



NACIONES UNIDAS

CEPAL



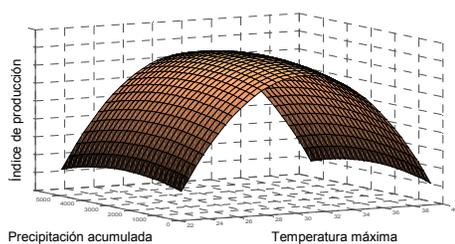
DFID Department for International Development

GUATEMALA

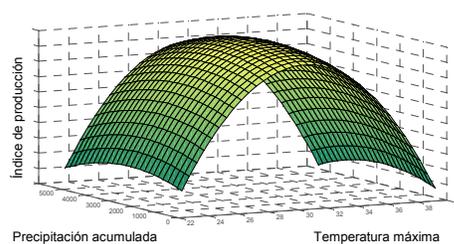
EFFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE LA AGRICULTURA

Jorge Mora
Diana Ramírez
Juan Luis Ordaz
Alicia Acosta
Braulio Serna

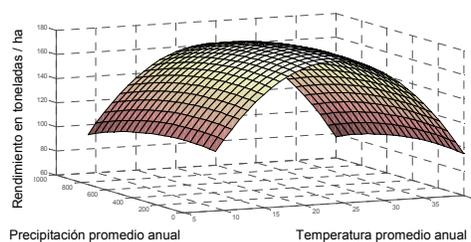
Índice de producción agropecuaria



Índice de producción de cultivos



Maíz



Este documento de la CEPAL, proyecto “La economía del cambio climático en Centroamérica”, fue elaborado por Diana Ramírez, Juan Luis Ordaz, 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.

LC/MEX/L.963

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. • Junio de 2010 • 2010-020

ÍNDICE

RESUMEN EJECUTIVO	1
INTRODUCCIÓN	3
I. REVISIÓN DE LA LITERATURA	7
1. Estudios sobre los impactos del cambio climático en Centroamérica	12
2. Estudios sobre los impactos del cambio climático en el agro guatemalteco.....	13
II. EL SECTOR AGROPECUARIO Y EL CAMBIO CLIMÁTICO.....	16
1. La contribución del agro y el medio rural a la economía guatemalteca.....	16
2. Servicios ambientales de la agricultura y del medio rural	20
3. Guatemala ante el cambio climático	21
III. METODOLOGÍAS.....	25
1. Enfoque de la función de producción	26
2. Enfoque Ricardiano	28
IV. EL IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE EL SECTOR AGROPECUARIO	30
1. Impacto sobre las funciones de producción agropecuaria.....	31
2. Impacto sobre la producción de maíz, frijol y café.....	39
3. Impacto sobre el valor de la tierra. Datos y resultados del enfoque Ricardiano	45
V. LOS ESCENARIOS FUTUROS: LOS IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE EL SECTOR AGROPECUARIO	51
1. Impactos sobre la producción agropecuaria	51
2. Impactos sobre los rendimientos de maíz, frijol y café.....	55
3. Impactos sobre la renta de la tierra bajo escenarios climáticos futuros	58
VI. CONCLUSIONES	62
BIBLIOGRAFÍA	65
FUENTES DE INFORMACIÓN.....	67
ANEXO I: IMPACTO EN LAS FUNCIONES DE PRODUCCIÓN AGROPECUARIAS	69
ANEXO II: IMPACTO SOBRE LOS RENDIMIENTOS DE MAÍZ, FRIJOL, Y CAFÉ	70

RESUMEN EJECUTIVO

Como respuesta al mandato de la Cumbre Presidencial Centroamericana sobre Cambio Climático de mayo de 2008, la Sede Subregional de la CEPAL en México está implementando el proyecto *La Economía del Cambio Climático en Centroamérica* con las Autoridades de Ambiente, los Ministerios de Finanzas/Hacienda, la Secretaría de Integración Económica Centroamericana (SIECA) y la Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo (CCAD) con el financiamiento del Departamento para el Desarrollo Internacional (DFID) del gobierno británico.

Este estudio muestra cómo el cambio climático ocasiona reducciones en la producción, los rendimientos y el valor en la renta de la tierra de los agricultores de Guatemala. Además, se cuantifica el efecto directo de las variaciones en temperatura y precipitación sobre la producción, rendimientos y la renta de la tierra.

En el documento se analizan algunos de los efectos potenciales del cambio climático sobre el sector agropecuario de Guatemala. En particular, se evalúan las variaciones en la producción y sus efectos económicos. Además de mostrar resultados para el sector en su conjunto, se examinan los impactos del cambio climático sobre algunos de los cultivos más importantes del país. De manera adicional, también se estiman las repercusiones sobre la renta de la tierra de los hogares rurales guatemaltecos.

Los resultados preliminares obtenidos en el presente estudio indican que el calentamiento global está teniendo ya efectos negativos sobre el sector agropecuario. El cambio climático ocasiona reducciones en los niveles de producción, en los rendimientos y en los ingresos de los agricultores guatemaltecos, que de no tomarse medidas que compensen los potenciales efectos, las pérdidas económicas podrían ser cuantiosas.

Al considerar las repercusiones del cambio climático sobre los índices de producción agropecuaria en su conjunto, la producción de cultivos y la producción pecuaria, los resultados indican que, en cuanto al índice de producción agropecuaria, la temperatura registrada en 2005 ha sobrepasado el nivel óptimo del sector, lo que indica que cualquier incremento marginal de la temperatura se traducirá en pérdidas económicas para el sector en su conjunto. El mismo fenómeno se presenta tanto para la producción de cultivos como para la pecuaria. Por el contrario, los efectos de la precipitación acumulada sobre los tres índices de producción son favorables e indican que los incrementos en esta variable permitirán obtener mayores niveles de producción, ya que en 2005 aún no se alcanzaba su nivel óptimo.

El análisis realizado sobre los cultivos de maíz y frijol revelan que, con relación al maíz, estaría por alcanzarse el nivel de temperatura que permite lograr el máximo rendimiento, es decir, aún se cuenta con cierto margen para efectuar políticas preventivas de este cultivo. La situación es diferente para el frijol, pues el ejercicio de sensibilidad efectuado indica que ya se ha rebasado la temperatura que permite alcanzar los mayores rendimientos en la producción de este cultivo, lo que indica que el cambio climático ya estaría generando pérdidas sobre su productividad. Con respecto a la precipitación, los ejercicios de sensibilidad para ambos cultivos indican que el nivel de rendimiento máximo se alcanza con niveles de precipitación inferiores a los actuales.

Asimismo, los resultados de este informe revelan que la renta de la tierra para los hogares guatemaltecos también es sensible al clima. Un incremento marginal en la temperatura promedio anual de un grado Celsius disminuye la renta de la tierra en aproximadamente seis dólares. De igual manera, un

incremento en la precipitación acumulada anual de 10 mm implica un aumento en la renta de la tierra de dos dólares.

En el presente análisis también se incluyen los posibles impactos derivados de cambios futuros en el clima, los cuales muestran un escenario poco alentador sobre los ingresos provenientes de la renta de la tierra para los hogares rurales de Guatemala. Los efectos de las proyecciones futuras predicen resultados negativos, que van de 7% hasta cerca de 67% en el monto percibido por concepto de renta de la tierra, lo que representaría para los hogares pobres un impacto no menor al 11% en el ingreso percibido por esta fuente. Adicionalmente, es posible observar que estos efectos muestran una dispersión importante a través de las distintas regiones del territorio guatemalteco.

Al realizar una evaluación de los impactos económicos que conllevará el cambio climático sobre el sector agropecuario guatemalteco hacia el año 2100, se observa que las pérdidas podrían oscilar entre 3% y 15% del PIB (contemplando una tasa de descuento de 2%), dependiendo de la severidad del escenario climático estimado. Así, aun cuando en el corto plazo sea posible incentivar la producción para algunos cultivos, a largo plazo los beneficios se revertirían, llegando incluso a producirse pérdidas de considerable magnitud.

Como se muestra también en este estudio, el sector agropecuario de Guatemala enfrenta grandes retos, entre ellos el bajo nivel de desarrollo del capital humano y la escasa inversión que se ha realizado sobre la infraestructura física. Así, será importante atender éstas y otras de las problemáticas del sector a fin de enfrentar de mejor forma los efectos adversos que el cambio climático producirá y que, en algunos casos, ya está presentando. Por ello, resulta de gran importancia reforzar las políticas agropecuarias y ambientales actuales, e incluso trabajar en otras que permitan subsanar las pérdidas que habrá sobre la agricultura, de las cuales se pueden ver mayormente afectados los grupos más vulnerables. Entre estas medidas de política, destacan las siguientes: a) realizar inversiones para mejorar los sistemas tecnológicos empleados en la agricultura; b) aumentar el acceso de los agricultores a los mercados financieros, y c) incrementar las inversiones para mejorar la productividad agrícola.

INTRODUCCIÓN

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.

El incremento de la temperatura atmosférica y del mar, la reducción y la inestabilidad del régimen de lluvias y el aumento del nivel del mar, aunado a la intensificación de los fenómenos meteorológicos extremos —como las sequías y los huracanes— impactarán en la producción, la infraestructura, los medios de vida, la salud y la seguridad de la población, además de que debilitarán la capacidad del ambiente para proveer recursos y servicios vitales.

Como respuesta al mandato de la Cumbre Presidencial Centroamericana sobre Cambio Climático de mayo de 2008, la Sede Subregional en México de la CEPAL está implementando el proyecto *La Economía del Cambio Climático en Centroamérica* con las Autoridades de Ambiente, los Ministerios de Finanzas/Hacienda, la Secretaría de Integración Económica Centroamericana (SIECA) y la Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo (CCAD). El proyecto fue aprobado por las Autoridades de Ambiente, iniciando en enero de 2009 con financiamiento del Ministerio para el Desarrollo Internacional (DFID) del gobierno británico.

El Comité Directivo del proyecto está constituido por los Ministros de Ambiente y Hacienda/Finanzas de los siete países de Centroamérica. Cuenta con un Comité Técnico Regional con delegados de dichos Ministerios, CCAD/SICA y SIECA; la Sede Subregional de la CEPAL en México funge como Unidad Coordinadora del Proyecto. La iniciativa se coordina con otros proyectos en América Latina y la red global de proyectos de la economía del cambio climático con el equipo Stern del gobierno británico.

Su finalidad es alertar a los tomadores de decisiones y actores clave de Centroamérica, particularmente los de los ámbitos económicos y sociales, sobre la urgencia de enfrentar el reto de cambio climático y propiciar un diálogo sobre opciones de políticas y acciones nacionales y regionales. Su objetivo específico es realizar una evaluación económica del impacto del cambio climático en Centroamérica con diferentes escenarios de desarrollo y trayectorias de emisiones, frente a los costos y beneficios de potenciales respuestas de inacción (conocida como *business as usual* en inglés) y de opciones de reducción de vulnerabilidad y adaptación, y la transición hacia una economía sostenible y baja en carbono.

Para cualquier ser humano es bien sabido que la energía que llega de manera natural del sol es indispensable para la sobrevivencia en nuestro planeta. Poco más de un cuarto de ella se dispersa en el espacio por la acción de la atmósfera exterior, pero el resto se mantiene en la superficie terrestre a través de los rayos infrarrojos o radiación térmica, la cual, a su vez, es diseminada por las corrientes de aire y su liberación final en el espacio depende de los gases de efecto invernadero (GEI, en adelante), como el vapor de agua, el ozono (O₃) y el metano (CH₄). Dichos gases permiten retener el calor y mantienen el planeta en una temperatura de alrededor de los 30 °C más caliente que si no existieran. Los niveles naturales de estos gases se ven complementados por las emisiones del dióxido de carbono (CO₂),

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

resultante de la combustión del carbón, el petróleo y el gas natural, así como por el metano y el óxido nitroso producidos por las actividades agrícolas y los cambios en el uso de la tierra, además de otros gases industriales de larga vida que no se producen de forma natural (UNFCCC, 2009).

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés)² señala que la variación de estos gases en la atmósfera ha estado ocurriendo a una velocidad sin precedentes y, de continuar emitiéndose al ritmo actual, es casi seguro que para el año 2100 los niveles de dióxido de carbono atmosférico serán casi el doble de los registrados en la era preindustrial y, consecuentemente, la temperatura media mundial aumentará entre 1,4 °C y 5,8 °C. Reconocen también que en cierto grado el cambio climático es inevitable, debido a que el clima no responde de inmediato a los cambios externos y continuará repercutiendo en los sistemas naturales de la Tierra durante centenares de años, aun cuando se reduzcan las emisiones de gases de efecto invernadero y deje de aumentar su concentración en la atmósfera (IPCC, 2005).

Entre los efectos pronosticados por el IPCC están los ciclones y huracanes, más frecuentes y poderosos, e inundaciones y sequías más numerosas e intensas. Es previsible advertir que tales eventos, derivados del cambio climático, afectarán de forma inequitativa a las regiones del mundo y de forma más severa a los países más pobres; ya que poseen menos recursos tecnológicos, humanos y económicos para hacer frente a las tormentas, las inundaciones, las sequías, los brotes de enfermedades y la perturbación del suministro de alimentos y de agua. Asimismo, un cambio en las condiciones climáticas podría tener efectos importantes sobre las actividades económicas y los recursos naturales, tales como la actividad forestal, la biodiversidad, el agua, la agricultura, la salud humana y los ecosistemas costeros y marinos.

En el caso de Guatemala gran parte de la población depende de las actividades agropecuarias y, particularmente, del sector agrícola; el cual representa alrededor de una décima parte del PIB, dos quintas partes de las exportaciones y la mitad de la fuerza laboral. De esta manera, la FAO señala que muchas poblaciones rurales guatemaltecas son muy pobres y tienen pocos recursos para adaptar sus prácticas agrícolas o soportar malas temporadas y, en general, para hacer frente al cambio climático. Por otra parte, también se debe a la existencia de un sector agrícola tradicional, con bajo nivel de tecnología y trabajo intensivo, orientado al autoconsumo, mismo que comprende un gran segmento de la población (FAO, 1994).

Bajo este contexto, en el presente documento se examinan diferentes escenarios sobre cambio climático, que buscan derivar probables efectos en el agro guatemalteco. Con base en dichos escenarios futuros se pretende tener elementos que permitan influir sobre el diseño de políticas económicas y ambientales de mitigación del cambio climático en ese país centroamericano.

El documento está organizado de la siguiente forma. En el capítulo I se hace una revisión sobre los estudios realizados acerca de los efectos del cambio climático a nivel internacional, incluyendo la región centroamericana y, en particular, aquellos análisis sobre la agricultura guatemalteca. En el segundo

² Las primeras pruebas encontradas acerca de que las concentraciones de dióxido de carbono en la atmósfera estaban aumentando se llevaron a cabo por los climatólogos y otros expertos en las décadas de los años sesenta y setenta, y fue hasta 1988 cuando se creó un Grupo Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC) por iniciativa de la Organización Meteorológica Mundial y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). El IPCC presentó en 1991 el primer informe de evaluación en el que se reflejaban las opiniones de 400 científicos. Las conclusiones del grupo alentaron a los gobiernos a aprobar la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, la convención estaba lista para la firma en la Conferencia de las Naciones Unidas de 1992 sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo –conocida normalmente como Cumbre para la Tierra– en Río de Janeiro.

capítulo se describe la importancia, evolución, retos y situación actual que guarda el sector agropecuario de Guatemala. Las diferentes metodologías empleadas en el estudio se presentan en el capítulo III. Los resultados del presente análisis se exponen en el capítulo IV, e incluyen: los efectos económicos sobre la producción agropecuaria, impactos sobre algunos de los cultivos más importantes en el país y los efectos sobre el valor de la tierra de los hogares rurales guatemaltecos. Las repercusiones de escenarios climáticos futuros³ sobre el sector agropecuario de Guatemala se presentan en el quinto capítulo y las conclusiones en el capítulo VI.

³ Dichos escenarios simulan el sistema climático mundial, conformados por un conjunto de variables relacionadas entre sí (PIB, demografía, tecnología, energía, emisiones, etc.) que son internamente consistentes. Cada escenario describe un futuro posible. Las familias de escenarios divergen cualitativa y cuantitativamente. Por ejemplo, la familia de escenarios de tipo “A2” describe un mundo muy heterogéneo basado en la autosuficiencia y preservación de las identidades locales, considerando una lenta convergencia entre regiones, mientras que la familia de escenarios tipo “B2” presentan cambios más graduales y desarrollos menos extremos en todos los sentidos, incluyendo geopolítica, demografía, crecimiento de la productividad, dinámicas tecnológicas, entre otros; además considera que el patrón de desarrollo futuro es más fragmentado y similar a las tendencias actuales y no permite la inclusión de tendencias de convergencia particularmente fuertes.

I. REVISIÓN DE LA LITERATURA

En esta parte se presentan algunos de los principales trabajos que han estimado los efectos esperados del cambio climático sobre el sector agropecuario de diversos países. El objetivo también es mostrar los distintos enfoques metodológicos utilizados para la región de Centroamérica, además de aquellos que ofrecen especial atención hacia el sector agropecuario de Guatemala.

Básicamente, en la literatura encontramos que los diferentes procedimientos para medir los efectos del cambio climático sobre el sector agropecuario se agrupan en dos corrientes: estructurales y espaciales (McCarl y otros, 2001; Molua y Lambi, 2007, Schimmelpfennig y otros, 1996). El método estructural combina las respuestas económicas de los agricultores con las respuestas físicas de los cultivos, mientras que el espacial aprovecha las diferencias observadas en la producción agrícola y el clima entre regiones. En ese sentido podemos observar que ambas técnicas se complementan.

El enfoque espacial estima los efectos del cambio climático en la agricultura mediante las diferencias observadas en las variables de la tierra, la producción agrícola y las variables regionales que reflejen algún costo climático sobre el sector agropecuario. Específicamente, el análisis espacial se basa en modelos Ricardianos, Mendelsohn y otros (1994), modelos de Equilibrio General Computable (CGE, por sus siglas en inglés) y modelos de Sistemas de Información Geográfica. El punto clave es analizar los diferentes patrones espaciales de la producción bajo alguna técnica estadística que permita inferir los posibles cambios existentes.

Si nos situamos en el contexto de incrementos esperados en la temperatura del planeta, entonces el enfoque espacial busca identificar de qué manera las regiones con climas más fríos podrían adaptarse a las prácticas seguidas en regiones más cálidas y sus implicaciones. Naturalmente, este procedimiento busca separar aquellos factores que explican las diferencias de producción entre regiones. Más aún, supone que los individuos tienen la disposición y la capacidad de adoptar las prácticas y los cultivos prevalecientes en las regiones más cálidas. Este enfoque depende sustancialmente de que los datos disponibles sean representativos de las unidades geográficas, y de la capacidad de las técnicas estadísticas para aislar los distintos efectos que desean medirse. En ese sentido, el enfoque espacial permitiría estimar el impacto directo del cambio climático en unidades con un elevado grado de desagregación (a nivel de granja, por ejemplo), sin descuidar variables relevantes como la calidad de la tierra.

No obstante, los modelos espaciales asumen que los ajustes biológicos, físicos y económicos impuestos por el cambio climático a plantas, cultivos y agricultores se realizan de manera automática. Por tanto, no es necesario modelar las conductas adaptativas de plantas, cultivos y agricultores que se relacionan con los costos de ajuste en el corto y mediano plazo, y basta considerarlas en el largo plazo. De esa forma, es posible estimar en una segunda etapa los efectos del clima en la variable económica de interés de cierto tipo de cultivo.

Los modelos inscritos dentro del enfoque espacial son variados. Sin embargo, el modelo Ricardiano ha adquirido una popularidad muy especial, pues afirma que en mercados competitivos, el precio de la tierra representa el valor presente de los ingresos netos esperados, derivados del uso eficiente de la tierra. En este sentido, mediante técnicas de regresión, el modelo Ricardiano emplea información desagregada, y calcula los efectos de variaciones en el clima, de factores económicos y de factores no económicos en el costo de la tierra agrícola.

Existen una gran cantidad de trabajos que estudian la influencia del clima en el sector agropecuario. Por ejemplo, Mendelsohn y otros (1994) analizan el efecto del clima en la renta neta (o valor) de la tierra agrícola utilizando información transversal a nivel de condado para Estados Unidos. Los autores encuentran que mayores temperaturas en todas las estaciones del año, excepto el otoño, reducen los valores promedio de las tierras. A este respecto, Schlenker y otros (2006) estiman el impacto del calentamiento global en la agricultura empleando información de los diferentes condados de Estados Unidos. Ellos utilizan como variables independientes indicadores climáticos, características del suelo y condiciones socioeconómicas. Los resultados van de ganancias moderadas a grandes pérdidas para los diferentes condados estadounidenses.

Maddison y otros (2007) emplean la percepción individual de los agricultores (11 países africanos) con respecto al valor de la tierra como variable dependiente en un modelo Ricardiano, y encuentran que hacia el año 2050 habría pérdidas importantes de producción agrícola en algunos países de África. Adicionalmente, Molua y Lambi (2007) miden la relación entre el clima y la ganancia neta de los cultivos para 800 granjas agrícolas de Camerún, y concluyen que la ganancia neta disminuye a medida que la precipitación decrece y la temperatura aumenta.

De igual forma, Mendelsohn y otros (2001) aplican un modelo Ricardiano para realizar una comparación entre la sensibilidad al cambio climático por parte de Estados Unidos *versus* la India. El estudio revela que la función Ricardiana de la India es mucho más sensible que la función correspondiente de Estados Unidos, por lo que el calentamiento global tendrá mayores efectos negativos para el país asiático. Lógicamente, los resultados sugieren que el nivel de desarrollo tiene un efecto importante en la sensibilidad al cambio climático. Los productores agrícolas en países subdesarrollados son más sensibles que los productores de países desarrollados. Si el cambio climático ocurriera hoy, los efectos para países de climas cálidos y en vías de desarrollo serían considerables. Sin embargo, si las medidas de política de adaptación al cambio climático se adoptan cuanto antes, los sistemas agrícolas de países en desarrollo podrían verse mejorados y con ello los efectos adversos del cambio climático podrían verse reducidos.

En un estudio para Sri Lanka (Seo y otros, 2005) se encuentra que los incrementos en el nivel de temperatura están asociados con disminuciones en los niveles de ingreso neto de los productores agrícolas, en tanto que una mayor precipitación tiene efectos positivos. Al aplicar los resultados obtenidos a diferentes escenarios de cambio climático se obtiene un rango de efectos, que van de una pérdida del 20% a una ganancia del 72% del valor actual de la tierra, para el año 2100. Las pérdidas se obtienen con escenarios bajo los cuales el incremento de la temperatura es sustancial y los efectos positivos de incrementos en la precipitación no alcanzan a compensar tales pérdidas.

Mendelsohn y otros (2007b) confirman mediante datos a nivel municipal para Brasil y a nivel de condados para Estados Unidos, que el cambio climático tiene efectos significativos en el ingreso rural, principalmente, a través de sus efectos en la productividad agrícola. El análisis Ricardiano muestra que un incremento del 10% en la temperatura lleva a una reducción del 13% del valor de la tierra en Estados Unidos y del 33% en Brasil. Más aún, los autores encuentran que en Estados Unidos, un país en donde los productores agrícolas tienen acceso a capital y tecnología moderna, un incremento del 10% en la temperatura llevaría a una pérdida del 0,16% en el ingreso por habitante rural. Mientras que la pérdida sería del 5,5% en un país subdesarrollado como Brasil. Estas estimaciones nos sugieren que el valor de la tierra y el ingreso neto agrícola son determinantes 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.

Los argumentos anteriores se reafirman para Sudamérica, ya que mediante una muestra de mayor a las 2.000 granjas en siete países sudamericanos, Mendelsohn y Seo (2007) encuentran evidencia empírica de que el valor de la tierra es sensible a cambios climáticos. De hecho, los 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 el 30% para el 2100. Dichos resultados también indican que el cambio climático tendrá efectos, no sólo en el flujo esperado de ingresos, sino también en el tipo de actividad productiva (producción agrícola vs producción pecuaria) y tipo de irrigación (riego vs temporal) que los productores adoptarán.

Análogamente, Seo y Mendelsohn (2008a) utilizan una muestra mayor a 2.000 observaciones de granjas sudamericanas, y pronostican que los productores agrícolas de la zona perderán, en promedio, hasta el 62% de su flujo futuro de ingresos. De acuerdo con sus resultados, la sensibilidad de productores de temporal y riego es diferente. Los primeros son más sensibles a cambios en temperatura, en tanto que los otros 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.

