

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 desarrollo y crecimiento 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 desempeñan un papel determinante. Cuando los suelos están húmedos, la temperatura es usualmente el factor ambiental determinante en la velocidad de germinación. Por otra parte, la temperatura afecta muchos aspectos del crecimiento incluyendo el desarrollo de los sistemas reticulares, la velocidad a la que absorben agua y nutrientes, el desarrollo y expansión de las hojas, la floración y el rendimiento (Wild, 1992).

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 cambios (Adams, Hurd y Reilly, 1999). Por ejemplo, algunos cultivos 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 los cultivos. Los cambios en la precipitación dañan directamente la humedad del suelo y, por lo tanto, la producción de alimentos.

Por su parte, el cambio climático tiene efectos directos sobre la producción pecuaria, como los incrementos en la temperatura, que se relacionan directamente con la mortandad de los animales, y efectos indirectos, como la disponibilidad de alimentos y el alza en los precios de los granos generados por sequías.

Por otro lado, una mayor cantidad de CO₂ en la atmósfera puede impulsar la productividad agrícola hasta un cierto nivel, ya que este compuesto es un elemento indispensable en la fotosíntesis de las plantas. El CO₂ estimula la fotosíntesis en determinadas plantas⁷. En presencia de CO₂, las plantas C₃, que contribuyen con el suministro mundial de alimentos, fijan el CO₂ si el agua es abundante⁸ o si los niveles de luz son bajos (Audesirk, 2003). Por su parte, dadas las mismas condiciones, las plantas C₄ aprovechan mejor el CO₂ cuando la energía luminosa es abundante y no así el agua; estas plantas incluyen cultivos tropicales como el maíz, sorgo y la caña de azúcar, que son importantes para la seguridad alimentaria de los países latinoamericanos.

No obstante, los efectos positivos ocasionados por el aumento de CO₂ pueden reducirse por cambios en la temperatura y la precipitación, así como por incrementos en plagas, maleza y variaciones en la disponibilidad de nutrientes en el suelo (PNUMA y UNFCCC, 2004).

⁷ La diferencia entre las plantas C₃ y C₄ se debe al tipo de fotosíntesis (fijación de carbono) que llevan a cabo. Las plantas C₃ representan más del 95% de las especies vegetales del planeta (incluyen gran parte de las especies de cultivos, como el trigo, el arroz, la cebada y el frijol). Florecen en climas fríos, húmedos y nublados, donde los niveles de luz pueden ser bajos, debido a que su metabolismo es más eficiente. Las plantas C₄ habitan en ambientes secos con elevadas temperaturas. Tienen muy alta eficiencia del uso del agua. Aun cuando menos del 1% de las especies vegetales de la tierra pueden ser clasificados como C₄, representan el 20% de la productividad primaria bruta.

⁸ Ya que los estomas de las plantas se mantienen abiertos y permiten el ingreso abundante de CO₂.

1. Impacto en las funciones de producción agropecuaria

En el presente análisis, mediante el enfoque de la función de producción, se calcula el impacto de los cambios en temperatura y precipitación sobre el sector agropecuario para el período 1961-2005. También se examina el impacto directo de cambios en variables climáticas y emisiones de CO₂ sobre los índices de producción agropecuaria, cultivos, cereales y producción pecuaria.

En su fase inicial, se consideró construir el modelo de la función de producción con la metodología de panel de efectos fijos, con datos anuales para el período 1961-2005 a fin de capturar la heterogeneidad no observable en el tiempo entre los países del Istmo Centroamericano. Sin embargo, para el caso de los índices de producción, se optó por no tomar en cuenta las diferencias entre países o entre períodos temporales y utilizar un *pool* de datos, debido a un mejor ajuste de las variables climáticas. La muestra total para la estimación por medio de MCO consistió en 315 datos (véase el cuadro 3).

Para realizar el análisis, se utilizaron los índices de producción agropecuaria tipo Laspeyres, base 1999-2001, construidos por la FAO⁹, para los siete países del Istmo Centroamericano (véase el anexo I). Los datos meteorológicos (precipitación y temperatura) fueron proporcionados por el Grupo de Cambio Climático y Radiación Solar del Centro de Ciencias de la Atmósfera de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Estos datos corresponden a información de temperatura y precipitación anuales por país. Los niveles de emisión del sector energía de CO₂¹⁰ se utilizaron como un proxy de la concentración total de CO₂¹¹ (véase el anexo II). Por otra parte, se incluyeron algunas variables de control como PIB (información de CEPAL) y población (información de CELADE). Los datos de la superficie de tierra arable y cultivos permanentes, la superficie de tierra bajo riego, la PEA rural y la PEA total provienen de la base FAOSTAT¹².

a) Resultados

Las ecuaciones de funciones de producción regionales fueron estimadas para cuatro índices de producción agropecuaria (producción agropecuaria en su conjunto, de cultivos, de cereales y pecuaria). Las variables explicativas incluyen variables climáticas (temperatura máxima anual y precipitación

⁹ Los índices FAO de producción agropecuaria muestran el nivel relativo del volumen global de producción agropecuaria para cada uno de los años, en comparación con el período base 1999-2001. Están sustentados en la suma de las cantidades a precios ponderados de los diferentes productos agropecuarios producidos, después de la 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, exceptuadas las semillas y la alimentación de los animales. Todos los índices se calculan por la fórmula Laspeyres. Las cantidades de producción de cada producto son ponderadas por la media de los precios internacionales de los productos para el período base 1999-2001 y sumadas para cada año.

¹⁰ Datos provenientes de “*The Climate Analysis Indicators Tool (CAIT)*”. Se utilizaron emisiones de CO₂ por contar con una serie histórica desde 1961 para cada uno de los países analizados.

