. Los índices se restringieron por la superficie cultivada, a efecto de controlar por la tierra, otra de las variables relevantes al estimar una función de producción.

i) Índices de producción agropecuaria. La producción agropecuaria depende de la precipitación y de la temperatura, variables que se han ido modificando a través de los años, la temperatura ha tendido a incrementar y la precipitación a reducirse (véase de nuevo el gráfico 1, en el capítulo II). Probablemente a futuro dichas variables seguirán mostrando tales tendencias.

El fin de este apartado es exponer la sensibilidad de la producción ante las variables climáticas. Como se mencionó, las ecuaciones de índices de producción agropecuaria fueron estimadas con distintas medidas de precipitación acumulada y temperatura. Para cada índice de producción la variable de interés es el índice de producción restringido por la superficie cultivada.

⁸ Para la precipitación se probaron: precipitación promedio anual; precipitación acumulada anual; precipitación en la estación del año lluviosa (comprende de mayo a octubre); precipitación en la estación de año seca (abarca de noviembre a abril). En el caso de la temperatura se emplearon: temperatura promedio anual, temperatura máxima, temperatura mínima, temperatura en la estación del año seca, temperatura en la estación de año lluviosa.

⁹ En muchos casos se encontraron diferentes especificaciones que fueron robustas metodológicamente. Ahí el criterio fue tomar aquella o aquellas especificaciones que presentaran los menores efectos, esto debido a que como se ha mencionado anteriormente, el método de las funciones de producción tiende a sobrestimar los efectos negativos.

¹⁰ Los índices FAO de producción agropecuaria muestran el nivel relativo del volumen global de producción agrícola cada año en comparación con el período de base 1999-2001. Están basados en la suma de las cantidades de los precios ponderados de los diferentes productos agrícolas producidos después de deducción de las cantidades utilizadas para semillas y alimentación de los animales, ponderadas del mismo modo. El agregado resultante representa, la producción disponible para cualquier utilización exceptuados semillas y alimentación de los animales. Todos los índices, son calculados por la fórmula Laspeyres. Las cantidades de producción de cada producto son ponderadas por la media de los precios internacionales de los productos para el período de base 1999-2001 y sumadas cada año.

¹¹ FAO, División de estadísticas.

CUADRO 9
EL SALVADOR: ESTADÍSTICAS DESCRIPTIVAS DE LOS MODELOS
DE ÍNDICES DE PRODUCCIÓN , 1961-2005 ^a

	Observaciones	Media	Desviación estándar	Valor mínimo	Valor máximo
Índice de producción agropecuaria ^b	45,00	85,53	12,77	56,00	103,00
Índice de producción de cereales ^c	45,00	81,93	22,91	34,00	125,00
Índice de producción pecuaria ^d	45,00	66,87	23,36	36,00	119,00
PEA rural (miles de habitantes)	45,00	786,16	140,14	527,81	1 077,93
PEA total (miles de habitantes)	45,00	1 659,60	554,83	866,70	2 875,61
Población (miles de habitantes)	45,00	4 732,76	993,01	2 866,98	6 049,41
Precipitación acumulada (mm)	45,00	1 731,43	240,34	1 273,65	2 232,79
Precipitación acumulada en los meses de mayo a octubre (mm)	45,00	1 606,46	241,96	1 162,12	2 087,67
Temperatura promedio anual (°C)	45,00	24,84	0,52	23,96	25,79
Temperatura mínima en el año (°C)	45,00	16,28	0,65	14,90	17,50
Temperatura máxima en el año (°C)	45,00	33,41	0,61	32,24	34,80

Fuente: Elaboración propia.

^a Se refiere a 45 observaciones anuales correspondientes al período 1961-2005.

^b Los productos incluidos en el cálculo de los índices de producción agropecuaria son todos los cultivos y productos de la ganadería producidos en cada país. Prácticamente todos los productos son cubiertos, a excepción de los cultivos forrajeros.

^c Los productos incluidos en el cálculo de los índices de producción de cereales se refieren solamente a los cosechados en grano seco. Los cereales cosechados para heno, o en verde para alimentos, forrajes o ensilaje, o que se utilizan para apacentamiento, están por consiguiente excluidos.

^d Los índices de producción pecuaria son calculados a partir de los datos de producción de animales domésticos, que tienen en cuenta el equivalente en carne de animales vivos exportado, pero excluye el equivalente en carne de animales vivos importado. Con vistas a los cálculos de índices, los cambios anuales de números de animales y de aves o de su peso medio en vivo no son tomados en consideración.

1) Producción agropecuaria. Las ecuaciones estimadas para la función de producción agropecuaria se muestran en el cuadro 10. Los signos de las variables son los esperados. Los términos lineales son positivos y los cuadráticos, que muestran los rendimientos decrecientes en temperatura y precipitación (véanse los gráficos 2 y 3), son negativos.

Los coeficientes relacionados con la temperatura no parecen ser significativos de forma individual; sin embargo, la prueba de significancia conjunta (que incluye las variables de temperatura y precipitación) indica que en su conjunto las variables son relevantes. Se estimaron varias especificaciones para mostrar la robustez de los resultados. De acuerdo con las diferentes pruebas estadísticas de cointegración se descarta la presencia de regresiones espurias, asimismo las estimaciones parecen robustas ante cambios en las variables climáticas y de control.

CUADRO 10
ÍNDICE DE PRODUCCIÓN AGROPECUARIA

Ecuaciones	Población total				PEA total	
	(1)	Lineal (2)	Logarítmico (3)	Lineal (4)	Logarítmico (5)	
Precipitación acumulada anual		0,00000011 (1,481)				
Precipitación acumulada anual ²		-0,00000000003 (1,562)				
Precipitación acumulada en los meses de mayo a octubre	0,00000010 (1,689)	*	0,00084220 (1,656)	0,00000015 (2,165)	**	0,00080490 (1,631)
Precipitación acumulada en los meses de mayo a octubre ²	-0,00000000003 (1,758)	*	-0,000000027 (1,730)	* -4,66E-11 (2,204)	**	-0,000000026 (1,694)*
Temperatura mínima				0,0001422 (1,264)		
Temperatura mínima				-0,00000428 (1,264)		
Temperatura promedio	0,00010870 (0,380)	0,00012750 (0,430)	1,22378600 (0,508)			1,09821800 (1,631)
Temperatura promedio ²	-0,00000205 (0,355)	-0,00000242 (0,405)	-0,02340970 (0,482)			-0,02090590 (0,429)
Observaciones	45	45	45	45		45
R ²	0,28	0,29	0,29	0,19		0,31
Pruebas de significancia conjunta de variables (Estadísticos F)						
Prueba de significancia conjunta de variables de precipitación	2,85	*	2,19	0,16	4,69	** 1,75
Prueba de significancia conjunta de variables de temperatura	3,78	**	4,04	** 3,68	** 1,73	3,7 **
Prueba de significancia conjunta de variables de precipitación y temperatura	3,49	**	3,08	** 2,60	* 1,89	2,57 **
Prueba de cointegración de Johansen						
Rezagos	3		3	3		3
Número de Vectores de cointegración por el estadístico de la traza	1	**	1	** 1	** 2	** 1 **
Número de Vectores de cointegración por el eigenvalor máximo	1	**	1	** 1	** 2	** 1 **

Fuente: Elaboración propia.

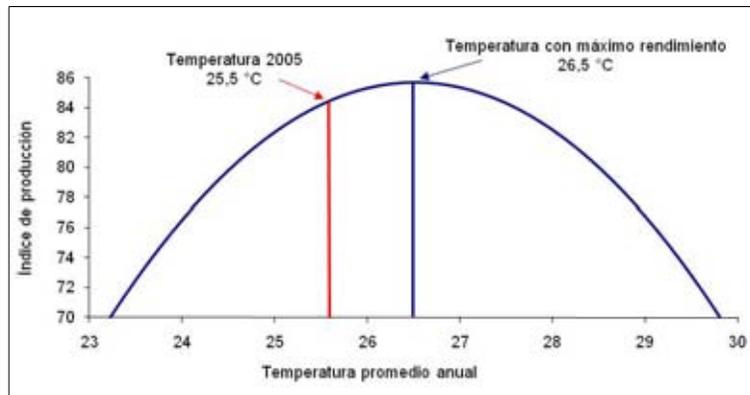
Notas: * significativo al 10%; ** significativo al 5%; *** significativo al 1%.

Todas las ecuaciones se estimaron con constante.

La prueba de cointegración se realizó con término constante en la ecuación de cointegración y en el modelo dinámico.

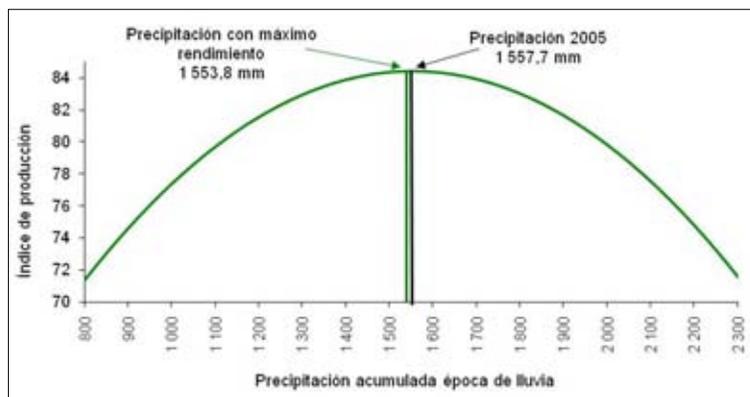
Como se ha comentado, debido a la inclusión de los términos cuadráticos puede existir colinealidad entre las variables y esto puede afectar la significancia estadística (Segerson y Dixon, 1998). Asimismo, debido a la colinealidad en las variables climáticas, los coeficientes deben interpretarse cuidadosamente y considerar que el resultado de un coeficiente no significativo a los niveles estándares de significancia no debe tomarse como evidencia de que esa variable es irrelevante para el modelo. No obstante, a pesar de la colinealidad es necesario incluir los términos cuadráticos para mostrar el efecto no lineal de las variables climáticas sobre la producción agropecuaria.

GRÁFICO 2
EL SALVADOR: PRODUCCIÓN AGROPECUARIA ANTE VARIACIONES EN LA TEMPERATURA



Fuente: Elaboración propia.

GRÁFICO 3
EL SALVADOR: PRODUCCIÓN AGROPECUARIA ANTE VARIACIONES EN LA PRECIPITACIÓN



Fuente: Elaboración propia.

De las funciones de producción agropecuarias estimadas se eligió, dada su robustez, la especificación lineal utilizando la tasa de crecimiento de la PEA rural, la temperatura máxima y precipitación acumulada en los meses de mayo a octubre (especificación (1) del cuadro 10) para proyectar el comportamiento de la producción agropecuaria ante variaciones en temperatura y precipitación, para lo cual se mantuvieron los demás términos constantes con los valores de 2005. En el gráfico 2 se presenta el impacto de variaciones en la temperatura sobre la producción agropecuaria, se observa que la temperatura promedio que se presentó en El Salvador en 2005 aún no ha alcanzado aquella que permite la máxima producción, pero estaría cerca de hacerlo; por lo que el cambio climático, en general, podría tener efectos positivos en el corto plazo pero a largo plazo dichos efectos se revertirían, como se verá en el capítulo siguiente.

El gráfico 3 presenta el impacto de variaciones en la precipitación sobre la producción agropecuaria. El gráfico indica que el nivel de precipitación que presentó El Salvador en el año 2005 se encuentra cercano al que maximiza la producción. Disminuciones o incrementos en la misma podrían ocasionar un nivel menor en la producción.

2) Producción de cereales. En el caso de la producción de cereales se estimaron diferentes especificaciones incluyendo precipitación acumulada, precipitación acumulada en los meses de mayo a octubre, temperatura promedio anual y temperatura mínima. Los resultados de las estimaciones se

presentan en el cuadro 11. Para mostrar la estabilidad de las estimaciones se utilizaron diferentes medidas de temperatura y precipitación, diferentes formas funcionales y diferentes variables de control. Asimismo, se descarta la presencia de regresiones espurias, como lo muestran las pruebas de cointegración.

CUADRO 11
ÍNDICE DE PRODUCCIÓN DE CEREALES

	PEA rural		Logarítmico (3')	Población total		PEA total	
	Lineal (1')	(2')		Lineal (4')	Logarítmico (5')		
Ecuaciones							
Precipitación acumulada anual		0,00000034 (1,905) *					
Precipitación acumulada anual ²		0,00000000 (1,807) *					
Precipitación acumulada en los meses de mayo a octubre	0,00000028 (1,872) *		0,00278560 (1,972) *	0,00000032 (1,944) *		0,00278530 (1,985) *	
Precipitación acumulada en los meses de mayo a octubre ²	0,000000000 1 (1,787) *		-0,0000008380 (1,902) *	-0,0000000001 (1,830) *		0,000000832 0 (1,902) *	
Temperatura mínima				0,00005020 (0,213)			
Temperatura mínima ²				-0,00000116 (0,160)			
Temperatura promedio	0,00033710 (0,505)	0,00045090 (0,662)	4,73951500 (0,740)			4,76704700 (0,749)	
Temperatura promedio ²	-0,00000637 (0,477)	-0,00000864 (0,633)	-0,09140790 (0,713)			-0,09204900 (0,723)	
Observaciones	45	45	45	45	45	45	
R ²	0,32	0,32	0,32	0,22	0,37		
Pruebas de significancia conjunta de variables (Estadísticos F)							
Prueba de significancia conjunta de variables de precipitación	3,5 *	3,63 *	2,18	3,78 *	2,33		
Prueba de significancia conjunta de variables de temperatura	4,61 **	5,02 **	4,55 **	3,28 **	4,52 **		
Prueba de significancia conjunta de variables de precipitación y temperatura	5,88 ***	5,39 ***	4,67 ***	3,72 **	4,61 **		
Prueba de cointegración de Johansen							
Rezagos	2	1	1	2	2		
Número de Vectores de cointegración por el estadístico de la traza	1 **	2 **	2 **	2 **	2 **		
Número de Vectores de cointegración por el eigenvalor máximo	1 **	0 **	0 **	2 **	2 **		

Fuente: Elaboración propia.

Notas: * significativo al 10%; ** significativo al 5%; *** significativo al 1%.

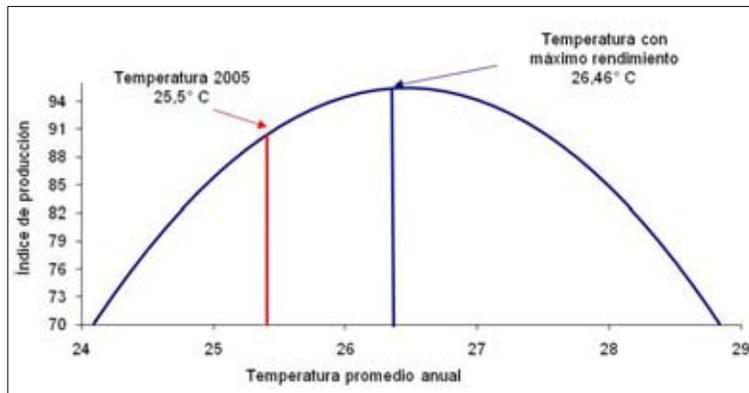
Todas las ecuaciones se estimaron con constante.

La prueba de cointegración se realizó con término constante en la ecuación de cointegración y en el modelo dinámico.

