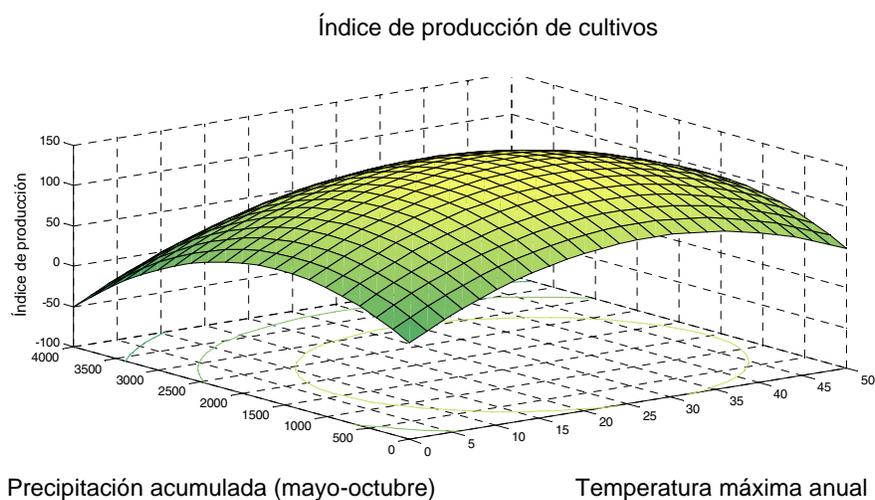


ISTMO CENTROAMERICANO: EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE LA AGRICULTURA



Esta publicación fue preparada por Diana Ramírez, Juan Luis Ordaz y Jorge Mora. Alicia Acosta contribuyó a la formación de las bases de información. Braulio Serna Hidalgo participó en su elaboración y supervisó el proceso.

Este documento aún no cuenta con los comentarios de las autoridades nacionales correspondientes.

09-11-38

Índice

	<u>Página</u>
RESUMEN EJECUTIVO	1
INTRODUCCIÓN.....	3
I. REVISIÓN DE LA LITERATURA	7
1. Enfoques metodológicos para estimar los efectos del cambio climático en el sector agropecuario.....	7
2. Estudios previos para Centroamérica.....	13
II. EL SECTOR AGROPECUARIO Y EL CAMBIO CLIMÁTICO	14
1. El aporte agropecuario y rural a la economía centroamericana	14
2. Servicios ambientales de la agricultura y del medio rural	15
3. El Istmo Centroamericano ante el cambio climático	17
III. METODOLOGÍAS	20
1. Enfoque de la función de producción	21
2. Enfoque Ricardiano	23
IV. EL IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE EL SECTOR AGROPECUARIO	26
1. Impacto en las funciones de producción agropecuaria	27
2. Impacto sobre los rendimientos de maíz, frijol y arroz.....	34
3. Impacto sobre el valor de la tierra (ganancias agrícolas). Datos y resultados del enfoque Ricardiano: El caso de Honduras	42
V. LOS ESCENARIOS FUTUROS: LOS IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE EL SECTOR AGROPECUARIO	47
1. Impactos sobre la producción agropecuaria.....	47
2. Impactos sobre los rendimientos de maíz, frijol y arroz	49
3. Proyecciones e impactos sobre la renta de la tierra (ganancias agrícolas).....	55
VI. CONCLUSIONES	60
BIBLIOGRAFÍA	63
<u>Anexos:</u>	67
I Istmo Centroamericano: Índice de producción (varios productos), 1961-2005.....	69
II Emisiones de CO ₂	71
III Escenarios climáticos A2 y B2	73
IV Istmo Centroamericano: Impactos del cambio climático, 2020, 2030, 2050, 2070 y 2100.....	74

RESUMEN EJECUTIVO

En este estudio se muestra cómo el cambio climático ocasiona reducciones en la producción, los rendimientos y las ganancias de los agricultores centroamericanos. Además, se cuantifica el efecto directo de las variaciones en temperatura y precipitación sobre la producción, rendimientos y las ganancias agrícolas.

Una estimación de los efectos e impactos del cambio climático para los años futuros 2020, 2030, 2050, 2070 y 2100, mediante modelos de funciones de producción, indica que el cambio climático producirá impactos negativos sobre la producción agropecuaria. Los cambios en temperatura y precipitación repercutirán en un deficiente suministro de alimentos en la región, y consecuentemente en pérdidas económicas. Estas pérdidas se proyectan en alrededor de 19% del PIB¹. Las estimaciones realizadas con base en los escenarios climáticos predicen que la mayor proporción de las pérdidas se deben a incrementos en la temperatura.

De manera complementaria, al modelar los efectos de las variaciones climáticas en los rendimientos de tres cultivos, maíz, frijol y arroz, los resultados evidencian que es en la producción de frijol donde se presentarían las mayores pérdidas económicas, seguida de la producción de arroz y por último del maíz. A manera de conclusión, es posible determinar que el cambio climático traerá efectos adversos sobre los rendimientos de varios productos agrícolas y pecuarios, lo que en algunos casos se traduciría en pérdidas económicas importantes.

Adicionalmente, en el caso de un análisis piloto realizado para Honduras, se puede precisar que las ganancias agrícolas son sensibles al clima, ya que un aumento marginal en la temperatura promedio anual de un grado Celsius disminuye las ganancias agrícolas anuales en un promedio de aproximadamente 26 dólares, 3% del ingreso promedio agropecuario, pero cerca del 5% para 80% de los agricultores. Es por ello que conviene reforzar las medidas de adaptación de la agricultura del Istmo Centroamericano, más aun cuando se considera la baja capitalización del agro en las dos décadas pasadas, el reducido capital humano y los desafíos alimentarios que enfrenta la región centroamericana.

Este informe muestra que para el caso de la producción agropecuaria ya se habría sobrepasado la temperatura y la precipitación que maximizan la producción; es decir, tanto la temperatura como la precipitación actual se encuentran en la parte decreciente de su función. Incrementos tanto en precipitación como en temperatura podrían ocasionar pérdidas en la producción agrícola. Asimismo, los aumentos en temperatura también ocasionarán rendimientos decrecientes en la función de producción pecuaria. Así, el análisis de las funciones de producción señala que el calentamiento global ya está ocasionando efectos negativos en la producción agropecuaria.

Asimismo, se evaluaron los posibles efectos del cambio climático sobre la producción del maíz, el frijol y el arroz. Las estimaciones muestran que —manteniendo las otras variables de control constantes— en el caso del maíz el cambio climático podría generar ganancias en producción en un corto plazo, y después se incurriría en pérdidas. Para el arroz, los resultados sugieren que el calentamiento global conllevaría pérdidas a largo plazo en la producción, ya que se estaría por exceder la temperatura promedio que permite alcanzar el mayor rendimiento, mientras que para el frijol ya se habría rebasado dicha temperatura. En consecuencia, el calentamiento global ya está teniendo efectos negativos sobre este producto.