Un análisis para México (Mendelsohn y otros, 2009) indica resultados similares, pues las pérdidas estimadas para 2100 son del orden de 42% a 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. En todos los casos, las pérdidas causadas por el cambio climático, bajo un modelo Ricardiano, en un grupo de productores son significativas.

Además de su aplicación en el análisis de los efectos directos del cambio climático en la productividad agrícola, los principios del análisis Ricardiano han sido aplicados en el estudio de las decisiones adaptativas de los productores ante nuevos escenarios climáticos, como los cultivos agrícolas que se adoptarán (Seo y Mendelsohn 2008c), las especies ganaderas (Seo y Mendelsohn 2008), o bien el probable efecto en las decisiones de emigración de los hogares rurales (Mora y Yúnez 2008).

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. Por ejemplo, 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 y otros (2001), los mayores efectos recaerán en países en vías de desarrollo, con pérdidas de alrededor del 25%, en tanto que para países industrializados la pérdida estimada es de sólo el 6%. Las mermas son también mayores para países cercanos al ecuador y en latitudes bajas, donde las temperaturas tienden a ser más elevadas.

De acuerdo con Darwin y otros (1995) existen dos limitaciones importantes que los estudios a nivel país/región no incluyen: i) los efectos del cambio climático en otras regiones (pues asumen que el clima fuera del área de estudio se mantiene constante), y ii) el papel del comercio mundial en diseminar los efectos entre las distintas regiones. En ese sentido, los CGE modelan la agricultura con 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 grandes, en las que los diversos sectores espaciales o económicos están caracterizados por una empresa o granja representativa (Schlenker y otros, 2006).

Rosenzweig y Parry (1994) realizaron un estudio de índole CGE, y 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 cereales que oscila entre 1% y 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 cereal oscilaron entre -2,5% al 1%, mientras que los cambios en el precio mundial se ubicaron en -5% a 3,5%.

Ahora bien, en los años noventa se comenzó a analizar los impactos potenciales del cambio climático en el ganado. Entre los estudios que se inscriben en esta nueva línea, el cambio climático global podría reducir la ganancia de peso en los animales y la producción de productos lácteos durante el verano en zonas relativamente cálidas, como el sur de Estados Unidos. En áreas relativamente frías, el ganado que pasta generalmente tiene un mejor desempeño (debido al mayor forraje), pero aquellas operaciones más intensivas en capital, como la ordeña, podrían verse afectadas de manera negativa (Klinedinst y otros, 1993; Baker y otros, 1993).

En este mismo sentido, Seo y Mendelsohn (2008) desarrollaron un modelo Ricardiano estructural que toma en cuenta las decisiones de adaptación de los productores. En este análisis se muestra que para el año 2100 el ingreso neto obtenido de ganado bovino para carne disminuirá entre 10% y 50%, dependiendo del escenario climático. En contraste, el ingreso neto proveniente de ganado bovino para leche se incrementará de 30% a 50%. Los ingresos netos de ganado ovino, caprino y aviar aumentan en la mayoría de los escenarios. A nivel agregado, el ingreso neto ganadero presenta pérdidas a mediados de siglo XXI, pero conforme los productores se adaptan hacia especies más tolerantes, hacia finales de siglo el ingreso neto ganadero presenta crecimientos significativos.

Asimismo, Seo y Mendelsohn (2006) encuentran que el ingreso neto ganadero, en una muestra de 5.400 productores en 11 países de África, es altamente sensible a cambios en las variables climáticas fundamentales. En particular, el ingreso neto de grandes productores se ve reducido por aumentos en la temperatura, mientras que el ingreso neto de pequeños productores se incrementa conforme ésta aumenta. Más aún, se infiere un incremento de hasta 116% del ingreso en 2100 para pequeños productores y una pérdida de 24% para grandes productores en 2060. La interpretación que los autores ofrecen a este resultado es que los pequeños productores manejan especies tolerantes a altas temperaturas, en tanto que los grandes productores ganaderos dependen principalmente del ganado bovino, Bmenos tolerante a las altas temperaturas. Además, los resultados muestran que los incrementos en la precipitación reducen el ingreso neto ganadero, ya que se infiere un aumento en la adopción de la agricultura como actividad principal, la sustitución de pastos por vegetación arbórea y la expansión de enfermedades animales.

Cada uno de los autores anteriores se inscribe dentro del enfoque espacial, el cual se complementa con el enfoque estructural. Recordemos que este último, utiliza modelos interdisciplinarios para simular cambios en cultivos específicos.

El enfoque estructural supone que agricultores y consumidores minimizan costos o maximizan su bienestar sujeto a las restricciones climáticas impuestas en el modelo. Este enfoque tiene la ventaja de que permite obtener información detallada de las respuestas físicas, biológicas y económicas, así como los

posibles ajustes. Sin embargo, podemos pensar que su desventaja radica en que se requieren múltiples inferencias para grandes áreas y sistemas diversos de producción mediante pocos lugares y cultivos (Schimmelpfennig y otros, 1996).

Los primeros análisis del impacto del cambio climático en la agricultura, realizados con el enfoque estructural, se concentraron en estudiar los efectos en las condiciones agroclimáticas en el crecimiento de las plantas; los efectos en la producción regional de alimentos y los rendimientos económicos de dicha actividad para selección de cultivos, comercio internacional y políticas públicas.

En general, muchos de los estudios representativos del enfoque estructural se basan en una función de producción empírica para predecir los efectos del clima sobre los cultivos⁴. Básicamente, el enfoque estructural calcula la respuesta de los cultivos ante escenarios climáticos en los cuales se especifican promedios anuales por décadas o datos con una frecuencia diaria para un cierto conjunto de atributos climáticos, comúnmente, la temperatura y la precipitación son candidatos ideales.

Una vez obtenidos los efectos estimados, se incorporan en modelos económicos del sector agrícola para simular cambios en la oferta de los cultivos y los precios del mercado. Entre los estudios pioneros de impacto que se inscriben en esta corriente metodológica se encuentran los trabajos de Warrick (1984) y Terjung y otros (1984). En el primero, mediante modelos de regresión se simulan incrementos en la temperatura, similares a los ocurridos en la década de los años treinta, y se concluye que como resultado la producción de los cultivos declinaría. En tanto que Terjung y otros (1984) concluyen que las cantidades de agua para irrigación tendrían que ser mayores ante la elevación de la temperatura si no existieran cambios tecnológicos.

Easterling y otros (1993) también emplean los datos sobre el clima observado en la década de los treinta, para simular las posibles temperaturas que se observarían en algunas regiones de Estados Unidos como resultado del cambio climático. A partir de sus resultados muestran que en ausencia de modificaciones tecnológicas e incrementos en el CO₂ el cambio climático traería como consecuencia reducciones importantes en la producción y con ello pérdidas económicas.

El comportamiento gradual del cambio climático y los diferentes mecanismos por los que los agricultores se adaptan al clima observado para tratar de mitigar sus efectos se fueron incorporando de manera explícita como variables en los modelos estructurales. Claramente se comenzó a incorporar como variable relevante la adaptación humana al cambio climático, así como los efectos de factores no climáticos y no locales (Smit y otros, 1996). Además, los estudios subsecuentes a nivel de país/región expandieron el análisis económico de los efectos del cambio climático en la agricultura al incluir un mayor número de adaptaciones a nivel de granja, sustituciones en los insumos y productos, efectos en los precios de las *commodities*, e impactos en el bienestar.

En este sentido, Adams y otros (1988), estudiaron 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 10 veces a cualquier otro problema ambiental. Por su parte, Darwin y otros (1995), evalúan 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. Encuentran que la producción mundial declinaría si el cambio climático es suficientemente severo y si se obstaculiza la

⁴ Véase, por ejemplo, Adams y otros (1988), Finger y Schmid (2007), Gay y otros (2004).

expansión de la tierra de cultivo, y que las pérdidas no serían homogéneas entre regiones. Por otra parte, 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.

En general, los estudios realizados a naciones latinoamericanas señalan que la magnitud de los impactos resulta distinta para los diferentes países, e incluso para varias regiones, al interior de los mismos. A pesar de los efectos negativos agregados, es posible que algunas zonas al interior de los países, como en el caso de México, resulten beneficiadas por el cambio climático. En general, se observa, 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).

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 cultivos.

En el presente estudio utilizaremos tanto el enfoque estructural como el espacial, a fin de obtener resultados robustos metodológicamente. Antes de describir la metodología a utilizar revisaremos algunos de los estudios que han sido realizados previamente para Centroamérica y Guatemala.

1. Estudios sobre los impactos del cambio climático en Centroamérica

La región centroamericana ha sido testigo de la manifestación de los efectos del cambio climático a través de importantes desastres naturales, los cuales han implicado pérdidas significativas en el sector agrícola. A este respecto Harmeling (2007) señala que los países centroamericanos se encuentran entre las principales naciones con alto riesgo climático. Por ejemplo, Honduras y Nicaragua se ubican en las primeras dos posiciones dentro del Índice Global de Riesgo Climático construido para el período 1997-2006, el cual involucra tanto los impactos económicos como poblacionales. La creciente preocupación sobre los posibles efectos de este fenómeno ha creado la necesidad de conocer las posibles implicaciones futuras del cambio climático sobre la agricultura en la región centroamericana.

Uno de los proyectos más ambiciosos que está por concluir en la región es el *Central America Country Studies Project Team*⁵, el cual ha examinado los impactos del cambio climático en Centroamérica. En particular, intenta descubrir la vulnerabilidad del agua, la agricultura y los recursos costeros al cambio climático. El estudio se lleva a cabo para siete países (Belice, Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, Nicaragua y Panamá). Para cada uno de estos temas se buscan emplear escenarios diferentes. Por ejemplo, para la medición de la vulnerabilidad de la agricultura se emplea el siguiente procedimiento: 1) identificación de cultivos sensibles (muy dependientes del clima) en la región, 2) definición de zonas de estudio, 3) recopilación de información, 4) empleo del modelo de validación (DSSAT 3,0) y simulación del crecimiento de los cultivos, y 5) estimación de la vulnerabilidad.

Los cultivos seleccionados fueron divididos en dos categorías; aquellos representativos de la seguridad alimentaria (maíz, frijol y arroz) y los comerciales (banano y café). Las zonas de estudio para cada país se presentan a continuación: Guatemala (costa sur, costa del atlántico), Belice (sur), El Salvador

⁵ Actualmente el proyecto se encuentra en la etapa tres y lamentablemente no fue posible encontrar resultados preliminares de esta etapa.

(costa, valles interiores, zonas altas), Honduras (sur, norte, occidente), Nicaragua (cuenca del pacifico, norte y centro), Costa Rica (atlántico, pacifico seco, pacifico húmedo, valle central) y en Panamá (Chichebre, las Tablas, Chiriqui) (*Interim Report on Climate Change Country Studies*, 1995).

2. Estudios sobre los impactos del cambio climático en el agro guatemalteco

Por su ubicación geográfica y condiciones climatológicas, durante los últimos años Guatemala ha sufrido múltiples eventos naturales. La literatura existente a la fecha sobre cambio climático muestra que a pesar de haberse realizado algunos trabajos para Centroamérica (y con ello se han logrado generar diferentes escenarios sobre cambio climático en la región) aún no son abundantes las investigaciones que presenten resultados detallados por país.

Los primeros estudios sobre vulnerabilidad al cambio climático en Guatemala, bajo una visión interinstitucional, se realizaron hacia finales de 2002, bajo el marco del proyecto “Primera Comunicación Sobre Cambio Climático”.⁶ Los resultados del documento concluyen que este país centroamericano es sensible en los siguientes aspectos: 1) salud humana, 2) recursos forestales, 3) recursos hídricos y 4) agricultura (producción de granos básicos) (MARN, 2007a).

La primera Comunicación Nacional Sobre Cambio Climático en Guatemala permitió generar diferentes escenarios sobre cambio climático (escenarios climáticos, socioeconómicos y ambientales). Los escenarios del clima se realizaron a partir de las informaciones del Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH), considerando el período 1961-1990.

Los escenarios socioeconómicos se elaboraron estimando el comportamiento de la economía internacional (economía pequeña, con apertura comercial y financiera cuyo crecimiento está ligado al aumento de las exportaciones e incremento de la inversión), políticas económicas nacionales (reactivación de la inversión privada, aumento de la carga tributaria y control de las tasas de interés y el tipo de cambio de divisas) y grado de satisfacción de los déficit sociales.

Se lograron elaborar tres tipos de escenarios: 1) normal, 2) optimista y 3) pesimista. Cada uno de ellos comprendió diferentes niveles de cumplimiento de políticas económicas y sociales, que están basadas en los acuerdos de paz y las condiciones de los préstamos internacionales. Estas cuestiones permitieron prever la posible evolución de las variables macroeconómicas y sociales. La línea base partió de la situación de Guatemala en 2000 y los escenarios planteados abarcan los años 2000 a 2020.

El objetivo de hacer la simulación en producción agrícola fue determinar la vulnerabilidad de estos cultivos al clima e identificar medidas que permitan cuantificar los impactos en la cantidad y calidad de producción. Las variables que simularon los modelos aplicados fueron crecimiento, desarrollo, evaporación, transpiración y absorción de nutrientes de granos básicos junto con las interacciones del medio ambiente, la intercepción de la radiación solar, efecto del contenido de agua y temperaturas extremas.

Para el análisis de impacto del cambio climático en la producción de granos básicos se usó un modelo de simulación DSSAT-3 (Decision Support System for Agrotechnology Transfer, versión 3) y la información generada por el IBSNAT (International Benchmark Sites Network for

⁶ A la fecha el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales de Guatemala cuenta, entre otros, con los siguientes documentos: a) Primera Comunicación Nacional Sobre Cambio Climático, b) Vulnerabilidad Actual y Síntesis de la Tormenta Stan, Vulnerabilidad Futura y c) Síntesis de Estudios de Vulnerabilidad y Adaptación al Cambio Climático.

Agrotechnology Transfer, 1994). Los variables usadas para la construcción del modelo se pueden agrupar en dos categorías:

a) Clima (datos diarios de radiación solar incidente, temperaturas máximas y mínimas, precipitación pluvial).

b) Manejo de cultivo (cultivo, variedad, fecha de siembra, densidad de siembra, aplicación de fertilizantes y laboreo), suelo (textura, profundidad, contenido y disponibilidad de agua, contenido en nitrógeno y fósforo; los datos se proporcionaron para cada capa de suelo de 0-3 metros de espesor como máximo) y agroquímicos (manejo y rendimientos de cultivos).

La construcción de los escenarios para la vulnerabilidad de la producción de granos consideró el año 2030 y tres escenarios: normal (ECCG_C), optimista (ECCG_HA, húmedo amplio; y pesimista (ECCG_SA, seco amplio). Los impactos al cambio climático fueron derivados como las diferencias de la producción entre las proyecciones de las condiciones ambientales sin cambio climático (línea base) y las proyectadas en los escenarios de cambio climático. Las diferencias de rendimientos en la producción simuladas según la línea base y las que se obtienen por un cambio climático representaron las medidas de impacto.

De los tres escenarios analizados se concluyó que la disminución en la producción en los granos básicos es más significativa en el escenario pesimista, pues es en este caso donde se presentan las mayores reducciones en la producción y, que en aquellos lugares donde las condiciones climáticas serán más extremas, ahí se producirán los mayores impactos negativos en las producciones agrícolas de granos básicos (MARN, 2001).

Otros estudios, más específicos y recientes, sobre la vulnerabilidad que guarda la economía guatemalteca ante los fenómenos naturales fueron realizados para la Subcuenca del Río San José y Cuenca del Río Naranjo (MARN, 2005a, 2005b y 2007a 2007b). Ambas investigaciones buscaron medir los efectos del cambio climático en la agricultura de Guatemala para dos zonas con distintas características geográficas y climatológicas. Particularmente, en la producción de granos básicos (maíz y frijol) en las Subcuenca del Río San José y Cuenca del Río Naranjo; en la primera región se buscó estudiar los impactos de la sequía y en la segunda el tema de las inundaciones con el fin de ubicar las medidas que permitirán la adaptación de la agricultura de estas regiones al cambio climático.

Los datos usados fueron de 1989 y 2003, los municipios que integraron el área del proyecto fueron los que comprenden la Subcuenca del Río San José y Cuenca del Río Naranjo. Para estimar las tendencias de la producción de granos básicos se utilizaron las variables de áreas cultivadas y producción de maíz y frijol para cada uno de los municipios y se estimó el porcentaje del área municipal de cada Subcuenca y Cuenca, respectivamente. Esto permitió observar la evolución de la producción para 13 períodos intercensales (1979-2003), la tendencia (negativa o positiva) y consecuentemente identificar las causas de tales comportamientos. Asimismo, exploraron las tendencias poblacionales del área de estudio a fin de conocer influencia de estos indicadores sobre la producción y consumo de los granos básicos (para ello se utilizaron las cifras del último Censo de Población).

Las estadísticas macronacionales sobre producción y comercio exterior fueron adquiridas del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA), de estimaciones de FAO-MAGA sobre pérdidas de la producción de granos por la Tormenta Stan, mientras que las proyecciones de granos básicos (maíz y frijol) se hicieron para 2030.

Los impactos de cambio climático fueron los obtenidos por las diferencias de la producción entre las proyecciones de las condiciones ambientales sin cambio climático (escenario normal) y las proyectadas en los escenarios de cambio climático (optimista y pesimista). Las diferencias entre los escenarios reales y las que se produjeron por un cambio climático representan las medidas de impacto que se registraron en la producción de los cultivos. Los resultados muestran los cambios en las temperaturas y precipitaciones para el 2050 y en función de ellos se determinaron las proyecciones de producción de granos básicos.

En el caso de la Subcuenca del Río San José, se estimó que la producción de maíz se incrementará en el escenario optimista y normal, en tanto que en el escenario pesimista disminuirá considerablemente. Estos cambios serán derivados del aumento en la temperatura y disminución de las precipitaciones, en tanto que en la Cuenca del Río Naranjo los resultados obtenidos en los tres escenarios (normal, optimista y pesimista) mostraron un crecimiento en la producción de maíz y frijol, sin embargo, este aumento sería menor del 5%.

En cuanto a las medidas de adaptación futuras de la producción de granos básicos, los hallazgos sugieren las siguientes medidas: 1) una mayor y mejor organización de los productores de maíz (compra colectiva de insumos y servicios que permitan reducir sus costos y acceder al mercado de crédito formal), 2) la comercialización más eficiente del maíz que ayude a mejorar las ganancias del productor, 3) inversión tecnológica para mejorar el rendimiento del maíz a través de la introducción de nuevas variedades, acompañada de capacitación y asistencia técnica, y 4) ofrecer productos financieros que respondan a las necesidades de los productores y comercializadores de maíz .

Las investigaciones sobre los efectos derivados del cambio climático presentadas hasta el momento permiten dar cuenta de la importancia que para la economía de Guatemala tiene contar con estudios sobre el cambio climático y los probables efectos adversos en la agricultura. A pesar de ello, aún parecen ser insuficientes los esfuerzos por cubrir el análisis de sus distintas regiones y sectores más susceptibles a sufrir los estragos derivados de este fenómeno, por lo que queda clara la necesidad de generar estudios que contribuyan a crear escenarios sobre las posibles efectos del clima en la agricultura y con ello ayudar al mejor diseño de políticas económicas y ambientales que colaboren a mitigar los estragos del cambio climático.

II. EL SECTOR AGROPECUARIO Y EL CAMBIO CLIMÁTICO

La economía guatemalteca continúa siendo altamente dependiente de su sector agropecuario, con la sensibilidad que este sector tiene ante cambios en el clima. Esta importante relación entre el agro y el clima de Guatemala crea la necesidad de presentar un panorama de la evolución de este sector y la manera de cómo el cambio climático podría generar situaciones adversas para su desarrollo.

La agricultura es trascendental para el desarrollo del país, no sólo porque permite servir de suministro de alimentos básicos, sino también porque de ella dependen los ingresos de muchos hogares guatemaltecos, ya que emplea al 50% de la población económicamente activa (PEA). Por una parte, los rendimientos y productividad de las actividades productivas del agro se ven fuertemente influenciadas por fenómenos climáticos, pero también estas actividades productivas afectan al clima y al ambiente mediante la emisión de metano, la contaminación de acuíferos, la erosión, la salinización de los suelos y la deforestación para el uso de suelo agropecuario, creando mediante este proceso un grado de codependencia digno de ser considerado en la toma de decisiones de política económica que afecten al sector agropecuario.

En este capítulo se presenta un panorama de la situación actual del sector agropecuario en Guatemala, del cual se partirá y servirá de base para estimar los posibles efectos futuros del cambio climático en los próximos años.

1. La contribución del agro y el medio rural a la economía guatemalteca

Como se mencionó anteriormente, el sector agropecuario representa un sector muy importante para la economía de Guatemala; por ejemplo, para el 2008 el PIB agropecuario representó más del 13% del PIB total y si se incluye la agroindustria la cifra aumenta casi al 21% (véase el cuadro 1).

CUADRO 1
GUATEMALA: PARTICIPACIÓN POR SECTOR EN EL PIB, 2002–2008

(Porcentajes)

	2002	2003	2004	2005	2006	2007 ^a	2008 ^a
PIB agropecuario/PIB							
total	14,1	14,1	14,3	14,1	13,6	13,5	13,3
PIB agroindustrial/PIB							
total	8,0	8,1	8,0	8,0	7,8	7,6	7,6
PIBA ampliado/PIB							
total	22,2	22,2	22,3	22,1	21,4	21,1	20,8

Fuente: CEPAL, sobre la base de cifras oficiales del Banco de Guatemala, Sección de Cuentas Nacionales.

^a Cifras preliminares.

Este importante peso relativo dentro de las actividades económicas y sociales del sector, aunado a las vinculaciones con el resto de las actividades, lo hace una de las principales fuentes de crecimiento de la economía, ya que contribuye a dinamizar la industria, el comercio, el transporte y los servicios financieros. Además, es el núcleo más importante de las demás actividades rurales. Los excedentes generados en la agricultura se convierten en ahorros e inversión para otros sectores y representan una fuente importante de ingresos tributarios. Aunado a lo anterior, el medio rural produce valiosos servicios ambientales para el conjunto de la economía guatemalteca, los cuales se discutirán más adelante en el presente documento.

Una de las principales preocupaciones del gobierno hacia este sector lo representa el tema de la seguridad alimentaria, para ello el gobierno ha implementado diversos programas, leyes y acuerdos, con lo que pretende fomentarla y garantizarla, entre los que destacan: la Ley del Sistema Nacional de Seguridad Alimentaria y Nutricional, la Ley General de Descentralización, entre otras.

Respecto a la participación de este sector dentro del comercio internacional cabe mencionar que en el período 2002-2008 las exportaciones agroalimentarias crecieron considerablemente a una tasa promedio anual del 10%, las agroindustriales superaron este ritmo logrando un 11,4%. Dentro de los productos agroindustriales que mostraron mayor incremento se encuentran las frutas y sus preparados, productos alimenticios y el azúcar. También en este período es posible observar que dentro de los productos agropecuarios que mostraron mayor dinamismo destacan las exportaciones de piña, caucho natural, melones y sandías. Cabe destacar que en el 2008 el producto que generó el mayor monto de divisas fue el café (véase el cuadro 2).

Aunado a lo anterior, es posible señalar que la población rural en Guatemala ha disminuido durante este mismo período; en 2002 representaba más del 54%, mientras que para el 2008 descendió a 45% de la población total. Un fenómeno similar ocurre al estimar la PEA rural con respecto a la PEA total, tal como se puede apreciar en las cifras presentadas en el cuadro 3. Las cifras oficiales señalan que este segmento de la población ha mejorado su situación con relación a los indicadores de pobreza, mostrando una considerable contracción en la proporción de la población rural que se encuentra en pobreza extrema (véase el cuadro 3).

Un indicador que podría explicar la situación de pobreza que se vive en los hogares rurales de Guatemala lo representan los bajos salarios que se perciben en actividades agrícolas; por ejemplo, en 2008 el salario mínimo en la agricultura por jornal era de 52 quetzales por día. Resulta importante señalar que este ingreso mínimo diario no es suficiente para cubrir las necesidades alimenticias de una familia, ya que para comprar la canasta básica de alimentos, que consta de 26 artículos, se necesitarían cerca de 66 quetzales por día.

Además de los factores anteriores, también la escasa innovación ha incidido directamente en la competitividad externa de Guatemala, la cual, principalmente en las exportaciones, no es elevada. Si se contemplan 25 grupos de productos agropecuarios y agroindustriales analizados para Guatemala dentro del período 2000-2007, sólo se encuentra que 40% de ellos están dentro de la categoría de estrellas nacientes⁷. Una cifra menor al 1% de estos productos se clasifica como estrellas menguantes y el resto de los productos se encuentran en mercados estancados, los cuales pierden participación (véase el cuadro 4).