¹¹ Como un ejercicio adicional, se realizaron dos estimaciones incluyendo emisiones de CO₂ y precipitación en el cálculo de los índices agropecuarios. En ellas se excluyó la temperatura para eliminar la posible existencia de colinealidad entre las variables. Las estimaciones se realizaron con el fin de mostrar el posible efecto del CO₂ sobre la producción agropecuaria. Debido a la inexistencia de series históricas de concentraciones de CO₂ por país, se utilizaron series de emisiones. Por tal motivo, es importante considerar que los resultados pueden no ser concluyentes y se recomienda que sean tomados sólo como ilustrativos.

¹² FAO, División de Estadísticas.

acumulada en los meses de mayo a octubre¹³. Se incluyeron términos cuadráticos para estas variables con el objetivo de captar su efecto no lineal sobre los índices de producción. De igual manera, se consideraron variables independientes como población y la participación de la PEA rural en la PEA total en todos los índices. Al mismo tiempo, se incorporaron las variables superficie de tierra arable y cultivos permanentes y superficie de riego en las regresiones de cultivos y cereales, así como la variable de PIB en los índices de cereales y pecuario.

Cuadro 3
ISTMO CENTROAMERICANO: ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA, 1961-2005^a

	Observaciones	Media	Desviación estándar	Valor mínimo ^b	Valor máximo ^b
Índice de producción agropecuaria ^c	315	70	25,75	13	136
Índice de producción de cultivos	315	76,2	28,7	12,0	138,0
Índice de producción de cereales ^d	315	78,6	27,7	5,0	138,0
Índice de producción pecuaria ^e	315	64,4	27,8	18,0	154,0
Maíz ^f	322	1,4	0,5	0,5	3,1
Frijol ^f	322	0,6	0,2	0,2	1,3
Arroz ^f	322	2,6	1,1	0,7	7,5
Superficie arable y cultivos permanentes (miles de hectáreas)	315	984,5	641,1	42,0	2 564,0
Superficie provista de riego (miles de hectáreas)	315	48,7	33,5	1,0	130,0
Participación de la PEA rural en la PEA total	315	0,5	0,1	0,3	0,7
Consumo de carne (toneladas destinadas al consumo alimenticio)	301	70 801,6	53 709,0	2 301,0	291 513,0
PIB (millones de dólares)	315	6 181,0	4 548,2	90,8	19 960,4
Población (miles)	322	3 656,0	2 627,3	96,0	13 018,0
Precipitación acumulada anual (mm)	315	2 373,8	494,7	1 273,7	3 833,6
Precipitación media anual (mm)	322	198,5	41,3	106,1	319,5
Precipitación media anual en los meses de mayo a octubre (mm)	322	297,1	59,8	158,3	495,3
Precipitación media anual en los meses de noviembre a abril (mm)	322	99,9	45,6	7,7	286,5
Temperatura promedio anual (°C)	322	24,7	0,8	22,8	26,2
Temperatura máxima (°C)	315	31,76	1,12	29,13	34,8

Fuente: Elaboración propia.

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

^b Se refiere a observaciones por país.

^c 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, con excepción de los cultivos forrajeros.

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

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

^f Rendimientos por hectárea.

¹³ Se consideraron mayo a octubre por ser los meses donde se concentra la mayor precipitación en el año (época de lluvia), y los meses de siembra de la mayor parte de los cultivos de temporal.

En el caso de los índices de producción agropecuaria, de cultivos y cereales, se consideró la precipitación acumulada en los meses de mayo a octubre con el fin de capturar el efecto de la variable precipitación en la época de siembra y crecimiento de los cultivos. Para cada una de las funciones de producción de los diferentes índices, se utilizaron distintas especificaciones. En el presente documento se reportan aquellas que presentan signos esperados y niveles de significancia aceptables.

b) Índices de producción agropecuaria

Los resultados empíricos de este ejercicio muestran la sensibilidad de la producción agropecuaria a variables climáticas. Se observan pérdidas en la producción agropecuaria como consecuencia del cambio climático.

Las ecuaciones de índices de producción agropecuaria, cultivos y cereales fueron estimadas con la precipitación acumulada en los meses de mayo a octubre. Para el caso del índice de producción pecuaria, el efecto de la precipitación es indirecto, por lo cual se estimó con la desviación de su media. Los resultados se muestran en el cuadro 4. La inclusión de las variables climáticas captura el papel que tiene el clima en la determinación de la producción agropecuaria. Los signos de las variables precipitación y temperatura son los esperados en el término lineal y cuadrático. Sin embargo, el término lineal de la precipitación no es significativo en el caso de las ecuaciones de los índices de producción agropecuaria y cereales. Con respecto a la temperatura, el término lineal y el cuadrático son significativos en todos los casos.

El signo negativo en los términos cuadráticos demuestra que las funciones presentan rendimientos decrecientes en temperatura y precipitación (véanse los gráficos 1 y 2). En promedio, niveles por debajo de 27° C provocarían incrementos en la producción agropecuaria. Una vez sobrepasado ese nivel de temperatura, se observan reducciones en la misma. Asimismo, en promedio en la región, durante la temporada de lluvias los niveles de precipitación acumulada mayores a 1.500 mm tienden a producir rendimientos decrecientes en la producción.

Los resultados muestran una relación negativa de la participación de la PEA rural en la total. El signo no esperado podría reflejar una mayor productividad en el sector, acompañado por un traslado de la PEA del sector primario hacia el secundario y terciario. De igual manera, el coeficiente relacionado con la población presenta el signo positivo esperado. Este parámetro es significativo en los casos en que se incluyó la variable; sólo el caso del índice de cereales muestra un signo negativo, aunque no es significativo. La superficie de tierra arable y cultivos permanentes, así como la superficie provista de riego, registran los signos positivos esperados. El coeficiente relacionado con el PIB posee el signo positivo esperado y es significativo. Para cada una de las funciones se probaron diferentes especificaciones; sólo se reportan aquellas que tuvieron la mayor consistencia estadística, y para ello se comprobó que los residuales de las regresiones fueran estacionarios¹⁴.