¹ Se toma como referencia los impactos a 2100 en porcentajes del PIB de 2007 del Istmo Centroamericano.

En el caso de la precipitación promedio anual, manteniendo las otras variables constantes, se identificó que bajos niveles de precipitación tienden a reducir los rendimientos de cada uno de los tres cultivos. Pero cuando la precipitación aumenta se favorece la producción de los tres cultivos sólo hasta cierto nivel. La producción de maíz tiende a decrecer una vez que se rebasan relativamente altos niveles de precipitación para los niveles de la subregión, en tanto que los rendimientos de frijol y arroz tienden a decrecer cuando la precipitación supera el nivel promedio actual de la subregión.

Así, estos resultados iniciales hacen evidente la necesidad de compensar, ya sea con irrigación o con la introducción de nuevas tecnologías, las posibles pérdidas en los niveles de producción que se presentarán y, en algunos casos, se están presentando como consecuencia del cambio climático en el Istmo Centroamericano. Medidas de adaptación de los productores y sus parcelas podrían aliviar estos efectos, como el fomento de la producción de invernadero, métodos de manejo y recuperación de suelos que elevan los rendimientos, cambios en las fechas de siembra asociados a irrigación, introducción de variedades de mayor rendimiento y más resistentes a sequías, así como énfasis en la reconversión de cultivos.

De esta manera, resulta importante continuar desarrollando e implementando las políticas públicas agropecuarias y ambientales, con el propósito de adaptarse a los efectos que el cambio climático podría generar sobre los ingresos y ganancias provenientes de la agricultura, en especial de productores de bajos ingresos.

INTRODUCCIÓN

El Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático de 2007 (IPCC, 2007) señala que el fenómeno del calentamiento global es “inequívoco, como evidencian ya los aumentos observados del promedio mundial de la temperatura del aire y del océano, el deshielo generalizado de nieves y hielos y el aumento del promedio mundial del nivel del mar.” Así, los años del período 1995-2006 son de los más cálidos en los registros instrumentales de la temperatura de la superficie mundial, desde 1850.

Una gran cantidad de estudios científicos evidencian el aumento de la temperatura con concentraciones atmosféricas de gases de efecto invernadero (GEI), entre los que destaca el dióxido de carbono (CO_2). Estos gases en la atmósfera retienen parte de la radiación solar saliente, lo que eleva la temperatura de la Tierra. Este “efecto invernadero” natural es lo que mantiene nuestro planeta habitable; de no existir, la Tierra tendría una temperatura mucho menor a la actual. Sin embargo, recientemente este proceso se ha acelerado en gran medida por la actividad humana.

Así, aun cuando desde hace más de 500.000 años el ser humano ha estado liberando CO_2 a la atmósfera mediante la quema y cambios en el uso del suelo; en los últimos 200 años esta actividad se ha acelerado de manera muy notable. Las emisiones mundiales de GEI como consecuencia de las actividades humanas aumentaron, desde la era preindustrial, en 70% entre 1970 y 2004 (IPCC, 2007). Las concentraciones atmosféricas mundiales de CO_2 , metano (CH_4) y óxido nitroso (N_2O) se han incrementado notablemente por efecto de las actividades humanas desde 1750, y actualmente son muy superiores a los valores preindustriales. Lo anterior se explica por dos grandes transformaciones en las fuentes de energía para la actividad económica del hombre: el reemplazo de la energía hidráulica por el carbón, y la sustitución de éste por el petróleo.

Al igual que la actividad industrial, las actividades agrícolas también contribuyen a la emisión de CO_2 , metano (CH_4) y óxido nitroso (N_2O) (Metz y otros, 2007). Se estima que la contribución de la agricultura al total de emisiones antropogénicas de GEI es de 10% a 12%. Hacia el 2030 se ha proyectado que las emisiones agrícolas de N_2O aumentarán entre 35% y 60%; ello, debido a un mayor uso del nitrógeno como fertilizante y de una mayor producción de abono animal (FAO, 2003).

La evolución que en el futuro presenten las emisiones de CO_2 provenientes de las actividades agrícolas es incierta. Lo anterior debido a la estabilización o decremento observado en las tasas de deforestación, así como la creciente adopción de prácticas de cultivo de conservación que podrían incidir en que dichas emisiones disminuyeran o se mantuvieran en niveles bajos (Metz, y otros, 2007). Sin embargo, es bien sabido que las emisiones provenientes de otros sectores como la industria son cuantiosas y tienden a crecer.

Por otra parte, existe gran evidencia de que, aun con las políticas actuales de mitigación de los efectos del cambio climático y con las prácticas de desarrollo sostenible que aquéllas conllevan, las emisiones mundiales de GEI seguirán aumentando en los próximos decenios (IPCC, 2007). Si lo hicieran a una tasa igual o superior a la actual, el calentamiento se acentuaría y el sistema climático mundial experimentaría durante el siglo XXI cambios probablemente mayores que los observados durante el siglo XX.

También está el consenso con relación a que el calentamiento global tendrá efectos potenciales sobre la agricultura. Por ejemplo, Adams y otros (1988) destacan la modificación en los cultivos debido a un incremento atmosférico en la concentración de CO_2 ; cambios en los patrones de temperatura y

precipitación; probable aumento en la población de plagas a partir del calentamiento global, y ajustes en las demandas y ofertas de agua para irrigación. Así, se espera que en general la productividad de algunos cultivos importantes disminuya, y con ella la productividad pecuaria, con consecuencias adversas para la seguridad alimentaria. Los cambios en las pautas de precipitación y la desaparición de los glaciares afectarían notablemente la disponibilidad de agua para consumo humano, agrícola e hidroeléctrico y, como resultado, se elevaría el número de personas amenazadas por el hambre.

En general, los países en vías de desarrollo serán más afectados que los desarrollados. De acuerdo con Rosenzweig y Parry (1994), los países en zonas tropicales parecen ser más vulnerables a los impactos potenciales del cambio climático.

Respecto de América Latina y Centroamérica, se han realizado estudios de simulación en la producción de algunos cultivos comerciales bajo distintos escenarios futuros. Parry y otros (2004) señalan que si no se tomaran en cuenta los efectos de CO₂, la reducción en la producción de granos podría ser hasta de 30% bajo el escenario de mayor temperatura. Sin embargo, si se consideran dichos efectos, la producción en algunos países podría incrementarse.

Centroamérica es altamente vulnerable al cambio climático, ya que es afectada por eventos climáticos extremos (huracanes e inundaciones) que dañan el desarrollo y el bienestar de sus habitantes, como se muestra más adelante. Uno de los sectores económicos más importantes en la región es la agricultura, por demás vulnerable a dichos eventos. Como se documenta en Leary, Kulkarni y Seipt (2007), es muy probable que el cambio climático intensifique la gravedad de los fenómenos extremos, y más aún si se toma en cuenta que las acciones de los gobiernos y las medidas preventivas y de adaptación por parte de los productores agrícolas son incipientes y poco estructuradas.