⁷ Productos que ganan participación en mercados dinámicos.

CUADRO 2
GUATEMALA: VALOR DE LAS EXPORTACIONES TOTALES Y AGROALIMENTARIAS, 2002-2008

	Millones de dólares							Tasas de crecimiento			
	2002	2003	2004	2005	2006	2007 ^a	2008 ^a	2006	2007	2008	2002-2008
Exportaciones totales de bienes fob ^b	4 223,7	4 526,3	5 105,1	5 459,5	6 082,1	7 011,9	8 049,2	11,4	15,3	14,8	11,3
Exportaciones agroalimentarias ^c	1 505,5	1 589,2	1 671,8	1 954,2	2 157,3	2 569,5	2 671,6	10,4	19,1	4,0	10,0
Exportaciones agroindustriales	622,1	655,2	681,5	797,4	953,5	1 271,4	1 189,9	19,6	33,3	-6,4	11,4
Principales exportaciones agroindustriales	312,0	321,6	330,7	393,5	496,2	606,5	737,1	26,1	22,2	21,5	15,4
Azúcar	208,2	189,2	188,0	236,6	298,5	358,1	378,1	26,2	20,0	5,6	10,5
Frutas y sus preparados	35,6	48,9	50,5	73,0	86,2	97,2	165,0	18,1	12,8	69,7	29,1
Productos alimenticios	42,0	61,2	64,7	60,8	77,1	100,8	151,5	26,8	30,7	50,3	23,8
Madera y manufacturas	10,7	12,5	13,6	19,3	17,4	26,6	17,5	-9,8	52,9	-34,1	8,6
Tabaco en rama y manufacturas	15,5	9,8	13,9	3,8	17,0	23,8	25,0	347,4	39,9	5,2	8,3
Exportaciones agropecuarias	883,4	934,0	990,3	1 156,8	1 203,8	1 298,1	1 481,7	4,1	7,8	14,1	9,0
Principales exportaciones agropecuarias	714,7	735,0	786,5	941,5	969,5	1 272,5	1 456,3	3,0	31,3	14,4	12,6
Banano	233,0	230,6	228,2	236,2	215,5	298,8	337,3	-8,8	38,6	12,9	6,4
Café	269,0	294,5	327,9	464,0	463,6	577,3	646,3	-0,1	24,5	11,9	15,7
Camarón, pescado y langosta	7,2	11,5	6,1	6,3	7,4	29,7	23,4	17,5	301,0	-21,2	21,7
Cardamomo	93,1	78,9	73,8	70,4	83,4	137,1	208,0	18,5	64,3	51,8	14,3
Caucho natural	27,1	33,2	51,8	59,6	92,7	108,3	125,8	55,5	16,9	16,1	29,2
Flores, plantas y similares	38,7	41,4	37,7	42,2	45,5	49,8	43,9	7,8	9,4	-11,9	2,1
Melones y sandías	1,3	1,4	0,7	2,0	5,9	3,0	4,3	192,8	-49,4	45,2	22,6
Piña	1,1	1,9	5,5	6,9	7,6	6,7	6,6	10,1	-12,1	-1,4	34,9
Semilla de ajonjolí	20,4	16,6	17,1	16,5	15,9	19,1	14,9	-3,6	20,1	-21,9	-5,1
Verduras y legumbres	23,8	25,0	37,8	37,4	32,1	42,8	45,9	-14,2	33,5	7,2	11,6

Fuente: CEPAL, sobre la base de cifras del Banco de Guatemala, Departamento de Estadísticas Económicas, Sección de Estadísticas Cambiarias y Secretaría de Integración Económica Centroamericana (SIECA). Se refiere a comercio en territorio aduanero.

^a Cifras preliminares.

^b No incluye la maquila. Se refiere a las exportaciones clasificadas por comercio de territorio aduanero.

^c Incluyen las exportaciones agroindustriales y agropecuarias.

CUADRO 3
GUATEMALA: ALGUNOS INDICADORES SOCIALES, 2000-2008

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007 ^a	2008 ^a
	Miles de habitantes								
Población total	11 225	11 506	11 793	12 088	12 390	12 700	13 016	13 340	13 672
Población rural	6 396	6 387	6 379	6 371	6 362	6 354	6 311	6 269	6 227
Población económicamente activa (PEA)	3 723	3 850	3 981	4 117	4 257	4 402	4 565	4 733	4 907
PEA rural	1 887	1 895	1 903	1 910	1 918	1 926	1 930	1 933	1 937
PEA rural mujeres	470	483	496	509	522	535	545	556	566
	Quetzales								
Salario mínimo en la agricultura anual	7 783	9 029	9 900	11 484	13 896	13 896	15 286	16 920	18 720
Salario mínimo en la agricultura mensual	649	752	825	957	1 158	1 158	1 274	1 410	1 560
Salario mínimo en la agricultura por jornal (ocho horas)	22	25	28	32	39	39	42	47	52
	Porcentajes								
Población rural/población total	57,0	55,5	54,1	52,7	51,3	50,0	48,5	47,0	45,5
PEA rural/PEA total	50,7	49,2	47,8	46,4	45,1	43,8	42,3	40,9	39,5
PEA rural mujeres/PEA rural total	12,6	12,5	12,5	12,4	12,3	12,2	11,9	11,7	11,5
Población ocupada sector rural/población ocupada total	39,0	...	40,1	39,8	38,3	...	48,3	...	...
Tasa de desempleo abierto	5,6	...	3,1	3,4	3,1	3,2	3,2	...	...
Tasa desempleo abierto sector rural	4,8	...	...	...	...	...	0,9	...	...
Tasa de subempleo en la agricultura	6,4	...	...	...	...	...	13,6	...	...
Hogares rurales en situación de pobreza	...	...	61,2	...	...	...	...	...	...
Hogares rurales en situación de pobreza extrema	...	...	34,1	...	...	...	...	...	...
Población rural en situación de pobreza	...	...	68,0	...	...	...	46,1	...	...
Población rural en situación de pobreza extrema	...	...	37,6	...	...	...	24,4	...	...
Índice de concentración de Gini rural	...	...	0,47	...	...	...	0,53	...	...

Fuente: Sobre la base de cifras oficiales de CEPAL-CELADE, boletines varios de población, CEPALSTAT, Estadísticas e Indicadores Sociales (BADENSO), Instituto Guatemalteco de Seguridad Social (ICSS), Instituto Nacional de Estadística (INE) y PNUD.

^a Cifras preliminares.

CUADRO 4
GUATEMALA: COMPETITIVIDAD DE LAS EXPORTACIONES AGROALIMENTARIAS
A ESTADOS UNIDOS, 2002–2007

Código	Productos	Guatemala
Agropecuarios		
1	Animales vivos	Retirada
2	Carne bovina fresca y refrigerada	No definido
3	Peces vivos	Retirada
4	Lácteos y miel	Estrella naciente
5	Demás productos de origen animal	Estrella menguante
6	Plantas y flores	Retirada
7	Legumbres y hortalizas	Estrella naciente
8	Frutos comestibles	Oportunidad perdida
9	Café sin tostar, té, hierba mate y especias	Retirada
10	Cereales	Estrella naciente
12	Semillas y frutos oleaginosos	Oportunidad perdida
Agroindustriales		
11	Productos de la molinería	Oportunidad perdida
13	Gomas y resinas	No definido
14	Materias trenzables y demás productos	Oportunidad perdida
15	Grasas y aceites animales o vegetales	Estrella naciente
16	Preparaciones de carne	Estrella naciente
17	Azúcares y artículos de confitería	Estrella naciente
18	Cacao y sus preparaciones	Oportunidad perdida
19	Preparaciones a base de cereales	Estrella naciente
20	Preparación legumbres, hortalizas y frutas	Estrella naciente
21	Preparaciones alimenticias diversas	Estrella naciente
22	Bebidas, líquidos alcohólicos	Estrella naciente
23	Alimentos balanceados y residuos	No definido
24	Tabaco y sucedáneos del tabaco	Retirada
44	Madera y manufacturas de madera	Estrella menguante

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

2. Servicios ambientales de la agricultura y del medio rural

El sector agropecuario guatemalteco ofrece importantes bienes y servicios ambientales entre los que destacan los siguientes: fijación de carbono, biodiversidad, paisaje y regulación del ciclo hídrico. El territorio guatemalteco cuenta con gran biodiversidad, lo que genera la posibilidad de un aprovechamiento sostenible y con ello contribuir a lograr el desarrollo socioeconómico y así mejorar los niveles y la calidad de vida de sus habitantes. El ingreso recibido por bienes y servicios ambientales además de utilizarse para fomentar el desarrollo, también puede destinarse a la conservación de la biodiversidad. Las características de los principales servicios ambientales que ofrece Guatemala se describen a continuación:

a) Protección de los bosques, puesto que de ellos se obtienen diferentes y muy importantes servicios ambientales: regulación del ciclo hídrico, fijación de carbono y hábitat para la población indígena.

b) La conservación de la extensa biodiversidad existente en el país posibilita la prestación de bienes y servicios ambientales, entre los que destacan: regulación del clima, materias primas, retención de sedimentos, control de erosión, calidad del agua, regulación de disturbios atmosféricos y conservación de especies.

c) Fomentar el ecoturismo es una alternativa de preservación del paisaje y también una manera de incentivar a los dueños de grandes extensiones de tierras con gran valor ambiental.

d) En su compromiso de fomentar los mecanismos de desarrollo limpio, Guatemala ha desarrollado proyectos como la dendroenergía e impulsado la energía eólica, con ello pretende mitigar los efectos del cambio climático, siempre y cuando se utilice como una fuente alternativa de energía respetuosa del ambiente.

3. Guatemala ante el cambio climático

a) Los efectos del cambio climático en la agricultura, en los últimos años

Los fenómenos naturales se han intensificado durante las últimas décadas en la región Centroamericana, tanto en intensidad como en frecuencia. En lo que se refiere a Guatemala, entre los que se han documentado están los impactos del huracán Mitch que causó afectaciones en 1998; las sequías que se produjeron en 2001 y que ocasionaron una hambruna en el oriente de Guatemala y, las pérdidas de vidas humanas y daños a la producción agrícola y a la infraestructura ocasionados por la Tormenta Tropical Stan en el 2005 (véase el cuadro 5). En este cuadro es posible observar que las pérdidas asociadas al huracán Mitch ascendieron a 748 millones de dólares, lo que representó cerca del 4% del PIB en 1998.

CUADRO 5
GUATEMALA: DAÑOS Y PÉRDIDAS EN EL SECTOR AGROPECUARIO
POR LOS DESASTRES, 1976-2005
(En millones de dólares)

Año	Evento	Daños y pérdidas totales	Agropecuario			Porcentajes		
			Total	Daños ^a	Pérdidas ^b	Agropecuario/ total	Daños/ agropecuario	Pérdidas/ agropecuario
Gran total		2 910,7	599,9	221,6	378,3	20,6	36,9	63,1
1976	Terremoto	1 152,0	10,5	10,5	-	0,9	100,0	-
1998	Huracán Mitch	748,0	499,4	187,6	311,8	66,8	37,6	62,4
2001	Sequía	22,4	12,3	-	12,3	54,9	-	100,0
2005	Tormenta Stan	988,3	77,7	23,5	54,2	7,9	30,3	69,7

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.

Para ejemplificar y mencionar con mayor detalle las pérdidas ocasionadas por la Tormenta Stan, es posible señalar que dicho fenómeno natural ha sido uno de los más catastróficos para este país centroamericano, pues a su paso causó perjuicio en los sectores sociales y en las condiciones de vida de los grupos poblacionales, productivos y étnicos más vulnerables. Los daños causados se extendieron a los sectores sociales (vivienda, salud, educación, condiciones de vida y empleo), económicos (agropecuario, industria), infraestructura (agua y saneamiento, sector eléctrico, transporte y comunicaciones) y medio ambiente. El monto total del impacto fue valorado en unos 988 millones de dólares, equivalentes a 3,6% del PIB de 2004.

En el caso particular de la agricultura, la tormenta tropical Stan provocó daños y pérdidas en zonas agrícolas de 15 Departamentos, entre los que destacan; Retalhuleu, Escuintla, Chimaltenango, Quetzaltenango y Jutiapa. Afectó un área aproximada de 61.000 hectáreas de cultivos, los más seriamente afectados fueron los productos básicos como el maíz blanco y el frijol, cuyas pérdidas representaron el 6% y el 3% de la producción, respectivamente. En los productos de exportación, como la caña de azúcar, plátano y arveja china, las pérdidas representaron en promedio el 2,7%. En tanto que en el caso de los cultivos no tradicionales, el más seriamente afectado fue el ajonjolí, cuya merma representó más de un cuarto de la producción total (véase el cuadro 6)⁸.

Las cuantificaciones de daños estimados por la tormenta Stan en Guatemala, sumadas a las vulnerabilidades preexistentes, sugieren la creación de estrategias y políticas económicas y ambientales que permitan reducir los riesgos y pérdidas en el futuro, así como establecer un marco de compromisos de mediano y largo plazo que ayuden a mitigar los efectos de estos fenómenos naturales.

CUADRO 6
GUATEMALA: PÉRDIDAS EN LA AGRICULTURA PROVOCADAS POR LA TORMENTA STAN

Cultivos afectados	Toneladas			Producción perdida/producción total (%)
	Producción proyectada total 2004-2005, sin Stan	Producción esperada tras Stan	Producción perdida	
Granos básicos				
Arroz	34 927	34 914	13	0,0
Frijol	99 945	96 511	2 985	3,0
Maíz blanco	1 103 491	1 037 281	66 210	6,0
Sorgo			929	
De exportación				
Banano/Plátano	1 050 420	1 026 099	24 321	2,3
Café	204 117	197 318	6 799	3,3
Caña de azúcar	17 782 401	17 337 841	444 560	2,5
Arveja China			1 675	
No tradicionales				
Ajonjolí	39 961	27 420	12 541	31,4
Hule	46 579	44 329	2 250	4,8
Papa	128 067	124 379	3 688	2,9
Papaya	22 100	20 707	1 393	6,3
Tomate			2 580	
Aguacate			4 678	
Otros			11 010	

Fuente: CEPAL, 2005.

⁸ Para mayores detalles sobre los daños causados por la tormenta Stan en Guatemala, véase CEPAL, 2005.

b) Las estrategias, políticas y programas frente al cambio climático

El Gobierno de Guatemala ha firmado y ratificado, en 1992 y 1995, respectivamente, la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático y el Protocolo de Kyoto⁹. Como parte de ambos compromisos adquiridos ha realizado ya acciones tendientes a mitigar los efectos del cambio climático. Entre las dependencias creadas destacan la Oficina Guatemalteca de Implementación Conjunta (OGIC), creada en 1997, y en ese mismo año también se instituyó el Consejo Nacional de Cambio Climático; ambas entidades conformadas por el gobierno, el sector privado y diversas ONG¹⁰.

En 1998 con apoyo financiero del Fondo para el Medio Ambiente Mundial inició la elaboración de la Primera Comunicación Nacional Sobre Cambio Climático¹¹ cuyos objetivos fundamentales fueron: i) presentar los resultados del inventario de GEI; ii) elaborar escenarios climáticos ambientales y socioeconómicos, y iii) realizar estudios específicos sobre la vulnerabilidad al cambio climático en la salud humana, producción de granos, recursos forestales y recursos hídricos. Se incluyeron también los resultados de los estudios sobre la disminución de GEI en el sector energético e identificación de lineamientos básicos para elaborar un plan sobre la disminución de estos gases en los recursos forestales, así como una descripción general de la situación económica y social de Guatemala, tomando como referencia el año 1990.

Otras acciones emprendidas por el gobierno guatemalteco a partir de 2003 han sido las siguientes¹².

i) Creación de una unidad permanente encargada del tema bajo la figura administrativa de Programa Nacional de Cambio Climático, mediante el Acuerdo Ministerial N° 134-2003 del 12 de diciembre de 2003.

ii) Ley de incentivos para el Desarrollo de Proyectos de Energías Renovables (Decreto 52-2003 del 10 de noviembre de 2003).

iii) Política Marco de Gestión Ambiental (Acuerdo Gubernativo 791-2003, 8 de diciembre de 2003).

iv) Política Nacional de Educación Ambiental (Ministerio de Educación y Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, 13 enero de 2004).

v) Designación del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales como Autoridad Nacional Encargada del Mecanismo de Desarrollo Limpio (Acuerdo Gubernativo N° 388-2005, 12 de agosto de 2005).

⁹ Firmado en 1992 y ratificado en 1995.

¹⁰ Véase MARN *op. cit.*

¹¹ Como resultado de la Primera Comunicación Nacional sobre Cambio Climático fue creada la Unidad de Cambio Climático en septiembre de 2001. Entre las principales actividades de esta dependencia están: 1) Estudios de fijación de Carbono y aprovechamiento del MDL (Mecanismo de Desarrollo Limpio), 2) Apoyo técnico y científico a instituciones encargadas de temas afectados por el Cambio Climático (Bosques, recursos hídricos, granos básicos, salud) y 3) Participación en actividades de riesgo y alerta temprana relacionadas con actividades de la variabilidad climática, calentamiento global y cambio climático.

¹² Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN, 2007c). Segunda Comunicación Nacional sobre Cambio Climático. Resumen.

vi) Creación de la Oficina Nacional de Desarrollo Limpio y Reglamento de sus procedimientos (Acuerdo Ministerial 477-2005, 2 de septiembre 2005).

vii) Reglamento de la Ley de Incentivos para el desarrollo de Proyectos de Energías Renovables (Acuerdo Gubernativo N° 211-2005, 16 de junio 2005).

viii) Política de Conservación, Protección y Mejoramiento del Ambiente y los Recursos Naturales (Acuerdo Gubernativo 63-2007, 7 de diciembre de 2007).

ix) Proyecto Fomento de las Capacidades para la Etapa II de Adaptación al Cambio Climático en México, Centro América y Cuba (RLA/01/G31, abril 2007).

x) Política Nacional de Cambio Climático (septiembre de 2009).

El principal fin de la Política de Cambio Climático es contribuir al cumplimiento de los Objetivos del Milenio con énfasis en la reducción de la pobreza. Los alcances de la política incluyen la reducción de la vulnerabilidad a los eventos climatológicos extremos, el reforzamiento de la capacidad de adaptación y el aprovechamiento de las oportunidades para la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.

El proceso de elaboración de la Política de Cambio Climático se inició en febrero de 2008 con la formación de un grupo de trabajo interno del MARN así como uno a nivel nacional integrado por representantes de otras instituciones del sector gobierno, sector académico, sociedad civil y de organismos internacionales.

El proyecto regional, Fomento de las Capacidades para la Etapa II de Adaptación al Cambio Climático en México, Centro América y Cuba, representa uno de los esfuerzos más notables por dar continuidad a las acciones emprendidas por el gobierno desde 1998, el cual se espera concluir a fines de 2010. Los productos esperados con este proyecto son:

- i) Cálculo de emisiones de gases de efecto invernadero usando 2000 como año base.
- ii) Definición de medidas de adaptación al cambio climático priorizando seguridad alimentaria, infraestructura y regiones marino-costeras.
- iii) Promoción de reducciones de emisiones de gases de efecto invernadero.
- iv) Sensibilización y capacitación pública y reforzamiento legal e institucional para incluir el tema del cambio climático en los planes y políticas nacionales sectoriales, y
- v) La gestión del proyecto que se refiere a la coordinación y desarrollo de las actividades del mismo.

A pesar de este importante cúmulo de medidas tomadas para afrontar los efectos del cambio climático, aún existe relativamente poca información y evaluaciones de los efectos de estos programas y las estrategias que se han tomado, posiblemente explicado por lo reciente de las mismas. Se espera que con la implementación de la Política Nacional de Cambio Climático tanto los distintos niveles del Gobierno de Guatemala como la ciudadanía en general, adopten prácticas de prevención de riesgo, reducción de la vulnerabilidad y mejora de la adaptación al cambio climático; asimismo, contribuir a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, y con ello coadyuvar a mejorar la calidad de vida de los habitantes de Guatemala.

III. METODOLOGÍAS

El clima es un determinante básico de la productividad agrícola, por lo que resulta fundamental entender y estimar los efectos del cambio climático en el sector agrícola, ya que puede afectar los tipos de cultivos, su producción, así como la frecuencia e intensidad de las cosechas. Sin embargo, realizar este ejercicio es complejo si se toma en cuenta que son diversas las variables que pueden interferir, y además que el ser humano tiende a adaptar su comportamiento ante los cambios (Adams y otros, 1988; Maddison y otros, 2007).

Como se comentó en la revisión de la literatura, un enfoque que ha sido utilizado tradicionalmente para estimar los efectos físicos y económicos del cambio climático sobre la agricultura es el de la función de producción, mediante el cual es posible estimar los impactos de distintas variables climáticas, como la precipitación y temperatura, sobre los niveles de producción.

De acuerdo con Mendelsohn y otros (1994), este enfoque puede llevarnos a sobrestimar los efectos negativos del clima, pues no contempla una variedad de ajustes que los productores realizan en respuesta a cambios en las condiciones económicas y ambientales; por ejemplo, la adaptación a los cambios tecnológicos y ambientales, modificaciones en la producción de alimentos, en los precios de los insumos o en la disponibilidad de recursos. Así, los resultados de la función de producción, con frecuencia, predicen severas reducciones en los rendimientos de los cultivos como resultado del cambio climático.

No obstante, el enfoque en cuestión tiene la ventaja de permitir el análisis de efectos sobre diferentes cultivos y, al basarse en escenarios climáticos confiables, arroja resultados claros en términos de la relación entre los rendimientos de los mismos y las condiciones climáticas. Además, permite identificar los umbrales de temperatura y precipitación y los valores máximos a partir de los cuales las condiciones climáticas se vuelven perjudiciales.

Otra metodología a través de la cual se puede, en principio, corregir el posible sesgo en las estimaciones basadas en la función de producción es la del “enfoque Ricardiano”, que permite analizar cómo el clima afecta el valor neto de las tierras cultivadas. Al medir directamente los precios o ganancias agrícolas, se estiman 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 (Mendelsohn y otros, 1994). Este modelo proporciona una herramienta útil para 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 (sus diferentes usos). Sin embargo, no permite conocer los efectos sobre cultivos específicos.

Dadas las ventajas y desventajas de los dos enfoques, es posible considerarlos complementarios. A diferencia de muchos estudios que utilizan sólo uno de ellos, en éste se emplearán los dos, teniendo en cuenta sus limitaciones y tratando de obtener el mayor provecho de cada uno.

La función de producción servirá para estudiar los efectos del cambio climático sobre la producción y los rendimientos de diferentes cultivos, mientras que el enfoque Ricardiano permitirá analizar los efectos sobre el valor de la tierra. A continuación se describen ambas técnicas.

1. Enfoque de la función de producción

En teoría una función de producción es aquella que relaciona las cantidades de factores que se requieren (\mathbf{X}) y la forma en que se combinan para producir un bien determinado (Y).

$$Y = f(X) \quad (1)$$

De acuerdo con Fleischer y otros (2007), una función de producción agrícola (Q) se puede expresar en función de variables endógenas, exógenas y de variables que representan la habilidad o capacidad de los agricultores. Las variables endógenas (\mathbf{x}) incluyen trabajo, capital y otros insumos. Las exógenas (\mathbf{z}) comprenden variables climáticas. Las características de los agricultores (\mathbf{m}) incluyen variables de capital humano.

En términos formales la función de producción agrícola se representa de la siguiente forma:

$$Q_t = f(m_t, z_t, x_t) \quad (2)$$

Donde Q_t representa el nivel de producción de un determinado producto y el subíndice t indica el tiempo o el año considerado.

Así, la función de beneficios de un agricultor que produce n cultivos para el período t se expresa de la forma:

$$\pi_t = \sum_{j=1}^n [p_j Q_j(m_t, z_t, x_{jt}) - w_t x_{jt}] \quad (3)$$

Donde: p_j representa el precio del producto j , Q_j es la función de producción del producto j y w es el vector de precios de los insumos.