Debido a que las ecuaciones se estiman usando datos en sección cruzada, los problemas de heterocedasticidad, multicolinealidad y la estabilidad de los parámetros son relevantes. En el trabajo de Segerson y Dixon (2004) se especifica que la inclusión de variables climáticas incrementa los niveles de colinealidad debido a la inserción de los términos cuadráticos. No obstante, como se argumentó antes, la inclusión de los términos cuadráticos es importante para capturar el efecto no lineal de las variables climáticas sobre la producción y poder obtener estimaciones de los niveles a los que el clima tiene efectos adversos. Como hacen notar los autores, es importante tomar en cuenta algunas implicaciones de la

¹⁴ Esto permite descartar la posibilidad de regresiones espurias.

colinealidad en las variables climáticas. Los coeficientes deben interpretarse cuidadosamente, además de considerar que el resultado de un coeficiente no significativo a los niveles estándares de significancia no debe tomarse como evidencia de que esa variable es irrelevante para el modelo.

Cuadro 4
ESTIMACIONES DEL MODELO DE MCO SOBRE LOS ÍNDICES DE PRODUCCIÓN

	Agropecuaria	Cultivos	Cereales	Pecuaria
Desviación de la precipitación				-0,004974 (2,2586) **
Precipitación acumulada en los meses de mayo a octubre	0,029883 (1,3237)	0,059692 (2,0261) **	0,013575 (0,5038)	
Precipitación acumulada en los meses de mayo a octubre ²	-0,000011 (1,8383) *	-0,000019 (2,4204) **	-0,000006 (0,7757)	
Temperatura máxima	7,832705 (4,6578) ***	5,966663 (2,6230) ***	6,958191 (3,3893) ***	10,225049 (9,0532) ***
Temperatura máxima ²	-0,146338 (3,9321) ***	-0,107786 (2,0462) **	-0,142642 (3,0036) ***	-0,195 (5,8756) ***
Participación de PEA rural/ PEA total	-144,80477 (13,5057) ***	-147,64344 (9,7172) ***	-79,64499 (5,7289) ***	-179,208276 (16,0259) ***
Población	0,000007 (16,1275) ***	0,000004 (3,3609) ***	-0,000001 (0,3713)	0,000005 (7,7555) ***
Superficie de tierra arable y cultivos permanentes		0,01153739 (2,7946) ***	0,0157634 (3,2995) ***	
Superficie de riego		0,01983 -0,2689	0,087658 -1,1214	
PIB			0,002852 (4,6206) ***	0,001069 (2,8060) ***
Observaciones	315	315	315	315
R ^{2a}	0,53	0,36	0,46	0,61

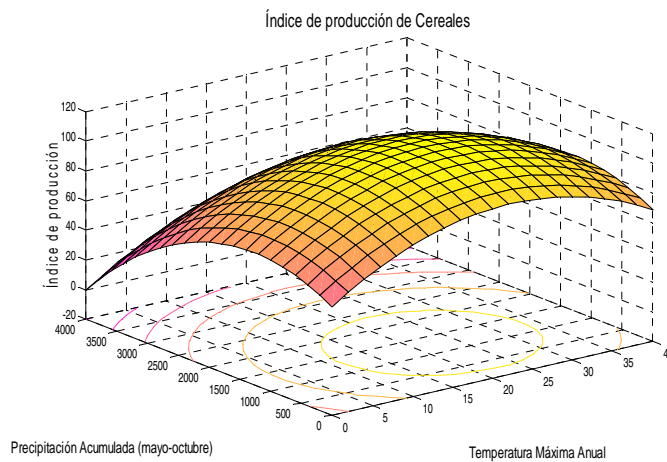
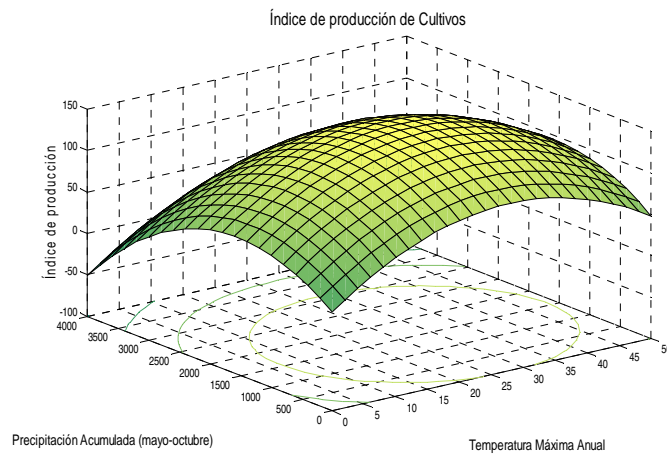
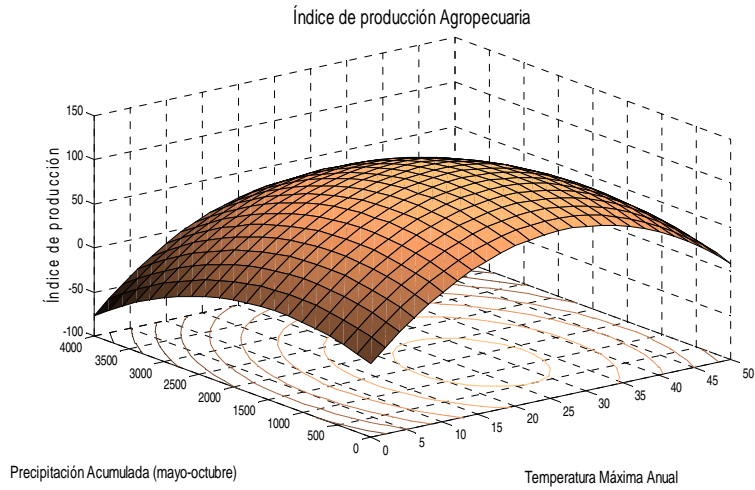
Fuente: Elaboración propia.