En este documento se analizan algunos impactos potenciales del cambio climático sobre la agricultura en el Istmo Centroamericano, que comprende a Belice, Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, Nicaragua, y Panamá. Con ello se busca aportar elementos que puedan incluirse en la formulación de políticas agropecuarias y ambientales.

En el capítulo I se hace una revisión de la bibliografía global y centroamericana más relevante sobre el cambio climático y la agricultura, y de la relacionada con las metodologías a utilizarse. En el capítulo II se presenta la situación actual del sector agropecuario y las estrategias adoptadas ante el cambio climático. Las metodologías de la función de producción y del modelo Ricardiano se exponen en el tercer capítulo. En el capítulo IV se presentan los resultados obtenidos con respecto a los impactos de las variables climáticas sobre el sector agropecuario y se desarrollan posibles escenarios de los efectos que el cambio climático generaría en el sector. Se examinan, además, los efectos sobre los índices de producción de cultivos, cereales, agropecuario y pecuario, así como, sobre los rendimientos en la producción de maíz, frijol y arroz. Asimismo, se presentan, desde una perspectiva Ricardiana, los resultados del impacto que el cambio climático tiene en el valor de la tierra para el caso de Honduras. En el capítulo V se estiman los impactos futuros en el sector agropecuario ocasionados por variaciones en la

precipitación y la temperatura, para cuyo cálculo se utilizan dos escenarios de cambio climático, el A2 y el B2² a distintos horizontes temporales. Por último, en el capítulo VI se presentan las conclusiones.

En la elaboración del presente estudio participaron los investigadores Diana Ramírez, Juan Luis Ordaz y Jorge Mora. Alicia Acosta contribuyó en la formación de las bases de información. Braulio Serna Hidalgo, además de participar en la elaboración del documento, coordinó y supervisó el proceso.

² Escenarios que 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 posible futuro. Las familias de escenarios divergen cualitativa y cuantitativamente. La familia “A2” describe un mundo muy heterogéneo basado en la autosuficiencia y preservación de las identidades locales y una lenta convergencia entre regiones, mientras que el “B2” presenta cambios más graduales y desarrollos menos extremos en todos los sentidos, incluyendo geopolítica, demografía, crecimiento de la productividad, dinámicas tecnológicas, entre otros. Asimismo, 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

El calentamiento global ocasionado por la actividad humana es un hecho confirmado. El clima y sus variaciones constituyen uno de los determinantes más importantes del comportamiento de la producción agrícola y de alimentos. El cambio climático influye directamente sobre el crecimiento y el desarrollo de plantas y cultivos, los balances hidrológicos, la frecuencia, tipo e intensidad de los cultivos, así como en la severidad de la erosión de la tierra. También afecta, entre otras variables, la disponibilidad y temporalidad de los sistemas de irrigación.

Desde hace algunas décadas, pero con mayor intensidad en las dos últimas, se ha manifestado un gran interés por analizar y medir los efectos del cambio climático en la actividad agrícola. Los primeros análisis se basaban en simples encuestas de opinión a expertos en el tema y en experimentos de laboratorio que estudiaban los efectos de cambios en la temperatura sobre la producción de algunos cultivos, cuyos resultados se utilizaban para predecir cómo se alterarían los cultivos bajo diferentes escenarios climáticos (Maddison y otros, 2007).

Posteriormente, las investigaciones se enfocaron en los efectos directos del cambio climático sobre la producción de ciertos cultivos (principalmente granos, como el trigo y el maíz) y, más recientemente, se han incluido en el análisis las interacciones y canales de transmisión entre regiones, así como una variedad más amplia de cultivos.

En este capítulo se realiza una descripción de los principales trabajos, en los que se han evaluado los efectos del cambio climático en el sector agropecuario de diferentes países y los enfoques metodológicos en los que se insertan. También se revisan algunas de las investigaciones realizadas para la región centroamericana.

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

En general, es posible agrupar los métodos utilizados para medir los efectos del cambio climático en el sector agropecuario en dos enfoques metodológicos: estructural y espacial (McCarl y otros, 2001; Molua y otros, 2007, Schimmelpfennig y otros, 1996). El primero combina las respuestas físicas de los cultivos con las respuestas económicas de los agricultores, mientras que el espacial explota las diferencias observadas en la producción agrícola y el clima entre regiones. Por tanto, ambos métodos se consideran complementarios.

a) Enfoque estructural

El enfoque estructural utiliza modelos interdisciplinarios para simular cambios en cultivos específicos. Se estima la respuesta de los cultivos ante escenarios climáticos en que se especifiquen promedios anuales por décadas o datos con una frecuencia diaria para un cierto conjunto de atributos climáticos, más comúnmente, la temperatura y la precipitación. 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. Con este enfoque se supone que agricultores y consumidores minimizan impactos o maximizan su bienestar, sujeto a las restricciones climáticas impuestas en el modelo. Tiene la ventaja de que permite obtener información detallada de las respuestas físicas, biológicas y económicas, así como los posibles ajustes. Una de sus desventajas es que para estudios agregados se requieren

múltiples inferencias para grandes áreas y sistemas diversos de producción a partir de pocos lugares y cultivos (Schimmelpfennig y otros, 1996).

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, y en algunas implicaciones para la selección de cultivos, comercio internacional y políticas públicas.

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, a través de 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 observados en la década de los treinta para simular las posibles temperaturas que se observarían en algunas regiones de los Estados Unidos como consecuencia del cambio climático. A partir de sus resultados, éstos 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.

Posteriormente, otros trabajos comenzaron 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). La inclusión de la adaptabilidad humana en los modelos elimina el supuesto del “agricultor ingenuo” implícito en ellos. 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 finalmente se fueron incorporando de manera explícita como variables en los modelos estructurales. La inclusión de variables adaptativas de los agricultores en el análisis reduce la posibilidad de sobreestimar los aspectos negativos y subestimar los impactos benéficos del cambio climático.

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. Por ejemplo, Adams y otros (1988) estudian los efectos económicos del calentamiento global sobre la región oeste de los 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. Ellos encuentran que la producción mundial declinaría si el cambio climático es suficientemente severo y si se obstaculiza la expansión de la tierra de cultivo, y que las pérdidas no serían homogéneas entre regiones. Mientras que en las regiones montañosas y del ártico se elevaría la cantidad de tierra cultivable, en las regiones tropicales decrecería la productividad agrícola ante una reducción en la humedad del suelo.