Las funciones de producción presentan rendimientos decrecientes; es decir, a bajos niveles de temperatura o precipitación se estimula la producción hasta llegar a su nivel óptimo, a partir del cual los

rendimientos disminuyen. En el caso de la producción de cereales para ser consistentes con los resultados de la producción agropecuaria también se eligió la especificación lineal (1') para analizar el comportamiento de la producción ante variaciones climáticas. Como se observa en el gráfico 4, la temperatura promedio de 2005 se encuentra por debajo del nivel de temperatura que maximiza la producción de cereales, por lo que es probable que el cambio climático también tenga efectos positivos en el corto plazo sobre la producción en general, los cuáles también se revertirían en el largo plazo.

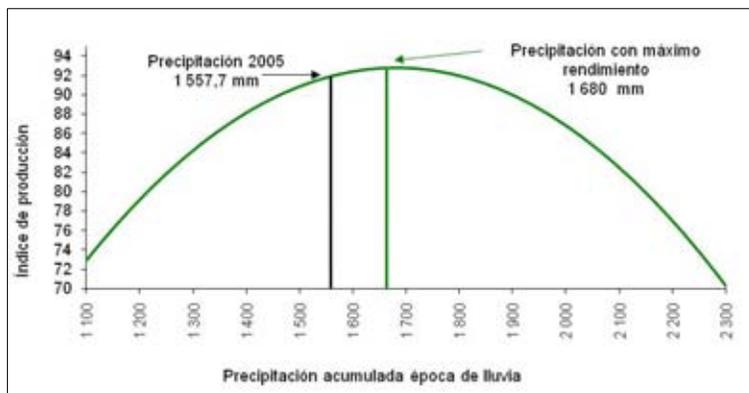
GRÁFICO 4
EL SALVADOR: PRODUCCIÓN DE CEREALES ANTE VARIACIONES EN LA TEMPERATURA



Fuente: Elaboración propia.

La precipitación de 2005 es ligeramente menor a la precipitación óptima que maximiza la producción de cereales. Ligeros incrementos en la precipitación provocarían una producción mayor; sin embargo, una vez sobrepasado el umbral, que indica el modelo, de 1.680 mm de precipitación en los meses de mayo a octubre se ocasionaría una disminución de la producción.

GRÁFICO 5
EL SALVADOR: PRODUCCIÓN DE CEREALES ANTE VARIACIONES EN LA PRECIPITACIÓN



Fuente: Elaboración propia.

3) Producción pecuaria. Con el fin de evaluar los efectos del cambio climático sobre la producción pecuaria, se realizaron diferentes estimaciones sobre dicha función. Los resultados de las regresiones realizadas se presentan en el cuadro 12. Al igual que en los casos anteriores se estimaron varias ecuaciones con diferentes variables explicativas y de control. La función de producción pecuaria se estimó utilizando temperatura promedio y temperatura mínima. En los casos donde se incluyó la temperatura promedio los coeficientes relacionados con la temperatura presentan signos no esperados. Sólo en donde se

incluye la temperatura mínima los signos son los esperados; sin embargo, no son significativos de forma individual. No obstante, como indican las pruebas de significancia conjunta, tanto la temperatura como la precipitación son variables relevantes, que tienen efectos en la producción pecuaria.

CUADRO 12
ÍNDICE DE PRODUCCIÓN PECUARIA

Ecuaciones	PEA rural			Población total	PEA total	
	(1')	Lineal (2')	Logarítmico (3')	Lineal (4')	Logarítmico (5')	
Precipitación acumulada anual					0,00537280 (2,335) **	
Precipitación acumulada anual ²					- (2,335) **	
Precipitación acumulada en los meses de mayo a octubre	0,00000031 (2,019) *	0,00000053 (2,745) ***	0,00311290 (2,019) *	0,00000051 (2,660) **		
Precipitación acumulada en los meses de mayo a octubre ²	- 0,0000000001 (2,029) **	- 0,0000000002 (2,747) ***	- 0,0000009670 (2,031) **	- 0,0000000002 (2,656) **		
Temperatura mínima		0,00030560 (1,002)		0,00028920 (0,931)	3,20155400 (1,083)	
Temperatura mínima ²		-0,00000881 (0,934)		-0,00000829 (0,863)	- 0,09232160 (1,010)	
Temperatura promedio	-0,00056930 (0,643)		-1,81578100 (0,211)			
Temperatura promedio ²	0,00001210 (0,675)		0,04297120 (0,248)			
Observaciones	45	45	45	45	45	
R ²	0,44	0,32	0,44	0,30	0,33	
Pruebas de significancia conjunta de variables (Estadísticos F)						
Prueba de significancia conjunta de variables de precipitación	4,08 **	7,53 ***	2,07	7,07 *	2,73*	
Prueba de significancia conjunta de variables de temperatura	4,08 ***	7,38 ***	9,36 ***	7,08 ***	8,62 ***	
Prueba de significancia conjunta de variables de precipitación y temperatura	4,08 ***	5,21 ***	6,75 ***	4,94 ***	4,65 ***	
Prueba de cointegración de Johansen						
Rezagos	2	2	2	2	2	
Número de vectores de cointegración por el estadístico de la traza	3 **	3 **	3 **	2 **	2 **	
Número de vectores de cointegración por el eigenvalor máximo	3 **	1 **	3 **	2 **	1 **	

Fuente: Elaboración propia.

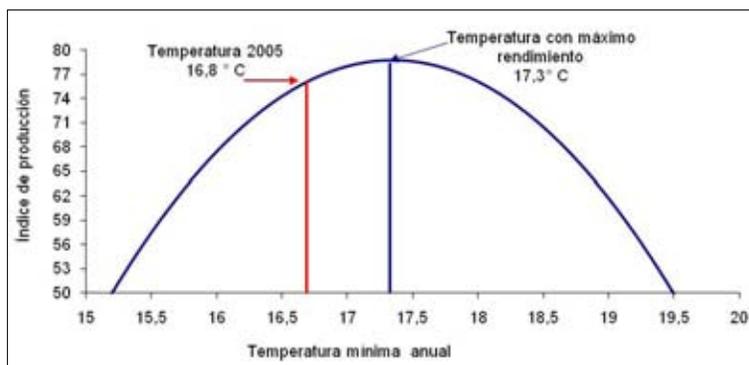
Notas: * significativo al 10%; ** significativo al 5%; *** significativo al 1%.

Todas las ecuaciones se estimaron con constante. La prueba de cointegración se realizó con término constante en la ecuación de cointegración y en el modelo dinámico.

En el caso de la producción agropecuaria y de cereales se eligió la especificación lineal (1 y 1') para mostrar el comportamiento de la producción ante variaciones en las variables climáticas. En el caso de la producción pecuaria esta especificación no presenta los signos esperados, por lo que se empleó la especificación 2'' que utiliza temperatura mínima, para analizar el comportamiento de la producción a diferentes valores de temperatura y precipitación. Se observa que la temperatura mínima de 2005 es

ligeramente menor a aquélla que se presenta cuando la producción alcanza su nivel máximo, por lo que es probable que esté por alcanzarse el nivel al cual los efectos del clima son adversos (véase el gráfico 6).

GRÁFICO 6
EL SALVADOR: PRODUCCIÓN PECUARIA ANTE VARIACIONES EN LA TEMPERATURA

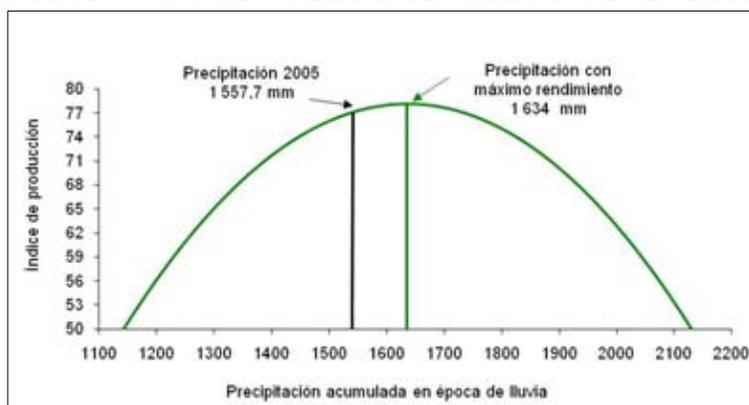


Fuente: Elaboración propia.

La precipitación de 2005 es ligeramente menor a la precipitación óptima que maximiza la función de producción pecuaria, por lo que un incremento en la precipitación provocaría una producción mayor; sin embargo, una vez sobrepasado el umbral de alrededor de 1.600 mm de precipitación en los meses de mayo a octubre se ocasionaría una disminución de la producción, de la misma forma una disminución en la precipitación ocasionaría decrementos en la producción (véase el gráfico 7).

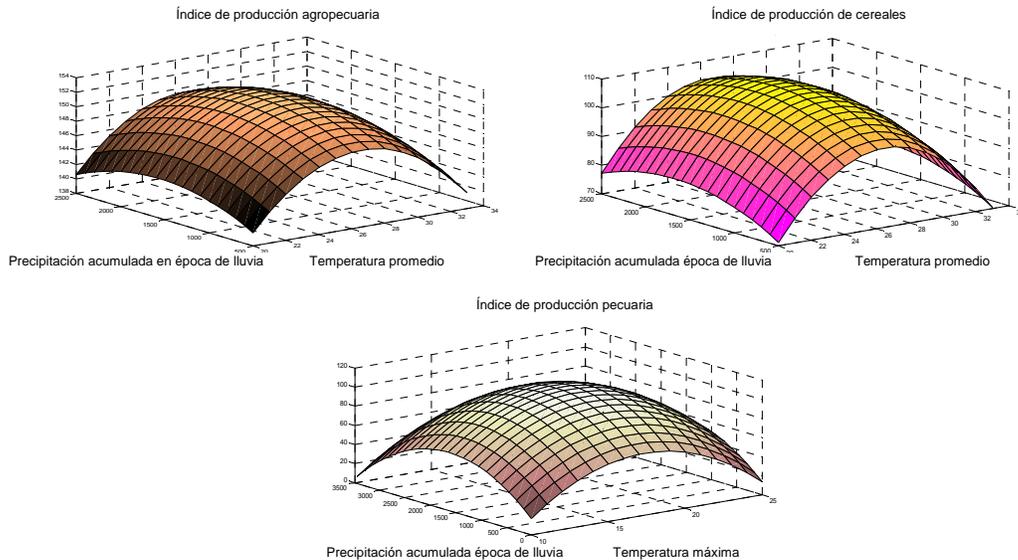
En el caso de la producción agropecuaria fue posible graficar las funciones de producción que presentan un comportamiento cóncavo, mostrando cómo la producción tiende a incrementarse hasta un cierto nivel, a partir del cual existen rendimientos decrecientes (véase el gráfico 8). La temperatura promedio que optimiza la producción agropecuaria está alrededor de 26°C. Temperaturas mayores a este nivel ocasionarían decrementos en la producción. Igualmente, la precipitación acumulada en los meses de mayo a octubre que optimizan la producción es de alrededor de 1.600 mm. Niveles mayores o menores a este nivel originarían una producción menor a la óptima. Cabe aclarar que estos cálculos se realizan manteniendo las variables de control constantes. De la misma forma, no se considera la posibilidad de cambios tecnológicos o medidas de adaptación de los agricultores ante el cambio climático.

GRÁFICO 7
EL SALVADOR: PRODUCCIÓN PECUARIA ANTE VARIACIONES EN LA PRECIPITACIÓN



Fuente: Elaboración propia.

GRÁFICO 8 IMPACTOS DE CAMBIOS EN PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURA SOBRE LA PRODUCCIÓN AGROPECUARIA



Fuente: Elaboración propia.

2. Impacto sobre la producción de maíz, frijol y café

Como se analizó en el capítulo II el maíz, el frijol y el café son productos muy importantes en la economía salvadoreña. Analizar la evolución de su producción en los siguientes años a partir del cambio climático puede permitir *conocer cómo se verá afectado el sector agropecuario en su conjunto*.

Las estimaciones de esta sección, al igual que en la anterior, se realizaron con el Método de Mínimos Cuadrados Ordinario (MCO), teniendo como soporte teórico una función de producción.

Para los tres cultivos que se examinan la variable de interés son los rendimientos, medidos en toneladas producidas por hectárea. También se sigue un procedimiento similar que en el apartado anterior. A partir de la información histórica, en este caso del período 1961-2006, se encuentra un modelo que sea robusto metodológicamente para explicar cómo las variables climáticas se relacionan con los rendimientos. Una vez hecho esto, la relación estimada, se utiliza para pronosticar cómo evolucionaría la productividad en los siguientes años dados distintos escenarios climáticos, punto que se presenta en el capítulo siguiente.

Para estimar las relaciones entre los rendimientos de los cultivos se emplearon como variables climáticas la temperatura promedio anual, la temperatura en época lluviosa (mayo a octubre), la precipitación promedio anual, la precipitación en la estación del año seca (noviembre a abril), y los términos cuadráticos de cada una de ellas. A diferencia de las estimaciones para los índices de producción, en este caso no es necesario controlar por la variable tierra puesto que los rendimientos están expresados en toneladas por hectárea. No obstante, sí se incluyen variables de control relacionadas con el trabajo; entre ellas, la población nacional y la PEA rural. Además, en algunos casos se controló por la superficie provista para riego cuando esta variable fue relevante. Las estadísticas descriptivas se presentan en el cuadro 13.

CUADRO 13
EL SALVADOR: ESTADÍSTICAS DESCRIPTIVAS DE LOS MODELOS
DE RENDIMIENTOS, 1961-2005 ^A

	Observaciones	Media	Desviación estándar	Valor mínimo	Valor máximo
Rendimientos del maíz ^b	46,00	1,85	0,52	0,93	3,12
Rendimientos del frijol ^b	46,00	0,77	0,12	0,54	1,05
Rendimientos del café ^b	46,00	0,89	0,17	0,51	1,26
Precipitación promedio anual	46,00	144,84	20,16	106,14	186,07
Precipitación promedio anual en los meses de noviembre a abril	46,00	20,80	7,35	7,71	45,69
Temperatura promedio anual (°C)	46,00	24,81	0,49	23,87	25,72
Temperatura promedio en los meses de mayo a octubre (°C)	46,00	24,97	0,51	24,15	26,00
Población económicamente activa rural (miles de habitantes)	46,00	792,89	145,88	527,81	1 095,39
Población (miles de habitantes)	46,00	4747,65	1216,80	2658,00	6 991,00
Superficie provista para riego (miles de hectáreas)	46,00	34,83	9,82	18,00	45,00

Fuente: Elaboración propia.

^a Se refiere a 46 observaciones anuales correspondientes al período 1961-2006.

^b Toneladas por hectárea.

Un elemento importante para considerar es la adaptabilidad de los agricultores ante el cambio climático; sin embargo, no fue posible conseguir información de variables en ese sentido. Como se mencionó en la revisión de literatura de este documento, es probable que cuando no se controla por la adaptación de los agricultores se puede producir cierta sobre estimación de los efectos del cambio climático.

a) El caso del maíz

En el cuadro 14 se presentan los resultados para la estimación de los rendimientos del maíz a partir de cuatro especificaciones que consideran a la PEA rural y a la población total de forma lineal y logarítmica. Las variables climáticas más adecuadas fueron la precipitación promedio anual y la temperatura promedio anual en época de lluvia. Como se aprecia en el cuadro, en general todas las estimaciones muestran los signos correctos. Aunque individualmente no en todos los casos la temperatura y la precipitación parecen ser significativas, de forma conjunta siempre aparecen como variables relevantes. Ambas variables parecen mostrar un comportamiento cóncavo respecto a los rendimientos del maíz, ello implica que a niveles relativamente bajos tienden a estimular la producción hasta un punto a partir del cual la desincentivan. Las pruebas de cointegración permiten descartar la posibilidad de regresiones espurias.