^a Debido a que se suprimió la constante de las ecuaciones, la R² no es relevante; sin embargo, se reporta la que proporciona el programa E-views.

Valores absolutos del t-estadístico entre paréntesis.

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

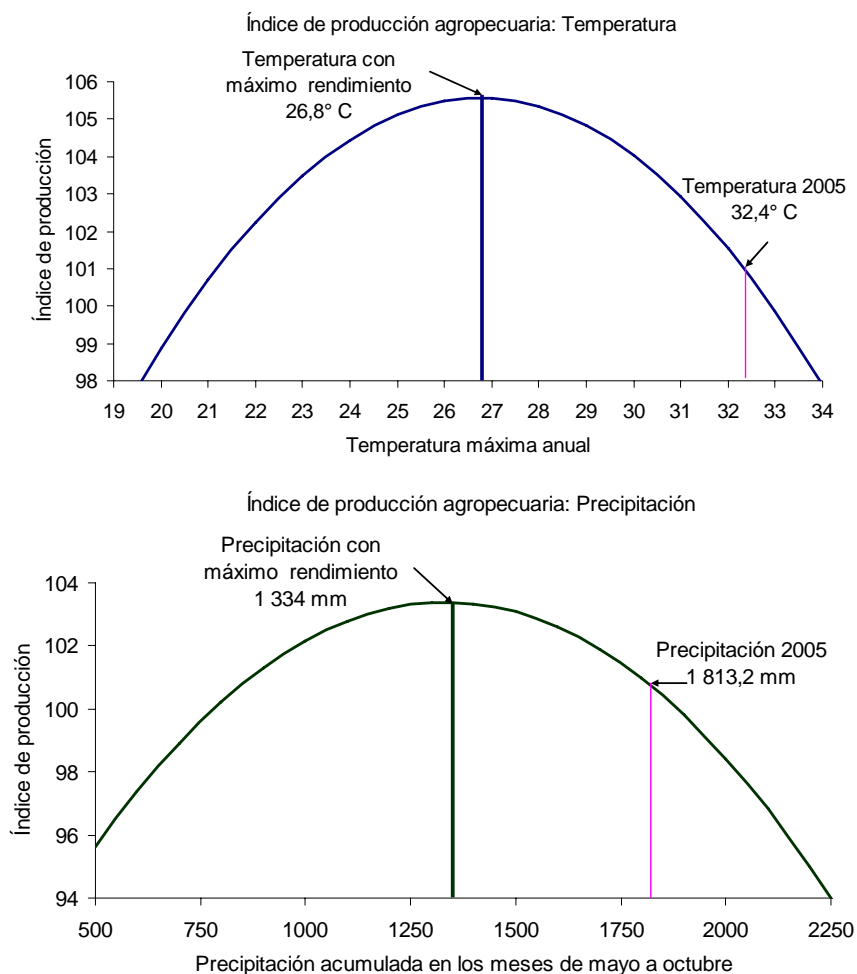
Gráfico 1 ISTMO CENTROAMERICANO: IMPACTOS DE CAMBIOS EN PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURA EN LA PRODUCCIÓN AGROPECUARIA



Fuente: Elaboración propia.

Con el fin de evaluar algunos de los efectos del cambio climático sobre la producción agropecuaria, se estimaron, con base en los coeficientes de las funciones de producción presentadas en el cuadro 4, los niveles que tendrían los índices de producción a distintos valores de temperatura y precipitación. El gráfico 2 muestra estos resultados. Las estimaciones indican que en todos los índices de producción ya se sobrepasó la temperatura que maximiza la producción. En el caso donde se incluyó precipitación, los resultados también sugieren que en 2005 ya se habría rebasado la precipitación que permite obtener la mayor producción (véase de nuevo el gráfico 2). La temperatura y la precipitación se encuentran en la parte decreciente de la función, sugiriendo que incrementos en ambas variables ocasionarán pérdidas en la producción agropecuaria. Por lo tanto, es prudente afirmar que el cambio climático tiene consecuencias negativas para la producción agropecuaria.

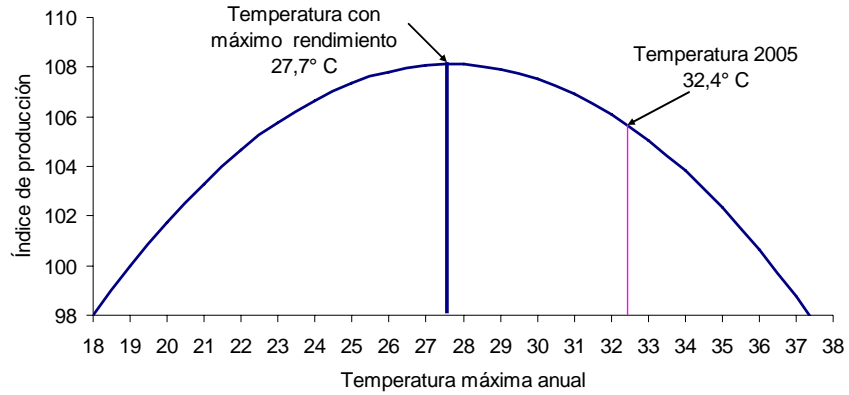
Gráfico 2
ISTMO CENTROAMERICANO: ÍNDICES DE PRODUCCIÓN AGROPECUARIA ANTE VARIACIONES EN LA TEMPERATURA Y PRECIPITACIÓN