Muchos de los estudios representativos del enfoque estructural se basan en una función de producción empírica para predecir los efectos del clima sobre los cultivos³. En el apartado en que se describe la metodología se explican algunas de las ventajas y desventajas de este método de estimación.

b) Enfoque espacial

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

En el marco de un incremento esperado en la temperatura global, este enfoque metodológico busca identificar de qué manera aquellas regiones con climas más fríos podrían adaptarse a las prácticas seguidas en regiones más cálidas y sus implicaciones. Lo anterior se logra mediante un análisis estadístico entre áreas geográficas, por el que se separan aquellos factores que explican las diferencias de producción entre regiones. Uno de los supuestos implícitos en este enfoque es que los agricultores estarán dispuestos y serán capaces de adoptar las prácticas y los cultivos prevaletentes en las regiones más cálidas.

Entre las ventajas de este enfoque se encuentra el poder estimar el impacto directo del cambio climático en unidades, con un elevado grado de desagregación (a nivel de granja, por ejemplo) y tomar en consideración otras variables muy relevantes como la calidad de la tierra. No obstante, los resultados que se derivan de estos modelos dependen de que los datos disponibles sean representativos de las unidades geográficas consideradas y de la capacidad del análisis estadístico para aislar efectos proclives a confundirse.

A diferencia de los modelos inscritos en el enfoque estructural, los modelos espaciales asumen que los ajustes biológicos, físicos y económicos impuestos por el cambio climático a plantas, cultivos y agricultores se realizarán de manera automática. Ello elimina la necesidad de modelar las conductas adaptativas de plantas, cultivos y agricultores para, con los resultados obtenidos, estimar en una segunda etapa los efectos del clima en la variable económica de interés de cierto tipo de cultivo. Sin embargo, estos modelos sólo consideran aquellas variables de conductas adaptativas que se refieren al largo plazo y no a las relacionadas con impactos de ajuste en el corto y mediano plazos.

Dentro de los modelos de este enfoque, el Ricardiano ha adquirido especial notoriedad. Este modelo se basa en la teoría de que, en mercados competitivos, el valor de la tierra representa el valor presente de los ingresos netos esperados derivado del uso eficiente de la tierra. Por medio de técnicas de regresión, el modelo Ricardiano estima los efectos de variaciones en el clima y factores económicos y no económicos en el valor de la tierra agrícola, con información desagregada a cierto detalle. Por ejemplo, Mendelsohn y otros (1994) analizan la influencia del clima sobre la renta neta (o valor) de la tierra agrícola, utilizando información transversal a nivel de condado para los Estados Unidos. Encuentran que mayores temperaturas en todas las estaciones del año, excepto el otoño, reducen los valores promedio de las tierras. También muestran que existen diferencias con respecto a la estimación por los métodos tradicionales que se basan en la función de producción.

³ Véase, por ejemplo, Adams y otros (1988), Finger y Schmid (2007), Gay y otros (2004).

Schlenker y otros (2006), con base en información de diferentes condados de los Estados Unidos, analizan el impacto del calentamiento global en la agricultura. Emplean como variables independientes medidas climáticas, características del suelo y condiciones socioeconómicas. Sus resultados muestran de moderadas ganancias a grandes pérdidas para los condados que analizan.

Molua y Lambi (2007) emplean un enfoque Ricardiano para medir la relación entre el clima y la ganancia neta de los cultivos con base en información de 800 granjas agrícolas de Camerún. Concluyen que la ganancia neta disminuye a medida que la precipitación decrece y la temperatura aumenta.

Maddison y otros (2007) a partir de un modelo Ricardiano basado en 11 países del Continente Africano y utilizando la percepción individual de los agricultores con respecto al valor de la tierra, como variable dependiente, encuentran que hacia 2050 habría pérdidas importantes de producción agrícola en algunos países.

Al aplicar el análisis Ricardiano, Mendelsohn, Dinar y Sanghi (2001) realizan una comparación entre la sensibilidad al cambio climático de los Estados Unidos y de la India. El análisis revela que la función Ricardiana de la India es mucho más sensible que la correspondiente a los Estados Unidos, por lo que el calentamiento global tendrá mayores efectos negativos para el país asiático. Los resultados sugieren que el nivel de desarrollo tiene un efecto importante en la sensibilidad al cambio climático de los países. 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, conforme los sistemas agrícolas de países en desarrollo mejoren, los efectos adversos del cambio climático podrían verse reducidos.

Los resultados de un análisis realizado para Sri Lanka (Seo, Mendelsohn y Munasinghe, 2005) indican que incrementos en el nivel de temperatura están asociados con disminuciones en los niveles de ingreso neto de los productores agrícolas, mientras que una mayor precipitación tiene efectos positivos en los mismos. Al aplicar los resultados obtenidos a diferentes escenarios de cambio climático se obtiene un rango de efectos, que va desde 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 en los que el incremento de la temperatura es sustancial y los efectos positivos de incrementos en la precipitación no alcanzan a compensar tales pérdidas.

En el estudio de Seo y Mendelsohn (2006) se halla que el ingreso neto ganadero, en una muestra de 5.400 productores en 11 países de África, es altamente sensible a cambios en 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 se eleva. Dicho panorama se mantiene en las predicciones de estos efectos para el presente siglo, 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 dan al resultado es que los pequeños productores manejan especies tolerantes a altas temperaturas, en tanto que los grandes productores ganaderos dependen principalmente del ganado bovino, el cual es menos tolerante a las altas temperaturas. Los resultados muestran, también, que aumentos en la precipitación disminuyen el ingreso neto ganadero, mediante un incremento en la adopción de la agricultura como actividad, la sustitución de pastos por vegetación arbórea y mayores enfermedades animales.

Como continuación, Seo y Mendelsohn (2008) desarrollan un modelo Ricardiano estructural, que toma en cuenta las decisiones de adaptación de los productores. Consistente con los resultados anteriores, este análisis muestra que para el año 2100 el ingreso neto obtenido de ganado bovino para carne

descenderá entre 10% y 50%, dependiendo del escenario climático. En contraste, el ingreso neto proveniente de ganado bovino para leche se elevará de 30% a 50%. Los ingresos netos de ganado ovino, caprino y aviar suben 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, el ingreso neto ganadero hacia finales de siglo presenta incrementos significativos.

Con datos a nivel municipal para Brasil y a nivel de condados para los Estados Unidos, Mendelsohn y otros (2007) confirman que el cambio climático tiene efectos significativos en el ingreso rural, principalmente por sus efectos en la productividad agrícola. En los Estados Unidos, país en donde los productores agrícolas tienen acceso a capital y tecnología moderna, un aumento del 10% en la temperatura llevaría a una pérdida del 0,16% en el ingreso por habitante rural. La pérdida sería del 5,5% en un país subdesarrollado como Brasil. El análisis Ricardiano muestra que un incremento del 10% en la temperatura lleva a una reducción del 13% del valor de la tierra en los Estados Unidos y del 33% en Brasil. Como lo muestran los autores, 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.