CUADRO 14
EL SALVADOR: ESTIMACIÓN PARA LOS RENDIMIENTOS POR HECTÁREA DEL MAÍZ

Ecuaciones	PEA rural		Población total	
	Lineal (1)	Logarítmico (2)	Lineal (3)	Logarítmico (4)
Variables				
Precipitación promedio anual	0,0363 (1,61)	0,0416 (1,75) *	0,0251 (0,96)	0,0322 (1,18)
Precipitación promedio anual ²	-0,0001 (1,45)	-0,0001 (1,58)	-0,00007 (0,86)	-0,0001 (1,05)
Temperatura promedio anual en época de lluvia	7,387 (1,17)	1,8182 (0,27)	2,3038 (0,32)	-4,25 (0,27)
Temperatura promedio anual en época de lluvia ²	-0,153 (1,22)	-0,041 (0,31)	-0,053 (0,37)	0,0795 (0,23)
R ²	0,8993	0,888	0,8695	0,8546
Pruebas de significancia conjunta de variables (Estadístico F)				
Prueba de significancia conjunta de variables de precipitación	3,98 **	4,98 **	1,7	2,78 *
Prueba de significancia conjunta de variables de temperatura	4,6 **	2,88 *	3,93 **	2,48 *
Prueba de significancia conjunta de variables de precipitación y temperatura	4,83 ***	4,42 **	3,45 **	3,2 **
Prueba de significancia conjunta de todo el modelo	24,56 ***	21,8 ***	18,32 ***	16,16 ***
Prueba de cointegración de Johansen				
Número de Vectores de cointegración por el estadístico de la traza	1 **	1 **	1 **	1 **
Número de Vectores de cointegración por el eigenvalor máximo	1 **	1 **	1 **	1 **

Fuente: Elaboración propia.

Notas:

Valores absolutos del t-estadístico entre paréntesis.

* Significativo al 10%; ** significativo al 5%; *** significativo al 1%.

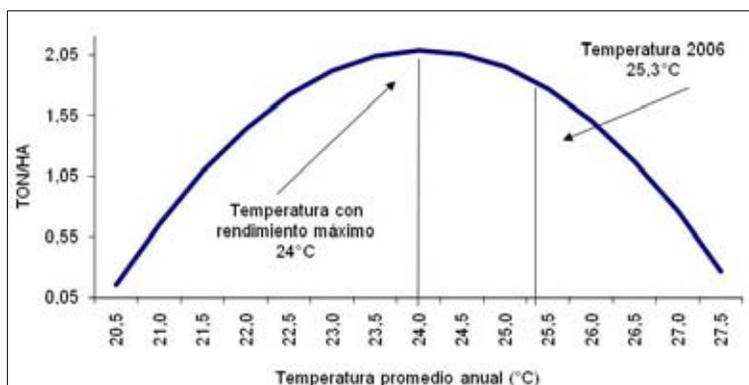
Todos los modelos se estimaron con constante y con variables *dummy* que capturan efectos de desastres naturales.

La prueba de cointegración se realizó con término constante en la ecuación de cointegración y en el modelo dinámico.

La especificación utilizada, debido a su mayor robustez, para analizar los efectos del clima sobre la producción del maíz, fue la que considera a la PEA rural de forma lineal, es decir la 1. A partir de dicha especificación se hicieron proyecciones con variaciones en la temperatura y la precipitación manteniendo los demás términos constantes con los valores de 2006. Los resultados para la temperatura se presentan en el gráfico 9, en el cual se observa que es probable que ya se haya rebasado el nivel de temperatura que permite alcanzar los mayores rendimientos del maíz, por lo que el cambio climático ya podría estar teniendo efectos negativos sobre este producto.

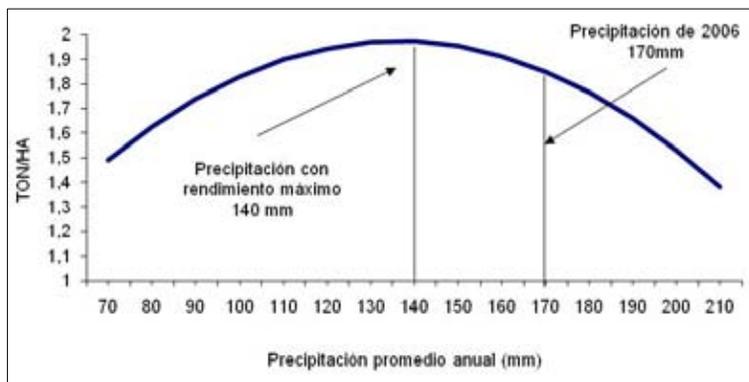
En el caso de la precipitación, las proyecciones presentadas en el gráfico 10, sugieren que la producción de maíz alcanza su rendimiento máximo en niveles cercanos al de 2006. Incluso, niveles de precipitación ligeramente inferiores podrían ser benéficos.

GRÁFICO 9
EL SALVADOR: RENDIMIENTOS DEL MAÍZ
ANTE VARIACIONES EN LA TEMPERATURA



Fuente: Elaboración propia.

GRÁFICO 10
EL SALVADOR: RENDIMIENTOS DEL MAÍZ
ANTE VARIACIONES EN LA PRECIPITACIÓN



Fuente: Elaboración propia.

b) El caso del frijol

Los resultados de la estimación para los rendimientos del frijol se presentan en el cuadro 15. En este caso, de las variables de precipitación la más adecuada fue la precipitación promedio en la época seca. Al igual que en el caso del maíz, aunque de forma individual la precipitación y la temperatura no parecen ser estadísticamente significativas, de forma conjunta siempre lo son, lo que sugiere que ambas variables son relevantes para explicar el comportamiento de la producción. Tanto la temperatura como la precipitación parecen incentivar la producción en niveles relativamente bajos y desincentivarla en niveles relativamente altos puesto que ambas variables tienen coeficientes positivos mientras sus cuadrados son negativos en la mayoría de los casos.

CUADRO 15
EL SALVADOR: ESTIMACIÓN PARA LOS RENDIMIENTOS POR HECTÁREA DEL FRIJOL

Ecuaciones	PEA rural		Población total	
	Lineal (1')	Logarítmico (2')	Lineal (3')	Logarítmico (4')
VARIABLES				
Precipitación promedio en época seca	0,0126 (1,75)	0,0127 (1,71)	0,0109 (1,41)	0,0113 (1,4)
Precipitación promedio en época seca ²	-0,0002 (1,72)	-0,0002 (1,63)	-0,0002 (1,48)	-0,0002 (1,41)
Temperatura promedio anual	2,6562 (1,05)	1,2099 (0,642)	1,3044 (0,48)	-0,3005 (0,11)
Temperatura promedio anual ²	-0,0552 (1,08)	-0,0259 (0,621)	-0,0281 (0,52)	0,0046 (0,08)
R²	0,6673	0,6503	0,6168	0,5915
Pruebas de significancia conjunta de variables (Estadístico F)				
Prueba de significancia conjunta de variables de precipitación	1,54	1,48	1,1	1
Prueba de significancia conjunta de variables de temperatura	2,46 *	1,73	1,79	1,09
Prueba de significancia conjunta de variables de precipitación y temperatura	2,76 **	2,36 *	2,3 *	1,91
Prueba de significancia conjunta de todo el modelo	8,02 ***	7,44 ***	6,44 ***	5,79 ***
Prueba de cointegración de Johansen				
Número de Vectores de cointegración por el estadístico de la traza	1 **	1 **	1 **	3 **
Número de Vectores de cointegración por el eigenvalor máximo	0 **	0 **	1 **	0 **

Fuente: Elaboración propia.

Notas:

Valores absolutos del t-estadístico entre paréntesis.

* Significativo al 10%; ** significativo al 5%; *** significativo al 1%.

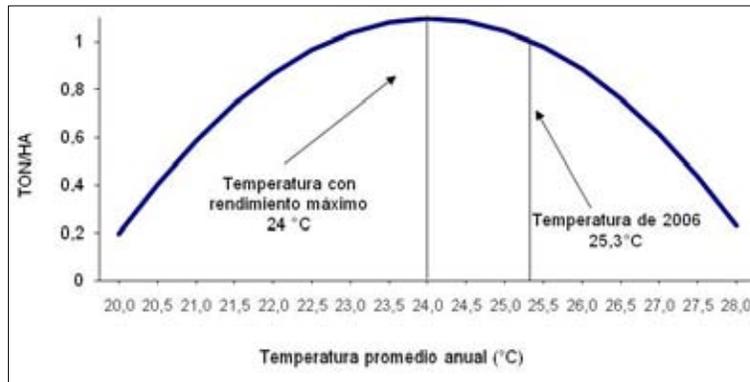
Todos los modelos se estimaron con constante y con variables dummy que capturan efectos de desastres naturales.

La prueba de cointegración se realizó con término constante en la ecuación de cointegración y en el modelo dinámico.

Las proyecciones que se presentan en el gráfico 11, realizadas a partir de los coeficientes estimados con base en la especificación elegida (1'), sugieren que para este producto también ya se habría rebasado la temperatura que permite alcanzar los mayores rendimientos en la producción y que por tanto el cambio climático podría ya estar mostrando efectos negativos sobre este cultivo.

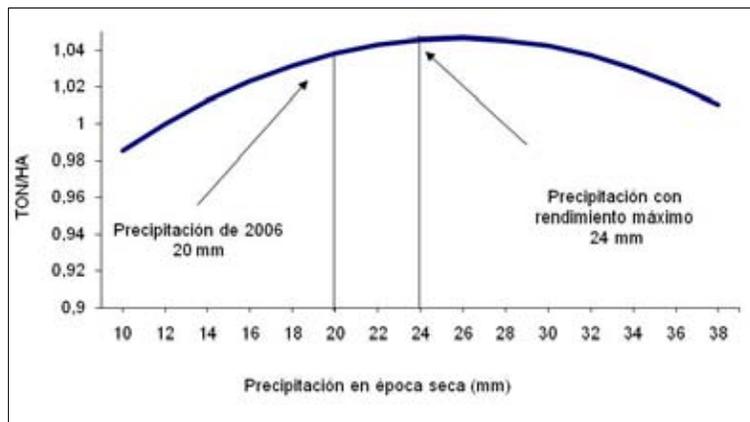
Por su parte, las proyecciones mostradas en el gráfico 12 sugieren que niveles de precipitación ligeramente superiores al de 2006 permiten estimular la producción del frijol, ya que la precipitación de ese año es levemente inferior a la que permite obtener los mayores rendimientos.

GRÁFICO 11
EL SALVADOR: RENDIMIENTOS DEL FRIJOL
ANTE VARIACIONES EN LA TEMPERATURA



Fuente: Elaboración propia.

GRÁFICO 12
EL SALVADOR: RENDIMIENTOS DEL FRIJOL
ANTE VARIACIONES EN LA PRECIPITACIÓN



Fuente: Elaboración propia.

c) El caso del café

En el caso del café, las variables climáticas relevantes para la estimación de la función de producción fueron la precipitación promedio en época seca y la temperatura promedio anual. Los coeficientes estimados para las cuatro especificaciones que consideran a la PEA rural y a la población total, se presentan en el cuadro 16. Como ahí se muestra, aunque de forma individual los coeficientes de temperatura y precipitación no parecen ser estadísticamente significativos. De forma conjunta las pruebas indican que sí lo son, por lo que ambas variables se pueden considerar como relevantes para explicar los rendimientos del café.

CUADRO 16
EL SALVADOR: ESTIMACIÓN PARA LOS RENDIMIENTOS POR HECTÁREA DEL CAFÉ

Ecuaciones	PEA rural		Población total	
	Lineal (1'')	Logarítmico (2'')	Lineal (3'')	Logarítmico (4'')
VARIABLES				
Precipitación promedio en época seca	0,0244 (1,33)	0,0252 (1,31)	0,0257 (1,39)	0,0272 (1,36)
Precipitación promedio en época seca ²	-0,0005 (1,18)	-0,0006 (1,17)	-0,0005 (1,16)	-0,0006 (1,17)
Temperatura promedio anual	1,4293 (0,33)	2,5036 (0,56)	2,4716 (0,59)	4,2359 (0,97)
Temperatura promedio anual ²	-0,0316 (0,37)	-0,0536 (0,6)	-0,0521 (0,62)	-0,0881 (1,00)
R ²	0,7481	0,7232	0,7467	0,7106
Pruebas de significancia conjunta de variables (Estadístico F)				
Prueba de significancia conjunta de variables de precipitación	1,21	1,1	1,8	1,48
Prueba de significancia conjunta de variables de temperatura	3,58 **	4,33 **	2,33 *	3,53 **
Prueba de significancia conjunta de variables de precipitación y temperatura	2,36 *	2,37 *	1,96	2,39 *
Prueba de significancia conjunta de todo el modelo	9,5 ***	8,36 ***	9,43 ***	9,43 ***
Prueba de cointegración de Johansen				
Número de Vectores de cointegración por el estadístico de la traza	1 ***	1 ***	2 ***	3 **
Número de vectores de cointegración por el eigenvalor máximo	1 ***	1 ***	1 ***	1 ***

Fuente: Elaboración propia.

Notas:

Valores absolutos del t-estadístico entre paréntesis,

* Significativo al 10%; ** significativo al 5%; *** significativo al 1%.

Todos los modelos se estimaron con constante y con variables dummy que capturan efectos de desastres naturales. También se incluye la superficie provista para riego.

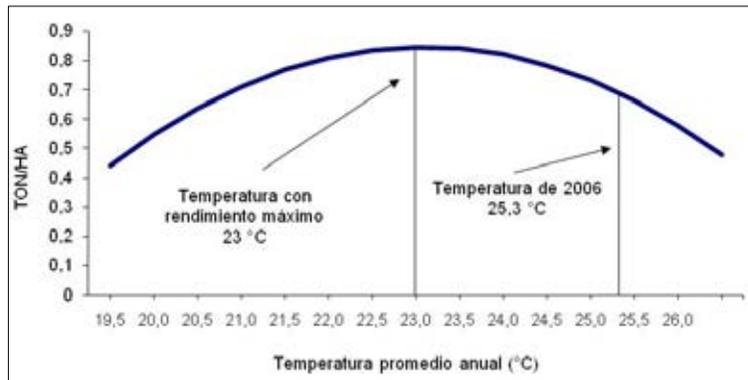
La prueba de cointegración se realizó con término constante en la ecuación de cointegración y en el modelo dinámico.

Aquí también, con el objetivo de mostrar consistencia con los casos anteriores, y dada su robustez, se escogió a especificación que considera a la PEA rural de forma lineal, es decir, la 1''. A partir de ella se realizaron proyecciones de comportamiento de la producción a diferentes niveles de temperatura y precipitación.

El gráfico 13 muestra que es probable que el nivel de temperatura que permite los mayores rendimientos para este cultivo ya haya sido rebasado, por lo que el cambio climático ya podría estar teniendo efectos adversos sobre este cultivo. Respecto a la precipitación, el gráfico 14 indica que el nivel

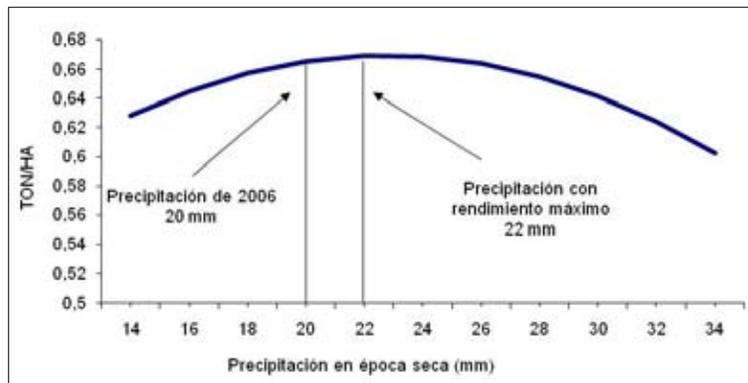
de 2006 es muy cercano al que permite lograr los mayores rendimientos y que si se reduce por debajo de ese nivel la producción se podría ver afectada de forma adversa.