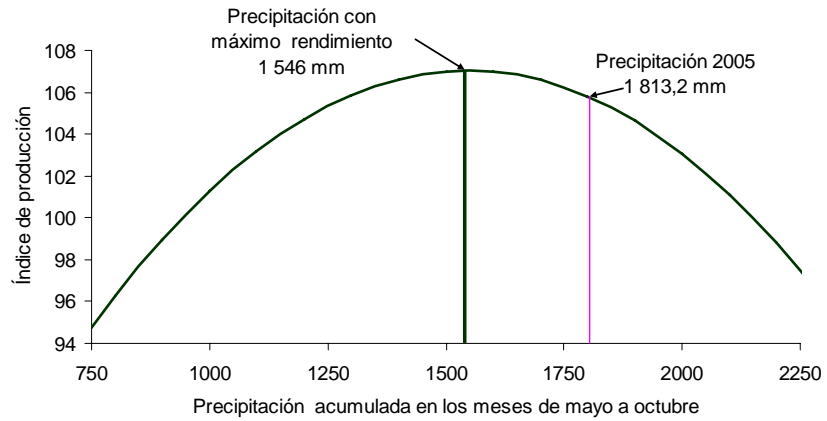
(Continúa)

Gráfico 2 (Continuación)

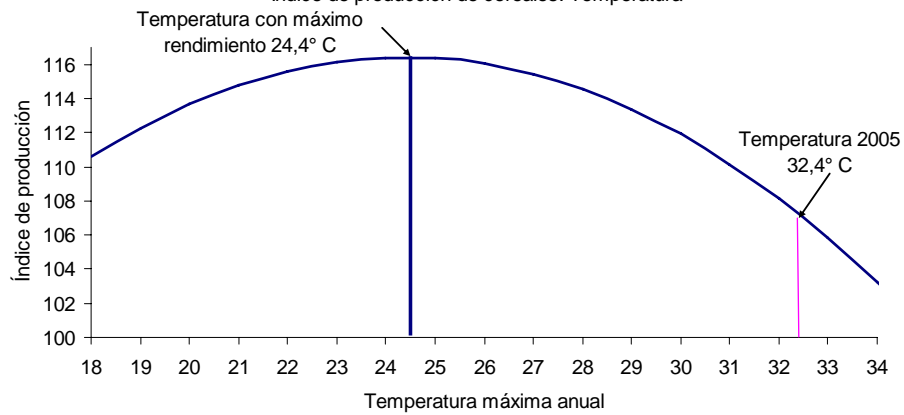
Índice de producción de cultivos: Temperatura



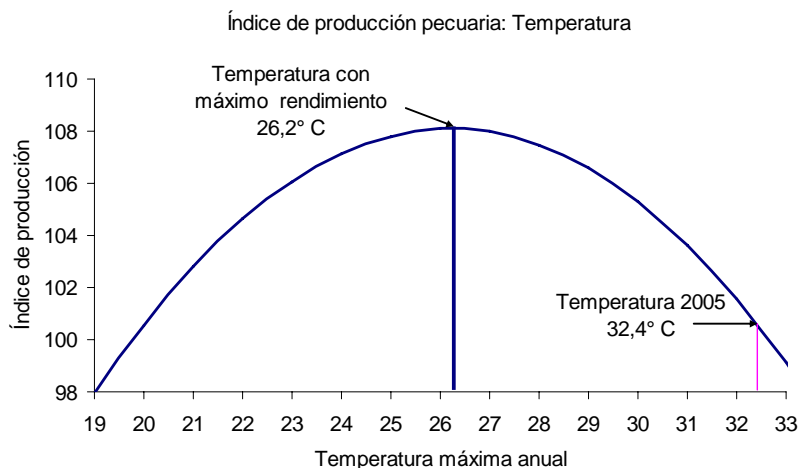
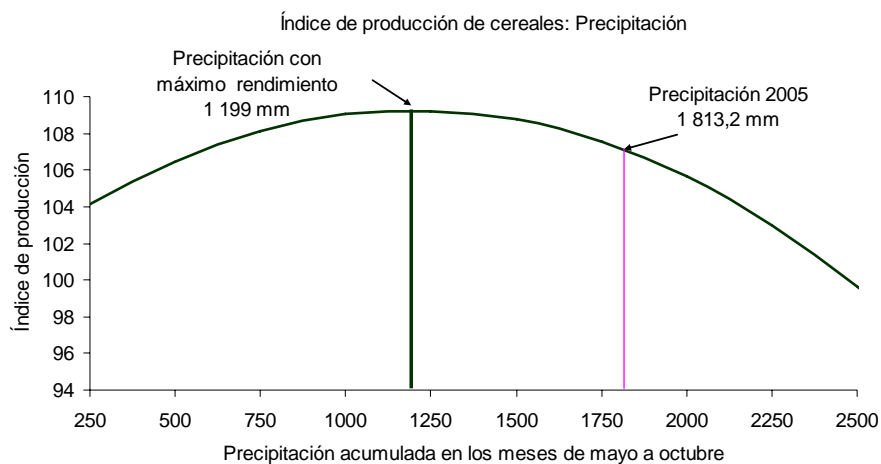
Índice de producción de cultivos: Precipitación



Índice de producción de cereales: Temperatura



(Continúa)

Gráfico 2 (Conclusión)

Fuente: Elaboración propia.