Con una muestra de 2.003 granjas en siete países sudamericanos, Mendelsohn y Seo (2007) encuentran evidencia empírica de que el valor de la tierra es sensible a cambios climáticos. Incrementos en la temperatura tienen efectos negativos en el valor de la tierra, mientras que una mayor precipitación tiende a elevar el flujo de ingresos futuros de los productores. Sus resultados muestran que, en un escenario climático bastante severo, el valor de la tierra disminuirá 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.

Con una muestra mayor a 2.000 observaciones de granjas sudamericanas, Seo y Mendelsohn (2008^a) pronostican que los productores agrícolas de la zona perderán, en promedio, hasta 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, mientras que los otros lo son a cambios en la precipitación. En un análisis similar, Seo y Mendelsohn (2008^b) estiman que, en promedio, productores grandes y pequeños perderán hasta 25% del valor de su flujo de ingresos para 2060. El porcentaje sube hasta 50% en el escenario climático más severo correspondiente a 2100.

En un análisis para México (Mendelsohn, Christensen y Arellano, 2009) se muestran resultados bastante parecidos, 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, pues varía de acuerdo con el escenario climático que se utilice. En todos los casos, las pérdidas ocasionadas por el cambio climático para cualquier grupo de productores son negativas.

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

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

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).

Independientemente del enfoque metodológico en el que se inscriban, los estudios realizados a 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 grandes reducciones en la producción de cultivos, pero posibles ganancias netas en el bienestar del agricultor, una vez adaptado al cambio, así como mayores precios de los cultivos y efectos del CO₂ en el crecimiento de los cultivos.

De acuerdo con Darwin y otros (1995), existen dos limitaciones importantes que los estudios a nivel país/región no consideran: 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.

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

Entre los estudios basados en CGE, destaca el de Rosenzweig y Parry (1994), quienes examinaron los efectos del cambio climático en la producción mundial de cereal 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 cereal, 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% y 1%, mientras que los cambios en el precio mundial se ubicaron en -5% y 3,5%.

Por último, en los años noventa se comenzó a analizar los impactos potenciales del cambio climático sobre el ganado. Entre los estudios que se inscriben en esta nueva línea, los resultados son consistentes en cuanto a que, debido a las reducciones en la eficiencia de conversión de alimentación, el cambio climático global podría disminuir la ganancia de peso en los animales y la producción de productos lácteos durante el verano en zonas relativamente cálidas, como el sur de los Estados Unidos (Klinedinst y

otros, 1993; Baker y otros, 1993). En áreas relativamente frías, el ganado que pasta tiene generalmente un mejor desempeño (debido al mayor forrajeo), 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 el presente estudio se usarán tanto el enfoque estructural como el espacial, a fin de obtener resultados robustos metodológicamente.

Antes de describir la metodología utilizada, se revisarán algunos de los estudios que se han realizado previamente para Centroamérica.

2. Estudios previos para Centroamérica

Centroamérica es una región en la que los efectos del clima se han manifestado a través de importantes desastres naturales, los cuales han implicado pérdidas significativas en el sector agrícola. Los eventos climatológicos del Niño y la Niña han ocasionado mayor variación interanual en el clima de los trópicos. De acuerdo con Fournier y Di Stefano (2004), en la vertiente pacífica de Centroamérica, el Niño fue un período de menores lluvias, atraso en el inicio de las mismas, mayores temperaturas, reducción de la nubosidad, veranillos más prolongados entre julio y agosto y una mayor insolación. Esto ha favorecido la ocurrencia de incendios forestales y pérdidas en la producción de granos. También ha provocado desfases en la ejecución de prácticas de manejo agrícola, como el control de malezas, plagas y enfermedades, fertilizantes y recolección de cosechas.

Al respecto, Harmeling (2007) muestra que los países centroamericanos se encuentran entre los principales países con alto riesgo climático. Honduras y Nicaragua se ubican en la posición 1 y 2, respectivamente, en la posición del Índice Global de Riesgo Climático construido para el período 1997-2006, el cual involucra tanto las consecuencias económicas como poblacionales. Pocos son los países en el mundo que sufren fuertes impactos por fenómenos climáticos, tanto en frecuencia como intensidad, como es el caso de estas naciones, lo que hace necesario conocer las posibles implicaciones que en el futuro tendrá el cambio climático sobre la agricultura, un sector muy importante en la región centroamericana.

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

Magrin y Gay (en Alfaro y Rivera, 2008), en su estudio, encuentran que para los países de Mesoamérica, si no se consideran los efectos del CO₂, las reducciones en el rendimiento de los granos podrían alcanzar 30% para el año 2080 en el escenario más cálido. Se espera que para esta región, el cambio climático ocasione la salinización y desertificación de las tierras agrícolas; así, para 2050 estos fenómenos afectarán 50% de dichas tierras. Por otra parte, se proyecta que la demanda de agua para irrigación se incremente ante un clima más caliente y ocasione mayor competencia entre el uso doméstico y el agrícola.

En ese mismo sentido apuntan los resultados de Monterrosa de Tobar (1998) que, para el caso de El Salvador, hallan que el cambio climático podría ocasionar pérdidas que sólo para el cultivo de maíz significan entre 3,1 y 7,5 millones de dólares en 2025 y 2100, respectivamente. Al considerarse las pérdidas para la producción de granos básicos, encuentran que éstas llegan a 10,9 millones de dólares en el año 2025, y a 24,9 millones de dólares en 2100.

II. EL SECTOR AGROPECUARIO Y EL CAMBIO CLIMÁTICO

Como se señaló a nivel global, se sabe que la agricultura es especialmente vulnerable a los cambios de precipitación y temperatura. La producción de los diferentes cultivos reacciona de distinta manera a estos cambios. Las enfermedades y las plagas tienden a aumentar con la elevación de la temperatura. Las malas hierbas se propagan más y baja la calidad de los pastos (Backlund, Janetos y Schimel, 2009 y Cline, 2007). En los países del Istmo Centroamericano los efectos adversos del cambio climático sobre la agricultura se han acentuado en la presente década.

Debido a que las actividades agropecuarias del Istmo Centroamericano son altamente dependientes del clima, en particular de la precipitación, su vulnerabilidad es elevada. El área cultivada bajo riego es apenas 2,4% del total. A su vez, 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 del suelo agropecuario.

En este capítulo se examina la situación actual del sector agropecuario, a partir de la cual se estimarán los posibles efectos del cambio climático en las próximas décadas.

1. El aporte agropecuario y rural a la economía centroamericana

La agricultura y ganadería constituyen uno de los principales motores de la economía del Istmo Centroamericano; si se incluye a la agroindustria, representa 18% del PIB total. Además, son los principales abastecedores de alimentos y producen 35% de las exportaciones de bienes del Istmo. El sector agropecuario y el medio rural brindan gran parte del empleo, y el agro es un importante generador de ingresos para los hogares rurales. Su población migrante envía un flujo considerable de remesas, buena parte de los 13.000 millones de dólares que actualmente ingresan.