GRÁFICO 13
EL SALVADOR: RENDIMIENTOS DEL CAFÉ
ANTE VARIACIONES EN LA TEMPERATURA



Fuente: Elaboración propia.

GRÁFICO 14
EL SALVADOR: RENDIMIENTOS DEL CAFÉ
ANTE VARIACIONES EN LA PRECIPITACIÓN



Fuente: Elaboración propia.

3. Impacto sobre el valor de la tierra. Datos y resultados del enfoque Ricardiano

a) Datos

Los datos económicos y sociodemográficos fueron obtenidos de la Encuesta Permanente de Hogares de Propósitos Múltiples llevada a cabo por la Dirección General de Estadística y Censos (DIGESTYC) de El Salvador en el mes de septiembre de 2004. La información de esta encuesta tiene cobertura nacional y tiene como unidad de análisis a los hogares de este país. La documentación de la encuesta y la base de datos han sido preparadas por la División de Estadística y Proyecciones Económicas de la CEPAL, quien además tuvo a su cargo evaluar la consistencia de la información y generar un conjunto de nuevas variables en un contexto de comparabilidad con los demás países de América Latina.

Los datos meteorológicos fueron proporcionados por el Grupo de Cambio Climático y Radiación Solar del Centro de Ciencias de la Atmósfera de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Estos datos comprenden información de temperatura y precipitación a nivel municipal. Por último, los datos de las características de suelos fueron obtenidos a partir de información de FAO (2003b).

b) Resultados

Las estadísticas descriptivas de las variables empleadas en el modelo Ricardiano aparecen en el cuadro 17. Estas variables se presentan divididas en tres grupos: sociodemográficas, agrícolas y climáticas. Asimismo, el cuadro presenta la media y desviación estándar de las variables clave empleadas en la modelación para la muestra completa y para los hogares que se encuentran en los primeros ocho y los últimos dos deciles del ingreso por alquiler de la propiedad. Puesto que los datos que proporciona la encuesta sobre la renta de la tierra para uso agrícola son muy escasos, en este estudio se emplea como proxy de la renta de la tierra al ingreso que proviene del alquiler de la propiedad.

Las variables climáticas sólo se presentan para el total de la muestra de hogares empleada en el estudio y sus valores representan el promedio registrado a nivel municipal. Las variables sociodemográficas se ofrecen para la muestra completa y para los dos grupos de hogares antes señalados. Dentro de las características demográficas es posible observar que el tamaño promedio para el total de la muestra de los hogares es de 4,6 miembros, siendo mayor para los hogares de los últimos dos deciles con 4,8 miembros. Para el total de la muestra, la escolaridad promedio del jefe es de 3,2 años, y la escolaridad media del hogar sin incluir al jefe es de 3,8 años, ambas variables son superiores en los últimos dos deciles de la ganancia por alquiler, con 4,4 y 5,0 años de instrucción, respectivamente.

En la muestra completa se registran 47 años de edad promedio para los jefes de hogar, número menor que el reportado en los últimos dos deciles. Respecto al número de jefes de hogar que saben leer y escribir, se observa un número mayor en los últimos dos deciles. El número promedio de cuartos en el hogar registrado en la muestra es de 1,9, siendo mayor para los hogares de los últimos dos deciles con 2,7.

El ingreso agropecuario promedio mensual es de 122 dólares para la muestra total, mientras que para los hogares situados en los primeros ocho deciles es de 106 dólares, y los hogares situados en los últimos dos deciles reciben en promedio un ingreso superior a los 181 dólares mensuales¹².

De forma adicional, el cuadro 17 nos muestra algunas variables climáticas empleadas en las distintas estimaciones econométricas de este estudio, entre las que destacan la precipitación acumulada anual y la temperatura promedio anual, entre otras. Es posible observar que las temperaturas mínima y máxima promedio anuales son de 18,1° C y 30,3° C, respectivamente. Por su parte la precipitación acumulada anual es mayor a los 1.826 mm.

De forma adicional, el cuadro 17 nos muestra algunas variables climáticas empleadas en las distintas estimaciones econométricas de este estudio, entre las que destacan la precipitación acumulada anual y la temperatura promedio anual, entre otras. Es posible observar que las temperaturas mínima y máxima promedio anuales son de 18,1° C y 30,3° C, respectivamente. Por su parte la precipitación acumulada anual es mayor a los 1.826 mm.

¹² Las cifras presentadas en dólares corresponden a dólares de diciembre de 2003.

CUADRO 17
ESTADÍSTICAS DESCRIPTIVAS

	Total de hogares en la muestra		Hogares en los primeros ocho deciles de la ganancia por alquiler de propiedad		Hogares en los últimos dos deciles de la ganancia por alquiler de propiedad	
	Media	Desviación estándar	Media	Desviación estándar	Media	Desviación estándar
	VARIABLES SOCIODEMOGRÁFICAS					
Tamaño del hogar	4,6	2,5	4,5	2,5	4,8	2,4
Educación promedio del hogar sin jefe (años)	3,8	3,3	3,5	3,1	5,0	3,6
Educación del jefe del hogar (años)	3,2	3,5	2,9	3,3	4,4	4,1
Número de cuartos	1,9	1,1	1,7	0,9	2,7	1,3
Edad del jefe del hogar	46,9	16,9	46,6	17,1	48,0	15,7
Sabe leer y escribir el jefe de hogar	0,6	0,5	0,6	0,5	0,8	0,4
Número de personas mayores de 15 años en el hogar	2,8	1,5	2,7	1,4	3,1	1,5
Género del jefe del hogar (Dummy: 1=masculino)	0,7	0,4	0,7	0,4	0,7	0,4
VARIABLES AGRÍCOLAS						
Ingreso agropecuario mensual por hogar (dólares)	121,6	183,7	106,3	149,4	181,4	271,8
Ganancias por alquiler de propiedad en el hogar (dólares)	23,4	27,1	14,9	8,7	56,7	43,9
VARIABLES CLIMÁTICAS						
Temperatura mínima promedio anual (Celsius)	18,1	1,7	.	.	.	.
Temperatura máxima promedio anual (Celsius)	30,3	1,2	.	.	.	.
Temperatura promedio anual (Celsius)	24,2	1,4	.	.	.	.
Temperatura promedio en estación lluviosa (Celsius)	24,3	1,3	.	.	.	.
Temperatura promedio en estación seca (Celsius)	24,1	1,4	.	.	.	.
Temperatura máxima promedio en estación lluviosa (Celsius)	29,7	1,1	.	.	.	.
Temperatura máxima promedio en estación seca (Celsius)	30,9	1,2	.	.	.	.
Temperatura mínima promedio en estación lluviosa (Celsius)	18,8	1,6	.	.	.	.
Temperatura mínima promedio en estación seca (Celsius)	17,4	1,8	.	.	.	.
Precipitación promedio anual (mm/mo)	152,2	11,9	.	.	.	.
Precipitación acumulada anual (mm/mo)	1826,9	143,0	.	.	.	.
Precipitación promedio en estación lluviosa (mm/mo)	284,7	21,8	.	.	.	.
Precipitación promedio en estación seca (mm/mo)	19,8	4,1	.	.	.	.
Tamaño de la muestra	5 751		4 577		1 174	

Fuente: Elaboración propia con base en la encuesta permanente de hogares de propósitos múltiples, El Salvador, septiembre de 2004.

Los resultados de las estimaciones realizadas se presentan en el cuadro 18. La muestra que se empleó recoge al total de hogares que reportaron percibir ingreso por alquiler, siendo esta variable la que se utiliza como variable dependiente en los tres modelos lineales estimados. En la segunda columna del cuadro 18 se aprecian los resultados de la regresión para el modelo I, el cual considera, además de las variables sociodemográficas, dos variables climáticas: temperatura media anual y precipitación acumulada anual. En el modelo II, se introducen variables dummy de características de suelos a nivel municipal, y la especificación del modelo III incorpora términos cuadráticos para la temperatura anual y la precipitación acumulada, así como una variable de interacción entre la precipitación y la temperatura.

CUADRO 18
ESPECIFICACIONES LINEALES DEL MODELO RICARDIANO: EL SALVADOR

Variables	Modelo I		Modelo II		Modelo III	
	Coefficiente	t	Coefficiente	t	Coefficiente	T
Temperatura media anual	-0,39	-1,50	-0,46	-1,78	21,76	1,44
Temperatura media anual al cuadrado					-0,34	-1,47
Precipitación acumulada anual	-0,01	-3,56	-0,01	-2,82	0,21	2,28
Precipitación acumulada anual al cuadrado					-0,00004	-2,90
Temperatura media anual x precipita- ción acumulada anual					-0,003	-1,28
Miembros de mayores de 15 años en el hogar	0,77	2,51	0,74	2,39	0,73	2,38
Género del jefe de hogar	-0,84	-0,61	-0,75	-0,54	-0,79	-0,57
Edad del jefe de hogar	0,67	5,30	0,68	5,39	0,67	5,28
Edad del jefe de hogar al cuadrado	-0,01	-4,58	-0,01	-4,65	-0,005	-4,55
Escolaridad del jefe de hogar (años)	1,58	9,03	3,74	8,74	1,46	8,46
Techo de loza (dummy)	38,52	2,99	1,49	2,90	3,77	2,91
Cambisols			-1,78	-0,89	-0,72	-0,35
Nitosols			-2,01	-1,00	-1,90	-0,95
Regosols			-7,38	-3,37	-5,86	-2,65
Andosols			1,01	0,50	0,89	0,44
Vertisols			1,61	0,35	1,41	0,31
Constante	22,05	2,08	21,86	2,11	-434,51	-1,73
Estadístico F	21,9		17,45		14,52	

Fuente: Elaboración propia.

Nota: El número de la muestra es de 5.751 hogares.

Los estadísticos t en negrillas muestran niveles de significancia de al menos 10%.

A partir de los coeficientes y su nivel de significancia presentados en el cuadro 18, es posible inferir que los efectos de la precipitación acumulada anual son significativos, y la especificación global en cada uno de los tres casos posee significado estadístico. En el caso de la temperatura media anual solamente se encuentra un impacto negativo y significativo para el segundo modelo. Por ejemplo, si se considera el segundo modelo, los hallazgos indican que el ingreso por alquiler de la propiedad disminuye en 46 centavos de dólar ante un incremento de un grado Celsius en la temperatura media anual. Dicho efecto representa cerca del 2% de la ganancia mensual por alquiler de la propiedad de los hogares rurales salvadoreños. No obstante, es importante distinguir entre los diferentes hogares rurales, por ejemplo, si se considera a los

hogares que se encuentran en los primeros ocho deciles, entonces el efecto marginal representa más del 3%, siendo solamente de 0,8% para los hogares que se encuentran en los últimos dos deciles.

De las variables que distinguen a los diferentes tipos de suelo: cambisols, nitosols, andosols, vertisols y regosols, solamente el último tipo de suelo parece indicar que tiene un impacto negativo y consistente sobre el ingreso por concepto de alquiler. El resto de tipologías no presentan evidencia estadística robusta para afirmar un impacto diferenciado en la ganancia por alquiler.

Los coeficientes estimados para las distintas variables sociodemográficas incluidas en nuestras regresiones son robustos, lo cual parece alentar nuestra intuición sobre la relación entre la ganancia de la propiedad por alquiler y el conjunto de factores considerados, además, la consistencia de los signos a lo largo de las tres especificaciones y la significancia global de cada modelo nos permiten afirmar cualitativamente la significancia de las especificaciones utilizadas. Por ejemplo, las ganancias por concepto de alquiler aumentan 0,7 si el número de miembros del hogar mayores de 15 años se incrementa, dicho efecto se mantiene a través de las tres especificaciones utilizadas. La edad del jefe del hogar tiene un impacto positivo y significativo pero no lineal, tal como lo podemos apreciar en el signo negativo de su término cuadrático. Así mismo y considerando los coeficientes del modelo II, es posible observar que el ingreso por alquiler aumenta casi en 4 dólares si la escolaridad del jefe del hogar se incrementa en un año (equivalente al 16% del ingreso promedio de los hogares rurales por concepto de esta fuente). Es importante señalar que el signo y la significancia de los coeficientes para las variables de control antes señaladas se mantiene a través de los tres modelos utilizados, lo que proporciona evidencia suficiente de que los resultados presentados son bastante robustos.

Los efectos marginales de las variables de clima (temperatura y precipitación) sobre el ingreso por alquiler de la propiedad en los hogares salvadoreños se presentan en el cuadro 19. Los efectos de la precipitación acumulada y la temperatura media se calcularon para la muestra total, empleando un nivel de confianza del 90%. En este sentido, se observa que el incremento en un grado Celsius de la temperatura media implica una disminución de 0,4; 0,5 y 0,01 dólares bajo los modelos I, II y III, respectivamente. En otras palabras, existe evidencia para señalar un impacto negativo en el ingreso por alquiler que va entre 0,01 y 0,46 dólares ante el incremento de un grado Celsius en la temperatura media anual. Si consideramos el promedio de los efectos marginales, el impacto sería de 0,30 dólares, lo que equivale a una disminución del 1,3% en los ingresos que provienen del alquiler de la propiedad, este decremento se agudiza si consideramos a los hogares rurales en distintos deciles. En particular, para los que se encuentran en los primeros ocho deciles del ingreso por alquiler de la propiedad se estima una caída mayor al 2%.

CUADRO 19
EFFECTOS MARGINALES DE LAS VARIABLES CLIMÁTICAS SOBRE EL INGRESO
POR CONCEPTO DE ALQUILER DE LA PROPIEDAD
(Modelo lineal)

	Modelo I		Modelo II		Modelo III	
	Marginal	t	Marginal	t	Marginal	t
Temperatura promedio anual	-0,39	-1,50	-0,46	-1,78	-0,01	-3,57
Precipitación acumulada anual	-0,01	-3,56	-0,01	-2,82	-0,55	-1,82

Fuente: Elaboración propia.

Nota: Los efectos marginales para los términos cuadráticos se calculan tomando en cuenta el valor medio de las variables y los coeficientes reportados en el cuadro 18. Los estadísticos t en negrillas muestran niveles de significancia de al menos 10%.

Por otra parte, y como efecto complementario al impacto de la elevación de la temperatura media anual, se estima que el incremento de una unidad adicional en la precipitación acumulada anual implica una disminución aproximada de 19 centavos de dólar. Este efecto equivale a señalar que si la precipitación acumulada anual se incrementa en 10 mm, los hogares rurales salvadoreños perderán aproximadamente 2 dólares en el ingreso por alquiler de su propiedad, lo que equivale a una disminución mayor al 8% del ingreso promedio que proviene de esta fuente.

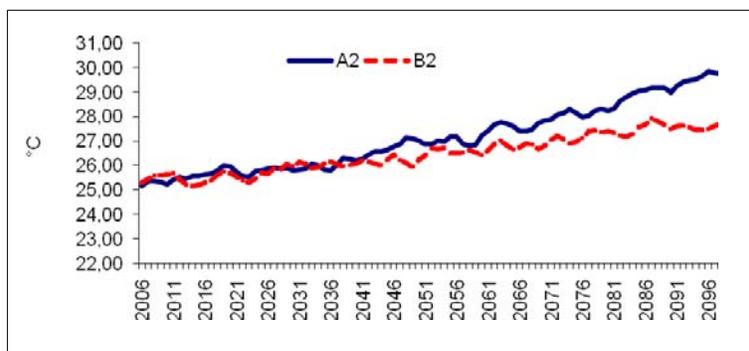
Los impactos marginales promedio atribuibles a los incrementos en la temperatura media anual y precipitación acumulada son negativos. Observamos que el aumento de un grado Celsius disminuye, en promedio, la ganancia mensual por alquiler de la propiedad en 30 centavos de dólar. Mientras que una unidad adicional de precipitación acumulada anual contribuye marginalmente, en promedio, en aproximadamente 19 centavos de decremento mensual.