Un supuesto inherente a este tipo de modelación es que los agricultores buscan maximizar sus beneficios y, por lo tanto, eligen aquella cantidad de insumos (\mathbf{x}^*) que se les permita, suponiendo como dadas a las variables exógenas. La cantidad óptima de insumos debe satisfacer la siguiente condición de primer orden en cada uno de los períodos considerados:

$$p_j (\partial Q / \partial x_j) = w \quad j=1,2,\dots,n \quad (4)$$

En este estudio, y a partir del enfoque de funciones de producción descrito anteriormente, se analizan, en primer lugar, los efectos del cambio climático sobre la producción agropecuaria (a través de índices de producción), en tres grandes grupos: producción agropecuaria, producción de cultivos y producción pecuaria. De esta forma, y con objeto de realizar la estimación econométrica de la ecuación (2) para cada uno de los índices de producción, es posible representar dicha función mediante las siguientes ecuaciones:

$$\text{Agropecuaria}_t = \alpha_1 + W_t \alpha_2 + Z_t \alpha_3 + X_t \alpha_4 + \varepsilon_{1t}, \quad t=1, T \quad (5)$$

$$\text{Cultivos}_t = \beta_1 + W_t \beta_2 + Z_t \beta_3 + X_t \beta_4 + \varepsilon_{2t}, \quad t=1, T \quad (6)$$

$$Pecuaría_t = \delta_1 + W_t\delta_2 + Z_t\delta_3 + X_t\delta_4 + \varepsilon_{3t}, t=1, \dots, T \quad (7)$$

Donde las α_i , β_i y δ_i representan los coeficientes a ser estimados y los ε_{it} son los términos de error de cada una de las ecuaciones de los índices de producción respectivos.

De manera adicional, este estudio presenta un análisis de los efectos del cambio climático sobre el rendimiento de tres productos agrícolas: maíz, frijol y café. Para estos tres cultivos, las ecuaciones a estimar se representan de la siguiente forma:

$$Maiz_t = \alpha_1 + W_t\alpha_2 + Z_t\alpha_3 + X_t\alpha_4 + u_{1t}, t=1, T \quad (8)$$

$$Frijol_t = \beta_1 + W_t\beta_2 + Z_t\beta_3 + X_t\beta_4 + u_{2t}, t=1, T \quad (9)$$

$$Café_t = \delta_1 + W_t\delta_2 + Z_t\delta_3 + X_t\delta_4 + u_{3t}, t=1, T \quad (10)$$

Donde las α_i , β_i y δ_i son los coeficientes que acompañan a cada una de las matrices que contienen las variables explicativas, en tanto que los u_{it} representan los términos de error para cada una de las ecuaciones.

Una vez estimadas las funciones de producción, es posible calcular el impacto sobre las distintas variables dependientes (índices de producción o rendimientos de cultivos) ante las variaciones de uno o más factores, como podrían ser: temperatura y precipitación. De esta manera, es posible obtener la producción o rendimiento máximo por cultivo y los valores óptimos de cada uno de los factores que determinan la producción o rendimiento de los cultivos.

Las variables climáticas, que son exógenas, cumplen un papel importante al determinar el rendimiento de los productos cultivados o el valor de los mismos. Por ejemplo, mayores niveles de temperatura conllevan aumentos en la demanda de agua necesaria para el crecimiento de las plantas y, en consecuencia, pueden aumentar o disminuir la producción de un cultivo determinado. La precipitación desempeña un papel diferente dependiendo si se trata de áreas irrigadas o no. En áreas que no cuentan con riego, el agua necesaria para los cultivos proviene directamente de la precipitación, antes y durante la época de crecimiento.

Las plantas se desarrollan dependiendo de su exposición a la humedad y temperatura durante su etapa de crecimiento. Los factores climáticos están relacionados con etapas importantes de la fenología de las plantas, por ejemplo, precipitación con germinación y floración y temperatura con desarrollo y maduración del fruto.

Si bien la función de producción no captura por completo la adaptación y estrategias de mitigación de los agricultores para enfrentar el cambio climático, tiene la ventaja de arrojar resultados auténticos en términos de la relación entre rendimientos y condiciones climáticas, relación que es de interés para los propósitos de esta investigación. Además, tiene la ventaja de que al basarse directamente en variables observadas, la relación de variables climáticas y rendimientos agrícolas se estima también directamente.

2. Enfoque Ricardiano

Los efectos que el cambio climático ha tenido en el pasado sobre la productividad agrícola pueden ser medidos y cuantificados. Con el desarrollo de un modelo de valuación ambiental Mendelsohn (2007a) estima que el cambio climático durante el período de 1960 a 2000 ha causado un incremento del 2% al 4% en la producción agrícola global. Señala que el futuro cambio climático puede llegar a ser benéfico hasta cierto punto, un incremento en la temperatura de 2,5 ° C, a partir del cual los efectos empezaran a ser negativos. El análisis Ricardiano, como se describe a continuación, documenta este pronóstico.

El modelo Ricardiano fue desarrollado para explicar la variación del valor de la tierra entre diferentes zonas climáticas (Mendelsohn y otros 1994), además ha sido uno de los enfoques líderes en el análisis de los efectos directos del cambio climático en la productividad agrícola. Este modelo realiza un análisis de sección cruzada que ha sido ampliamente aplicado en el estudio de los efectos del cambio climático en la productividad agrícola. Debe su nombre a David Ricardo, quien hizo la observación de que el valor de la tierra muestra su productividad neta por el ingreso neto de la tierra (π). Se asume que los productores agrícolas maximizan el ingreso neto (π) dado por la siguiente ecuación:

$$\pi = \sum P_j Q_j(m, z, x) - \sum w_x x \quad (11)$$

Donde P_j es el precio de mercado del cultivo j , \mathbf{x} un vector de insumos, \mathbf{w}_x el vector de precios de los insumos, \mathbf{z} un vector de variables climáticas y \mathbf{m} representa un vector de otras variables que afectan la producción del cultivo j . Los productores eligen \mathbf{x} para maximizar el ingreso neto de cada cultivo, dadas las características intrínsecas a la unidad de producción (temperatura, precipitación, tipo de suelo, acceso a mercados, etc.) y el precio de mercado de los productos. La función óptima resultante es:

$$\pi^* = f(P_j, z, m, w_x) \quad (12)$$

El modelo Ricardiano utiliza la especificación anterior para determinar de qué manera cambios en variables exógenas contenidas en \mathbf{z} y \mathbf{m} afectan la productividad neta de la tierra. El valor de la tierra (LV) es entonces el valor presente del flujo de ingresos netos:

$$LV = \int_0^{\infty} \pi_t^* \cdot e^{-rt} dt \quad (13)$$

Donde r representa la tasa de interés del mercado.

Hay dos maneras de estimar el modelo Ricardiano. La primera consiste en utilizar el valor de la tierra como variable dependiente y la segunda es usar el ingreso neto anual como variable dependiente. Ambas alternativas han sido utilizadas y dependen en gran medida de la disponibilidad de datos. Sin embargo, el valor de la tierra se considera una mejor medida, pues refleja la expectativa de ingresos en un horizonte de varios años, en tanto que el ingreso neto anual sólo ofrece un resultado anual que puede variar años tras año. Dado que el cambio climático es un fenómeno de largo plazo, se esperaría que sus efectos estuvieran mejor reflejados en una variable como el valor de la tierra. El ingreso neto anual estará afectado, más bien, por fenómenos climáticos del año al que se haga referencia, un plazo muy corto para asociar cualquier resultado al cambio climático.

Si seguimos a Seo y Mendelsohn (2008a) el modelo anterior puede estimarse econométricamente de la siguiente forma:

$$LV = \beta_0 + \beta_1 \cdot T + \beta_2 \cdot T^2 + \beta_3 \cdot P + \beta_4 \cdot P^2 + \beta_5 T \cdot P + \sum_j \lambda_j \cdot m_j + e \quad (14)$$

Donde la variable dependiente es el valor de la tierra por hectárea, T y P representan temperatura y precipitación, respectivamente. En la práctica, es común hacer una distinción entre temperaturas y precipitaciones en diferentes estaciones del año; \mathbf{m} representa un conjunto de variables (socioeconómicas y características de suelos) relevantes, 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 LV , a cambios en variables climáticas puede ser no lineal. Por ejemplo, a bajos niveles de temperatura, la decisión óptima del productor puede ser cultivar trigo, no obstante, conforme la temperatura aumenta, la rentabilidad marginal del trigo 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 puede aplicarse 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 y otros, 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:

$$\frac{\partial LV_i}{\partial T} = \beta_1 + 2 \cdot \beta_2 \cdot T + \beta_5 \cdot P \quad (15)$$

El resultado es análogo para las variables de precipitación. De manera adicional y si la disposición de información lo permite, la modelación anterior permite la diferenciación de los impactos del cambio climático a través de distintos perfiles de productores, lo que hace posible determinar diferentes niveles de sensibilidad. 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:

$$\Delta LV = LV(C_1) - LV(C_0) \quad (16)$$

Esto es, 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 $\Delta LV < 0$, hay evidencias de efectos negativos del cambio climático en la rentabilidad agrícola.

Las principales críticas al modelo Ricardiano radican en el uso de la estática comparada. El resultado de la ecuación (16) 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. Se ha señalado también la falta de inclusión, en el análisis, de los cambios en los precios agrícolas. Finalmente, el modelo de análisis Ricardiano tampoco incluye medidas de adaptación al cambio climático.

IV. EL IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE EL SECTOR AGROPECUARIO

El desarrollo de las plantas está directamente influido por las diferencias climáticas en las distintas zonas geográficas del mundo. Sin embargo, su expansión en un lugar determinado varía de un año a otro como respuesta a las diferencias en el clima local.

El cambio climático produce fenómenos climáticos extremos. Asimismo, genera cambios importantes en la temperatura y en la precipitación. Durante el crecimiento de los cultivos la temperatura y la humedad del suelo tienen un papel determinante. Cuando los suelos están húmedos, la temperatura es usualmente el factor ambiental determinante en la velocidad de germinación. Por otro lado, la temperatura afecta muchos aspectos del crecimiento, incluyendo el desarrollo de los sistemas reticulares, la velocidad a la que absorben agua y nutrientes, la expansión de las hojas, la floración y el rendimiento¹³.

Aumentos en la temperatura pueden tener efectos positivos o negativos sobre el rendimiento de los cultivos. La diferencia depende de la ubicación y magnitud de dichos cambios¹⁴. Por ejemplo, algunos rubros pueden resultar beneficiados al existir menores heladas. Sin embargo, las altas temperaturas facilitan la existencia de insectos y enfermedades en las plantas, agravando el riesgo de la pérdida de las plantaciones. Los cambios en la precipitación afectan directamente la humedad del suelo y por lo tanto, la producción de alimentos.

En este capítulo se presentan los resultados de las estimaciones de los efectos del cambio climático sobre la producción agropecuaria. Se realizan proyecciones para conocer cuáles son los niveles de temperatura y precipitación aproximados a los que se podrían generar efectos negativos sobre la producción. El análisis inicia evaluando los efectos sobre las producciones agregada, agrícola y pecuaria, para lo cual se emplean índices de producción. Posteriormente, se consideran los efectos sobre tres de los cultivos más importantes: maíz, frijol y café. En estos dos casos la metodología empleada es la de las funciones de producción y se utilizan cifras anuales para el período 1961-2006¹⁵. Por último y empleando el enfoque Ricardiano, se estiman los efectos sobre el ingreso proveniente de la renta de la tierra para los hogares guatemaltecos.

En el caso de las estimaciones de las funciones de producción el procedimiento fue el siguiente: Se partió de dos formas de especificar a las variables de control (PEA rural, PEA total y población): logarítmica y lineal. Con base en ellas se realizaron diferentes estimaciones y se escogieron las expresiones de temperatura y precipitación con las cuales las variables de interés tuvieran las correlaciones mayores¹⁶. Una vez realizado lo anterior, se escogieron aquellas formas funcionales que

¹³ Wild Alan (1992), Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Russell, Mundi Prensa.

¹⁴ Véase: Adams Richard, Hurd B, Reilly J. (1999), *A Review of impacts to U.S. agricultural resources*, preparado para el Pew Center on Global Climate Change.

¹⁵ 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.

¹⁶ Para la precipitación se probaron: precipitación promedio anual; precipitación acumulada; 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 seca y temperatura en la estación lluviosa.

fueran robustas metodológicamente para evaluar los efectos del cambio climático¹⁷. En todos los casos se realizaron pruebas de cointegración con objeto de descartar la posibilidad de regresiones espurias¹⁸.

1. Impacto sobre las funciones de producción agropecuaria

En el presente apartado se calcula el impacto de los cambios en la temperatura y la precipitación sobre el sector agropecuario, usando el enfoque de la función de producción. Las funciones de producción agropecuarias se estimaron a partir de información anual del período 1961-2005 mediante el uso de la metodología de mínimos cuadrados ordinarios (MCO). Las estadísticas descriptivas de los datos se muestran en el cuadro 7. Se usaron los índices de producción agropecuaria tipo Laspeyres base 1999-2001, contruidos por la FAO¹⁹, y datos meteorológicos (precipitación y temperatura) 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). Asimismo, se utilizaron las variables de control PEA rural, PEA total y hectáreas de cultivo. Estas variables provienen de la base FAOSTAT²⁰. Las especificaciones utilizadas provienen de las ecuaciones 5, 6 y 7 del capítulo anterior.

CUADRO 7
GUATEMALA: ESTADÍSTICAS DESCRIPTIVAS, 1961-2005^a

	Observaciones	Media	Desviación estándar	Valor mínimo	Valor máximo
Índice de producción agropecuaria ^b	45	65,27	24,31	26,00	115,00
Índice de producción de cultivos	45	64,27	25,28	23,00	123,00
Índice de producción pecuaria ^c	45	68,76	22,00	35,00	107,00
PEA rural (miles de habitantes)	45	135,3	368,8	901,9	1 926,0
PEA total (miles de habitantes)	45	2 360,9	906,5	1 271,1	4 402,2
Población (miles de habitantes)	45	7 857,8	2 486,0	4 259,3	12 700,0
Hectáreas de cultivo	45	1 464 591	165 853	1 146 817	2 008 790
Precipitación promedio anual (mm)	45	225,00	23,78	176,28	295,84
Precipitación acumulada anual (mm)	45	2 700,00	285,36	2 115,39	3 550,07
Temperatura promedio (°C)	45	23,55	0,43	22,80	24,52
Temperatura máxima (°C)	45	31,18	0,64	30,01	32,48

Fuente: Elaboración propia.

^a Se refiere a 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 índices de producción pecuario son calculados a partir de los datos de producción de animales domésticos que toman 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.

¹⁷ En muchos casos se encontraron diferentes especificaciones que fueron robustas metodológicamente. En ese caso, el criterio fue tomar aquella o aquellas especificaciones que presentaran los menores efectos, esto debido a que como se mencionó en el texto, el método de las funciones de producción tiende a sobrestimar los efectos negativos. Por tanto, es probable que la especificación que se haya tomado en cada caso es la que tiene el menor sesgo.

¹⁸ 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, dado por un vector de cointegración.

¹⁹ 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 mediante la fórmula de 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.

²⁰ FAO División de estadísticas.

a) Resultados

Se construyeron tres funciones de producción agropecuarias basadas en los índices de producción agropecuaria, producción agrícola y producción pecuaria. Las variables climáticas utilizadas en las especificaciones son *temperatura máxima anual*, *temperatura promedio anual*, *precipitación acumulada* y *precipitación promedio anual*. Los términos cuadráticos de estas variables se incluyeron para capturar el efecto no lineal sobre los índices de producción. De igual manera, y debido a que los índices se restringieron a través de la superficie cultivada, se incluyó el logaritmo de las variables relacionadas con el trabajo: *PEA rural*, *PEA total* y *población*. También se incluyó, en todas las regresiones, una variable *dummy* para señalar los años que ocurrieron desastres naturales en la región.

i) Índices de producción agropecuaria. El objetivo de este ejercicio empírico es mostrar que la producción agropecuaria es afectada por variaciones de precipitación y temperatura, consecuencia del cambio climático. Como se mencionó anteriormente, 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.

1) Producción agropecuaria. Los principales resultados de la función agropecuaria se muestran en el cuadro 8. Como se puede apreciar, 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 de la función de producción (véanse los gráficos 1 y 2), son negativos. Las estimaciones presentan un R^2 elevado y el estadístico F indica que en su conjunto todas las variables empleadas en el modelo son relevantes. Se estimaron varias especificaciones para mostrar la robustez de los resultados. De acuerdo con las diferentes pruebas estadísticas (cointegración) se descarta la presencia de regresiones espurias, asimismo las estimaciones parecen robustas a los cambios en las variables climáticas y de control.

Los coeficientes referentes a la temperatura son significativos en casi todos los casos. Sin embargo, aun cuando la precipitación no es significativa, no merma los principales resultados, ya que el estadístico F indica que en su conjunto todas las variables son relevantes. Cabe resaltar que debido a la inclusión de los términos cuadráticos puede existir colinealidad entre las variables y esto puede afectar la significancia de la variable *precipitación* (Segerson y Dixon, 1998). No obstante, es necesario incluir los términos cuadráticos para mostrar el efecto no monótono de las variables climáticas sobre la producción agropecuaria.

De las funciones de producción agropecuarias estimadas, se eligió la especificación lineal utilizando la PEA rural en logaritmos y la temperatura máxima y precipitación acumulada anual (especificación (1) del cuadro 8) para graficar el impacto de las variaciones en la temperatura y la precipitación sobre la producción agropecuaria. Para realizar las gráficas se mantuvieron los demás términos constantes con los valores de 2005. En el gráfico 1 se presenta el impacto de variación en la temperatura en la producción agropecuaria, se observa que la temperatura máxima anual que se presentó en Guatemala en 2005 ya sobrepasa aquella que permite alcanzar la máxima producción.

CUADRO 8
GUATEMALA: ÍNDICE DE PRODUCCIÓN AGROPECUARIA

Ecuación	PEA rural				Población total	
	Lineal – Log		Logarítmico		Lineal- Log	Logarítmico
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Precipitación promedio		0,000127 (0,381)		0,002265 (0,231)	0,000049 (0,162)	
Precipitación promedio ²		-0,00000027 (0,375)		-0,00000672 (0,310)	-0,00000002 (0,034)	
Precipitación acumulada	0,0000106 (0,381)		0,0000969 (0,124)			0,0000554 (0,081)
Precipitación acumulada ²	0,00000000 (0,370)		-0,00000003 (0,205)			-0,00000001 (0,065)
Temperatura promedio				5,623 (2,148) **		
Temperatura promedio ²				-0,119 (2,145) **		
Temperatura máxima	0,109 (1,737) *	0,109 (1,737) *	3,507 (1,730) *		0,026893 (0,446)	4 270 (1 743) *
Temperatura máxima ²	-0,002 (1,737) *	-0,002 (1 732) *	-0,056 (1,724) *		-0,000441 (0,455)	-0,091 (1 750) *
Observaciones	45	45	45	45	45	45
R2	0,91	0,91	0,88	0,88	0,93	0,92
Pruebas de significancia conjunta de variables (Estadísticos F)	68,04 ***	68,04 ***	50,35 ***	49,62 ***	83,62 ***	144,18
Prueba de cointegración de Johansen						
Número de Vectores de cointegración por el estadístico de la traza	2 ***	2 ***	2 **	0 **	5 **	3 **
Número de vectores de cointegración por el eigenvalor máximo	1 **	1 **	1 **		5 **	0 **

Fuente: Elaboración propia.

Notas:

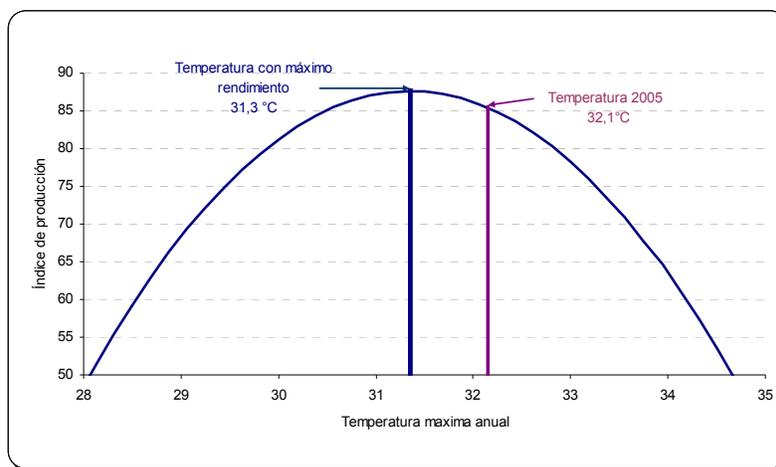
* Estadísticamente significativo a nivel de 10%.

** Estadísticamente significativo a nivel de 5%.

*** Estadísticamente significativo al nivel de 1%.

Todos los modelos se estimaron con el índice de producción restringido por las hectáreas dedicadas al cultivo; se incluyó constante y una variable *dummy* que capturan efectos de desastres naturales en la región.

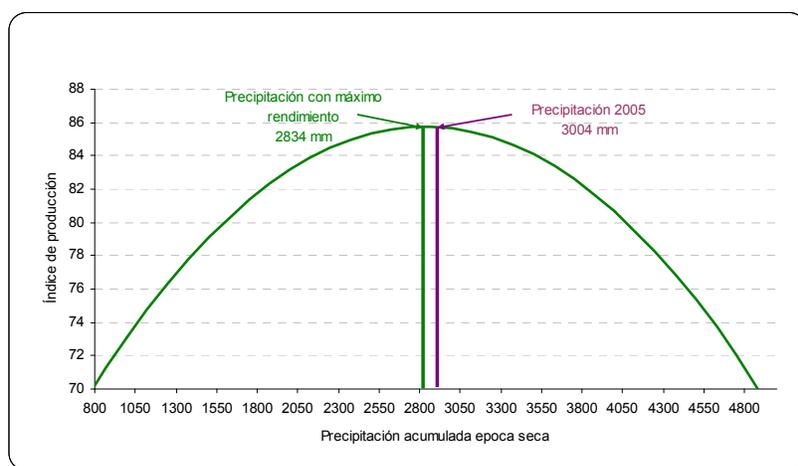
GRÁFICO 1
GUATEMALA: PRODUCCIÓN AGROPECUARIA ANTE VARIACIONES
EN LA TEMPERATURA



Fuente: Elaboración propia.

Por su parte, el gráfico 2 presenta el impacto de variaciones en la precipitación sobre la producción agropecuaria. El gráfico sugiere que el nivel de precipitación que se presentó en el año 2005 se encuentra cercano a la precipitación que maximiza la producción, sin embargo disminuciones o incrementos en la misma pueden ocasionar un nivel menor en la producción, causando pérdidas en el sector agropecuario.

GRÁFICO 2
GUATEMALA: PRODUCCIÓN AGROPECUARIA ANTE VARIACIONES
EN LA PRECIPITACIÓN



Fuente: Elaboración propia.

2) Producción agrícola. En el caso de la producción agrícola se estimaron diferentes funciones de producción incluyendo como variables climáticas a la precipitación promedio anual, precipitación acumulada, temperatura promedio anual y temperatura acumulada anual. Las estimaciones se presentan en el cuadro 9. La inclusión del término cuadrático captura el efecto no lineal de las variables climáticas sobre la producción. Para mostrar la estabilidad de las estimaciones se utilizaron diferentes

medidas de temperatura y precipitación, así como diferentes especificaciones. Asimismo, se descarta la presencia de regresiones espurias, como lo muestran las pruebas de cointegración.

CUADRO 9
GUATEMALA: ÍNDICE DE PRODUCCIÓN DE CULTIVOS

Ecuación	PEA rural				Población total			
	Lineal – Log		Logarítmico		Lineal Log		Logarítmico	
	(1')	(2')	(3')	(4')	(5')	(6')	(6')	
Precipitación promedio	0,0002008 (0,627)				0,0026063 (0,259)	0,0000877 (0,315)	-0,0000805 (0,010)	
Precipitación promedio ²	0,0000004 (0,630)				-0,0000077 (0,349)	-0,0000001 (0,190)	0,0000002 (0,012)	
Precipitación acumulada		0,0000167 (0,627)	0,0001870 (0,232)					
Precipitación acumulada ²		0,0000000 (0,630)	0,0000000 (0,326)					
Temperatura promedio				51 741 440 (1,833)	*			
Temperatura promedio ²				-0,1094491 (1,838)	*			
Temperatura máxima	0,1413253 (2,272)	**	0,1413254 (2,272)	**	43 409 090 (2,018)	*	0,0642028 (1,065)	37 071 450 (1,507)
Temperatura máxima ²	0,0022600 (2,271)	**	0,0022600 (2,271)	**	-0,0692853 (2,016)	*	-0,0010456 (1,080)	-0,0792834 (1,524)
Observaciones	45	45	45	45	45	45	45	
R2	0,92	0,92	0,88	0,88	0,88	0,94	0,92	
Pruebas de significancia conjunta de variables (Estadísticos F)	69,26 ***	69,26 ***	48,28 ***	46,31 ***	95,43 ***	81,3 ***		
Prueba de cointegración de Johansen								
Número de vectores de cointegración por el estadístico de la traza	2 **	2 **	2 **	0	6 *	2 **		
Número de vectores de cointegración por el eigenval máximo	1 **	1 **	0	0	6 *	0		

Fuente: Elaboración propia.