2. Impacto sobre los rendimientos de maíz, frijol y arroz

En esta sección se analizan los efectos del cambio climático sobre tres de los cultivos más importantes del Istmo Centroamericano: maíz, frijol y arroz. En el año 2007, estos países destinaron, en conjunto, 1,76 millones de hectáreas al cultivo del maíz, 732.200 hectáreas al frijol, y 227.700 al arroz. Por ello, conocer los efectos del cambio climático sobre estos tres productos puede brindar una amplia perspectiva de lo que sucederá en general con el sector agrícola de esa región.

Con ese fin, a partir de la metodología expuesta previamente, sustentada en una función de producción, se estimaron modelos de efectos fijos, para cada uno de los tres productos, en los que la variable de interés es el rendimiento, medido en toneladas producidas por hectárea. Los datos empleados comprenden el período 1961-2006¹⁵. En el cuadro 3 se presenta la estadística descriptiva.

¹⁵ Se considera hasta 2006, ya que fue el último año para el cual se tuvo información completa con respecto a todas las variables para todos los países.

Cabe mencionar que los resultados que aquí se presentan no son pronósticos de tipo puntual para cada uno de los países; sólo ofrecen una perspectiva general de lo que sucederá en la región. En futuros estudios se analizará el comportamiento de cada país por separado.

Para cada uno de los modelos se realizaron diferentes especificaciones con el propósito de obtener resultados estadísticamente robustos, pero sólo se reportan dos de las que fueron las más adecuadas para cada cultivo. Las variables explicativas que se emplearon en las especificaciones son: la población en logaritmos; la superficie provista para riego en logaritmos que se tomó como una variable *proxy* de la irrigación; la superficie de tierra arable en logaritmos; como variables climáticas se incluyeron la temperatura promedio, la temperatura media en los meses de noviembre a abril (estación del año seca) o la temperatura media en la estación del año lluviosa, que comprende los meses restantes; el cuadrado de cada uno de los tipos de temperatura promedio; la precipitación promedio, la precipitación promedio en la estación del año seca, la precipitación promedio en la estación del año lluviosa y sus respectivos cuadrados; además se incluyó una constante.

Una limitante importante en las estimaciones de los modelos que se presentan fue la falta de información de algunas variables que pudieran ser relevantes. Éste fue el caso de las características de las personas para todos los países y para todos los años del período de estudio, por lo que no fue posible incluir las posibles adaptaciones de los agricultores, problema común al que se enfrentan muchos estudios; no obstante, los resultados lucen robustos estadísticamente y consistentes en los modelos empleados. Además, las variables utilizadas así como la forma funcional coinciden con las empleadas en trabajos previos. Por ejemplo, Galindo (2009) en un estudio reciente para México utiliza como variables de control una constante, tendencia, irrigación y variables climáticas.

A continuación se presentan los resultados para cada uno de los tres cultivos.

a) El caso del maíz

El cuadro 5 presenta los resultados de las estimaciones con las dos especificaciones utilizadas para analizar los efectos sobre los rendimientos del maíz. La primera de ellas emplea la temperatura media en los meses de noviembre a abril, su cuadrado, la precipitación promedio y su cuadrado, así como la superficie provista para riego; la segunda especificación, además de las variables anteriores, incorpora a la población. Además de estas variables se emplearon otras, pero no fueron estadísticamente significativas. Los dos modelos parecen ser adecuados, tal como lo confirma el estadístico F.

Como se observa, los coeficientes muestran los signos correctos; la temperatura y la precipitación parecen observar un comportamiento ligeramente cóncavo; es decir, en niveles bajos, a medida que aumentan, tienden a estimular la producción del maíz hasta cierto punto, a partir del cual se comienza a reducir la producción. Además, los rendimientos de maíz muestran una relación positiva con la población y la irrigación. Esto se hubiera esperado *a priori*, ya que el sector agrícola de estos países es intensivo en mano de obra, generalmente no intensivo en tecnología, y con escasa cobertura de riego.

A partir de los resultados de los coeficientes estimados en el cuadro 5, se calculan los rendimientos que se obtendrían ante diferentes niveles de temperatura y precipitación, manteniendo los demás términos constantes con las cifras de 2006.

El gráfico 3 muestra los resultados para la temperatura a partir de las dos especificaciones utilizadas¹⁶. Como se observa, las estimaciones indican que —manteniendo constantes las otras variables relacionadas y la tierra cosechada— en el caso del maíz, los incrementos en temperatura podrían traer ganancias en producción en un corto plazo, y después se incurriría en pérdidas, ya que en la región es probable que aún no se alcance la temperatura promedio que permite obtener el mayor rendimiento¹⁷.

Cuadro 5
ESTIMACIÓN DEL MODELO DE EFECTOS FIJOS PARA LOS
RENDIMIENTOS POR HECTÁREA DEL MAÍZ

Variable	Especificación 1	Especificación 2
Temperatura media en los meses de noviembre a abril	2,0003 (2,52) **	1,0552 (1,35)
Temperatura media en los meses de noviembre a abril ²	-0,0382 (2,32) **	-0,0201 (1,25)
Precipitación promedio anual	0,0075 (1,89) **	0,0070 (2,03) **
Precipitación promedio anual ²	0,0000 (2,07) **	0,0000 (1,92) *
Superficie provista para riego (en logaritmos)	0,6726 (17,1) ***	0,3591 (5,26) ***
Población total (en logaritmos)		0,5166 (5,5)
Constante	-27,6443 (2,88) ***	-18,2600 (1,95)
R ²	0,658	0,6754 *
F	93,25 ***	29,9 ***
N	322	322

Fuente: Elaboración propia.

Notas: Valores absolutos del t-estadístico entre paréntesis.