Las vinculaciones del sector con el resto de las actividades económicas 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 son fuente de ingresos tributarios. Como se comenta adelante, el medio rural también produce valiosos servicios ambientales, como: mitigación de emisiones, agua para riego, consumo urbano y generación de electricidad y servicios de ecoturismo, entre otros.

Con todo, la producción crece poco y los rendimientos y la competitividad son bajos. Por ejemplo, durante los últimos siete años el crecimiento agropecuario por habitante ha sido modesto (2,8%). La productividad de los principales productos de exportación —café, banano, caña de azúcar— y la de los granos básicos —maíz, frijol y arroz—, ha sido muy baja debido, entre otros factores, a la escasa capitalización del agro, a los daños derivados de fenómenos climáticos y a la emigración del capital humano. En el caso del maíz, que ocupa la mayor área cosechada —1,7 millones de hectáreas—, sus rendimientos representan menos del 50% del promedio mundial.

Los factores anteriores y la relativamente escasa innovación han incidido adversamente en la competitividad externa. En efecto, la competitividad de las exportaciones del Istmo no es elevada. De 25 grupos de productos agropecuarios y agroindustriales analizados para los países del Istmo en el lapso

2000-2007, sólo un país tiene cerca de 50% en la categoría de estrellas nacientes⁴. En los otros seis países sus productos clasificados como estrellas nacientes están por debajo o igual al 40%. Todos los otros productos se encuentran en mercados estancados o dinámicos, pero en los que pierden participación (véase el cuadro 1).

Los relativamente bajos niveles de competitividad y de productividad reflejan la tendencia, en 1995-2007, a una tasa reducida de inversión en la agricultura y el medio rural. Los sectores agropecuarios del Istmo sufrieron una pérdida de capitales financieros, físicos, naturales y humanos en las dos últimas décadas, con obvias diferencias entre países y entre actividades dinámicas y rezagadas. Las tendencias adversas están asociadas a la baja rentabilidad —precios reales menores e impactos de producción en ascenso—; a la reducción relativa del financiamiento, del gasto público y de la cooperación internacional; a la destrucción del capital natural y físico y, de manera importante, al descuido del capital humano.

2. Servicios ambientales de la agricultura y del medio rural

Desde hace más de una década en el Istmo Centroamericano se trabaja en reconocer, valorar y aprovechar los servicios ambientales producidos en el medio rural y, en particular, en las actividades agropecuarias. En el Istmo se producen diversos servicios ambientales, incluyendo los siguientes⁵:

a) La **mitigación de las emisiones de gases** con efecto invernadero, mediante la fijación, reducción y almacenamiento de CO₂. El Istmo cuenta con una cobertura boscosa de 21,5 millones de hectáreas y un área cultivada de 17,9 millones de hectáreas que realizan un importante servicio de captura de CO₂.

b) La **conservación de la biodiversidad**, mediante la protección y uso sostenible de especies, conservación de los ecosistemas y los procesos ecológicos, de los cuales se deriva la diversidad biológica y el acceso a la biodiversidad para fines científicos y comerciales.

c) La **protección de recursos hídricos**, en calidad, distribución en el tiempo y cantidad, para uso urbano, rural, industrial e hidroeléctrico, mediante la protección y el uso sostenible de fuentes de agua en general, acuíferos y manantiales, protección y recuperación de cuencas y microcuencas. La generación hidroeléctrica representa 50% de la producción total.

d) La **belleza escénica** de bosques, paisajes naturales y elementos de la biodiversidad, atractivos y la base para el desarrollo del turismo de playa y sol, turismo científico, de observación, ecoturismo y de aventura. Por último, los bosques, humedales, arrecifes y manglares, **mitigan los impactos de los desastres** causados por las inundaciones, derrumbes y sequías, asociados con fenómenos naturales.

⁴ Productos que ganan participación en mercados dinámicos.

⁵ Véase: Espinoza, Gatica y Smyle (1999).

Cuadro 1
ISTMO CENTROAMERICANO: COMPETITIVIDAD DE LAS EXPORTACIONES
AGROALIMENTARIAS A LOS ESTADOS UNIDOS, 2000-2007
(Tipología de los productos)

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

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

3. El Istmo Centroamericano ante el cambio climático

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

Los últimos 40 años se han intensificado los eventos extremos con consecuencias adversas para el sector agropecuario. Esta tendencia ha sido más acentuada en la década actual. Una estimación de los daños y pérdidas totales⁶, debido a los principales eventos ocurridos entre 1972-2007, arroja un total de casi 11.000 millones de dólares, equivalente a 5,7% del PIB centroamericano en 2007. Cerca del 60% de ese valor constituyeron los efectos desastrosos del huracán Mitch en 1998, mayormente concentrados en Honduras (véase el cuadro 2).

En el período considerado el sector agropecuario sufrió pérdidas y daños por 3.702 millones de dólares. Una muy grave consecuencia fue la destrucción de capital físico (2.072 millones de dólares), cuya formación ha sido tendencialmente lenta en el sector.

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

En Guatemala los presidentes centroamericanos en octubre de 1999 declararon el quinquenio 2000-2004 de “Reducción de las Vulnerabilidades y del Impacto de Desastres” por medio de la prevención y la mitigación. En el contexto anterior, la Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo (CCAD) y el Consejo Agropecuario Centroamericano (CAC) han venido trabajando en iniciativas relacionadas con los efectos del cambio climático en la agricultura del Istmo Centroamericano.

En 2005 la CCAD aprobó el Plan Ambiental de la Región Centroamericana (PARCA) 2005-2010 (CCAD, 2005) como herramienta estratégica para enfrentar los retos ambientales. El Plan incluye un apartado sobre adaptación y mitigación al cambio climático. Para elevar la capacidad de adaptación se propone trabajar en la gestión de ecosistemas priorizados a fin de mitigar los cambios climáticos y reducir el riesgo y la vulnerabilidad.

Posteriormente, la Comisión aprobó, en abril de 2008, los **Lineamientos de la Estrategia Regional de Cambio Climático**, en los que se propone evaluar la vulnerabilidad de los sistemas de producción agropecuarios, forestales y pesqueros ante los impactos del cambio climático y desarrollar estrategias para enfrentarlo. Asimismo, se busca fortalecer las iniciativas nacionales y regionales de gestión sostenible de los ecosistemas forestales y costero-marinos, y las cuencas hidrográficas con objeto de combatir la degradación de suelos, las sequías y el cambio inapropiado del uso de suelos (CCAD, 2008).

Los Lineamientos incluyen cuatro áreas programáticas: vulnerabilidad y adaptación; mitigación; desarrollo institucional y de capacidades; educación, concienciación y sensibilización pública, y gestión internacional. A partir de éstos se está formulando la Estrategia Regional de Cambio Climático.