Notas:

* Estadísticamente significativo al nivel de 10%.

** Estadísticamente significativo al nivel de 5%.

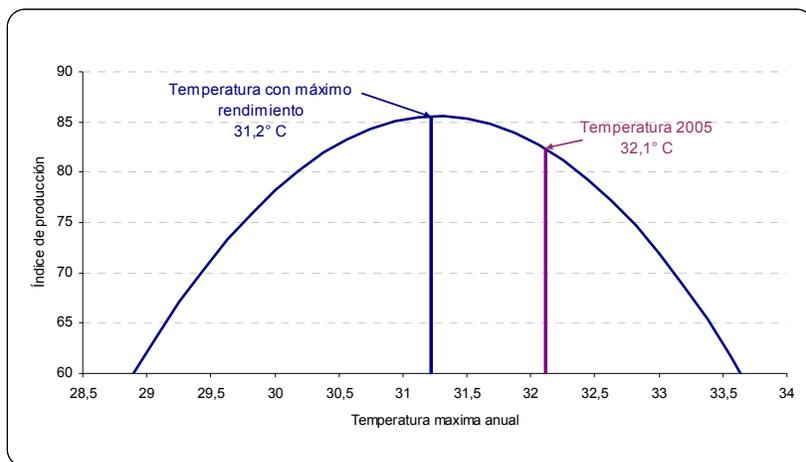
*** Estadísticamente significativo al nivel de 1%.

Todos los modelos se estimaron con el índice de producción restringido por las hectáreas dedicadas a cultivos, se incluyó constante y una variable *dummy* que capturan efectos de desastres naturales en la región.

Debido a la forma en que está construida la función de producción se 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 decrecen. Al igual que en la producción agropecuaria, se eligió la especificación lineal (1') para mostrar este comportamiento. Como se

observa en el gráfico 3, la temperatura de 2005 rebasó el nivel de temperatura que maximiza la producción agrícola, este hallazgo indica que a la temperatura registrada en 2005 la función presenta ya rendimientos decrecientes.

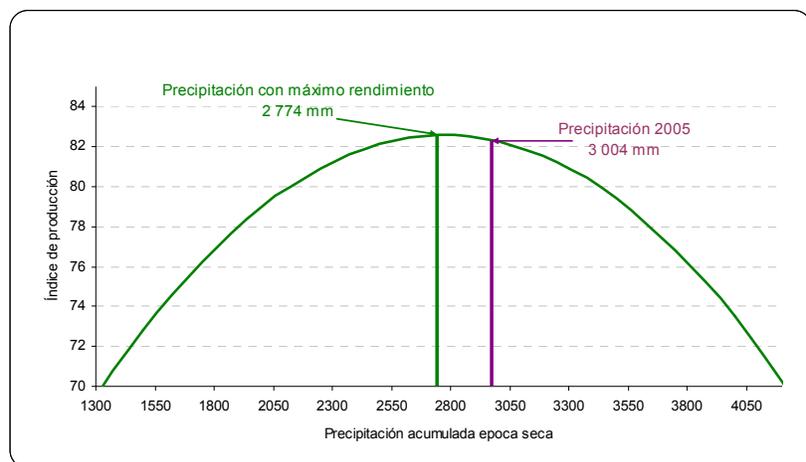
GRÁFICO 3
GUATEMALA: PRODUCCIÓN AGRÍCOLA ANTE VARIACIONES
EN LA TEMPERATURA



Fuente: Elaboración propia.

Al igual que en el caso de la producción agropecuaria, la precipitación de 2005 ha sobrepasado ligeramente la precipitación óptima que maximiza la función de producción agrícola (véase el gráfico 4) Ello implica que a pesar de que la precipitación es un insumo indispensable en la producción, mayores niveles ocasionarán pérdidas en el sector puesto que ya se encuentra en la parte decrecientes de la función.

GRÁFICO 4
GUATEMALA: PRODUCCIÓN AGRÍCOLA 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 y los resultados de las regresiones realizadas se presentan en el cuadro 10. Al igual que en los casos anteriores se estimaron

varias ecuaciones cambiando las variables explicativas con el fin de mostrar lo robusto de los resultados. En el caso de la producción pecuaria sólo se estimó utilizando temperatura promedio y temperatura máxima, ya que el efecto de la precipitación es indirecto. Se encontró que los signos de temperatura se mantienen en todos los casos y son estadísticamente significativos para la especificación logarítmica, utilizando diferentes variables de control. A pesar de que la desviación de la precipitación no es estadísticamente significativa, la prueba F indica que todas las variables son relevantes en el modelo.

CUADRO 10
GUATEMALA: ÍNDICE DE PRODUCCIÓN PECUARIA

	Lineal – Log			Logarítmico		
	PEA rural	Población	PEA Total	PEA rural	Población	PEA total
	(1´)	(2´)	(3´)	(4´)	(5´)	(6´)
Desviación de la precipitación	0,000010 (0,346)	0,000005 (1,271)	0,000010 (0,336)	-0,000411 (0,652)	0,000017 (0,328)	-0,000335 (0,518)
Temperatura promedio			0,288529 (1,854) *	6,724560 (2,086) **	5,956116 (1,865) *	9,840 653 (2,977) ***
Temperatura promedio ²			-0,006083 (1,839) *	-0,140978 (2,073) **	-0,125072 (1,851) *	-0,207499 (2,967) ***
Temperatura máxima	0,0488264 (0,559)	0,151541 (0,085)				
Temperatura máxima ²	-0,0007651 (0,548)	-0,003157 (0,086)				
Observaciones						
R2	0,88	0,84	0,84	0,85	0,87	0,85
Pruebas de significancia conjunta de variables (Estadísticos F)	42,2 ***	41,65 ***	41,94 ***	42,43 ***	49,81 ***	42,93 ***
Prueba de cointegración de Johansen						
Número de vectores de cointegración por el estadístico de la traza	2 **	5 **	0 **	1 *	1 **	0 **
Número de vectores de cointegración por el eigenvalor máximo	2	5 **	0 **	0 **	0 **	

Fuente: Elaboración propia.

Notas:

* Estadísticamente significativo al nivel de 10%.

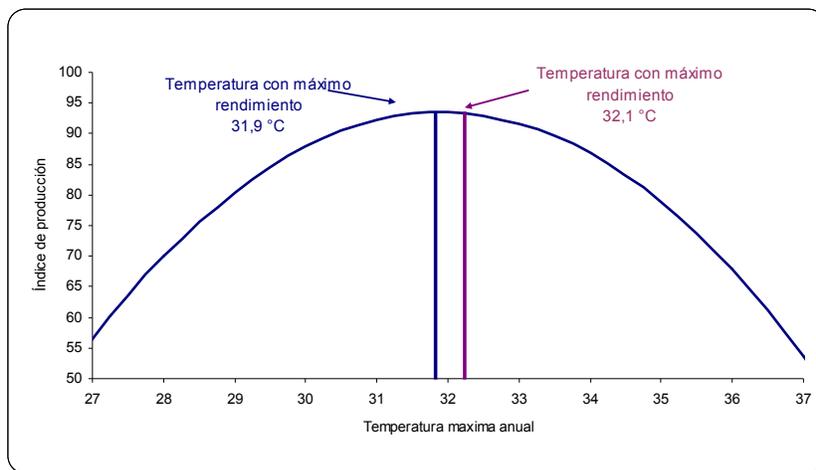
** Estadísticamente significativo al nivel de 5%.

*** Estadísticamente significativo al nivel de 1%.

Todos los modelos se estimaron con el índice de producción restringido por las hectáreas dedicadas a los cultivos, se incluyó constante y con una variable *dummy* que capturan efectos de desastres naturales en la región.

El gráfico 5 muestra el comportamiento del índice de producción pecuaria ante variaciones en la temperatura, empleando la especificación lineal (1´). Se observa que la temperatura de 2005 sobrepasó ligeramente aquélla que maximiza la producción.

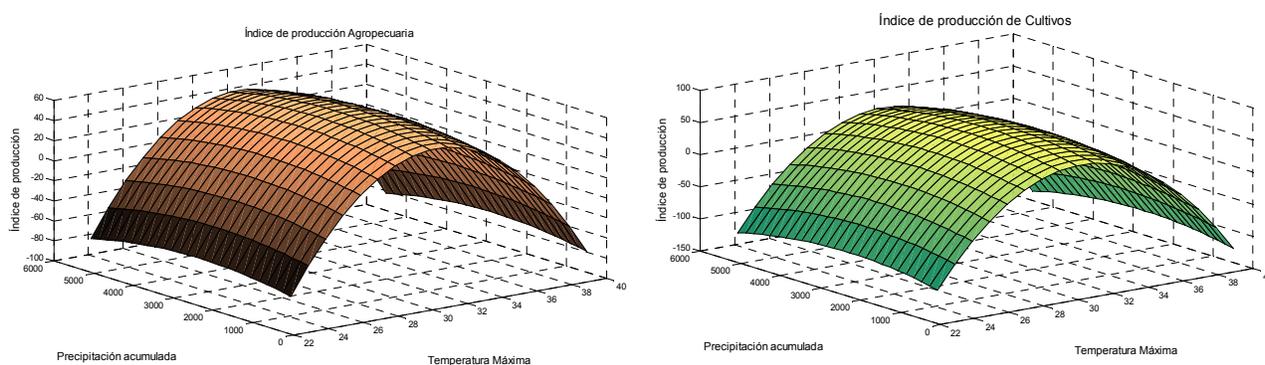
GRÁFICO 5
GUATEMALA: PRODUCCIÓN PECUARIA ANTE VARIACIONES
EN LA TEMPERATURA



Fuente: Elaboración propia.

En el caso de la producción agropecuaria, agrícola y pecuaria, las estimaciones muestran una forma funcional cóncava. La producción tiende a incrementarse hasta llegar a un cierto nivel a partir del cual ésta decrece, lo anterior se puede apreciar claramente en el gráfico 6. La temperatura máxima anual que optimiza la producción agropecuaria está alrededor de 31 °C (véase de nuevo el gráfico 1). Temperaturas mayores a este nivel provocarán decrementos en la producción. Por su parte, la precipitación acumulada anual que optimiza la producción es de alrededor de 2.800 mm. La forma de la función revela que niveles mayores o menores a este nivel de precipitación originarán una producción menor a la óptima. Cabe aclarar que estos cálculos se realizan manteniendo las variables de control constantes utilizando valores de 2005. De la misma forma, no se considera la posibilidad de cambios tecnológicos o medidas de adaptación de los agricultores ante el cambio climático.

GRÁFICO 6
GUATEMALA: IMPACTOS DE CAMBIOS EN PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURA SOBRE LA
PRODUCCIÓN AGROPECUARIA



Fuente: Elaboración propia.

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

A partir de la metodología de la función de producción, expuesta previamente, en esta sección analizamos los efectos del cambio climático sobre la producción de tres de los cultivos más importantes para Guatemala: maíz, frijol y café.

Las estimaciones se realizaron a través del Método de Mínimos Cuadrados Ordinarios (MMCO). Para cada uno de los cultivos la variable de interés es el rendimiento, medido en toneladas producidas por hectárea. En las estimaciones realizadas se emplearon diferentes especificaciones, sólo se reportan aquellas que estadísticamente fueron las más adecuadas.

Las variables explicativas utilizadas en las especificaciones son: la población nacional y la superficie provista para riego. Entre las variables climáticas se incluyeron la temperatura promedio y su cuadrado, la precipitación promedio y su cuadrado; además se incluyó una constante. Las estadísticas descriptivas de las variables empleadas para las estimaciones de esta sección se presentan en el cuadro 11.

CUADRO 11
GUATEMALA: ESTADÍSTICAS DESCRIPTIVAS PARA LOS MODELOS
DE RENDIMIENTOS EN FRIJOL, MAÍZ Y CAFÉ, 1961-2006^a

	Observaciones	Media	Desviación estándar	Valor mínimo	Valor máximo
Maíz ^b	46	1,58	0,458	0,80	2,60
Frijol ^b	46	0,69	0,22	0,30	1,30
Café ^b	46	1,14	0,38	0,40	2,00
Población promedio anual	46	7 961,17	2 570,66	4 253,00	1 3018,00
Población económicamente activa rural	46	1 364,87	374,52	901,89	1 929,74
Superficie provista para riego	46	92,87	33,71	32,00	130,00
Temperatura promedio anual en °C	46	23,56	0,43	22,80	24,52
Temperatura promedio en la estación del año seca en °C	46	22,68	0,49	21,69	23,75
Precipitación promedio anual	46	225,93	24,34	176,28	295,84
Precipitación promedio en la estación de año lluviosa	46	361,23	49,98	278,50	495,29

Fuente: Elaboración propia.

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

^b Se refiere a los rendimientos (toneladas por hectárea).

Las estimaciones y los escenarios que se presentan no controlan por la posible adaptabilidad de los agricultores ante el cambio climático, ya que no se contó con información de variables relevantes para ello, como es el caso de algunas de capital humano.

a) El caso del maíz

Para el maíz, la precipitación promedio anual y la temperatura promedio anual son las variables climáticas con las que se hace el análisis por ser las que presentaron la mayor correlación con los rendimientos de este producto. En el cuadro 12 se presentan los cuatro casos de las estimaciones de las funciones de producción con los que se está trabajando en este documento. Como se observa, tanto la precipitación como la temperatura parecen tener efectos sobre la producción del maíz; a niveles relativamente bajos tienden a estimular la producción hasta un punto a partir de cual la desincentivan. De acuerdo con las diferentes pruebas estadísticas que se realizan se descarta la presencia de regresiones espurias, además las estimaciones parecen ser bastante robustas a las diferentes especificaciones.

De las cuatro funciones de producción que se presentan en el cuadro 12 se optó por tomar la especificación logarítmica de la población total, porque con ella los efectos del clima parecen ser menores y por tanto es probable que sea esta especificación la que tenga el menor sesgo, pues como se comentó previamente, la función de producción tiende a sobrestimar los efectos negativos del clima sobre la producción. A partir de los coeficientes estimados de esta función de producción se hicieron ejercicios de sensibilidad con variaciones en la temperatura y la precipitación manteniendo los demás términos constantes con los valores de 2006.

CUADRO 12
GUATEMALA: ESTIMACIÓN PARA LOS RENDIMIENTOS POR HECTÁREA DEL MAÍZ

	PEA rural		Población total	
	Lineal	Logarítmico	Lineal	Logarítmico
Variables				
Precipitación promedio anual	0,0121 (0,73)	0,0130 (0,84)	0,0088 (0,64)	0,0099 (0,76)
Precipitación promedio anual	0,0000 (0,82)	0,0000 (0,9)	-00002 (0,71)	-00002 (0,76)
Temperatura promedio anual	18 9095 (2,45) **	14 9882 (2,08) **	19 781 (3,07) ***	12 164 (2,01) **
Temperatura promedio anual ²	-0,3984 (2,44) **	-0,3154 (2,07) **	-0,419 (3,07) ***	-0,257 (2,01) **
R2	0,8311	0,8525	0,8824	0,8958
Pruebas de significancia conjunta de variables				
Prueba de significancia conjunta de variables de precipitación	0,98	0,66	0,5692	0,7464
Prueba de significancia conjunta de variables de temperatura	3,38 **	2,51 *	4,71 **	2,3 *
Prueba de significancia conjunta de variables de precipitación y temperatura	2,3 *	1,41	2,51 *	1,06
Prueba de significancia conjunta de todo el modelo	19,68 ***	23,12 ***	30,02 ***	34,4 ***
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	0 **	0 **	1 ***	1 **

Fuente: Elaboración propia.

Notas: Valores absolutos del t-estadístico entre paréntesis.

* Significativo al 10%.

** Significativo al 5%.

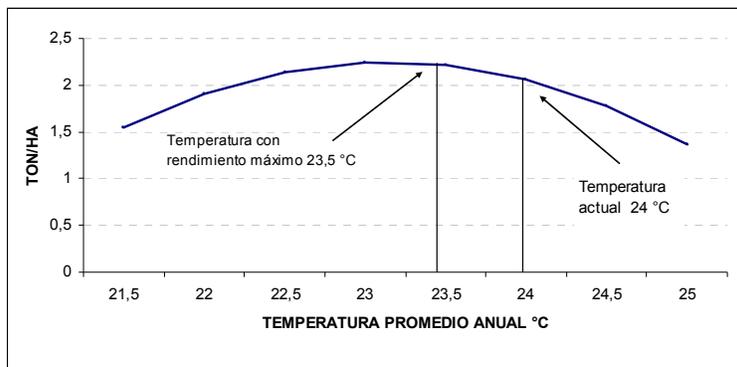
*** Significativo al 1%.

Todos los modelos se estimaron con constante y con variables *dummy* que capturan efectos de desastres naturales en los siguientes años: 1976, 1998, 2001 y 2005.

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

En el gráfico 7 se presentan estos resultados, como se puede apreciar en él es probable que ya se haya rebasado o se esté muy cerca de sobrepasar la temperatura que permite alcanzar los mayores rendimientos.

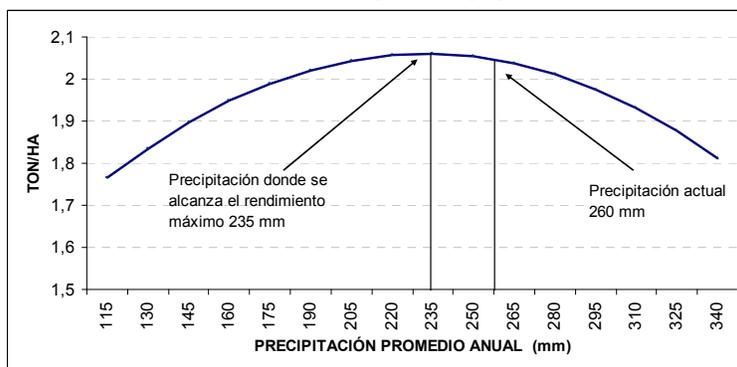
GRÁFICO 7
GUATEMALA: RENDIMIENTOS DEL MAÍZ ANTE VARIACIONES EN LA TEMPERATURA



Fuente: Elaboración propia.

Por su parte, los ejercicios con la precipitación, mostrados en el gráfico 8, sugieren que la producción de maíz alcanza su rendimiento máximo en niveles de precipitación inferiores al actual, y que cuando se rebasa el nivel actual la producción tiende a decrecer.

GRÁFICO 8
GUATEMALA: RENDIMIENTOS DEL MAÍZ ANTE VARIACIONES EN LA PRECIPITACIÓN



Fuente: Elaboración propia.

b) El caso del frijol

Las estimaciones para las diferentes funciones de producción de los rendimientos del frijol incluyeron como variables climáticas a la precipitación promedio anual en época de lluvia y a la temperatura promedio anual. Todas ellas se presentan en el cuadro 13. Como ahí se muestra, la precipitación es estadísticamente significativa en todos los casos. La temperatura lo es en algunos casos de forma conjunta con la precipitación, por lo que ambas variables se podrían considerar que tienen

efectos sobre los rendimientos del frijol. Las dos variables parecen tener un comportamiento cuadrático. Es decir, a bajos niveles tienden a estimular la producción hasta cierto punto, a partir del cual la desincentivan. Se descarta la presencia de regresiones espurias, tal como lo muestran las pruebas de cointegración.

La especificación que se empleó para obtener estimaciones de los efectos del clima es la que emplea a la PEA rural de forma lineal, debido a que es una de las más robustas metodológicamente y por ser la que probablemente presenta los menores sesgos en el largo plazo.

Los análisis de sensibilidad realizados a partir de los coeficientes estimados y que se presentan en el gráfico 9 indican que para el 2006 es probable que ya se haya rebasado la temperatura que permite alcanzar los mayores rendimientos en la producción de frijol o que esté por presentarse esa situación, y que por tanto el cambio climático ya estaría generando pérdidas sobre este cultivo.

Con respecto a la precipitación, el análisis de sensibilidad indica que el nivel de rendimiento máximo se alcanza con niveles de precipitación inferiores a los actuales. Es decir, los niveles de precipitación actuales podrían estar provocando pérdidas en la productividad del frijol (véase el gráfico 10).

CUADRO 13
GUATEMALA: ESTIMACIÓN PARA LOS RENDIMIENTOS POR
HECTÁREA DEL FRIJOL

Variables	PEA rural		Población total	
	Lineal	Logarítmico	Lineal	Logarítmico
Precipitación promedio en época de lluvia	0,016 (2,62) **	0,0159 (2,61) **	0,016 (2,57) **	0,0159 (2,55) **
Precipitación promedio en época de lluvia ²	-0,00002 (2,56) **	-0,00002 (2,55) **	-0,00002 (2,54) **	-0,00002 (2,53) **
Temperatura promedio anual	3,3537 (0,47)	3,8684 (0,55)	5,7926 (0,76)	6,2483 (0,83)
Temperatura promedio anual ²	-0,069 (0,46)	-0,081 (0,55)	-0,122 (0,75)	-0,132 (0,82)
R2	0,5046	0,5024	0,4902	0,4898
Pruebas de significancia conjunta de variables				
Prueba de significancia conjunta de variables de precipitación	3,57 **	3,51 **	3,32 **	3,27 **
Prueba de significancia conjunta de variables De temperatura	0,4	0,38	0,41	0,44
Prueba de significancia conjunta de variables de precipitación y temperatura	2,15 *	1,81	1,89	1,79
Prueba de significancia conjunta de todo el modelo	3,57 **	3,53 **	3,37 **	3,36 **
Prueba de cointegración de Johansen				
Número de vectores de cointegración por el estadístico de la traza	5 ***	5 ***	5 ***	5 ***
Número de vectores de cointegración por el eigenvalor máximo	2 **	2 **	1 **	1 **

Fuente: Elaboración propia.

Notas: Valores absolutos del t-estadístico entre paréntesis.

* Significativo al 10%.

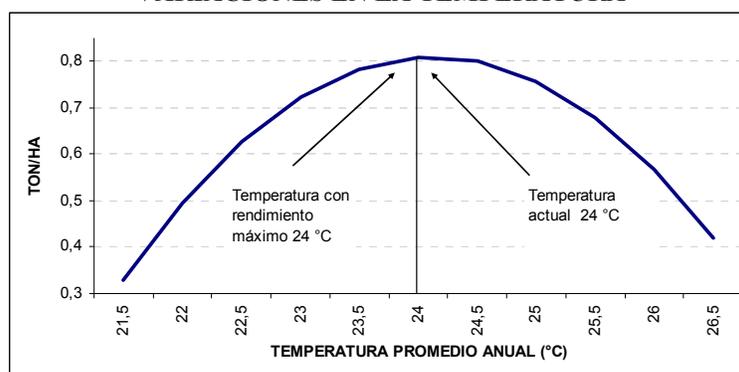
** Significativo al 5%.

*** Significativo al 1%.

Todos los modelos se estimaron con constante y con variables *dummy* que capturan efectos de desastres naturales en los siguientes años: 1976, 1998, 2001 y 2005. Se incluyó también el logaritmo de la superficie provista para riego por ser relevante en la prueba de variables omitidas.

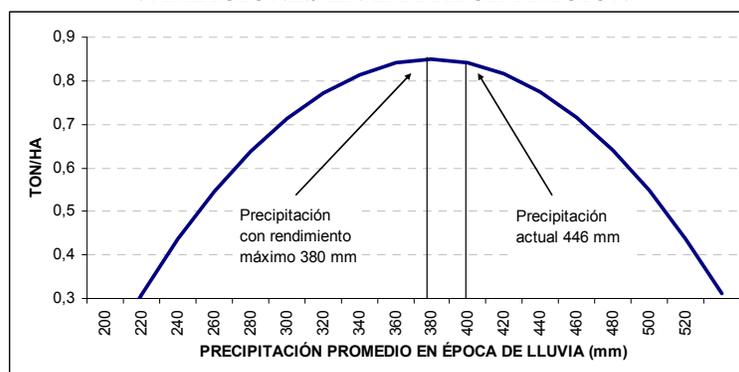
La prueba de cointegración se realizó con término constante en la ecuación de cointegración y en el modelo dinámico.

GRÁFICO 9
GUATEMALA: RENDIMIENTOS DEL FRIJOL ANTE VARIACIONES EN LA TEMPERATURA



Fuente: Elaboración propia.