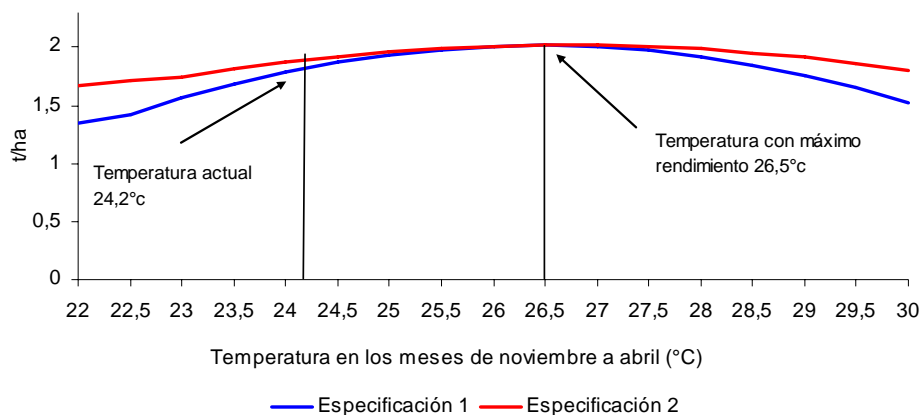
*** significativo al 1%; ** significativo al 5%; * significativo al 10%.

Por su parte, las variaciones en la precipitación, mostradas en el gráfico 4 indican que la producción de maíz tiende a decrecer una vez que se rebasan relativamente altos niveles de precipitación para los niveles actuales de la región, pero cuando los niveles de precipitación están por debajo del nivel actual, la producción del maíz se reduciría.

¹⁶ Al hacer el ejercicio con otras especificaciones se obtienen resultados similares.

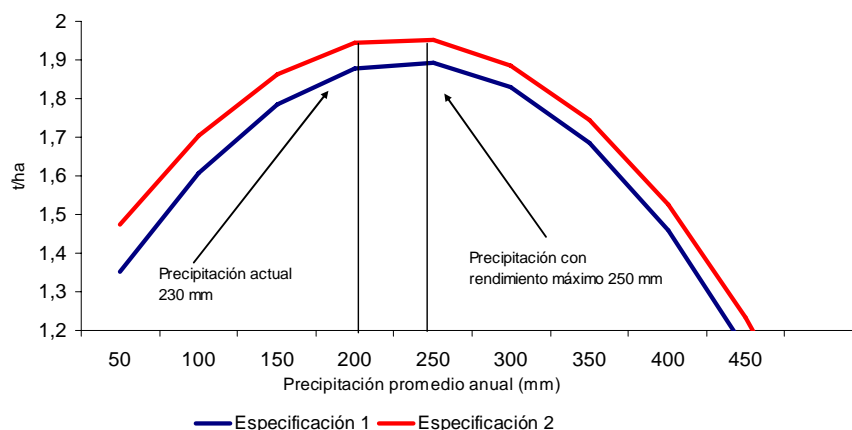
¹⁷ Los valores de temperatura y precipitación que se indican como referencia en los gráficos de esta sección son los de 2006.

Gráfico 3
ISTMO CENTROAMERICANO: RENDIMIENTOS DEL MAÍZ
ANTE VARIACIONES EN LA TEMPERATURA



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 4
ISTMO CENTROAMERICANO: RENDIMIENTOS DEL MAÍZ
ANTE VARIACIONES EN LA PRECIPITACIÓN



Fuente: Elaboración propia.

b) El caso del frijol

El modelo empleado para estimar los efectos sobre los rendimientos de frijol tuvo en la primera especificación, como variables independientes, la temperatura media y su cuadrado, la precipitación promedio y su cuadrado, así como la superficie provista para riego, y la población; y en la segunda especificación se incorporó, además de las variables anteriores, a la superficie de tierra arable, variable que sólo resultó estadísticamente significativa en la estimación de los rendimientos del frijol. De acuerdo con el estadístico F, ambos modelos parecen ser adecuados.

En el cuadro 6 se presentan los resultados de esta estimación. El frijol es de los tres productos que aquí se analizan el que presenta los menores rendimientos, los cuales han permanecido sin mayor variación en cifras muy similares a lo largo del tiempo; por ejemplo, en 1961 el rendimiento por hectárea de este producto para la región en su conjunto era de 0,6 toneladas en 1961, y en 2006 el rendimiento fue de 0,9 toneladas. Esto puede explicar que en algunos casos la significancia estadística de los coeficientes sea relativamente baja; no obstante, todos muestran los signos adecuados.

Cuadro 6
ESTIMACIÓN DEL MODELO DE EFECTOS FIJOS PARA LOS
RENDIMIENTOS POR HECTÁREA DEL FRIJOL

Variable	Especificación 1	Especificación 2
Temperatura promedio anual	1,7397 (2,65) **	1,5540 (2,37) **
Temperatura promedio anual ²	-0,0349 (2,63) **	-0,0311 (2,34) **
Precipitación promedio anual	0,0025 (1,29)	0,0020 (1,02)
Precipitación promedio anual ²	-0,00001 (1,24)	0,0000 (0,95)
Superficie provista para riego (en logaritmos)	0,0174 (0,44)	0,0283 (0,71)
Población total (en logaritmos)	0,1330 (2,34) **	0,0832 (1,38)
Superficie de tierra arable (en logaritmos)		0,1417 (2,34) **
C	-22,4 (2,78) ***	-20,61313 (2,56) ***
R ²	0,1548	0,1695
F	9,43 **	8,5 **
N	322	322

Fuente: Elaboración propia.

Notas: Valores absolutos del t-estadístico entre paréntesis.

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

Al igual que en el caso del maíz, la temperatura parece mostrar un comportamiento cóncavo, al igual que la precipitación, variable que no resultó estadísticamente significativa en estas dos especificaciones¹⁸. La población y el riego observan una relación positiva con los rendimientos, aunque esta última variable no es estadísticamente significativa. La superficie de tierra arable también indica una relación positiva con los rendimientos de frijol.