⁶ Se refiere a la destrucción total o parcial del acervo o capital, así como a las pérdidas o alteraciones de los flujos

Cuadro 2
ISTMO CENTROAMERICANO: DAÑOS Y PÉRDIDAS EN EL SECTOR AGROPECUARIO POR LOS DESASTRES, 1972-2008
(En millones de dólares)

Evento	Daños y pérdidas totales	Agropecuario			Porcentaje con relación a los daños y productos totales			PIB corriente de cada año	Daños y pérdidas totales/PIB
		Total	Daños	Pérdidas	Agropecuario/total	Daños/agropecuario	Pérdidas/agropecuario		
Gran total	10 892,8	3 702,1	2 071,7	1 630,4	34,0	56,0	44,0	192 293,5	5,7
1972 Terremoto - Nicaragua	772,0	878,6	87,9
1974 Huracán Fifi - Honduras	207,9	69,5	69,5	...	33,4	100,0	-	1 034,5	20,1
1976 Terremoto - Guatemala	1 152,0	10,5	10,5	...	0,9	100,0	-	4 365,3	26,4
1982 Terremoto - El Salvador	128,5	87,5	74,4	13,1	68,1	85,0	15,0	3 399,2	3,8
1982 Inundaciones - Nicaragua	354,0	109,7	78,1	31,6	31,0	71,2	28,8	2 454,5	14,4
1983 Lluvias atípicas - Nicaragua	350,0	125,0	85,0	40,0	35,7	68,0	32,0	2 753,1	12,7
1998 Mitch - Centroamérica	6 008,5	2 936,7	1 679,7	1 257,0	48,9	57,2	42,8	54 272,7	11,1
Costa Rica	91,1	62,4	25,9	36,5	68,5	41,5	58,5	14 095,9	0,6
El Salvador	388,1	158,3	111,7	46,6	40,8	70,6	29,4	12 008,4	3,2
Guatemala	748,0	499,4	187,6	311,8	66,8	37,6	62,4	19 393,7	3,9
Honduras	3 793,6	2 031,4	1 226,2	805,2	53,5	60,4	39,6	5 202,2	72,9
Nicaragua	987,7	185,2	128,3	56,9	18,8	69,3	30,7	3 572,5	27,6
Sequía - Istmo Centroamericano	189,1	110,5	-	110,5	58,4	-	100,0	71 792,1	0,3
Costa Rica	8,8	-	-	-	-	-	-	16 403,6	0,1
El Salvador	31,4	25,5	-	25,5	81,2	-	100,0	13 812,7	0,2
Guatemala	22,4	12,3	-	12,3	54,9	-	100,0	18 701,4	0,1
Honduras	51,5	32,3	-	32,3	62,7	-	100,0	7 566,5	0,7
Nicaragua	48,7	29,1	-	29,1	59,8	-	100,0	4 102,7	1,2
Panamá	26,3	11,3	-	11,3	43,0	-	100,0	11 205,1	0,2
2002 Huracán Keith - Belice	280,1	62,2	38,7	23,4	22,2	62,3	37,7	932,2	30,0
2005 Tormenta Stan - El Salvador	355,6	48,7	21,6	27,1	13,7	44,4	55,6	17 070,2	2,1
2005 Tormenta Stan - Guatemala	988,3	77,7	23,5	54,2	7,9	30,3	69,7	27 270,7	3,6
Huracán Felix- RAAN y Ondas tropicales 35 y 36 y La Vaguada - Nicaragua	297,0	68,3	8,1	60,2	23,0	11,9	88,1	5 725,9	5,2
2007 Huracán Dean - Belice	89,9	57,9	21,2	36,7	64,4	36,7	63,3	1 276,8	7,0

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

El CAC en su **Política Agrícola Centroamericana 2008-2017** incluye un apartado de Gestión Ambiental, en el cual se propone la formulación de una Estrategia Regional Agroambiental, que promueva procesos productivos que sustenten la seguridad alimentaria y la sostenibilidad ambiental, social y económica, contribuyendo a la reducción de la pobreza de la población; e incorporar el manejo de los recursos naturales para consolidar el Corredor Biológico Mesoamericano (CCAD, 2007).

La Estrategia Regional es concebida como una plataforma regional de colaboración de los sectores agrícola, ambiental y de salud, para la armonización de políticas y de agendas comunes,

focalizadas en cuatro ejes estratégicos: manejo sostenible de tierras, cambio climático y variabilidad climática, biodiversidad y negocios verdes (CAC, 2007).

Asimismo, el CAC desde inicios de los años 2000 ha venido proponiendo acciones para enfrentar los efectos del cambio climático, en particular de las sequías. La Estrategia para el manejo de la sequía en el sector agropecuario de Centroamérica incluyó como su objetivo reducir la vulnerabilidad y el impacto de las sequías en el sector agropecuario centroamericano. Para ello, se propone mejorar el conocimiento acerca de las causas y posibilidades de influir sobre las sequías. Adaptar la agricultura centroamericana en respuesta al calentamiento global y a la tendencia a la desertificación. La Estrategia incluye las siguientes áreas estratégicas: fortalecimiento institucional, información y comunicación, ciencia y tecnología, educación y capacitación, financiamiento y cobertura de riesgos, cooperación internacional, seguridad alimentaria y comercio (CAC, 2002).

A la fecha existe relativamente poca información y evaluaciones de los efectos de estos programas y estrategias, en algunos casos explicado por lo reciente de estas medidas.

III. METODOLOGÍAS

El clima es un determinante básico de la productividad agrícola, es fundamental entender y estimar los efectos del cambio climático en el sector agrícola, ya que puede afectar los tipos de cultivos, su producción y las frecuencias e intensidad de las cosechas. Sin embargo, esto es complejo si se considera que diferentes variables pueden interferir y que el ser humano tiende a adaptar su comportamiento ante los cambios (Adams y otros, 1998; Maddison, Manley y Kurukulasuriya, 2007).

Como se comentó anteriormente, 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, el cual estima los impactos alterando una o más variables, como la precipitación o temperatura.

De acuerdo con Mendelsohn, Nordhaus y Shaw (1994), este enfoque puede llevar a sobrestimar los efectos negativos del clima, ya que no considera 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, así como los valores máximos más allá de aquéllos donde las condiciones climáticas se vuelven perjudiciales.

Otra metodología mediante 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 al valor neto de las tierras cultivadas. Al medir directamente los precios agrícolas o ganancias se consideran los impactos directos del clima en los diferentes cultivos, así como la sustitución de diversos insumos, la introducción de varias actividades y otras adaptaciones potenciales a climas distintos (Mendelsohn, Nordhaus y Shaw, 1994). Este modelo proporciona una herramienta 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 (diferentes usos de la tierra). Sin embargo, no permite conocer los efectos sobre cultivos específicos.

Dadas las ventajas y desventajas de los dos enfoques, se consideran complementarios. A diferencia de muchos estudios que utilizan sólo uno de ellos, en éste se emplearán ambos enfoques, considerando 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 (X) y la forma en que se combinan para producir un bien determinado (Y).