GRÁFICO 10
GUATEMALA: RENDIMIENTOS DEL FRIJOL ANTE VARIACIONES EN LA PRECIPITACIÓN



Fuente: Elaboración propia.

c) El caso del café

Para la estimación de la función de producción del café se emplearon como variables climáticas a la precipitación promedio anual y a la temperatura promedio en época seca, así como sus respectivos cuadrados. Al igual que en los productos anteriores se presentan las cuatro estimaciones que se están considerando en esta sección; en este caso en el cuadro 14. Las estimaciones son robustas en el sentido de que los signos se mantienen en todos los casos y que ninguna es espuria; no obstante, si se incluye la prueba conjunta de la precipitación, ésta no aparece como estadísticamente significativa. Si bien los términos lineal y cuadrático de la temperatura no aparecen como estadísticamente significativos de forma

individual, de forma conjunta sí lo son; por ello se puede deducir que esta variable es relevante dentro de la estimación.

En el gráfico 11 se presenta el ejercicio de sensibilidad sobre cómo se comportarían los rendimientos del café ante diferentes variaciones en la temperatura. Como se observa, es probable que el cambio climático conlleve efectos positivos en el corto plazo en este producto, puesto que aún no se alcanza la temperatura que permite los mayores rendimientos para este cultivo.

También se hizo un ejercicio similar al anterior, pero ahora tomando en cuenta a la precipitación, la cual debe tomarse sólo como ilustrativa, ya que en los modelos empleados no resultó estadísticamente significativa, tanto de manera individual como conjunta. En el gráfico 12 se puede observar que el rendimiento máximo de café es posible que se alcance en niveles de precipitación inferiores a los actuales y, que por tanto, la precipitación actual esté generando pérdidas para este cultivo, las cuales quizá se están compensando con los niveles de temperatura.

CUADRO 14
GUATEMALA: ESTIMACIÓN PARA LOS RENDIMIENTOS DEL CAFÉ
POR HECTÁREA

Variables	PEA rural		Población total			
	Lineal	Logarítmico	Lineal	Logarítmico		
Precipitación promedio anual	0,0100 (0,61)	0,0082 (0,51)	0,0088 (0,45)	0,009 (0,46)		
Precipitación promedio anual ²	0,0000 (0,74)	0,0000 (0,66)	-0,0003 (0,61)	-0,0003 (0,63)		
Temperatura promedio en época seca	2,8903 (0,43)	3,8004 (0,58)	9,0047 (1,14)	9,4995 (1,21)		
Temperatura promedio en época seca ²	-0,0589 (0,4)	-0,0789 (0,55)	-0,196 (1,12)	-0,207 (1,2)		
R2	0,803	0,8051	0,7187	0,7179		
Pruebas de significancia conjunta de variables						
Prueba de significancia conjunta de variables de precipitación	1,07	0,49	1,58	1,72		*
Prueba de significancia conjunta de variables de temperatura	2,68	*	2,88	*	2,33	*
Prueba de significancia conjunta de variables de precipitación y temperatura	1,73		1,96		1,18	
Prueba de significancia conjunta de todo el modelo	10,04	***	10,17	***	6,29	***
Prueba de cointegración de Johansen						
Número de vectores de cointegración por el estadístico de la traza	5	***	5	***	3	***
Número de vectores de cointegración por el eigenvalor máximo	2	***	2	***	1	***

Fuente: Elaboración propia.

Notas:

* Significativo al 10%.

** Significativo al 5%.

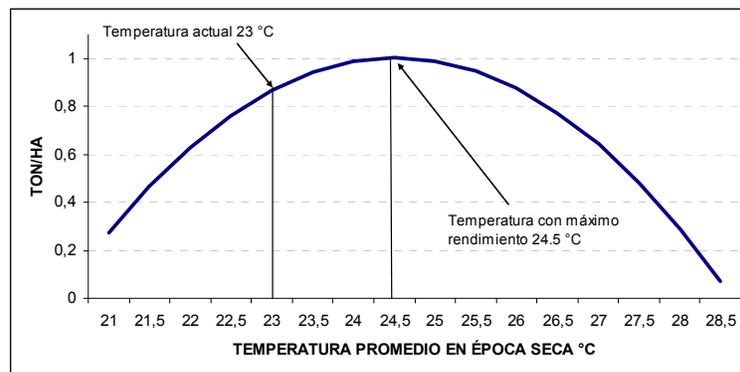
*** Significativo al 1%.

Valores absolutos del t-estadístico entre paréntesis.

Todos los modelos se estimaron con constante y con variables *dummy* que capturan efectos de desastres naturales en los siguientes años: 1976, 1998, 2001 y 2005. Se incluyó también el logaritmo de la superficie provista para riego por ser relevante en la prueba de variables omitidas.

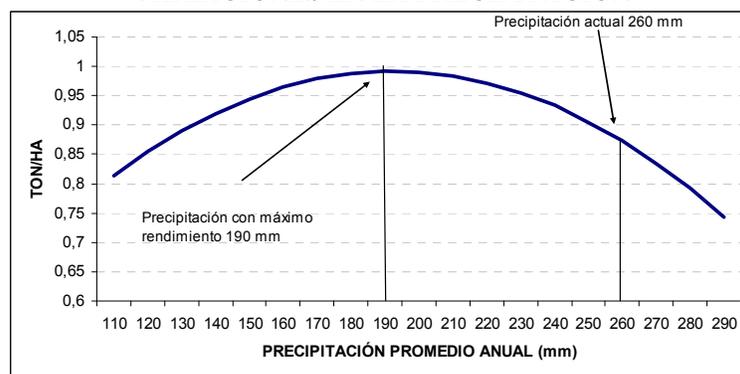
La prueba de cointegración se realizó con término constante en la ecuación de cointegración y en el modelo dinámico.

GRÁFICO 11
GUATEMALA: RENDIMIENTOS DEL CAFÉ ANTE VARIACIONES EN LA TEMPERATURA



Fuente: Elaboración propia.

GRÁFICO 12
GUATEMALA: 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 Nacional de Condiciones de Vida de 2006 (ENCOVI 2006) llevada a cabo por el Instituto Nacional de Estadística (INE) de Guatemala. El marco muestral de la encuesta fue elaborado con base a los datos del XI Censo Nacional de Población y VI de Vivienda de 2002. La desagregación de resultados conforme al diseño, es válida y sí garantiza los estimadores en su proceso de inferencia al nivel empleado en este estudio, que es

para todo el sector rural de Guatemala. Por su parte, 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) e incluyen información de temperatura y precipitación a nivel municipal. Por último, los valores de las características de suelos fueron obtenidos a partir de información de la FAO (2003).

b) Resultados

En el cuadro 15 se muestran las estadísticas descriptivas empleadas en el modelo Ricardiano. El conjunto de variables se presentan 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 cuyo tamaño de parcela es menor o igual a una hectárea y los que tienen un tamaño de parcela mayor a una hectárea.

Las variables climáticas sólo aparecen para el total de la muestra empleada, mientras que las sociodemográficas se presentan para la muestra completa y para los dos grupos de hogares señalados anteriormente. El tamaño promedio de los hogares en el total de la muestra es de seis miembros, siendo mayor para los hogares cuyo tamaño de parcela es mayor a una hectárea, con 6,1 miembros. La escolaridad promedio del jefe del hogar es de 1,8 años, y la escolaridad media del hogar sin incluir al jefe es de 2,5 años, la segunda variable es superior para los hogares cuyo tamaño de parcela es mayor a una hectárea, con 2,6 años de instrucción.

La edad promedio de los jefes de hogar es 45,1 años para la muestra total, siendo 44,8 años para los hogares cuyo tamaño de parcela es menor o igual a una hectárea y 45,8 años para los hogares cuya tamaño de parcela es mayor a una hectárea. Con respecto al número de jefes del hogar que saben leer y escribir, no se observan diferencias entre los dos grupos determinados por el tamaño de parcela. El número promedio de cuartos en el hogar registrado en la muestra es de 1,8, siendo mayor para los hogares cuya superficie de parcela es superior a una hectárea con 1,9, lo que representa 9% más cuartos para esas familias con relación a los primeros hogares, cuyo tamaño de parcela es menor o igual a una hectárea, y que tienen una media de 1,8 cuartos.

Observemos que la renta de la tierra por hectárea es superior para los hogares cuya superficie es menor o igual a una hectárea; específicamente, se tiene una diferencia de prácticamente tres veces con respecto a los hogares que tienen un tamaño de parcela mayor a una hectárea.

Asimismo, el cuadro 15 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.

El cuadro 16 muestra los resultados de tres estimaciones realizadas utilizando la muestra completa de los hogares que reportaron actividad agrícola y tomando como variable dependiente la renta de la tierra por hectárea. Además de las variables sociodemográficas, en la primera columna, el modelo I incluye 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 en el modelo III se incorporan términos cuadráticos para la temperatura anual y la precipitación acumulada, así como un variable de interacción entre la precipitación y la temperatura.

CUADRO 15
GUATEMALA: ESTADÍSTICAS DESCRIPTIVAS

	Total de hogares en la Muestra		Hogares cuya superficie de parcela es menor o igual a una hectárea		Hogares cuya superficie de parcela es mayor a una hectárea	
	Media	Desviación estándar	Media	Desviación estándar	Media	Desviación estándar
Sociodemográficas						
Tamaño del hogar	6,0	2,7	5,9	2,7	6,1	2,5
Educación promedio del hogar sin jefe (años)	2,5	2,3	2,5	2,3	2,6	2,3
Educación del jefe del hogar (años)	1,8	2,3	1,8	2,3	1,8	2,3
Número de cuartos	1,8	1,0	1,8	1,0	1,9	1,0
Edad del jefe del hogar	45,1	14,6	44,8	15,0	45,8	13,0
Sabe leer y escribir el jefe de hogar	0,6	0,5	0,6	0,5	0,6	0,5
Número de personas mayores de 15 años en el hogar	3,2	1,5	3,2	1,4	3,2	1,4
Género del jefe del hogar (<i>Dummy</i> : 1 = masculino)	0,92	0,28	0,90	0,29	0,94	0,23
Variables agrícolas						
Tamaño de las parcelas por hectárea	0,69	0,80	0,39	0,25	1,8	1,1
Renta de la tierra por hectárea en dólares	104,3	294,2	120,9	327,6	40,9	48,5
Variables climáticas						
Temperatura mínima promedio anual (Celsius)	17,2	4,2	-	-	-	-
Temperatura máxima promedio anual (Celsius)	27,9	3,9	-	-	-	-
Temperatura promedio anual (Celsius)	22,5	4,0	-	-	-	-
Temperatura promedio en estación lluviosa (Celsius)	23,1	3,9	-	-	-	-
Temperatura promedio en estación seca (Celsius)	21,9	4,1	-	-	-	-
Temperatura máxima promedio en Estación lluviosa (Celsius)	27,8	3,9	-	-	-	-
Temperatura máxima promedio en Estación seca (Celsius)	28,1	3,9	-	-	-	-
Temperatura mínima promedio en Estación lluviosa (Celsius)	18,0	3,9	-	-	-	-
Temperatura mínima promedio en Estación seca (Celsius)	16,1	4,5	-	-	-	-
Precipitación promedio anual (mm/mo)	144,2	79,2	-	-	-	-
Precipitación acumulada anual (mm/mo)	1 730,2	950,5	-	-	-	-
Precipitación promedio en estación Lluviosa (mm/mo)	1 523,4	803,1	-	-	-	-
Precipitación promedio en estación seca (mm/mo)	206,8	202,6	-	-	-	-
Tamaño de la muestra	1 482		1 174		308	

Fuente: Elaboración propia con base en Encuesta Nacional de Condiciones de Vida de 2006 (ENCOVI 2006).

CUADRO 16
GUATEMALA: ESPECIFICACIONES LINEALES DEL MODELO RICARDIANO

Variables	Modelo I	Modelo II	Modelo III
Temperatura media anual	-4,20 (1,90) *	-5,79 (2,23) **	-29,19 (1,34)
Temperatura media anual al cuadrado			0,21 (0,41)
Precipitación acumulada anual	0,04 (5,08) ***	0,042 (3,82) ***	-0,29 (2,46) **
Precipitación acumulada anual al cuadrado			0,00003 (2,86) **
Temperatura media anual*precipitación media anual			0,0072 (1,53)
Miembros mayores de 15 años en el hogar	2,01 (0,37)	3,40 (0,62)	3,31 (0,61)
Género del jefe de hogar	4,37 (0,16)	3,31 (0,12)	10,39 (0,38)
Edad del jefe de hogar	-0,57 (0,97)	-0,65 (1,10)	-0,82 (1,40)
Escolaridad del jefe de hogar en años	4,78 (1,38)	4,64 (1,34)	3,65 (1,05)
Techo de loza (<i>dummy</i>)	115,1 (1,96) **	116,0 (1,98) **	97,36 (1,66)
Grupo indígena (<i>dummy</i>)	7,72 (0,41)	9,07 (0,46)	-6,63 (0,33)
Acrisols		65,43 (1,07)	43,89 (0,70)
Cambisols		48,49 (0,99)	-2,43 (0,05)
Nitosols		50,40 (1,01)	29,58 (0,59)
Andosols		48,38 (0,96)	-8,24 (0,16)
Vertisols		107,18 (1,87) *	96,7 (1,67) *
Luvisols		24,87 (0,46)	5,63 (0,10)
Gleysols		157,52 (1,39)	128,50 (1,12)
Regosols		204,09 (3,23) ***	194,19 (3,01) ***
Constante	123,87 (2,04) **	108,04 (2,33) **	721,18 (2,78) **
Estadístico F	5,05	3,70	3,94

Fuente: Elaboración propia.

El número de la muestra es de 1482 hogares.

Nota: Valores absolutos del t-estadístico entre paréntesis.

* Significativo al 10%.

** Significativo al 5%.

*** Significativo al 1%.

Los efectos de la temperatura media y la precipitación acumulada anuales son significativos, y la especificación global en cada uno de los tres casos es estadísticamente elocuente. En el modelo II, la renta de la tierra por hectárea disminuye en 5,8 dólares ante un incremento de un grado Celsius en la temperatura media anual. Dicho efecto representa poco más del 5% de la renta promedio de la tierra de los hogares rurales guatemaltecos. Aunque es importante distinguir entre los diferentes hogares rurales, por ejemplo, si se contemplan a los hogares que están en pobreza extrema, entonces el efecto marginal es mayor al 8%, mientras que para los hogares clasificados como no pobres, el efecto sólo es del 4%.

Las variables que distinguen a los diferentes tipos de suelo: cambisols, luvisols, nitosols, andosols, acrisols, vertisols y rendzinas, no presentan evidencia estadística robusta para afirmar un impacto diferenciado en la renta de la tierra, solamente el tipo de suelo regosols —cuyas características son de buena adaptabilidad para actividades agrícolas principalmente en zonas frías y secas— presenta un impacto positivo y significativo sobre la renta de la tierra. Este resultado puede explicarse si consideramos que la renta promedio por hectárea de Guatemala podría no ser afectada en buena medida por el tipo de suelo, es decir, con la evidencia encontrada en este estudio no es posible determinar que existan rentas diferenciales por la calidad y tipo de los suelos.

A pesar de que los coeficientes estimados para las distintas variables sociodemográficas, en general, no son significativos, el modelo empleado en su conjunto sí lo es a través de las tres especificaciones empleadas. No obstante, nuestras estimaciones podrían no reflejar la significancia estadística esperada debido al número de observaciones en la muestra o a la posible heterogeneidad de los datos empleados. Sin embargo, la consistencia de los signos a lo largo de las tres especificaciones y la significancia global de cada modelo nos permiten afirmar una robustez cualitativa suficiente con el modelo empleado.

En el cuadro 17 se presentan los efectos marginales de las variables climáticas sobre la renta de la tierra por hectárea de los hogares guatemaltecos. Los efectos anuales de la precipitación acumulada y la temperatura media se calcularon para la muestra total, empleando un nivel de confianza del 95%. El incremento en un grado Celsius de la temperatura media implica una disminución de 4, 6 y 7 dólares bajo el modelo I, II y III, respectivamente.

En otras palabras, existe evidencia para afirmar que hay un impacto negativo de entre 4 y 7 dólares en la renta de la tierra por hectárea ante el incremento de un grado Celsius en la temperatura media anual. Si incluimos el promedio de los efectos marginales, 5,75 dólares. Entonces la caída de la renta de la tierra con respecto a su valor medio observado, es de aproximadamente 5%, y este decremento se agudiza si consideramos a los hogares rurales según su nivel de pobreza. En particular, para los hogares rurales cuya situación es de pobreza extrema se estima una caída de poco más del 8%.

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 un aumento aproximado de 20 centavos de dólar. Es decir, existe un impacto positivo relativamente pequeño en la renta de la tierra por el incremento en la actividad pluvial, pero que no compensa el impacto originado por el incremento en la temperatura promedio.

CUADRO 17
GUATEMALA: EFECTOS MARGINALES DE LAS VARIABLES CLIMÁTICAS SOBRE LA
RENTA DE LA TIERRA POR HECTÁREA

Variables	Modelo I		Modelo II		Modelo III	
Temperatura promedio anual	-4,20		-5,79		-6,98	
	(1,90)	*	(2,23)	**	(1,80)	*
Precipitación acumulada anual	0,04		0,04		-0,01	
	(5,08)	***	(3,82)	***	(0,38)	

Fuente: Elaboración propia.

Nota 1: Valores absolutos del t-estadístico entre paréntesis.

* Significativo al 10%.

** Significativo al 5%.

*** Significativo al 1%.

Nota 2: 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 16.

Los impactos marginales promedio atribuibles a los incrementos en la temperatura media anual y precipitación acumulada son negativos y positivos, respectivamente. Observamos que el aumento de un grado Celsius disminuye, en promedio, la renta de la tierra por hectárea en 5,6 dólares, en tanto que una unidad adicional de precipitación acumulada anual contribuye marginalmente, y en promedio, en 20 centavos. Estos resultados sugieren que, bajo los modelos empleados, el efecto de la temperatura domina sustancialmente al impacto observado sobre la renta de la tierra.

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

1. Impactos sobre la producción agropecuaria

Para poder estimar los costos futuros en el sector agropecuario ocasionados por las variaciones en la precipitación y la temperatura, como consecuencia del cambio climático, se requirieron de los escenarios climáticos proporcionados por el Grupo de Cambio Climático y Radiación Solar del Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM. Con el propósito de calcular dichos costos, 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 de adaptación ante los efectos del cambio climático por parte de los agricultores.

A partir de los coeficientes de las especificaciones (1), (1') y (1'') de las funciones de producción agropecuaria, agrícola y pecuaria, presentados en los cuadros 8, 9 y 10, respectivamente, se cuantifican los impactos futuros en el sector agropecuario ocasionados por las variaciones en la precipitación y la temperatura, como consecuencia del cambio climático. Para realizar estas estimaciones se consideraron diferentes tasas de descuento (0,5%, 2%, 4% y 8%), distintos horizontes temporales y los escenarios A2 y B2.

La derivación de los modelos de funciones de producción exhibe las pérdidas económicas ocasionadas por el cambio climático. El cuadro 18 presenta las estimaciones de los impactos económicos. Se contabilizaron los costos de la producción agropecuaria hasta el 2100 con relación al PIB de 2007. Para el escenario A2 representan el 4,71% del PIB y 0,45% para el escenario B2 (suponiendo una tasa de descuento de 4%).

Los gráficos 13 a 18 muestran la evolución de la producción agropecuaria, agrícola y pecuaria a partir de los escenarios A2 y B2. Ambos escenarios sugieren pérdidas económicas importantes en la producción agropecuaria. En los gráficos se observa que en el corto plazo la producción se mantendrá alrededor de sus niveles actuales, sin embargo, a largo plazo la producción disminuirá. La caída más abrupta se observa en el escenario A2.

En el cuadro 19 se observa que las pérdidas económicas mayores se presentan debido a cambios en la temperatura. Para el escenario A2 incrementos en la temperatura representan el 15,3% del PIB de 2007 y 3% para el escenario B2 (considerando una tasa de descuento de 2%). En el caso de la precipitación las pérdidas representan 3,5% en el escenario A2 y 0,9 % en el escenario B2, estimando la tasa de descuento de 2%.

Estos escenarios dan un panorama general del comportamiento de la producción agropecuaria ante cambios en precipitación y temperatura, pero hay que contemplar que las estimaciones aquí presentadas no incluyen ninguna adaptación ni cambios externos, como uso de nuevas tecnologías. A pesar de ello, el ejercicio realizado nos indica cuál será la situación del sector si no se hace algo para contrarrestar los efectos adversos del cambio climático.

CUADRO 18
GUATEMALA: IMPACTOS ECONÓMICOS DE CAMBIOS EN PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURA,
2020-2100

(En porcentajes del PIB de 2007)

Año	Escenario A2				Año	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
Producción agropecuaria									
2020	-0,01	0,01	0,03	0,07	2020	-0,49	-0,45	-0,40	-0,32
2030	-0,13	-0,07	-0,02	0,05	2030	-0,93	-0,78	-0,62	-0,43
2050	2,32	1,30	0,63	0,20	2050	-1,30	-1,01	-0,76	-0,47
2070	10,48	4,83	1,82	0,35	2070	1,35	0,13	-0,37	-0,43
2100	57,51	18,77	4,71	0,50	2100	13,85	3,93	0,45	-0,38
Producción de cultivos									
2020	-0,47	-0,39	-0,31	-0,19	2020	-0,77	-0,45	-0,40	-0,51
2030	-0,93	-0,73	-0,53	-0,29	2030	-1,44	-0,78	-0,62	-0,67
2050	-0,15	-0,34	-0,38	-0,27	2050	-2,74	-1,01	-0,76	-0,80
2070	5,09	1,90	0,36	-0,18	2070	-1,79	0,13	-0,37	-0,79
2100	43,92	13,36	2,73	-0,06	2100	6,58	3,93	0,45	-0,76
Producción pecuaria ^a									
2020	-0,09	-0,08	-0,07	-0,05	2020	-0,10	-0,09	-0,08	-0,07
2030	-0,17	-0,14	-0,11	-0,07	2030	-0,19	-0,16	-0,13	-0,09
2050	0,01	-0,05	-0,07	-0,07	2050	-0,25	-0,20	-0,15	-0,10
2070	1,24	0,49	0,11	-0,04	2070	0,17	-0,02	-0,09	-0,09
2100	8,46	2,62	0,55	-0,02	2100	2,13	0,58	0,04	-0,08

Fuente: Elaboración propia.

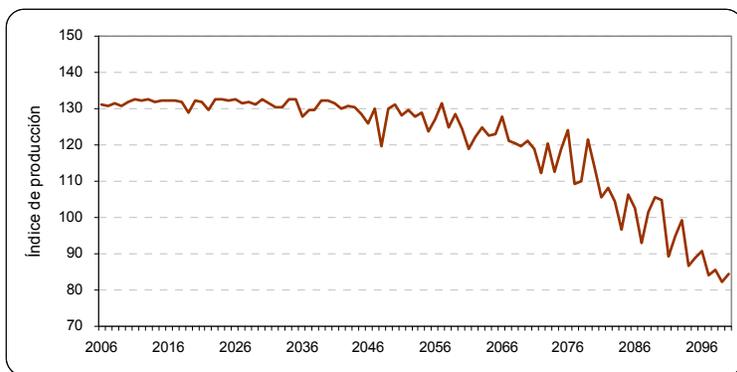
^a Sólo se consideraron cambios en temperatura.