V. LOS ESCENARIOS FUTUROS: IMPACTOS ECONÓMICOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE EL SECTOR AGROPECUARIO

En el capítulo previo se mostró que el cambio climático está teniendo ya efectos negativos sobre la producción del sector agropecuario de El Salvador. Este capítulo tiene como objetivo ofrecer algunas estimaciones de cuánto podrían representar en términos económicos las posibles pérdidas (o ganancias). El análisis comprende hasta el año 2100. Para calcular los impactos se emplearon diferentes tasas de descuento: 0,5%, 2%, 4% y 8%. Los efectos económicos se expresan en términos del PIB de 2007. Para ello, se toman como referencia las estimaciones del capítulo anterior y dos escenarios climáticos: A2 y B2¹³ promedio (ECHM, GFDL, HADGEM)¹⁴, A2 HADGEM y B2 HADCM3¹⁵. Donde el A2 es un escenario con incrementos en temperatura más elevados.

Partiendo de los niveles actuales, en general, estos escenarios climáticos proyectan para El Salvador que la temperatura aumentará entre 2° C y cerca de 5° C hacia el año 2100, mientras la precipitación se reducirá entre 18% y 40% (véanse los gráficos 15 y 16).

GRÁFICO 15
EL SALVADOR: TEMPERATURA ANUAL 2006-2100 BAJO LOS ESCENARIOS A2 Y B2
(Promedio móvil de 3 años)



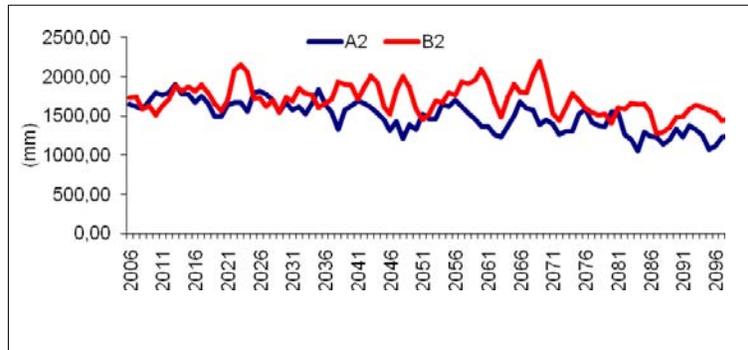
Fuente: Elaboración propia.

¹³ Escenarios conformados por un conjunto de variables (PIB, demografía, tecnología, energía, emisiones) que son internamente consistente.

¹⁴ ECHM(German High Performance Computing Centre Climate and Earth System Research); GFDL (Geophysical Fluid Dynamics Laboratory); HADGEM (Hadley Centre Global Environmental Model).

¹⁵ HadCM3 (Third Hadley Centre Coupled Ocean-Atmosphere GCM).

GRÁFICO 16
EL SALVADOR: PRECIPITACIÓN ACUMULADA ANUAL 2006-2100 BAJO LOS ESCENARIOS A2 Y B2
(Promedio móvil de 3 años)



Fuente: Elaboración propia.

1. Impactos sobre la producción agropecuaria

Para poder estimar los impactos del cambio climático en el sector agropecuario, exceptuando las variables climáticas, el resto de las variables de control se mantuvieron constantes a valores de 2005. De igual modo, se supuso la inexistencia de cambios tecnológicos y algún tipo adaptación por parte de los agricultores ante los efectos del cambio climático.

A partir de los coeficientes de las especificaciones (1 y 1') de las funciones de producción agropecuaria y cereales, presentados en los cuadros 11, y 12, respectivamente, se cuantifican los impactos en el sector agropecuario ocasionados por las variaciones en la precipitación y la temperatura. Para realizar estas estimaciones se consideraron diferentes tasas de descuento (0,5%, 2%, 4% y 8%), distintos horizontes temporales y los escenarios A2 (con base en el promedio de los modelos HADGEM, GFDL y ECHAM¹⁶) y B2 (con base en el promedio de los modelos HADGEM, GFDL y ECHAM).

La derivación de los modelos de funciones de producción exhibe pérdidas económicas ocasionadas por el cambio climático. El cuadro 20 presenta las estimaciones de los impactos económicos. Se contabilizaron los costos de la producción agropecuaria hasta el 2100 en relación al PIB de 2007. Considerando los escenarios A2 y B2, y una tasa de descuento de 4% de forma acumulada hacia 2050 las pérdidas serían de 1,6% y 1,9% del PIB de 2007, respectivamente.

Hacia 2100 con una tasa de descuento de 4% las pérdidas económicas acumuladas representarían el 3 % del PIB de 2007 en el escenario A2 y 2 % para el escenario B2. Ante una tasa de descuento de 2% las pérdidas incrementarían a 8% y 4%, respectivamente.

¹⁶ Ibidem.

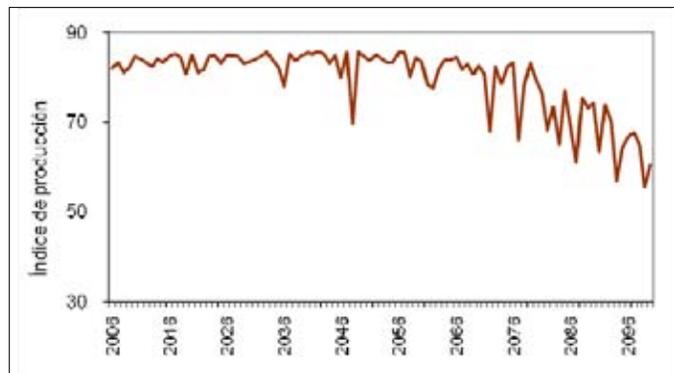
CUADRO 20
IMPACTOS DE CAMBIOS EN PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURA
COMO PORCENTAJE DEL PIB DE 2007
(En porcentajes del PIB de 2007)

Año	Escenario A2				Escenario B2			
	Producción agropecuaria							
	Tasa de descuento (r)				Tasa de descuento (r)			
	0,005	0,02	0,04	0,08	0,005	0,02	0,04	0,08
2020	1,16	1,08	0,99	0,85	1,13	1,03	0,91	0,74
2030	1,71	1,51	1,29	1,01	2,45	2,06	1,66	1,14
2050	3,01	2,25	1,66	1,10	3,44	2,62	1,93	1,20
2070	4,72	2,99	1,91	1,13	4,86	3,22	2,12	1,22
2100	21,63	7,99	2,94	1,18	7,19	3,91	2,27	1,23
	Producción de cereales							
	Tasa de descuento (r)				Tasa de descuento (r)			
	0,005	0,02	0,04	0,08	0,005	0,02	0,04	0,08
2020	0,67	0,62	0,56	0,48	0,56	0,51	0,46	0,38
2030	0,92	0,81	0,70	0,55	1,01	0,86	0,71	0,51
2050	1,93	1,39	0,98	0,62	1,32	1,04	0,79	0,53
2070	3,26	1,97	1,18	0,65	1,77	1,22	0,85	0,53
2100	12,40	4,68	1,74	0,68	3,42	1,71	0,95	0,54

Fuente: Elaboración propia.

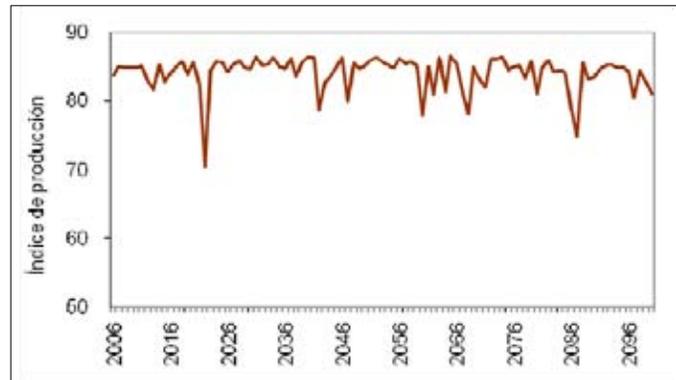
Los gráficos 17 y 18 muestran la producción agropecuaria a partir de los escenarios A2 y B2. Ambos escenarios sugieren pérdidas económicas importantes en la producción agropecuaria. Por su parte los gráficos 19 y 20 exponen la producción de cereales a partir de los escenarios A2 y B2. Es en el escenario A2 donde se presentan las mayores pérdidas económicas. En los gráficos se observa que en el corto plazo la producción oscilaría alrededor de sus niveles actuales, pero a largo plazo la producción disminuiría. La caída más abrupta se observa en el escenario A2.

GRÁFICO 17
EL SALVADOR: PROYECCIONES DEL ÍNDICE DE PRODUCCIÓN
AGROPECUARIA A PARTIR DEL ESCENARIO A2, 2006-2100



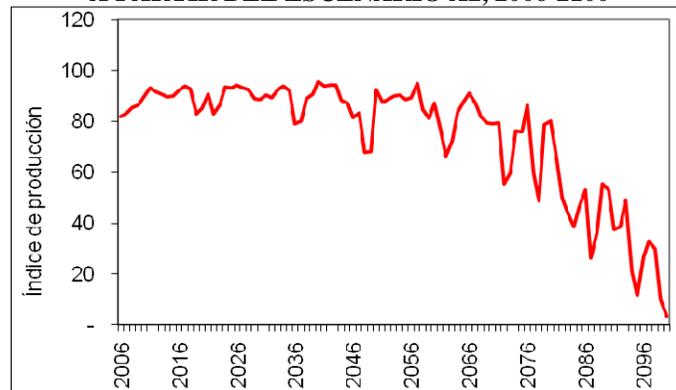
Fuente: Elaboración propia.

GRÁFICO 18
EL SALVADOR: PROYECCIONES DEL ÍNDICE PRODUCCIÓN AGROPECUARIA
A PARTIR DEL ESCENARIO B2, 2006-2100



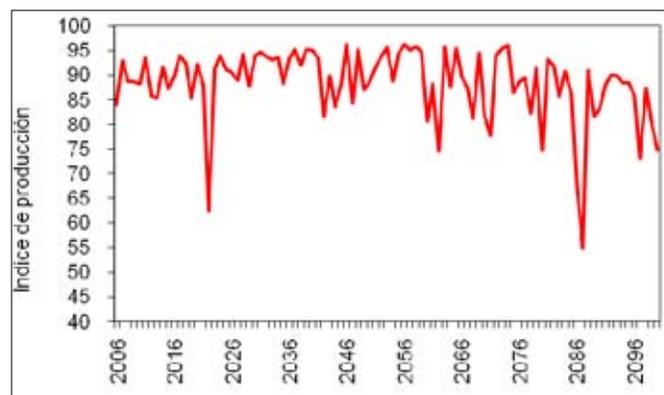
Fuente: Elaboración propia.

GRÁFICO 19
EL SALVADOR: PROYECCIONES DEL ÍNDICE DE PRODUCCIÓN DE CEREALES
A PARTIR DEL ESCENARIO A2, 2006-2100



Fuente: Elaboración propia.

GRÁFICO 20
EL SALVADOR: PROYECCIONES DEL ÍNDICE PRODUCCIÓN CEREALES
A PARTIR DEL ESCENARIO B2, 2006-2100



Fuente: Elaboración propia.

En el cuadro 21 se hace la distinción del impacto ocasionado por cambios en temperatura y por cambios en precipitación. El mayor impacto parece deberse a cambios en la precipitación. Para el escenario A2 incrementos en la temperatura a 2100 representan cerca de 1% del PIB de 2007 y medio punto porcentual para el escenario B2 (considerando una tasa de descuento de 4%). En el caso de la precipitación las pérdidas representan 2% tanto en el escenario A2 como en el B2, también considerando la tasa de descuento de 4%.

Las cuantificaciones de los impactos basados en los escenarios climáticos dan un panorama general del comportamiento de la producción agropecuaria ante cambios en precipitación y temperatura, pero hay que considerar que las estimaciones aquí presentadas no incluyen ninguna adaptación ni cambios externos, como desarrollo de nuevas tecnologías. Lo único que nos indica es como estará el sector si no se hace algo para contrarrestar los efectos adversos del cambio climático según los escenarios analizados *ceteris paribus*.

CUADRO 21
EL SALVADOR: IMPACTOS ECONÓMICOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO: 2020, 2030, 2050, 2070 Y 2100
(En porcentajes del PIB de 2007)

		Escenario A2 (ECHAM, GFDL, HADGEM)				Escenario B2 (ECHAM, GFDL, HADGEM)			
Cambios en temperatura y precipitación									
Producción agropecuaria		Producción de cereales				Producción agropecuaria		Producción de cereales	
Año	Tasa de descuento (r)		Tasa de descuento (r)		Tasa de descuento (r)		Tasa de descuento (r)		
	0,02	0,04	0,02	0,04	0,02	0,04	0,02	0,04	
2020	1,08	0,99	0,62	0,56	1,03	0,91	0,51	0,46	
2030	1,51	1,29	0,81	0,70	2,06	1,66	0,86	0,71	
2050	2,25	1,66	1,39	0,98	2,62	1,93	1,04	0,79	
2070	2,99	1,91	1,97	1,18	3,22	2,12	1,22	0,85	
2100	7,99	2,94	4,68	1,74	3,91	2,27	1,71	0,95	
Cambios en temperatura									
Producción agropecuaria		Producción de cereales				Producción agropecuaria		Producción de cereales	
Año	Tasa de descuento (r)		Tasa de descuento (r)		Tasa de descuento (r)		Tasa de descuento (r)		
	0,02	0,04	0,02	0,04	0,02	0,04	0,02	0,04	
2020	0,32	0,32	0,18	0,18	0,43	0,38	0,21	0,18	
2030	0,26	0,29	0,15	0,16	0,46	0,41	0,22	0,20	
2050	-0,22	0,04	-0,04	0,06	-0,01	0,17	0,01	0,09	
2070	-0,17	0,05	0,02	0,08	-0,41	0,02	-0,16	0,03	
2100	2,95	0,68	1,60	0,40	-0,31	0,04	-0,05	0,05	
Cambios en precipitación									
Producción agropecuaria		Producción de cereales				Producción agropecuaria		Producción de cereales	
Año	Tasa de descuento (r)		Tasa de descuento (r)		Tasa de descuento (r)		Tasa de descuento (r)		
	0,02	0,04	0,02	0,04	0,02	0,04	0,02	0,04	
2020	0,76	0,67	0,44	0,38	1,03	0,91	0,30	0,28	
2030	1,24	1,00	0,66	0,54	2,06	1,66	0,64	0,51	
2050	2,47	1,62	1,43	0,92	2,62	1,93	1,03	0,70	
2070	3,16	1,86	1,95	1,10	3,22	2,12	1,37	0,82	
2100	5,04	2,26	3,08	1,34	3,91	2,27	1,77	0,91	

Fuente: Elaboración propia.