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

Si se sigue a Fleischer, Lichtman y Mendelsohn (2007), una función de producción agrícola (Q) se puede expresar con base en variables endógenas, exógenas y de variables que representan la habilidad o capacidad de los agricultores. Las variables endógenas (**x**) incluyen trabajo, capital, fertilizantes y otros insumos. Las exógenas (**z**) comprenden variables climáticas. Las características de los agricultores (**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 la producción agropecuaria o el rendimiento por hectárea de un producto determinado y el subíndice t indica el tiempo o el año considerado.

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

$$\pi_t = \sum_{j=1}^n [p_{j_t} Q_{j_t}(m_t, z_t, x_{j_t}) - w_t x_{j_t}], \quad j=1,2,\dots,n \text{ cultivos} \quad (3)$$

donde p_j representa los precios del producto j y w los precios de los insumos del producto j .

Un supuesto subyacente en este enfoque es que los agricultores buscan maximizar sus beneficios y, por lo tanto, eligen aquella cantidad de insumos (**x**) que se los permita, considerando como dadas a las variables exógenas como el clima. La cantidad óptima de insumos debe satisfacer la siguiente condición de primer orden en cada uno de los períodos considerados:

$$p_j \frac{\partial Q}{\partial x_t} = w, \quad j=1,2,\dots,n \quad (4)$$

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 cuatro grandes grupos: producción agropecuaria, producción de cultivos, producción de cereales 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:

$$Agropecuaria_{it} = f(m_{it}, z_{it}, x_{it}), \quad i=1,\dots,N, \text{ países} \quad t=1,\dots,T \quad (5)$$

$$Cultivos_{it} = f(m_{it}, z_{it}, x_{it}), \quad i=1,\dots,N, \text{ países} \quad t=1,\dots,T \quad (6)$$

$$Cereales_{it} = f(m_{it}, z_{it}, x_{it}), \quad i=1, \dots, N, \text{ países} \quad t=1, \dots, T \quad (7)$$

$$Pecuaria_{it} = f(m_{it}, z_{it}, x_{it}), \quad i=1, \dots, N, \text{ países} \quad t=1, \dots, T \quad (8)$$

Asimismo, y en segundo lugar, este estudio presenta un análisis de los efectos del cambio climático sobre el rendimiento de tres productos agrícolas: maíz, frijol y arroz. Para estos cultivos, las ecuaciones a estimar se representan de la siguiente forma:

$$Maiz_{it} = f(m_{it}, z_{it}, x_{it}), \quad i=1, \dots, N, \text{ países} \quad t=1, \dots, T \quad (9)$$

$$Frijol_{it} = f(m_{it}, z_{it}, x_{it}), \quad i=1, \dots, N, \text{ países} \quad t=1, \dots, T \quad (10)$$

$$Arroz_{it} = f(m_{it}, z_{it}, x_{it}), \quad i=1, \dots, N, \text{ países} \quad t=1, \dots, T \quad (11)$$

Para la estimación de la función de producción se elige, por lo general, una forma funcional cuadrática, con el fin de poder identificar los niveles a los que el clima (temperatura y precipitación) tiene efectos positivos o negativos sobre la producción. 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 estimaciones de 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.

La estimación de la función de producción para el caso de los cuatro índices de producción se llevó a cabo utilizando el método de mínimos cuadrados ordinarios (MCO). En el caso de la estimación sobre los rendimientos de los productos (maíz, frijol y arroz) se usó la metodología de efectos fijos, esto con el fin de explotar las ventajas que tienen las estimaciones basadas en datos de panel, entre las cuales, de acuerdo con Baltagi (2005), se encuentran las siguientes: a) permiten controlar por la heterogeneidad individual; b) los datos de panel aportan un mayor volumen de información, con más variabilidad, poca colinealidad, más grados de libertad y mayor eficiencia; c) permiten estudiar de mejor manera la dinámica de los ajustes, y d) se pueden detectar efectos no observables con series de tiempo y corte transversal, por separado.

En última instancia, el método de estimación para los datos de panel dependerá de las suposiciones que se tengan con respecto al parámetro de intersección, los coeficientes de las pendientes y el término de error.

Con el fin de considerar el carácter individual de cada país se permite que el coeficiente de intersección varíe a través de los países, manteniendo los coeficientes de pendiente constantes. Este modelo es conocido como de *efectos fijos* y se emplea como se dijo anteriormente para el caso de los productos (maíz, frijol y arroz).

Una vez calculada la función de producción, se estima el impacto de las variaciones de uno o más factores, como temperatura, precipitación, niveles CO₂, entre otros. De esta manera, se pueden obtener estimaciones de 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 incrementar 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 fonología 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 también se estima 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 (2007) estima que el cambio climático durante el período 1960 a 2000 ha causado un incremento de 2% a 4% en la producción agrícola global. Señala que el futuro cambio climático puede llegar a ser benéfico hasta cierto punto, un aumento en la temperatura de 2,5° C, a partir del cual los efectos empezarán 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, Nordhaus y Shaw, 1994); además, ha sido uno de los enfoques líderes en el análisis de los efectos directos del cambio climático en la productividad agrícola.

El modelo Ricardiano es 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:

$$\pi = \sum p_i Q_i(m, z, x) - \sum w_x x \quad (12)$$

donde p_i es el precio de mercado del cultivo i , x un vector de insumos, w_x el vector de precios de los insumos, z un vector de variables climáticas y m representa un vector de otras variables que afectan la producción del cultivo i . Los productores eligen 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, entre otros) y el precio de mercado de los productos. La función óptima resultante es:

$$\pi^* = f(p_i, m, z, w_x) \quad (13)$$

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

$$LV = \int_0^{\infty} \pi_t^* \cdot e^{-rt} dt \quad (14)$$

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 agrícola o ganancias netas agrícolas 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 agrícola 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. En cambio, el ingreso neto agrícola 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 se sigue a Seo y Mendelsohn (2008a), el modelo anterior puede estimarse econométricamente de la siguiente forma:

$$LV = \beta_0 + \beta_1 \cdot T + \beta_2 \cdot T^2 + \beta_3 \cdot P + \beta_4 \cdot P^2 + \beta_5 T \cdot P + \sum_j \lambda_j \cdot m_j + e \quad (15)$$

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, m representa un conjunto de variables socioeconómicas 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, Nordhaus y Shaw, 1994).

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

$$\frac{\partial LV_i}{\partial T} = \beta_1 + 2 \cdot \beta_2 \cdot T + \beta_5 \cdot P \quad (16)$$

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

$$\Delta LV = LV(C_1) - LV(C_0) \quad (17)$$

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 (15) 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 las modificaciones en los precios agrícolas. Finalmente, el modelo de análisis Ricardiano tampoco incluye medidas por parte de los productores con relación al costo de adaptación al cambio climático.