CUADRO 19
GUATEMALA: IMPACTOS ECONÓMICOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO: 2020, 2030, 2050, 2070 Y 2100
(En porcentajes del PIB de 2007)

Año	Escenario A2				Año	Escenario B2			
	(ECHAM, GFDL, HADGEM)					(ECHAM, GFDL, HADGEM)			
	Tasa de descuento (r)					Tasa de descuento (r)			
	Sector		Sector			Sector		Sector	
0,02	0,04	0,02	0,04	0,02	0,04	0,02	0,04		
Cambios en temperatura y precipitación									
2020	0,01	0,03	-0,39	-0,31	2020	-0,45	-0,40	-0,45	-0,40
2030	-0,07	-0,02	-0,73	-0,53	2030	-0,78	-0,62	-0,78	-0,62
2050	1,30	0,63	-0,34	-0,38	2050	-1,01	-0,76	-1,01	-0,76
2070	4,83	1,82	1,90	0,36	2070	0,13	-0,37	0,13	-0,37
2100	18,77	4,71	13,36	2,73	2100	3,93	0,45	3,93	0,45
Cambios en temperatura									
2020	-0,57	-0,49	-0,95	-0,81	2020	-0,62	-0,55	-0,88	-0,79
2030	-0,98	-0,77	-1,66	-1,30	2030	-1,05	-0,85	-1,57	-1,26
2050	-0,55	-0,60	-2,12	-1,57	2050	-1,43	-1,05	-2,60	-1,80
2070	2,52	0,43	-0,24	-0,96	2070	-0,44	-0,72	-2,43	-1,75
2100	15,29	3,08	10,14	1,18	2100	3,03	0,02	-0,18	-1,27
Cambios en precipitación									
2020	0,58	0,52	0,56	0,50	2020	0,17	0,16	0,18	0,16
2030	0,91	0,75	0,93	0,77	2030	0,28	0,23	0,38	0,30
2050	1,85	1,23	1,78	1,19	2050	0,42	0,30	0,60	0,41
2070	2,30	1,39	2,15	1,32	2070	0,57	0,35	0,82	0,49
2100	3,47	1,64	3,22	1,55	2100	0,91	0,42	1,10	0,55

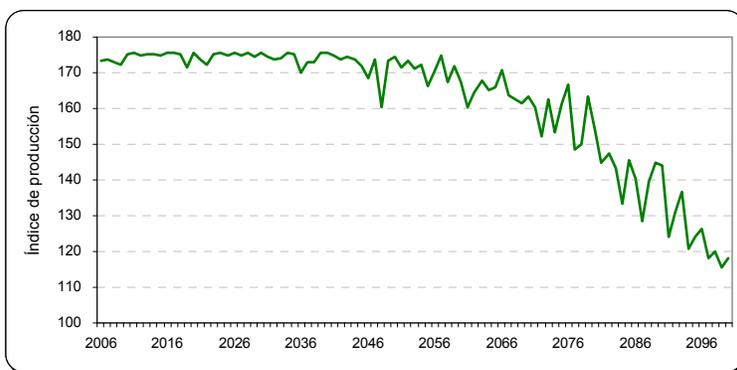
Fuente: Elaboración propia.

GRÁFICO 13
GUATEMALA: PROYECCIONES DEL ÍNDICE DE PRODUCCIÓN AGROPECUARIA
A PARTIR DEL ESCENARIO A2



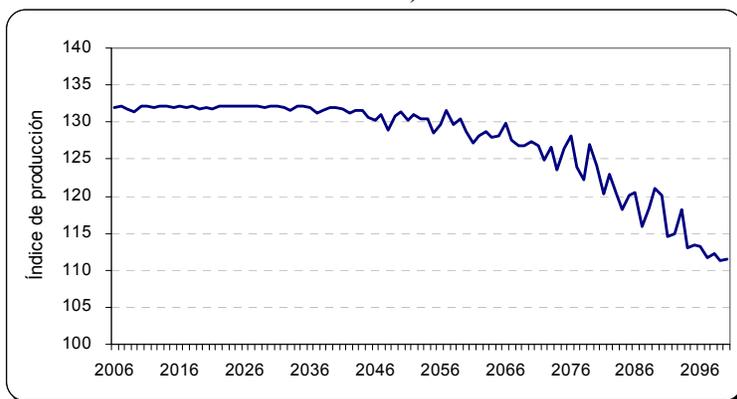
Fuente: Elaboración propia.

GRÁFICO 14
GUATEMALA: PROYECCIONES DEL ÍNDICE DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA
A PARTIR DEL ESCENARIO A2



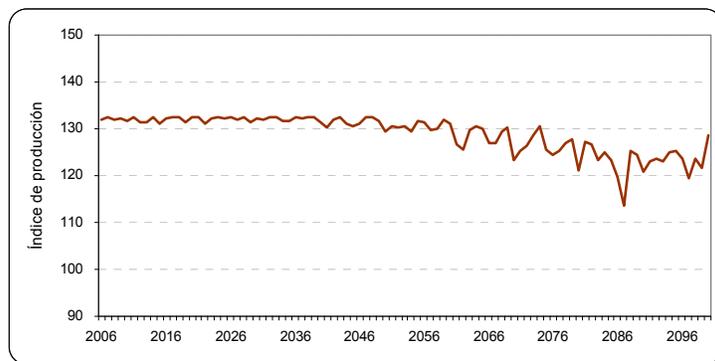
Fuente: Elaboración propia.

GRÁFICO 15
GUATEMALA: PROYECCIONES DEL ÍNDICE DE PRODUCCIÓN PECUARIA
(SÓLO CAMBIOS EN TEMPERATURA) A PARTIR DEL ESCENARIO A2



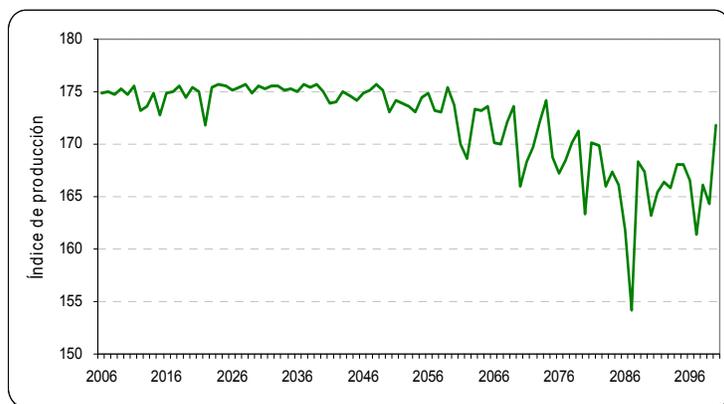
Fuente: Elaboración propia.

GRÁFICO 16
GUATEMALA: PROYECCIONES DEL ÍNDICE PRODUCCIÓN AGROPECUARIA
A PARTIR DEL ESCENARIO B2



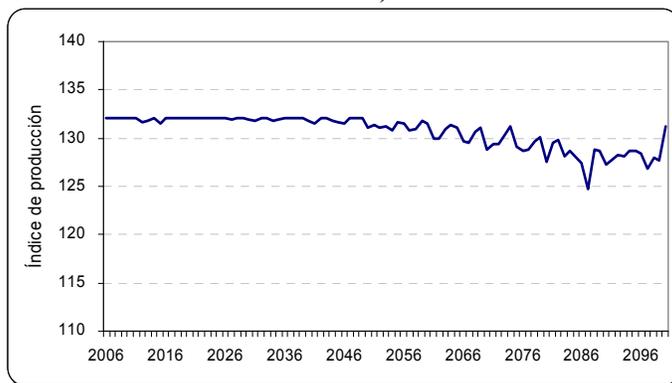
Fuente: Elaboración propia.

GRÁFICO 17
GUATEMALA: PROYECCIONES DEL ÍNDICE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA
A PARTIR DEL ESCENARIO B2



Fuente: Elaboración propia.

GRÁFICO 18
GUATEMALA: PROYECCIONES DEL ÍNDICE DE PRODUCCIÓN PECUARIA
(SÓLO CAMBIOS EN TEMPERATURA) A PARTIR DEL ESCENARIO B2



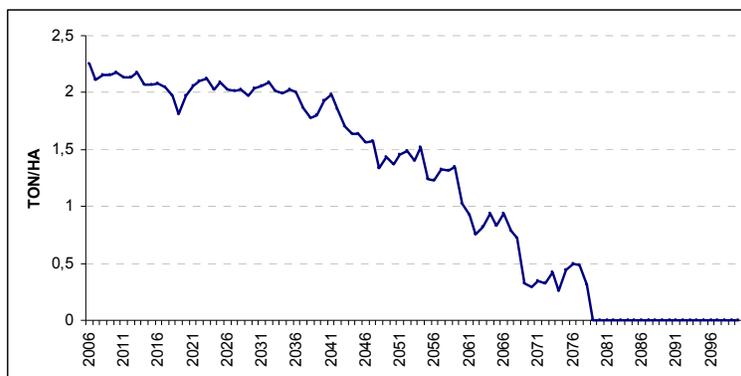
Fuente: Elaboración propia.

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

A partir de los resultados de los coeficientes estimados de las funciones de producción seleccionadas para los cultivos del maíz, frijol y café, se realizaron estimaciones de cómo podría evolucionar el rendimiento de los cultivos entre 2006 y 2100. Para ello, nuevamente se emplearon los escenarios de estimación del clima: A2 y B2.

Los gráficos 19 y 20 presentan los resultados de las estimaciones para los rendimientos de maíz a partir de los 2 escenarios climáticos mencionados. Las estimaciones muestran que a corto plazo la producción tendería a mantenerse en sus niveles actuales e incluso podría presentar incrementos, pero a largo plazo la producción tendería a caer de forma importante, con mayor intensidad en el escenario más adverso. Aquí es importante notar que bajo el escenario A2 el modelo predice que los rendimientos tenderían a ser prácticamente nulos. Este resultado podría explicarse a partir de que no se controla por la adaptabilidad que los agricultores pudieran implementar ante el cambio climático, lo anterior apunta a que es probable que los efectos estimados pudieran estar sobrestimados. No obstante, nos permiten conocer que a largo plazo la tendencia en la producción será a la baja.

GRÁFICO 19
GUATEMALA: PROYECCIONES DE LOS RENDIMIENTOS DEL MAÍZ
A PARTIR DEL ESCENARIO A2



Fuente: Elaboración propia.

GRÁFICO 20
GUATEMALA: PROYECCIONES DE LOS RENDIMIENTOS DEL
MAÍZ A PARTIR DEL ESCENARIO B2



Fuente: Elaboración propia.

Con base en las estimaciones previas se calcularon los posibles impactos económicos que conllevará el cambio climático sobre la producción del maíz. Para obtener los costos se compararon los niveles de producción que se obtendrían bajo los escenarios que indican los modelos A2 y B2 contra la situación actual; es decir, que el clima ya no presentará variaciones. Las proyecciones se realizan bajo diferentes tasas de descuento: 0,5%, 2%, 4% y 8%. En el cuadro 20 se presentan estos resultados; de acuerdo con ellos, los posibles beneficios que el cambio climático podría traer sobre la producción del maíz en el corto plazo, se revertirían a largo plazo, dando lugar a importantes pérdidas económicas, que podrían ser de alrededor de 16% del PIB en el escenario más adverso a una tasa de descuento de 0,5%.

CUADRO 20
GUATEMALA: IMPACTOS ECONÓMICOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA PRODUCCIÓN DEL MAÍZ

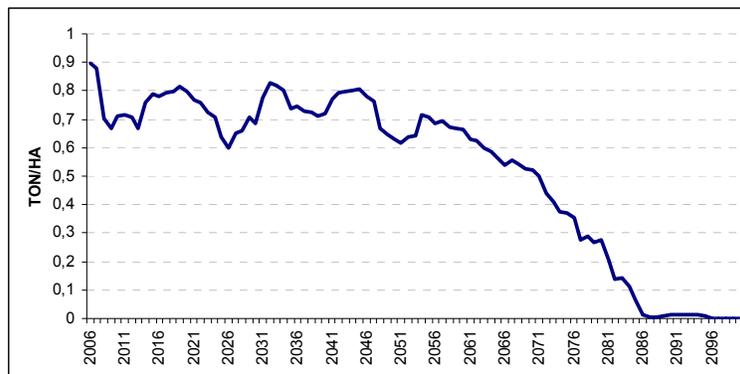
(En porcentajes del PIB de 2007)

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	-1,83	-1,68	-1,52	-1,26	-1,22	-1,12	-1,00	-0,83
2030	-2,82	-2,43	-2,04	-1,52	-1,30	-1,18	-1,04	-0,85
2050	-2,79	-2,49	-2,12	-1,57	-0,47	-0,69	-0,80	-0,78
2070	2,07	-0,39	-1,41	-1,48	3,50	1,05	-0,20	-0,70
2100	16,51	4,07	-0,43	-1,43	14,25	4,34	0,51	-0,66

Fuente: Elaboración propia.

Para calcular los impactos que podría generar el cambio climático sobre la producción de frijol, se procedió de forma similar que en el caso del maíz. Primero se estimaron los rendimientos en cada uno de los años del período 2006-2100. Los gráficos 21 y 22 muestran que la producción de frijol tendería a caer en los próximos años. A diferencia de lo sucedido con el maíz, para este producto no se proyectan algunas ganancias debidas al cambio climático puesto que la temperatura promedio que permite los mayores rendimientos ya se habría rebasado.

GRÁFICO 21
GUATEMALA: PROYECCIONES DE LOS RENDIMIENTOS DEL FRIJOL A PARTIR DEL ESCENARIO A2



Fuente: Elaboración propia.

GRÁFICO 22
GUATEMALA: PROYECCIONES DE LOS RENDIMIENTOS DEL FRIJOL
A PARTIR DEL ESCENARIO B2



Fuente: Elaboración propia.

Las estimaciones de los costos en que se incurriría, expresadas en términos del PIB de 2007 se muestran en el cuadro 21. De acuerdo con estos resultados las pérdidas ocasionadas por el cambio climático sobre la producción de este cultivo podrían situarse entre 5% y 8% del PIB considerando una tasa de descuento de 0,5%.

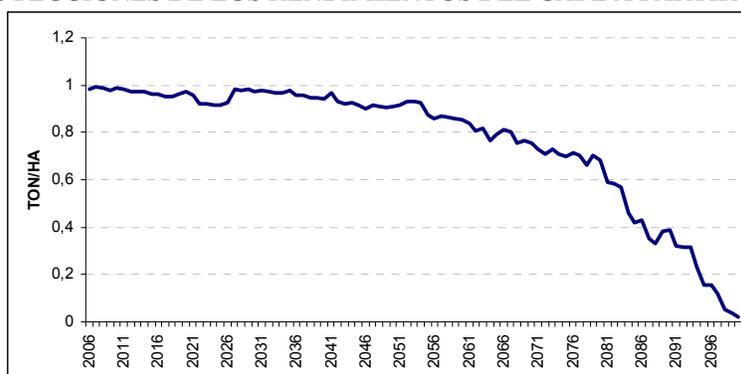
CUADRO 21
GUATEMALA: IMPACTOS ECONÓMICOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA PRODUCCIÓN
DEL FRIJOL, 2020-2100
(En porcentajes del PIB de 2007)

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	0,40	0,36	0,32	0,25	0,32	0,27	0,23	0,16
2030	0,90	0,73	0,57	0,37	0,84	0,67	0,50	0,30
2050	1,43	1,05	0,73	0,41	1,78	1,23	0,79	0,38
2070	2,66	1,59	0,91	0,44	3,13	1,82	0,99	0,40
2100	7,76	3,13	1,25	0,46	5,40	2,52	1,15	0,41

Fuente: Elaboración propia.

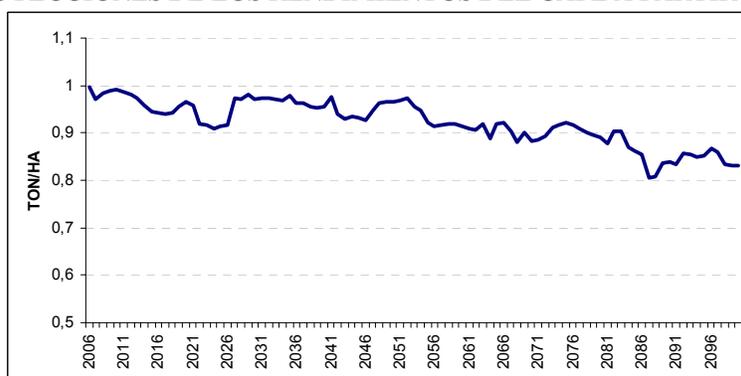
También se calcularon los posibles costos del cambio climático sobre la producción del café, para ello fue necesario proyectar la evolución de los rendimientos de este producto para el período 2006-2100, En los gráficos 23 y 24 se presentan los resultados con base en los escenarios A2 y B2, respectivamente, Como ahí se observa, es probable que la producción de este cultivo se mantenga relativamente estable en el corto plazo, con lo que el clima podría afectar positivamente ocasionando incluso ganancias para este producto; sin embargo, a largo plazo la producción tendería a caer de forma importante, con lo cual las posibles ganancias se podrían revertir, pudiendo llegar a ser cercanas al 9% del PIB de 2007 en el escenario climático más adverso; no obstante si el clima no se vuelve tan cálido como en el escenario B2 los efectos sobre este producto podrían ser prácticamente nulos en el largo plazo (véase el cuadro 22).

GRÁFICO 23
GUATEMALA: PROYECCIONES DE LOS RENDIMIENTOS DEL CAFÉ A PARTIR DEL ESCENARIO A2



Fuente: Elaboración propia.

GRÁFICO 24
GUATEMALA: PROYECCIONES DE LOS RENDIMIENTOS DEL CAFÉ A PARTIR DEL ESCENARIO B2



Fuente: Elaboración propia.

CUADRO 22
GUATEMALA: IMPACTOS ECONÓMICOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA PRODUCCIÓN DEL CAFÉ 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	-2,52	-2,29	-2,04	-1,66	-1,04	-0,97	-0,88	-0,74
2030	-3,67	-3,15	-2,62	-1,93	-1,28	-1,13	-0,99	-0,79
2050	-5,66	-4,38	-3,29	-2,14	-2,15	-1,67	-1,27	-0,88
2070	-4,74	-4,02	-3,19	-2,13	-1,92	-1,59	-1,26	-0,88
2100	9,46	0,14	-2,33	-2,09	0,12	-0,99	-1,13	-0,87

Fuente: Elaboración propia.

3. Impactos sobre la renta de la tierra bajo escenarios climáticos futuros

En esta sección se usan los resultados de las regresiones estimadas para los dos primeros modelos empleados en el enfoque Ricardiano, con ello buscamos explorar de qué manera los cambios futuros en el

clima pueden afectar la renta de la tierra por hectárea de los hogares rurales de Guatemala, Los resultados muestran que los valores de la renta de la tierra varían a lo largo de los distintos municipios guatemaltecos, Además, los efectos marginales estimados muestran que un pequeño cambio en la temperatura media anual perjudica a la producción agrícola de Guatemala.

Bajo 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 la renta de la tierra por hectárea mediante las variables temperatura y precipitación. En este punto se debe señalar que no se han tomado en cuenta los cambios probables en precios, población, inversión y tecnología.

Nuestra proyección incluye un escenario climático de precipitación acumulada y temperatura media anual para los municipios guatemaltecos. El modelo empleado para predecir las anomalías del clima en años futuros es el Miroc de alta resolución bajo el escenario A1B, se empleó este modelo por ser el que mejor se adapta a la necesidad de tener los datos a nivel municipal y por ende produce las anomalías más precisas a ese nivel de resolución. En particular, para evaluar el efecto futuro del clima sobre la renta de la tierra se han considerado como puntos de corte los años 2020, 2030, 2050, 2070 y 2095.

La temperatura promedio anual y la precipitación acumulada anual histórica que se estiman como base de referencia son 22,6 °C y 1738,7 mm, respectivamente. Aunque es importante señalar que la distribución de los cambios en temperatura y precipitación varían a los largo de los municipios de Guatemala.

En primer lugar, se empleó el modelo lineal en su forma más simple, aquél que no contempla las variables de tipo de suelo; el segundo modelo ya incorpora las características de suelos a nivel de municipio. Inicialmente, se calcula el valor esperado de la renta de la tierra por hectárea para cada hogar y posteriormente se estima el impacto total promedio para 2020, 2030, 2050, 2070 y 2095; tal como se indica en la ecuación 16 del apartado de metodologías empleadas en este estudio.

En el cuadro 23 se presenta el monto de la renta de la tierra estimada junto con la variación porcentual, con respecto al monto promedio actual; lo anterior para cada uno de los años de corte mencionados anteriormente. Más aún, se observa que prácticamente en todos los casos el efecto es negativo, previendo una disminución gradual en la renta esperada para los distintos períodos futuros.

CUADRO 23
GUATEMALA: IMPACTOS DE CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE LA RENTA DE LA TIERRA POR
HECTÁREA EN HOGARES RURALES GUATEMALTECOS, 2006-2095^{a,b}
(Dólares)

Año	Modelo I	Modelo II
2006	104,35	104,35
2020	96,72	85,73
2030	87,58	75,69
2050	81,02	67,90
2070	65,03	49,72
2095	52,31	35,11

Fuente: Elaboración propia.

^a Renta de la tierra por hectárea actual y futura.

^b Los impactos son cambios en la renta mensual de la tierra.

Los cambios porcentuales con respecto al año base (2006) se encuentran entre paréntesis.

En las proyecciones del modelo I, para 2020 se encuentra que un aumento de la temperatura media anual de 1,55 °C y una disminución de la precipitación acumulada de 27,23 mm con relación a los valores medios históricos, implican una disminución de 7,3% de la renta de la tierra; mientras que el modelo II, que incluye variables por tipo de suelo, predice una baja del orden de 17,8%.

Para el año 2050 observamos un incremento de la temperatura media anual de 3,2°C y una disminución de 227,8 mm en la precipitación acumulada, Estos cambios implican una disminución de 22% en la renta de la tierra bajo el modelo I, en tanto que el modelo II pronostica una disminución de 35%.

Asimismo, para el año 2095 se presenta un aumento de la temperatura media anual de 6,2 °C y una baja de la precipitación acumulada de 583,9 mm con respecto a los valores medios históricos, conllevan a una disminución de 49,7% de la renta de la tierra en el modelo I, mientras que el modelo II predice una baja del 66,4%. Las diferencias entre las descripciones 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.

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 renta de la tierra para los municipios de Guatemala en los años 2020, 2050 y 2095 con el objetivo de visualizar en gran medida la variación de la renta de la tierra en Guatemala para el período comprendido a lo largo del siglo XXI. Asimismo, 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 la renta de la tierra sin recurrir a efectos no lineales entre las diferentes variables empleadas. Los resultados del impacto en la renta de la tierra se han realizado a nivel municipal.

En la figura 1 observamos que existen municipios (color rojo) que representan aproximadamente el 5%, y sufren una pérdida esperada de más de 200 dólares en el valor de la renta de la tierra. Adicionalmente, notamos que más de la mitad de los municipios sufren alguna pérdida esperada mayor a los dos dólares para el año 2020.

Sin embargo, también debe señalarse que poco menos de la mitad de los municipios no presentan evidencia de una disminución de la renta de la tierra cuando consideramos los valores predichos para la precipitación acumulada y la temperatura media anual en 2020. De hecho, se obtienen incrementos en el valor de la renta de la tierra para algunas zonas de Guatemala. Este comportamiento refleja naturalmente las redistribuciones de temperatura y precipitación causadas por el cambio climático, ya que existen zonas, por ejemplo, donde la nueva combinación precipitación-temperatura produce externalidades marginales positivas, lo que se refleja en dichos impactos positivos.

No obstante, no debemos dejar de soslayar que el efecto medio sobre la renta de la tierra es negativo y de poco más de 25 dólares, En otras palabras, un decremento de casi 20% en el valor de la renta de la tierra promedio tan sólo por variaciones en la temperatura media anual y precipitación acumulada. Asimismo, no debemos 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 diferente al que podría realmente observarse en el futuro.

En la figura 2, es posible observar que para el año 2050 se tiene un comportamiento análogo al de 2020, bajo la salvedad de que el decremento en la renta de la tierra se agudiza, pues ahora la disminución media es de casi 35% sobre el valor observado actualmente. De manera adicional, en el año 2050 observamos que escasamente 40% de los municipios no presentan disminuciones en el valor medio de la renta de la tierra, cifra inferior en más del 10% respecto de las estimaciones encontradas para el año 2020.

De manera similar, en la figura 3 observamos que para el año 2095 el efecto negativo sobre la renta de la tierra es del orden del 66%, un porcentaje que casi duplica lo estimado para 2050 y triplica al porcentaje de disminución calculado para 2020. Sin mencionar que los municipios probables que no se verían afectados en 2095 son poco menos del 19% del total de localidades. En cualquier caso, encontramos que el valor de la renta de la tierra guatemalteca disminuye conforme la temperatura media anual sube y la precipitación acumulada baja a lo largo del tiempo para los próximos años.