2. Impactos sobre los rendimientos de maíz, frijol y café

El gráfico 21 presenta los resultados de las estimaciones para los rendimientos de maíz a partir de los dos escenarios climáticos, los cuáles se calcularon con base en la especificación 1 indicada en el cuadro 14. Las trayectorias en la producción son decrecientes, con mayor caída bajo el escenario A2, el cual llega a mostrar que cerca del año 2090 los rendimientos tenderían a ser nulos. Es probable, que los agricultores puedan tener cierta adaptación al cambio climático, la cual como se argumentó líneas arriba, no fue posible incluir en estas estimaciones, por lo que es probable que se esté sobrestimando los efectos negativos del cambio climático en la producción de este cultivo. Sin embargo, es claro que sí habrá una tendencia a la baja¹⁷.

Los costos que se desprenden de las estimaciones mostradas en el gráfico 21 se presentan en el cuadro 22. Los cuales se calcularon comparando los niveles de producción esperado ante los escenarios A2 y B2 y un escenario en el cual el clima ya no variara. Como ahí se puede observar, los costos del cambio climático podrían ser considerables, en caso de que no se buscara subsanar los efectos del cambio climático. Al año 2100, con una tasa de descuento de 4% las pérdidas acumuladas podrían ser equivalentes a alrededor de 1% del PIB en el escenario B2 y de 2% en el escenario menos favorable.

GRÁFICO 21
EL SALVADOR: PROYECCIONES DE LOS RENDIMIENTOS DEL MAÍZ, 2006-2100

A PARTIR DEL ESCENARIO A2



A PARTIR DEL ESCENARIO B2



Fuente: Elaboración propia.

¹⁷ Los costos como porcentaje del PIB Agropecuario se presentan en los anexos.

CUADRO 22
EL SALVADOR: IMPACTOS ECONÓMICOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA
PRODUCCIÓN DEL MAÍZ COMO PORCENTAJE DEL PIB DE 2007, 2020-2100

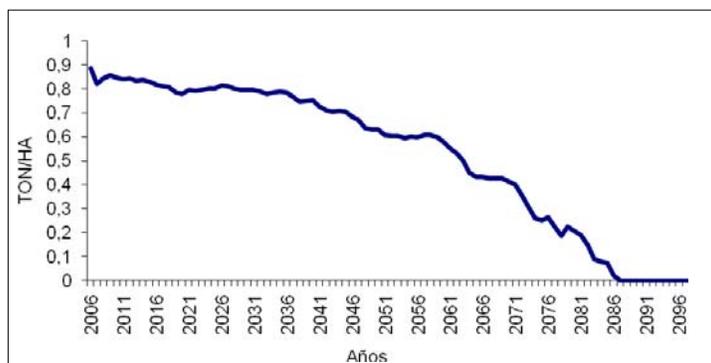
Año	Escenario A2				Escenario B2			
	Tasa de descuento (r)				Tasa de descuento (r)			
	0,005	0,02	0,04	0,08	0,005	0,02	0,04	0,08
2020	0,06	0,05	0,03	0,00	0,05	0,05	0,06	0,06
2030	0,31	0,23	0,16	0,07	0,26	0,21	0,16	0,11
2050	1,66	1,01	0,54	0,17	1,17	0,74	0,43	0,18
2070	5,02	2,49	1,05	0,24	3,39	1,72	0,76	0,22
2100	13,77	5,19	1,64	0,27	9,29	3,52	1,15	0,25

Fuente: Elaboración propia.

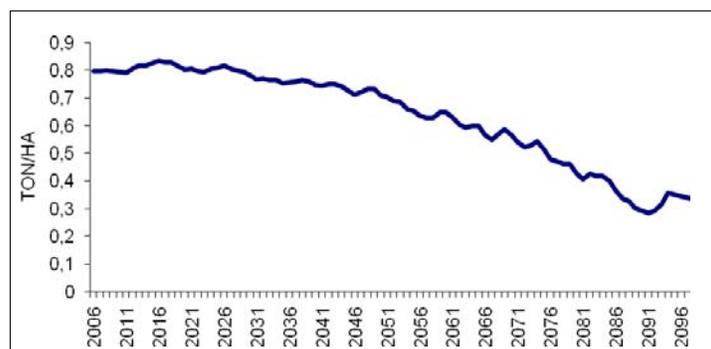
En el gráfico 22 se muestra la evolución que tendría la producción del frijol entre 2006 y 2100 en los escenarios A2 y B2. Dichas estimaciones se realizaron a partir de la especificación 1' mostrada en el cuadro 15. Claramente se puede observar que la producción tendería a disminuir en los años siguientes. El escenario A2 también predice que tendería a ser nula la producción, lo cual puede obedecer a una cierta sobrestimación de los efectos que tiene el método empleado. No obstante, la tendencia general sería hacia menores rendimientos de este cultivo.

GRÁFICO 22
EL SALVADOR: PROYECCIONES DE LOS RENDIMIENTOS DEL FRIJOL, 2006-2100

A PARTIR DEL ESCENARIO A2



A PARTIR DEL ESCENARIO B2



Fuente: Elaboración propia.

Ello tendrá también importantes efectos económicos. Las estimaciones de éstos se muestran en el cuadro 23. Como ahí se puede apreciar, en el corto plazo los costos podrían ser relativamente bajos, pero a largo plazo podrían ser importantes. Si los cambios climatológicos no fueran tan adversos, como lo indica el escenario B2, las pérdidas acumuladas que predice el modelo, considerando una tasa de descuento de 4%, podrían ser de alrededor de medio punto porcentual del PIB; no obstante, ante un escenario más adverso podrían ser cercana a un punto porcentual.

CUADRO 23
EL SALVADOR: IMPACTOS ECONÓMICOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA
PRODUCCIÓN DEL FRIJOL COMO PORCENTAJE DEL PIB DE 2007

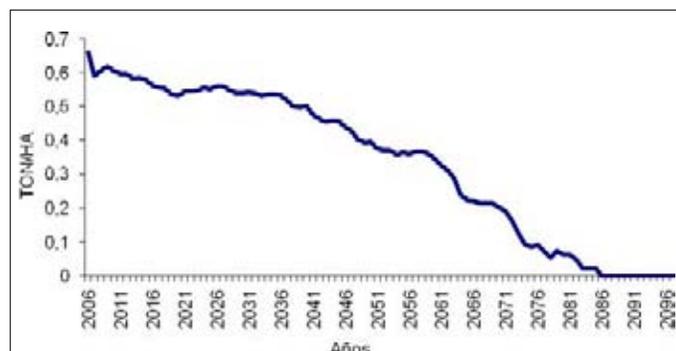
Año	Escenario A2				Escenario B2			
	Tasa de descuento (r)				Tasa de descuento (r)			
	0,005	0,02	0,04	0,08	0,005	0,02	0,04	0,08
2020	0,19	0,16	0,14	0,10	0,20	0,19	0,17	0,14
2030	0,38	0,31	0,24	0,15	0,36	0,30	0,25	0,18
2050	1,12	0,74	0,46	0,21	0,92	0,64	0,42	0,23
2070	2,71	1,45	0,70	0,24	2,00	1,11	0,58	0,25
2100	7,40	2,88	1,01	0,26	4,81	1,97	0,77	0,26

Fuente: Elaboración propia

Las proyecciones para el café, basadas en los dos escenarios climáticos (A2 y B2) y en la especificación 1' del cuadro 16 se presentan en el gráfico 23. Como ahí se muestra la producción de este cultivo tendería a caer en los siguientes años. Al igual que en los casos anteriores, el escenario A2 predice que la producción tendería a ser nula en los últimos años del período, lo cual es poco probable que suceda ya que los agricultores podrían adaptarse. Lo que sí es factible es que la producción se reduzca de forma importante.

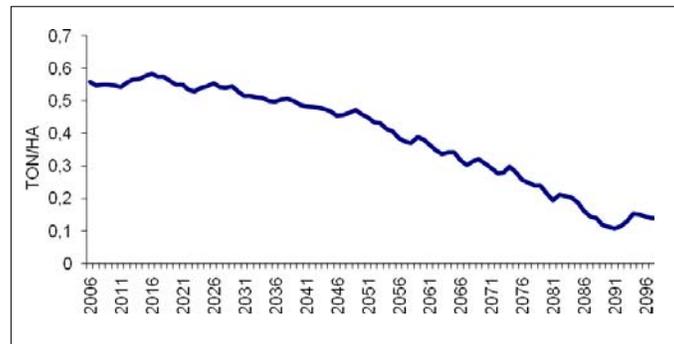
Los costos económicos acumulados hacia 2100 que se predicen serían de alrededor de 1% del PIB en ambos escenarios con una tasa de descuento de 4%.

GRÁFICO 23
EL SALVADOR: PROYECCIONES DE LOS RENDIMIENTOS DEL CAFÉ, 2006-2100
A PARTIR DEL ESCENARIO A2



(Continúa)

A PARTIR DEL ESCENARIO B2



Fuente: Elaboración propia.

CUADRO 24
EL SALVADOR: IMPACTOS ECONÓMICOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA
PRODUCCIÓN DEL CAFÉ COMO PORCENTAJE DEL PIB 2007, 2020-2100

Año	Escenario A2				Escenario B2			
	Tasa de descuento (r)				Tasa de descuento (r)			
	0,005	0,02	0,04	0,08	0,005	0,02	0,04	0,08
2020	0,16	0,13	0,09	0,05	0,22	0,20	0,18	0,15
2030	0,45	0,34	0,24	0,12	0,46	0,39	0,31	0,21
2050	1,67	1,06	0,60	0,22	1,45	0,97	0,61	0,30
2070	4,39	2,26	1,01	0,27	3,44	1,85	0,91	0,34
2100	11,19	4,36	1,48	0,30	8,22	3,31	1,23	0,36

Fuente: Elaboración propia.

3. Proyecciones e impactos sobre el ingreso por alquiler de la propiedad

En esta sección se emplean los resultados de las regresiones lineales estimadas para los tres modelos del enfoque Ricardiano y con ello se busca explorar de qué manera los cambios futuros en el clima pueden afectar al ingreso por alquiler de la propiedad de los hogares rurales de El Salvador. Los efectos marginales estimados muestran que variaciones en la temperatura media anual y en la precipitación acumulada anual tienen influencia significativa en el ingreso mensual por alquiler de la propiedad para los hogares rurales salvadoreños.

Con ayuda de este enfoque se pretende explorar la magnitud de los impactos cuando los cambios climáticos se manifiesten en años venideros. Como es usual, las estimaciones asumen que el resto de las condiciones se mantienen constantes, pues se busca aislar el efecto del cambio climático sobre el ingreso por alquiler a través de las variables temperatura y precipitación. También resulta importante aclarar que en este punto no se han tomado en cuenta los cambios probables en precios, población, inversión y tecnología.

Los datos de la proyección utilizada consideran un escenario climático de precipitación acumulada y temperatura media anual futuro a nivel de los municipios salvadoreños. El modelo empleado para predecir las anomalías del clima en años futuros es el Miroc de alta resolución bajo el escenario A1B. Con el propósito de evaluar el efecto futuro del clima sobre el alquiler se han considerado como puntos de corte los años 2020, 2030, 2050, 2070 y 2095.

La temperatura promedio anual y la precipitación acumulada anual, históricas que se consideran como base de referencia fueron 24,19 C y 1.826,11 mm, respectivamente. Aunque es importante no olvidar que la distribución de los cambios en temperatura y precipitación varían a los largo de los municipios de El Salvador.

Con el propósito de realizar las predicciones se han empleado los resultados de las tres especificaciones presentadas en el cuadro 18. Inicialmente, se calcula el valor esperado del ingreso por concepto de alquiler de la propiedad para cada hogar y posteriormente se estima el impacto total promedio para 2020, 2030, 2050, 2070 y 2095; justo como se indica en la ecuación 7 del apartado de metodologías empleadas en este estudio.

En el cuadro 25 se presenta el monto del ingreso estimado por alquiler de la propiedad junto con la variación porcentual, respecto al importe promedio actual, lo anterior para cada uno de los años de corte ya mencionados. En dichas cantidades es posible observar que prácticamente en todos los casos el efecto es negativo, previendo una disminución gradual en el alquiler esperado para los distintos períodos futuros.

Considerando las proyecciones del modelo I, para 2020 se encuentra que un aumento de la temperatura media anual de 1,56° C y un incremento de la precipitación acumulada de 3,5 mm, en relación a los valores medios históricos, implican una disminución de 2,6% de la ganancia por alquiler de la propiedad, mientras que el modelo II, que incluye variables por tipo de suelo, predice una baja de más del 3%. Asimismo, la especificación con términos cuadráticos arroja un decremento de 0,04%.

Para el año 2050 observamos en promedio un incremento de la temperatura media anual de 4,85° C y una disminución de 226,27 mm en la precipitación acumulada. Estos cambios implican una disminución de 4% en el ingreso por alquiler bajo el modelo I, mientras que el modelo II pronostica una disminución de 4,7%. En tanto que el modelo con términos cuadráticos nos arroja escasamente el valor de 0,1%.

CUADRO 25
IMPACTOS DE CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE EL INGRESO POR ALQUILER
DE LA PROPIEDAD EN LOS HOGARES RURALES SALVADOREÑOS¹⁸
INGRESO POR CONCEPTO DE ALQUILER DE LA PROPIEDAD ACTUAL Y FUTURO
(En dólares mensuales)

Año	Modelo I	Modelo II	Modelo III
2003	23,43	23,43	23,43
2020	22,82 (-2,6%)	22,71 (-3,1%)	23,42 (-0,04%)
2030	22,49 (-4,0%)	22,32 (-4,7%)	23,41 (-0,09%)
2050	22,18 (-5,3%)	21,95 (-6,3%)	23,40 (-0,13%)
2070	21,54 (-8,1%)	21,19 (-9,6%)	23,38 (-0,21%)
2095	21,03 (-10,2%)	20,59 (-12,1%)	23,37 (-0,26%)

Fuente: Elaboración propia.

¹⁸ Los impactos son cambios en el ingreso de alquiler de la propiedad expresados en dólares. Los cambios porcentuales respecto al año base se encuentran entre paréntesis.

Asimismo, para el año 2095 se presenta un aumento de la temperatura media anual de 6,15 °C y una baja de la precipitación acumulada de 587 mm, en relación a los valores medios históricos, lo anterior conlleva a una disminución de 10,2% de la ganancia de la propiedad por alquiler en el modelo I, mientras que el modelo II predice una baja del 12,1%. Las diferencias entre las especificaciones de los modelos I y II radican en que la segunda especificación busca capturar el efecto diferenciado por el tipo de suelo en conjunto con las variables de temperatura y precipitación. Sin embargo, la especificación tres nos lleva a un valor pequeño de decremento del orden de 0,26%.

De manera adicional, los resultados obtenidos se presentan gráficamente en los mapas de las figuras 1, 2 y 3, donde se muestra la distribución de los cambios en la ganancia de la propiedad por alquiler en los municipios de El Salvador para los años 2020, 2050 y 2095, utilizando los resultados econométricos del modelo II y evaluando los resultados de impacto a nivel municipal, hemos utilizado la especificación empleada en el segundo modelo, ya que es un modelo parsimonioso que incorpora las variables climáticas relevantes de temperatura y precipitación en conjunto con las diferencias existentes por tipo de suelo. Por su parte, las variables sociodemográficas incluidas permiten enriquecer el efecto estimado sobre el ingreso por alquiler sin recurrir a efectos no lineales entre las diferentes variables empleadas. En estas figuras es posible notar que el efecto es diferenciado a lo largo de las comunidades salvadoreñas.