FIGURA 1

GUATEMALA: DISTRIBUCIÓN DE LOS IMPACTOS A NIVEL MUNICIPAL SOBRE LA RENTA DE LA TIERRA PARA EL AÑO 2020

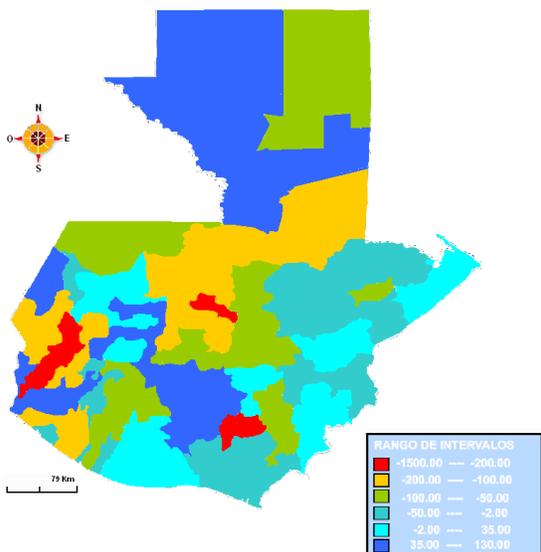


FIGURA 2

GUATEMALA: DISTRIBUCIÓN DE LOS IMPACTOS A NIVEL MUNICIPAL SOBRE LA RENTA DE LA TIERRA PARA EL AÑO 2050

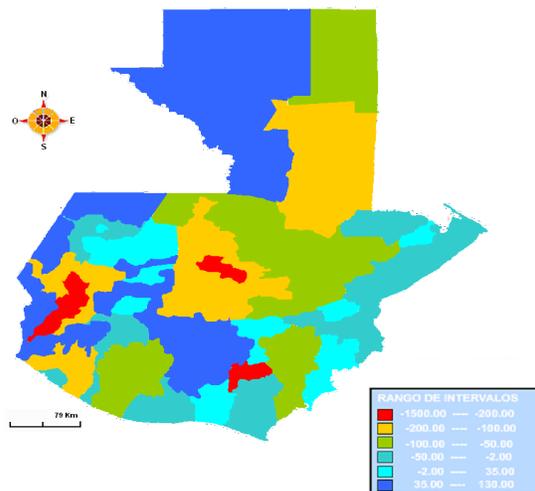
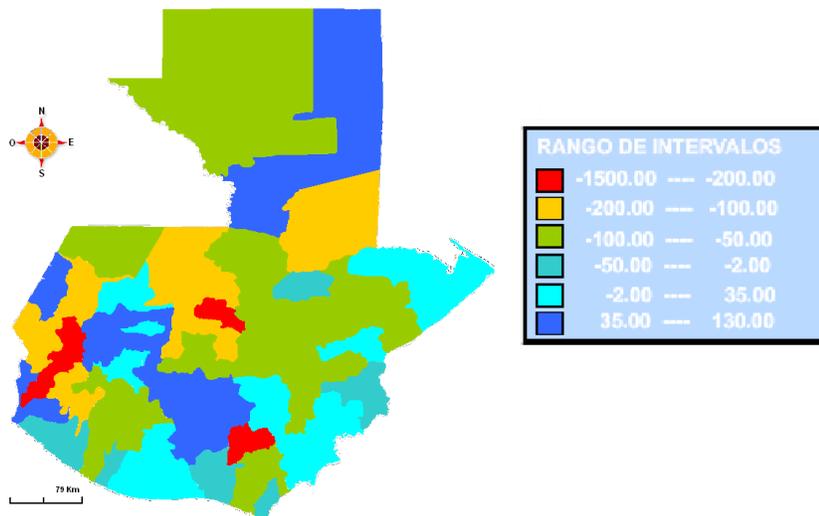


FIGURA 3

GUATEMALA: DISTRIBUCIÓN DE LOS IMPACTOS A NIVEL MUNICIPAL SOBRE LA RENTA DE LA TIERRA PARA EL AÑO 2095



VI. CONCLUSIONES

En este estudio se determinaron las relaciones pertinentes para analizar los efectos del cambio climático sobre el sector agropecuario y establecer si éstos son o no adversos, En particular, mediante los índices de producción agropecuaria del período 1961-2005 de la FAO, y empleando los datos meteorológicos proporcionados por la UNAM, estimamos una función de producción para aproximar la relación entre niveles de producción, rendimientos y condiciones climáticas.

Los cálculos muestran la sensibilidad de la función de producción agropecuaria ante el clima, pues encontramos que la producción tiende a incrementarse hasta llegar a un nivel máximo, el cual se localiza alrededor de 31 grados Celsius de temperatura máxima y 2.800 mm de precipitación acumulada anual, En otras palabras, si la temperatura y precipitación no se encuentran dentro de los rangos apropiados y establecidos por el ecosistema, el nivel del producto no es óptimo. Es decir, el constante incremento que esperamos va a tener la temperatura en años futuros, aunado a la disminución de la precipitación, conllevarán lamentablemente a decrementos en la producción y ello se traduciría en pérdidas económicas que podrían representar magnitudes importantes, a menos que se tomen medidas para revertirlas.

De manera similar, la producción de cultivos y la producción pecuaria se reducen eventualmente ante los niveles más bajos de precipitación futura. Más aún, el análisis realizado nos dice que no falta mucho para observar una pérdida económica en el cultivo del maíz, y que para el caso del frijol ya existen impactos negativos en el presente.

Adicionalmente, se encuentra que al proyectar los costos futuros en el sector agropecuario ocasionados por las variaciones en la precipitación y la temperatura nos llevan a una disminución del producto agropecuario. Concretamente, cuando comparamos el escenario actual versus los posibles escenarios climáticos futuros A2 y B2 en el año 2100, se llega a la conclusión de que las pérdidas registradas podrían oscilar entre 3% y 15% del PIB actual, dependiendo de los supuestos y el escenario considerado.

En este mismo sentido, los hallazgos encontrados hacen posible inferir que la renta de la tierra para los hogares rurales guatemaltecos se ve afectada ante cambios del clima. Por ejemplo, un incremento marginal en la temperatura promedio anual de un grado Celsius reduce la renta de la tierra en aproximadamente 6 dólares, lo que representa más del 5% de la renta promedio. En otras palabras, un ligero aumento en la temperatura conlleva un impacto negativo hacia la agricultura guatemalteca. De igual manera un incremento en la precipitación acumulada anual de 10 mm implica una disminución en la renta de la tierra por hectárea de aproximadamente 2 dólares, equivalente al 2% de la renta promedio.

El presente estudio también comprende los impactos de cambios futuros en el clima sobre la renta de la tierra, Los resultados alcanzados en este rubro muestran un escenario poco alentador para la renta de la tierra en los hogares de Guatemala. Los impactos de las proyecciones futuras predicen reducciones de la renta de la tierra que van desde el 7% hasta cerca del 67% de la renta de la tierra por hectárea. De manera adicional, es posible observar que estos efectos muestran una dispersión considerable a través de las distintas regiones de Guatemala.

Los resultados anteriores reafirman la idea de que la actividad humana no puede desarrollarse sin tomar en cuenta las variables ambientales en las que se desenvuelve el proceso productivo. El producto no sólo puede verse como un proceso *input-output*, sino como un sistema que no puede dejar de lado a uno de sus componentes (el medioambiente), lo cual se refleja en nuestro modelo por los efectos de la temperatura y precipitación.

Si bien es cierto que este estudio no toma en cuenta la posible adaptación del agricultor a su entorno o el cambio tecnológico que pudiese revertir estos impactos negativos. La relación estimada entre el producto, el costo, la renta de la tierra y las variables climáticas son estadísticamente robustas, así que los impactos negativos encontrados podrían ser todavía mayores si no se toman medidas de prevención adecuadas. A este respecto, se sugiere reforzar las políticas agropecuarias y ambientales existentes, y trabajar a favor de aquellos sectores de la población que pudiesen ser mayormente vulnerables a los efectos negativos de estos impactos climáticos.

A pesar de que los gobiernos de países en desarrollo estén consientes de la necesidad de orientar medidas y políticas encaminadas a la mitigación del cambio climático, es necesario e indispensable comenzar las acciones requeridas en los siguientes temas:

1) Realizar inversiones necesarias para mejorar la recopilación, difusión y análisis de información sobre el fenómeno y sus repercusiones

Actualmente las interacciones existentes entre la agricultura y el cambio climático se conocen de una manera imperfecta y, por lo tanto, deberá ser una preocupación de los gobiernos de los países en desarrollo dedicar fondos para realizar investigaciones que permitan generar conocimiento en ese ámbito. De manera adicional, se sugiere el fomento en el intercambio internacional de información y colaboración entre los grupos de las diferentes áreas de la ciencia, de tal manera que permita desarrollar estrategias de adaptación en los países en vías de desarrollo, y en especial para la agricultura por ser fuente de ingresos y nutrición.

2) Mejorar los sistemas tecnológicos actuales usados en la agricultura

Deberán existir mejores prácticas en el manejo de fertilizantes, el uso de fertilizantes de liberación controlada y de inhibidores de la nitrificación; la aplicación de estiércol animal y la incorporación de residuos de cosecha en el suelo en las zonas donde la materia orgánica del suelo así lo requiera.

3) Diseñar e implementar el desarrollo políticas y programas adecuados

Dada la incertidumbre actual acerca de la ubicación específica de los efectos del cambio climático, las políticas de desarrollo deben generar programas eficientes que ayuden a crear buenas medidas de adaptación. Por ejemplo, debido a que la tierra es una fuente importante que permite poner en práctica estrategias de mitigación, su valor está aumentando, lo que presenta retos adicionales a los pequeños agricultores sin tenencia segura. Esta situación hace necesaria la creación de políticas sólidas que garanticen la protección de las tierras de los pobres frente a su creciente demanda; las cuales deben incluir con claridad sus derechos de acceso a los recursos, mecanismos de apelación y arbitraje, así como procedimientos para la toma de decisiones de sus derechos de manera informada (IFPRI, 2009a).

4) Aumentar el acceso a los mercados de riesgo

El sector agropecuario de Guatemala presenta una elevada exposición a eventos climáticos, tales como: huracanes y sequías, entre otros. Dichos fenómenos climáticos han representado importantes pérdidas económicas para este país centroamericano; por ello es importante que se diseñen estrategias que permitan reducirlos 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 Guatemala existe cierta penetración de estos instrumentos, ella es relativamente baja e

insuficiente, por ello convendría una mayor acción del gobierno a fin de crear los incentivos para el desarrollo de estos mercados.

5) Incrementar las inversiones para mejorar la productividad agrícola

Una importante estrategia de mitigación y adaptación al cambio climático debe ser el aumento en la productividad agrícola en las tierras de cultivo existentes, pues de lograrse incrementar podrían reducirse las presiones sobre los bosques. Para ello es necesaria mayor inversión en ciencia y tecnología agrícola, Asimismo, la creación de infraestructura rural será esencial para que los agricultores puedan tener acceso a los mercados y reducir los costos de transacción (IFPRI, 2009b).

Para ello dos elementos son importantes: el capital humano y el capital físico. Para elevar el capital humano 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. Para elevar el capital físico es recomendable fomentar inversiones en infraestructura rural, ello tendrá efectos positivos sobre los ingresos de los hogares rurales a través de incentivar a los miembros del hogar a emprender otras actividades generadoras de ingresos.

BIBLIOGRAFÍA

- Adams Richard, Hurd B. Reailly 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.
- 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*, 3a ed., John Wiley & Sons Ltd.
- BANGUA (Banco de Guatemala) (2009), "Evaluación de la Política Monetaria, Cambiaria y Crediticia a noviembre de 2008", <http://www.banguat.gob.gt/publica/doctos/Evaluacion_PolMon>.
- CEH (Center for Ecology and Hydrology) (2009), *Water Poverty Index*, versión electrónica: <<http://www.ceh.ac.uk/sections/ph/WaterPovertyIndex.html>>, 15 de junio.
- _____ (2009b), *Módulo para Analizar el Crecimiento del Comercio Internacional (MAGIC)*, versión electrónica: <<http://www.eclac.org/magic>>, 29 de agosto.
- _____ (2005) *Efectos en Guatemala de las lluvias torrenciales y la tormenta tropical Stan (LC/MEX/R.895)*, octubre.
- 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., M. Tsigas, J. Lewandrowski y A. Ranases (1995), "World agriculture and climate change. Economic adaptations", *Agricultural Economic Report N° 703*, Washington: US Department of Agriculture, Economic Research Service, junio.
- 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.
- Easterling, W. E., P. R. Crosson, N. J. Rosenberg, M. S. McKenney, L. A. Katz y K. M. Lemon (1993), "Agricultural Impacts of and Responses to Climate Change in the Missouri-Iowa-Nebraska-Kansas Region", *Climatic Change*, 24(1-2), 23-62.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación) (1994), *Microempresas Asociativas Integradas por Campesinos Marginados en América Central, Aspectos Jurídicos e Institucionales*, Consulta en línea: <<http://www.fao.org/docrep/003/t1951s/t1951s00>>, 18 de junio de 2009.
- _____ (2003), *The digital soil map of the world (DSMW)* CD-ROM, Roma.
- _____ (2009), *Guatemala frente al cambio climático, Departamento de Montes*, Guatemala.
- Finger, R., y S., Schmid (2007), *Modeling Agricultural Production Risk and the Adaptation to Climate Change*, inédito.
- Fleischer, A., I. Lichtman y R. Mendelsohn (2007), "Climate change, irrigation, and Israeli agriculture: Will warming be harmful?", *Policy Research Working Paper, N° 4135*, Banco Mundial.
- Gay, C. y otros (2004), "Impactos potenciales del cambio climático en la agricultura: escenarios de producción de café para el 2050 en Veracruz", México, inédito.
- GUATEAGUA (Portal de recursos Hídricos de Guatemala) (2009), "Agua en Guatemala", versión electrónica: <<http://www.infoiarna.org.gt/guateagua/2.htm>>, 3 de julio.
- 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, pág. 36 Disponible en <<http://www.germanwatch.org/klima/cri.htm>>.
- INAB (Instituto Nacional de Bosques) (2001), Unidad de Planificación/Información; departamento de Sistemas de Información Forestal, *Estadísticas Silvícolas de la Administración Forestal del INAB*.
- IFPRI (International Food Policy Research Institute) (2009a), *Agriculture and climate change: an agenda for negotiation in Copenhagen*, 2020 Vision for Food, Agriculture, and the Environment.
- _____ (2009b), *Climate Change: Impact on Agriculture and Costs of Adaptation*, Report.
- Interim Report on Climate Change Country Studies (1995), *Central America Country Studies Project Team, Central America: Vulnerability Assessment to Climate Change for the Water, Coastal, and Agricultural Resources*.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change - Working Group III) (2005), *Carbon Dioxide Capture and Storage*, Special report, Cambridge University Press, Montreal, Canadá.

- 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.
- Maddison, D., M. Manley y P. Kurukulasuriya (2007), "The impact of climate change on African agriculture. A Ricardian approach", *Policy Research Working Paper*, 4306, Banco Mundial.
- MARN (Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales) (2001), "Primera Comunicación Nacional sobre Cambio Climático", *Informe Fina*.
- _____ (2005a), "Estudio de la Vulnerabilidad Actual (versión preliminar)", *Guatemala, Estudio de caso: Cuenca del Río Naranjo*.
- _____ (2005b), "Estudio de la Vulnerabilidad Actual (versión preliminar)", *Guatemala, Estudio de caso: Subcuenca del Río San José*.
- _____ (2007a), Programa Nacional de Cambio Climático Guatemala-Centroamérica, "Análisis de la Vulnerabilidad Futura de los Recursos Hídricos al Cambio Climático", *Informe Final*.
- _____ (2007b), Programa Nacional de Cambio Climático Guatemala-Centroamérica, *Análisis de la Vulnerabilidad Futura de la Producción de Granos Básicos al Cambio Climático*, informe final.
- _____ (2007c), *Segunda Comunicación Nacional sobre Cambio Climático*, resumen.
- McCarl, B., R. Adams y B. Hurd (2001), *Global Climate Change and its Impact on Agriculture*, inédito.
- Mendelsohn, R., P., Christensen y J., Arellano-González (2009), *Ricardian Analysis of Mexican Farms*, Reporte al Banco Mundial.
- 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", *Policy Research Series Working Paper*, N° 4161, Banco Mundial.
- 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., W. Nordhaus y D. Shaw (1994), "The impact of global warming on agriculture: A Ricardian analysis", *American Economic Review*, 84:753-771.
- Molua, E. y C. Lambi (2007), *The Economic Impact of Climate Change on Agriculture in Cameroon*, Policy Research Working Paper, N° 4364, Banco Mundial.
- Mora Rivera, J. J., y A. Yúnez-Naude (2008), *Climate Change and Migration in Rural Mexico*, World Bank Report, Latin American Division.
- PNUMA y UNFCCC (2004), *Carpeta de Información sobre el cambio Climático*, 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, D. C.
- 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.
- SELA (Sistema Económico Latinoamericano y del Caribe) (2009), "La Emigración de Recursos Humanos Calificados desde América Latina y el Caribe" [en línea], América Latina [fecha de consulta: 9 de julio de 2009] < <http://www.sela.org/sela2008/> >
- 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, D. C.
- _____ (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.

- Sergenson, Kathleen, B. L. Dixon (1998) "Climate change and agriculture: The role of farmer adaptation. Capítulo 3, *The Economics of Climate Change*, R. Mendelsohn y J. Neumann, eds., Cambridge University Press, Cambridge.
- SIECA (Secretaría de Integración Económica Centroamericana), "Integración Económica Centroamericana" [en línea], Centroamérica [fecha de consulta: 6 de junio de 2009] <<http://www.sieca.org.gt/site/>>
- Smit, B., D. McNabb y J. Smithers (1996), Agricultural Adaptation to Climatic Variation, *Climatic Change*, 33: 7-29.
- 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.
- The Central Intelligence Agency (CIA), *Publications World Factbook: Guatemala*, versión electrónica: <<https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/geos/gt.html>>, 29 de agosto de 2009.
- Unidad de Cambio Climático de Guatemala (Página Oficial), versión electrónica: <<http://www.marn.gob.gt/>>, 1 de septiembre de 2009.
- United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) (2009), *Feeling the Heat (Essential Background)*, Consulta en línea: <http://unfccc.int/essential_background/feeling_the_heat/items/2918.php>, 18 de junio de 2009.
- 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.

FUENTES DE INFORMACIÓN

- Banco de Guatemala (2009), Boletín Estadístico, diciembre 2008.
- _____ (2009) *Boletín de estadísticas agrícolas y pecuarias, 2008*.
- CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe) (2009), *Anuario Estadístico de América Latina y el Caribe, 2008*.
- _____ (2009), *Balance preliminar de las economías de América Latina y el Caribe, 2008*.
- _____ (2009), "Preliminary overview of the Caribbean", 2008-2009 (LC/CAR/L.189), marzo.
- _____ (2009), *Anexo Estadístico, de las notas económicas*.
- _____ (2008), *Economic Survey of the Caribbean, 2007-2008* (LC/CAR/L.173), julio.
- Encuesta Nacional de Condiciones de Vida (ENCOVI, 2006).
- MAGA (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación), Unidad de Políticas e Información Estratégica (UPI) (2007), *Estadísticas de Producción Agropecuaria*, Guatemala.

ANEXO I
IMPACTO EN LAS FUNCIONES DE PRODUCCIÓN AGROPECUARIAS

CUADRO AI-1
GUATEMALA: 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)			
	0,005	0,02	0,04	0,08	0,005	0,02	0,04	0,08
Cambios en temperatura y precipitación								
2020	-0,08	0,07	0,23	0,48	-3,42	-2,87	-2,26	-1,38
2030	-0,94	-0,54	-0,14	0,35	-6,74	-5,29	-3,86	-2,10
2050	16,83	9,41	4,55	1,47	-1,11	-2,47	-2,76	-1,96
2070	76,13	35,08	13,19	2,54	36,95	13,82	2,64	-1,31
2100	417,85	136,35	34,25	3,62	319,08	97,08	19,84	-0,44

Fuente: Elaboración propia.

CUADRO AI-2
GUATEMALA: 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	-3,59	-3,25	-2,88	-2,32	-5,59	-5,09	-4,54	-3,73
2030	-6,77	-5,63	-4,51	-3,11	-10,44	-8,68	-6,97	-4,87
2050	-9,44	-7,36	-5,49	-3,44	-19,91	-14,49	-10,06	-5,81
2070	9,79	0,95	-2,69	-3,09	-13,02	-11,67	-9,19	-5,72
2100	100,66	28,58	3,24	-2,77	47,81	6,70	-5,28	-5,51

Fuente: Elaboración propia.

CUADRO AI-3
GUATEMALA: IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO, 2006-2100
(En porcentajes acumulados del PIB agropecuario)

Período	ESCENARIO A2 (ECHAM, GFDL, HADGEM)		ESCENARIO B2 (ECHAM, GFDL, HADGEM)	
	Producción agropecuaria	Producción agrícola	Producción agropecuaria	Producción agrícola
2006 - 2010	1,78	1,20	1,44	2,49
2011 - 2020	1,60	3,80	1,70	2,44
2021 - 2030	0,48	2,01	2,01	3,02
2031 - 2040	1,83	0,44	1,45	3,03
2041 - 2050	5,06	2,22	0,13	1,27
2051 - 2060	5,34	2,70	1,54	0,10
2061 - 2070	9,54	6,66	3,27	1,67
2071 - 2080	11,82	9,13	4,06	2,41
2081 - 2090	16,07	13,25	4,94	3,45
2091 - 2100	17,76	15,03	3,65	2,51

Fuente: Elaboración propia.

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

CUADRO AII-1
GUATEMALA: IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA PRODUCCIÓN
DEL MAÍZ, 2020, 2030, 2050, 2070 Y 2100
(En porcentajes acumulados del PIB agropecuario de 2007)

Año	A2				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
Cambios en temperatura y precipitación								
2020	-13,28	-12,23	-11,04	-9,18	-8,86	-8,12	-7,29	-6,01
2030	-20,49	-17,66	-14,80	-11,03	-9,44	-8,55	-7,58	-6,15
2050	-20,29	-18,11	-15,40	-11,41	-3,43	-5,00	-5,79	-5,66
2070	15,01	-2,85	-10,27	-10,77	25,46	7,65	-1,45	-5,10
2100	119,99	29,58	-3,15	-10,37	103,56	31,51	3,71	-4,82

Fuente: Elaboración propia.

CUADRO AII-2
GUATEMALA: IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA PRODUCCIÓN DEL
FRIJOL, 2020, 2030, 2050, 2070 Y 2100
(En porcentajes acumulados del PIB agropecuario de 2007)

Año	A2				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
Cambios en temperatura y precipitación								
2020	2,89	2,62	2,30	1,82	2,29	1,98	1,65	1,17
2030	6,51	5,31	4,14	2,69	6,12	4,88	3,66	2,17
2050	10,41	7,60	5,29	3,00	12,93	8,93	5,74	2,75
2070	19,31	11,52	6,64	3,18	22,75	13,25	7,22	2,94
2100	56,40	22,77	9,05	3,31	39,24	18,34	8,34	3,00

Fuente: Elaboración propia.

CUADRO AII-3
GUATEMALA: IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA PRODUCCIÓN DEL CAFÉ,
2020, 2030, 2050, 2070 Y 2100

(En porcentajes acumulados del PIB agropecuario de 2007)

Año	A2				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
Cambios en temperatura y precipitación								
2020	-18,30	-16,66	-14,82	-12,04	-7,59	-7,03	-6,38	-5,38
2030	-26,68	-22,88	-19,04	-14,04	-9,29	-8,23	-7,16	-5,71
2050	-41,12	-31,86	-23,90	-15,55	-15,60	-12,14	-9,26	-6,37
2070	-34,40	-29,24	-23,16	-15,50	-13,97	-11,57	-9,13	-6,37
2100	68,76	1,04	-16,96	-15,19	0,88	-7,18	-8,23	-6,33

Fuente: Elaboración propia.

CUADRO AII-4
GUATEMALA: IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO, 2006-2100

(En porcentajes acumulados del PIB agropecuario)

ESCENARIO A2			
Periodo	Maíz	Frijol	Café
2006 – 2010	-7,40	0,83	-6,91
2011- 2020	-9,39	1,67	-9,20
2021 – 2030	-6,04	2,27	-5,24
2031 – 2040	-3,75	0,89	-4,78
2041 – 2050	0,58	0,76	-1,92
2051 – 2060	3,04	1,07	-0,44
2061 – 2070	5,43	1,24	1,83
2071 – 2080	5,67	1,63	2,81
2081 – 2090	4,83	1,94	5,13
2091 – 2100	3,60	1,57	5,62
ESCENARIO B2			
2006 – 2010	-2 769	0,218	-3 675
2011- 2020	-1 626	1 631	-3 201
2021 – 2030	2 152	2 473	-0,989
2031 – 2040	2 708	1 399	-2 091
2041 – 2050	3 073	1 535	-0,814
2051 – 2060	4 400	1 247	-0,269
2061 – 2070	4 963	1 285	0,542
2071 – 2080	4 640	0,872	0,395
2081 – 2090	4 299	0,850	0,853
2091 – 2100	3 502	0,629	0,719

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.