En la figura 1 observamos que existen municipios (color rojo) que representan aproximadamente el 10%, y sufren una pérdida esperada de más de 75 centavos de dólar en el ingreso por alquiler. Adicionalmente, notamos que en su totalidad los municipios salvadoreños sufren alguna pérdida en esta fuente de ingreso para el año 2020. Sin embargo, debe señalarse que la disminución en el ingreso por alquiler de la propiedad de todos los municipios no rebasa el monto de un dólar. La combinación de los efectos de la precipitación acumulada y temperatura media anual para 2020 no permiten afirmar que nuestras estimaciones en los decrementos sean de magnitudes considerables. Este patrón de comportamiento puede reflejar la existencia de factores adicionales, no observables, que compensan el efecto de las variaciones de precipitación y temperatura sobre este ingreso.

No obstante lo anterior, no debemos dejar de subrayar que el efecto medio sobre el ingreso por alquiler de la propiedad es negativo y poco mayor a los 70 centavos de dólar. En otras palabras, un decremento esperado de poco más de 3% en su valor promedio tan sólo por variaciones en la temperatura media anual y precipitación acumulada. Asimismo, no se debe olvidar que ambas variables se encuentran relacionadas en una cadena ecológica mayor, y por ende, que la magnitud estimada por nuestro modelo calcula un decremento que probablemente es inferior al que podría realmente observarse en el futuro.

Si se considera la figura 2, es posible observar que para el año 2050 se tiene un comportamiento análogo al del año 2020, bajo la salvedad de que el decremento en el ingreso por alquiler se agudiza, pues ahora la disminución media es mayor al 6% respecto al valor observado actualmente. En promedio, este porcentaje se traduce en una disminución de un dólar y medio para esta fuente de ingresos en la totalidad de los municipios de El Salvador. Un decremento cuya magnitud es el doble al que se estimó para el año 2020.

De manera similar, en la figura 3 observamos que para el año 2095 el efecto negativo sobre el ingreso de alquiler de la propiedad es del 12%, un porcentaje que duplica lo estimado para 2050 y cuadruplica al porcentaje de disminución calculado para 2020. En cualquier caso, encontramos que el ingreso proveniente por el alquiler de la propiedad en los hogares rurales salvadoreños disminuye conforme la temperatura media anual y la precipitación acumulada anual se incrementan en los años venideros.

FIGURA 1
EL SALVADOR: DISTRIBUCIÓN DE LOS IMPACTOS A NIVEL MUNICIPAL SOBRE EL INGRESO
POR ALQUILER DE LA PROPIEDAD PARA EL AÑO 2020

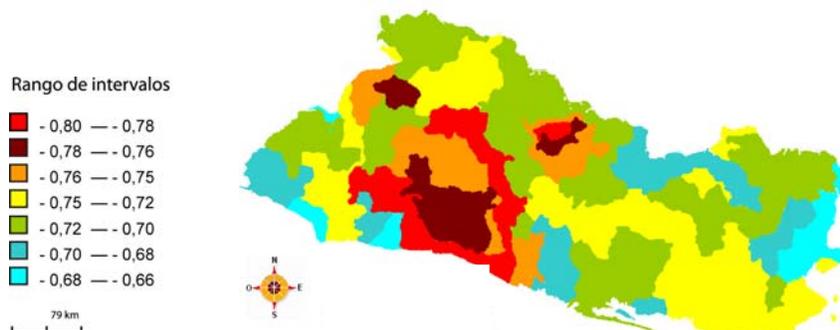


FIGURA 2
EL SALVADOR: DISTRIBUCIÓN DE LOS IMPACTOS A NIVEL MUNICIPAL SOBRE EL INGRESO
POR ALQUILER DE LA PROPIEDAD PARA EL AÑO 2050

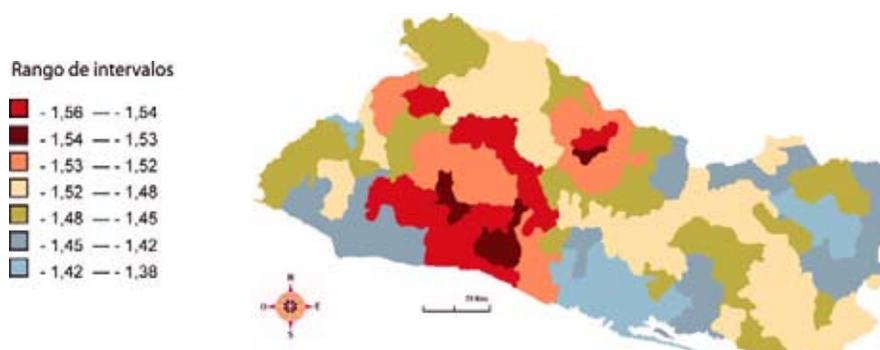
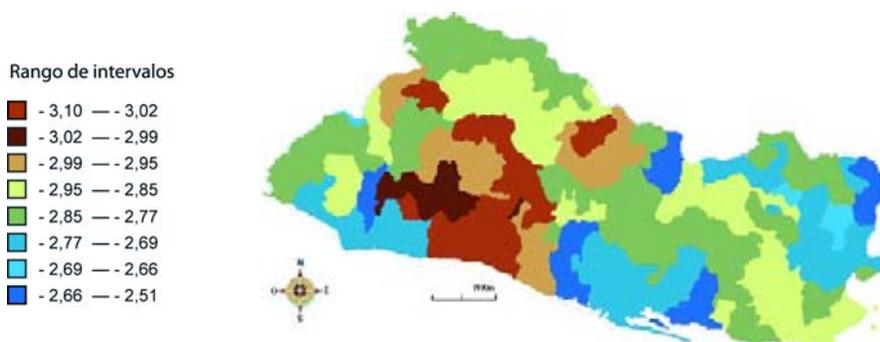


FIGURA 3
EL SALVADOR: DISTRIBUCIÓN DE LOS IMPACTOS A NIVEL MUNICIPAL SOBRE EL INGRESO
POR ALQUILER DE LA PROPIEDAD PARA EL AÑO 2095



Fuente para los tres mapas: Elaboración propia.

Nota: Los límites y los nombres que figuran en estos mapas no implican su apoyo o aceptación oficial por las Naciones Unidas.

VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El cambio climático ya ha dado muestras de efectos adversos en El Salvador. Muestra de ello son el huracán Mitch y la tormenta Stan. A futuro, diversos escenarios proyectan que el clima seguirá cambiando. La temperatura podría aumentar entre 2 y 5° C hacia 2100.

Un sector que es altamente vulnerable, por su alta dependencia del clima es el agropecuario. En este estudio se analizaron los efectos potenciales que los cambios climatológicos traerían sobre dicho sector tan relevante en la economía salvadoreña.

Los resultados de este estudio evidencian que el cambio climático ya está teniendo efectos negativos sobre la producción de algunos cultivos. Para el maíz, el frijol y el café es probable que ya haya rebasado la temperatura que permite lograr rendimientos considerables. Mayores niveles de precipitación podrían compensar las potenciales reducciones en producción; sin embargo, lo más probable es que se presenten disminuciones. Algunos escenarios proyectan que la precipitación se reduciría entre 18% y 40% hacia 2100.

Si bien es probable que el cambio climático venga acompañado de efectos positivos sobre algunos cultivos y sectores; en general, estos serían de corto plazo, pero a largo plazo se revertirían trayendo consigo costos importantes sobre el sector agropecuario de El Salvador. Una estimación indica que éstos podrían ubicarse hacia 2100 entre 2% y 8% del PIB de 2007, dependiendo de la severidad de las variaciones climatológicas.

También se encuentra que el cambio climático afectaría los ingresos por alquiler de la propiedad en los hogares rurales salvadoreños. El incremento de un grado Celsius en la temperatura media anual generaría una disminución de 0,3 dólares, lo que equivaldría a una disminución del 1,3% en los ingresos que provienen del alquiler de la propiedad, este decremento se agudiza si consideramos a los hogares rurales en distintos deciles. En particular, para los que se encuentran en los primeros ocho deciles del ingreso por alquiler de la propiedad se estima una caída mayor al 2%.

Estos resultados muestran la necesidad de buscar mecanismos que compensen las pérdidas que el agro salvadoreño sufrirá. Las estrategias deberán desarrollarse con rapidez y eficiencia y convenientemente deberán ser focalizadas y orientadas en temas prioritarios a fin de tener el mayor impacto posible. Será importante actuar en dos vertientes: 1) elevar la productividad agrícola y 2) generar mecanismos de adaptación al cambio climático.

En este estudio se mostró que la productividad del agro en general es baja y ha aumentado poco en los últimos años. Aunque se han hecho esfuerzos para incrementar los recursos destinados al campo, ellos parecen ser insuficientes para los requerimientos actuales, y pueden serlo aún más ante los retos que el cambio climático traerá, por ello será de gran importancia destinar mayores aportes al medio rural. Un punto importante son las inversiones en infraestructura. Estudios de la CEPAL, el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y el Instituto Internacional para la Investigación de Políticas Alimenticias (IFPRI) han dado muestras de que este tipo de inversiones tienen efectos positivos sobre los ingresos de los hogares. También, es importante fomentar mecanismos que permitan que el crédito crezca de forma sostenida y que se atraigan mayores inversiones.

La productividad del agro difícilmente podrá incrementarse si el capital humano se mantiene poco desarrollado como hasta ahora. El factor trabajo es un elemento importante en la producción agrícola de El Salvador, las estimaciones que se presentan en este estudio dan muestra de ello, por lo cual será importante

generar mecanismos para elevar el capital humano. Uno de ellos puede ser la generación de estrategias en la que participen las escuelas agrícolas existentes en el país y se desarrollen sistemas de capacitación enfocados a las cadenas productivas. Con lo que se podría generar que los agricultores puedan ser más productivos y aprovechen de mejor forma los recursos con que cuentan para mejorar la producción.

Algunos mecanismos como la construcción de invernaderos, el riego por goteo o el uso de semillas mejoradas, entre otras, podrían ser útiles en principio como mecanismos de adaptación. No obstante, será importante fomentar la investigación a fin de aprovechar la tecnología aplicada en otros países o en algunas regiones de El Salvador, para que los cultivos puedan adaptarse a climas más cálidos, se aprovechen de mejor forma los recursos hídricos y se controlen las enfermedades por plagas. También se pueden emplear tecnologías para la conservación de los suelos, la retención de humedad y la reducción de riesgos de desastres.

La agricultura de El Salvador ha mostrado una elevada vulnerabilidad a los efectos climatológicos. Los huracanes y tormentas que se han presentado en este país han traído consigo pérdidas económicas de consideración; por ello es importante que se diseñen estrategias que permitan reducir dichos riesgos y ayuden a hacer más rentables las inversiones elevando con ello la productividad del agro. Una opción es el desarrollo de mercados de riegos tales como los *futuros* y los seguros agrarios. Aunque en El Salvador existe cierta penetración de estos instrumentos, ella es relativamente baja, por ello convendría una mayor acción del gobierno a fin de crear los incentivos para el desarrollo de estos mercados.

En suma, las medidas que se apliquen deberán hacerse con rapidez y eficiencia, ya que de no encontrarse mecanismos que incentiven la producción y que permitan la adaptación a los efectos climáticos, se tendrían pérdidas económicas importantes, de las cuales, como es común, los grupos de menores ingresos serán los más afectados.

BIBLIOGRAFÍA

- Adams Richard, Hurd B, Reaily J. (1999), "A review of impacts to U.S. agricultural resources", preparado para el Pew Center on Global Climate Change.
- ___ y otros (1988), Implications of Global Climate Change for Western Agriculture, *Western Journal of Agricultural Economics*, 13 (2): 348-356.
- ___ y otros (1990), Global Climate Change and US Agriculture, *Nature*, 345: 219-223.
- ___ y otros (1998), Effects of Global Climate Change on Agriculture: An Interpretative Review, *Climate Research*, II: 19-30.
- Alfaro, W. y L. Rivera (2008), *Cambio climático en Mesoamérica: temas para la creación de capacidades y la reducción de la vulnerabilidad*, Fundación Futuro Latinoamericano.
- Audesirk, Teresa (2003), *Biología: La vida en la Tierra*, Prentice Hall México.
- Baker, B. B. y otros (1993), The Potential Effects of Climate Change on Ecosystem Processes and Cattle Production on US Rangelands, *Climatic Change*, 23: 97-117.
- Baltagi, B. (2005), *Econometric Analysis of Panel Data*, 3^a ed., John Wiley & Sons Ltd.
- Banco Mundial (2009), "Informe sobre el desarrollo mundial 2010: Desarrollo y cambio climático (Panorama general, versión preliminar)", *Banco Mundial*. [en línea], [fecha de consulta: 17 de septiembre de 2009] <<http://siteresources.worldbank.org/INTWDR2010/Resources/5287678-1226014527953/Overview-Spanish.pdf>>
- Blacklund, Peter, Anthony Janetos y David Schimel (2009) "The Effects of Climate Change on Agriculture, Land Resources, Water Resources, and Biodiversity in the United States", *Synthesis and Assessment Product 4.3 Report by the U.S. Climate Change Science Program and the Subcommittee on Global Change Research. U. S. Global Change Research Program, Global Climate Change Impacts in the United States*, Agriculture. Cambridge University Press.
- CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe) (2008), *Istmo Centroamericano: Evolución económica durante 2007 y perspectivas para 2008*, México (LC/MEX/L.854), abril.
- ___ (2009) *Anuario estadístico de América Latina y el Caribe 2008*, Santiago de Chile (LC/G.2399-P), febrero.
- CAC (Consejo Agropecuario Centroamericano) (2002), *Estrategia para el manejo de la sequía en el sector agropecuario de Centroamérica*, San José, Costa Rica, enero.
- CCAD (Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo) (2008), Lineamientos de la Estrategia Regional de Cambio Climático, San Salvador, El Salvador, abril.
- ___ (2007), "Política agrícola centroamericana 2008–2017", *Una agricultura competitiva e integrada para un mundo global*, San José, Costa Rica.
- Cline, W. R. (2007), *Global Warming and Agriculture: Impact Estimates by Country*, Center for Global Development and Peterson Institute for International Economics, Washington, D.C.
- Darwin, R., Tsigas, M., Lewandrowski, J. y Ranases, (1995), *World Agriculture and Climate Change. Economic Adaptations*, United States Department of Agriculture.
- De la Torre, P., P. Fajnzylber y J. Nash (2009), *Desarrollo con menos carbono: respuestas latinoamericanas al desafío del cambio climático*, Banco Mundial, Washington, D.C.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación) (2003a), *World Agriculture: Towards 2015/2030. A FAO Perspective*, Roma.
- ___ (2003b) *The digital soil map of the world (DSMW)* CD-ROM. Food and Agriculture Organization, Italy, Rome.
- ___ (2005), "Base de datos estadísticos en línea: FAOSTAT" [en línea], Organismo Internacional [fecha de consulta 28 de junio de 2009] <www.fao.org>.
- ___ (2008), "Wood energy" [en línea], organización internacional [fecha de consulta: 30 de junio de 2009] <www.fao.org/forestry/50644/en/>.
- ___ (2009), "Sistema de Información sobre el uso del agua en la agricultura y el medio rural de la FAO" [en línea], Organismo Internacional [fecha de consulta: 30 de junio de 2009] <<http://www.fao.org/nr/water/aquastat/countries/honduras/indexesp.stm>>.
- Finger, R. y S. Schmid (2007), "Modeling Agricultural Production Risk and the Adaptation to Climate Change" (mimeo).
- Fleischer, A., I. Lichtman y R. Mendelsohn (2007), *Climate Change, Irrigation, and Israeli Agriculture: Will Warming Be Harmful?* World Bank, Policy Research Working Paper, N° 4135.

- Fournier, L. y J. di Stefano (2004), Variaciones climáticas entre 1988 y 2001 y sus posibles efectos sobre la fenología de varias especies leñosas y el manejo de un cafetal con sombra en ciudad Colón de Mora, Costa Rica, *Agronomía Costarricense*, 28 (001): 101-120.
- Galindo, L. (2009), "La economía del cambio climático en México", *Gobierno Federal, SHCP, SEMARNAT*.
- Gay, C. y otros. (2004), "Impactos potenciales del cambio climático en la agricultura: escenarios de producción de café para el 2050 en Veracruz (México)" (mimeo).
- Gerald, Nelson (2009), "Agriculture and climate change: An agenda for negotiation in Copenhagen", *IFPRI* (International Food Policy Research Institute).
- Harmeling, Sven (2007), *Global Climate Risk Index 2008. Weather-related loss events and their impacts on countries in 2006 and in long-term comparison*, Berlin: Germanwatch, 36 pp. Disponible en <http://www.germanwatch.org/klima/crri.htm>.
- INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias) (2005), "Potencial productivo agrícola de la región valles de Jalisco", *INIFAP, SAGARPA*.
- IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático) (2007), *Cambio climático 2007: informe de síntesis. Contribución de los grupos de trabajo I, II y III al cuarto informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*, Ginebra, 104 pp.
- Klinedinst, P.L., y otros (1993), The Potential Effects of Climate Change on Summer Season Dairy Cattle Milk Production and Reproduction, *Climatic Change*, 23(1): 21-36.
- Leary, N., J. Kulkarni y C. Seipt (2007), *Assessment of Impacts and Adaptation to Climate Change (AIACC): Final Report*, AIACC Implementing Agency of the United Nations Environment Programme (UNEP), Washington, D.C.
- Maddison, D., M. Manley y P. Kurukulasuriya (2007), "The Impact of Climate Change on African Agriculture. A Ricardian Approach", World Bank, *Policy Research Working Paper*, 4306.
- McCarl, B., R. Adams y B. Hurd (2001), "Global Climate Change and its impact on Agriculture" (mimeo).
- Mendelsohn, R., W. Nordhaus y D. Shaw (1994), The Impact of Global Warming on Agriculture: A Ricardian Analysis, *American Economic Review*, 84:753-771.
- Mendelsohn, R., A. Dinar y A. Sanghi (2001), The Effect of Development on the Climate Sensitivity of Agriculture, *Environment and Development Economics*, 6:85-101.
- Mendelsohn, R. (2007), Past Climate Change Impacts on Agriculture, en R. Evenson y P. Pingali (comps.), *Handbook of Agricultural Economics*, Vol. 3, 3008-3031.
- Mendelsohn, R., y otros (2007), Climate and Rural Income, *Climatic Change*, 81:101-118.
- Mendelsohn, R. y S.N. Seo (2007), "Changing Farm Types and Irrigation as an Adaptation to Climate Change in Latin American Agriculture", *World Bank Policy Research Series Working Paper*, N° 4161, World Bank.
- Mendelsohn, R., P. Christensen y J. Arellano-González (2009), *Ricardian Analysis of Mexican Farms*, Report to the World Bank.
- Merino, Gerardo (1998), "Evaluación de los impactos del cambio climático en la seguridad alimentaria de El Salvador", Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Metz, B., y otros (2007), *Climate Change 2007, Mitigation of Climate Change*, IPCC.
- MINEC (Ministerio de Economía de El Salvador) (2008) [en línea], El Salvador [fecha de consulta: 24 de junio de 2009] <<http://www.cafta.gob.sv/>>
- Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2000) "Primera comunicación nacional sobre cambio climático. República de El Salvador". [en línea] <<http://www.marn.gob.sv/>>
- Molua, E. y C. Lambi (2007), *The Economic Impact of Climate Change on Agriculture in Cameroon*, World Bank, Policy Research Working Paper, N° 4364.
- Monterrosa de Tobar, M. (1998), *Evaluación de los impactos del cambio climático en el sector agropecuario de la zona costera de El Salvador*, Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- OCHA (United Nations Office for the Coordination of Humanitarian Affairs) (2008) *Central America Floods Report* N° 2, octubre.
- Parry, M.L., y otros. (2004), Effects of climate change on global food production under SRES emissions and socio-economic scenarios, *Global Environmental Change*, 14: 53-67.
- (PNUD) El Salvador (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo) (2007), "El ABC del Cambio Climático de El Salvador" [en línea] <http://www.pnud.org.sv/2007/content/view/27/83?id_publ=13>.
- PNUD (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo) (2007) *Informe sobre Desarrollo Humano 2007-2008. La lucha contra el cambio climático: Solidaridad frente a un mundo dividido*, Nueva York: PNUD, 400 pp.
- PNUMA/UNFCCC (2004), Carpeta de Información sobre el cambio Climático, PNUMA/UNFCCC, octubre.

- Rosenzweig, C. y M. Parry (1994), Potential Impact of Climate Change on World Food Supply, *Nature*, 367: 133-138.
- Schimmelpfennig, D., y otros (1996), *Agricultural Adaptation to Climate Change: Issues of Long Run Sustainability*, U S Department of Agriculture, Natural Resources and Environment Division, Economic Research Service, Washington, DC.
- Schlenker, W., W. Hanemann y A. Fischer (2006), The Impact of Global Warming on US Agriculture: An Econometric Analysis of Optimal Growing Conditions, *The Review of Economics and Statistics*, 88 (1): 113-125.
- Seo, S.N., R. Mendelsohn y M. Munasinghe (2005), Climate Change and Agriculture in Sri Lanka: A Ricardian Valuation, *Environment and Development Economics*, 10:581-596.
- Seo, S.N. y R. Mendelsohn (2006), *Climate Change Impacts on Animal Husbandry in Africa: A Ricardian Analysis*, World Bank Policy Research Working Paper, N° 4621, Washington, D.C.
- ___ (2008), Measuring Impacts and Adaptations to Climate Change: A Structural Ricardian Model of African Livestock Management, *Agricultural Economics*, 38:151-165.
- ___ (2008a), "A Ricardian Analysis of the Impact of Climate Change on Latin American Farms", *World Bank Policy Research Series Working Paper*, N° 4163, World Bank, Washington, DC.
- ___ (2008b), "A Ricardian Analysis of the Impact of Climate Change on South American Farms", *Chilean Journal of Agricultural Research*, 68(1): 69-79.
- ___ (2008c), "An Analysis of Crop Choice: Adapting to climate Change in Latin American Farms", *Ecological Economics*, 67: 109-116.
- Sergendon Kathleen, B.L. Dixon, (1998), "Climate Change and agriculture: the role of farmer adaptation. Chapter 3, *the Economics of Climate Change*, R. Mendelsohn and J. Neumann, eds. Cambridge University Press, Cambridge.
- Smit, B., D. McNabb y J. Smithers (1996), "Agricultural Adaptation to Climatic Variation", *Climatic Change*, 33: 7-29.
- Taylor, J. Edward, Yúnez, Antonio, Jesurun-Clements y otros (2006), "Los posibles efectos de la liberalización comercial en los hogares rurales centroamericanos a partir de un modelo desagregado para la economía rural", *Banco Interamericano de Desarrollo*, [en línea] <<http://idbdocs.iadb.org/wsdocs/getdocument.aspx?docnum=815048>>
- Terjung, W.H., D.M. Liverman, y J.T. Hayes (1984), "Climate Change and Water Requirements for Grain Corn in the North American Plains", *Climatic Change*, 6: 193-220.
- Vega, E. y L. Gámez (2003), "Implicaciones económicas de los eventos hidrometeorológicos en Costa Rica: 1996-2001" (mimeo).
- Warrick, R.A. (1984), "The Possible Impacts on Wheat Production of a Recurrence of the 1930's Drought in the Great Plains", *Climatic Change*, 6: 5-26.
- Wild Alan. (1992), *Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Russell*, Mundi-Prensa.

ANEXOS

ANEXO I
IMPACTO EN LAS FUNCIONES DE PRODUCCIÓN AGROPECUARIAS

CUADRO AI-1
EL SALVADOR: IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO, 2020, 2030, 2050, 2070 Y 2100
ESCENARIO A2 (ECHAM, GFDL, HADGEM)
(En porcentajes acumulados del PIB agropecuario de 2007)

Año	Producción agropecuaria				Producción agrícola			
	Tasa de descuento (r)				Tasa de descuento (r)			
	0,02	0,04	0,08		0,005	0,02	0,04	0,08
Cambios en temperatura y precipitación								
2020	13,41	12,47	11,40	9,76	7,74	7,15	6,50	5,53
2030	19,75	17,36	14,90	11,60	10,64	9,36	8,05	6,33
2050	34,65	25,93	19,09	12,69	22,19	16,00	11,31	7,18
2070	54,45	34,49	21,96	13,04	37,54	22,69	13,58	7,46
2100	249,24	92,07	33,90	13,65	142,95	53,91	20,06	7,79

Fuente: Elaboración propia.

CUADRO AI-2
EL SALVADOR: IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO, 2020, 2030, 2050, 2070 Y 2100
ESCENARIO B2 (ECHAM, GFDL, HADGEM)
(En porcentajes acumulados del PIB agropecuario de 2007)

Año	Producción agropecuaria				Producción agrícola			
	Tasa de descuento (r)				Tasa de descuento (r)			
	0,005	0,02	0,04	0,08	0,005	0,02	0,04	0,08
Cambios en temperatura y precipitación								
2020	13,05	11,87	10,53	8,47	6,41	5,87	5,27	4,34
2030	28,23	23,73	19,13	13,09	11,59	9,90	8,17	5,88
2050	39,70	30,25	22,24	13,83	15,26	11,93	9,10	6,08
2070	56,05	37,10	24,43	14,07	20,35	14,04	9,77	6,15
2100	82,83	45,10	26,11	14,16	39,36	19,75	10,97	6,22

Fuente: Elaboración propia.

CUADRO AI-3
EL SALVADOR: IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO, 2006-2100
ESCENARIO A2 (ECHAM, GFDL, HADGEM)
(En porcentajes acumulados del PIB agropecuario)

Año	Producción agropecuaria	Producción agrícola
2006-2010	6,98	4,44
2011-2020	5,98	3,00
2021-2030	5,60	2,54
2031-2040	3,93	3,01
2041-2050	6,37	4,97
2051-2060	2,39	2,50
2061-2070	7,65	5,35
2071-2080	13,45	7,62
2081-2090	21,44	11,77
2091-2100	25,12	13,18

Fuente: Elaboración propia

CUADRO AI-4
EL SALVADOR: IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO. 2006-2100
ESCENARIO B2 (ECHAM, GFDL, HADGEM)
(En porcentajes acumulados del PIB agropecuario)

Año	Producción agropecuaria	Producción agrícola
2006-2010	3,42	2,56
2011-2020	9,11	3,59
2021-2030	13,51	4,60
2031-2040	0,43	-0,30
2041-2050	7,43	2,76
2051-2060	2,16	0,15
2061-2070	5,82	2,30
2071-2080	2,08	1,74
2081-2090	4,15	2,62
2091-2100	2,14	1,62

Fuente: Elaboración propia

ANEXO II
IMPACTO SOBRE LOS RENDIMIENTOS DE MAÍZ, FRIJOL Y CAFÉ

CUADRO AII-1
EL SALVADOR: IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA PRODUCCIÓN DEL MAÍZ,
2020, 2030, 2050, 2070 Y 2100, ESCENARIO A2 Y B2 (ECHAM, GFDL, HADGEM)
(En porcentajes acumulados del PIB agropecuario de 2007)

Año	Escenario A2				Escenario B2			
	Tasa de descuento (r)				Tasa de descuento (r)			
	0,005	0,02	0,04	0,08	0,005	0,02	0,04	0,08
2020	0,74	0,54	0,33	0,05	0,61	0,62	0,63	0,64
2030	3,60	2,70	1,82	0,78	2,94	2,38	1,84	1,23
2050	19,16	11,68	6,24	1,94	13,46	8,55	4,94	2,08
2070	57,91	28,75	12,14	2,71	39,05	19,79	8,81	2,58
2100	158,67	59,83	18,95	3,10	107,01	40,57	13,31	2,83

Fuente: Elaboración propia.

CUADRO AII-2
EL SALVADOR: IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA PRODUCCIÓN DEL FRIJOL,
2020, 2030, 2050, 2070 Y 2100, ESCENARIO A2 Y B2 (ECHAM, GFDL, HADGEM)
(En porcentajes acumulados del PIB agropecuario de 2007)

Año	Escenario A2				Escenario B2			
	Tasa de descuento (r)				Tasa de descuento (r)			
	0,005	0,02	0,04	0,08	0,005	0,02	0,04	0,08
2020	2,14	1,87	1,58	1,15	2,36	2,16	1,94	1,60
2030	4,44	3,60	2,77	1,73	4,11	3,47	2,84	2,04
2050	12,96	8,58	5,26	2,41	10,57	7,32	4,81	2,60
2070	31,28	16,66	8,05	2,77	23,07	12,85	6,73	2,85
2100	85,30	33,18	11,63	2,97	55,49	22,76	8,88	2,97

Fuente: Elaboración propia.

CUADRO AII-3
EL SALVADOR: IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA PRODUCCIÓN DEL CAFÉ,
2020, 2030, 2050, 2070 Y 2100, ESCENARIO A2 Y B2 (ECHAM, GFDL, HADGEM)
(En porcentajes acumulados del PIB agropecuario de 2007)

Año	Escenario A2				Escenario B2			
	Tasa de descuento (r)				Tasa de descuento (r)			
	0,005	0,02	0,04	0,08	0,005	0,02	0,04	0,08
2020	1,79	1,45	1,08	0,57	2,56	2,35	2,12	1,77
2030	5,13	3,95	2,80	1,41	5,35	4,44	3,56	2,47
2050	19,26	12,20	6,91	2,51	16,73	11,20	7,00	3,43
2070	50,60	26,01	11,69	3,14	39,65	21,31	10,50	3,89
2100	129,00	50,22	17,00	3,44	94,73	38,20	14,17	4,10

Fuente: Elaboración propia.

CUADRO AII-4
EL SALVADOR: IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO: 2006-2100
ESCENARIO A2 (ECHAM, GFDL, HADGEM)
(En porcentajes acumulados del PIB agropecuario)

Año	Maíz	Frijol	Café
2006-2010	-0,41	0,37	-0,44
2011-2020	1,08	1,67	2,10
2021-2030	2,49	1,99	2,89
2031-2040	3,56	2,29	3,63
2041-2050	7,25	3,70	6,28
2051-2060	8,93	4,31	7,44
2061-2070	11,14	5,19	8,80
2071-2080	12,30	5,98	9,73
2081-2090	11,42	6,25	8,86
2091-2100	9,19	5,22	7,07

Fuente: Elaboración propia.

CUADRO AII-5
EL SALVADOR: IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO: 2006-2100
ESCENARIO B2 (ECHAM, GFDL, HADGEM)
(En porcentajes acumulados del PIB agropecuario)

Año	Maíz	Frijol	Café
2006 - 2010	0,771	1,013	1,184
2011- 2020	-0,164	1,259	1,288
2021 - 2030	2,026	1,515	2,414
2031 - 2040	2,892	2,221	3,693
2041 - 2050	4,526	2,405	4,420
2051 - 2060	5,842	3,111	5,590
2061 - 2070	7,369	3,390	6,306
2071 - 2080	7,469	3,565	6,265
2081 - 2090	7,844	3,739	6,298
2091 - 2100	6,629	3,161	5,283

Fuente: Elaboración propia.

Nota: Debido a la sobreestimación que se puede presentar en las estimaciones, la suma de los efectos de cada cultivo no es el total de los efectos referentes a la producción agrícola, además mientras algunos cultivos presentan pérdidas, pueden existir otros que presenten ganancias como las frutas tropicales.