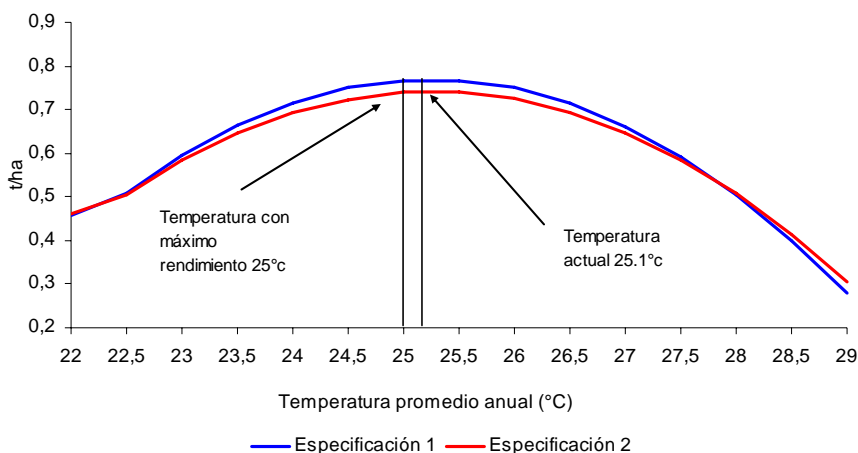
En los gráficos 5 y 6 se muestran los resultados de las estimaciones en los rendimientos ante cambios en la temperatura y la precipitación, respectivamente. En el primero de estos gráficos se observa

¹⁸ La no significancia estadística de esta variable puede deberse a un problema de colinealidad; no obstante, como se argumentó antes, es obvio que no debe tomarse como evidencia de que esa variable sea irrelevante para el modelo, pues en algunas especificaciones sí se encontró relevancia estadística.

que para el frijol ya se habría rebasado la temperatura que permite el mayor rendimiento, y en consecuencia es probable que el calentamiento global ya esté teniendo efectos negativos sobre este producto.

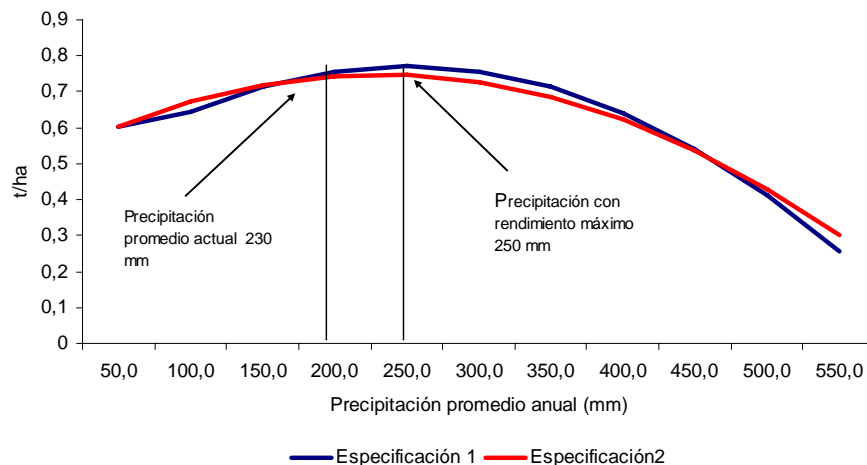
Por su parte, en el gráfico 6 se indica que los rendimientos de frijol tienden a decrecer cuando la precipitación es menor al nivel actual, pero pueden incrementar ante aumentos ligeros en la precipitación. No obstante, altos niveles de precipitación podrían generar que los rendimientos se reduzcan; éste puede ser el caso en que se presentan inundaciones.

Gráfico 5
ISTMO CENTROAMERICANO: RENDIMIENTOS DEL FRIJOL ANTE VARIACIONES EN LA TEMPERATURA



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 6
ISTMO CENTROAMERICANO: RENDIMIENTOS DEL FRIJOL ANTE VARIACIONES EN LA PRECIPITACIÓN



Fuente: Elaboración propia.

c) **El caso del arroz**

Para conocer los posibles efectos sobre los rendimientos de arroz, el modelo incluyó en la primera especificación, como variables independientes, la temperatura media y su cuadrado, la precipitación promedio en los meses de mayo a octubre y su cuadrado, así como la superficie provista para riego; la segunda especificación comprende, además de las variables anteriores, a la población.

Los resultados de las dos especificaciones se presentan en el cuadro 7. Al igual que en el caso de los cultivos anteriores, la temperatura y la precipitación parecen mostrar un comportamiento cóncavo, y el riego y la población una relación directa con el rendimiento de arroz. También el estadístico F muestra que las dos especificaciones son adecuadas.

Cuadro 7
ESTIMACIÓN DEL MODELO DE EFECTOS FIJOS PARA
LOS RENDIMIENTOS POR HECTÁREA DEL ARROZ

Variable	Especificación 1	Especificación 2
Temperatura promedio anual	8,952844 (2,94) ***	5,251 (1,7) *
Temperatura promedio anual ²	-0,1722739 (2,79) ***	-0,103 (1,64) *
Precipitación promedio en los meses de mayo a octubre	0,0119453 (2,13) **	0,011 (2,1) **
Precipitación promedio en los meses de mayo a octubre ²	-0,0000171 (1,92) *	0,000 (1,92) **
Superficie provista para riego (en logaritmos)	1,153162 (10,3) ***	0,398 (2,12) **
Población total (en logaritmos)		1,234 (2,62) **
Constante	-119,2148 (3,16) ***	-77,288 (2,06) **
R ²	0,4546	0,4979
F	53,66 ***	43,63 ***
N	322	322

Fuente: Elaboración propia.

Notas: Valores absolutos del t-estadístico entre paréntesis.

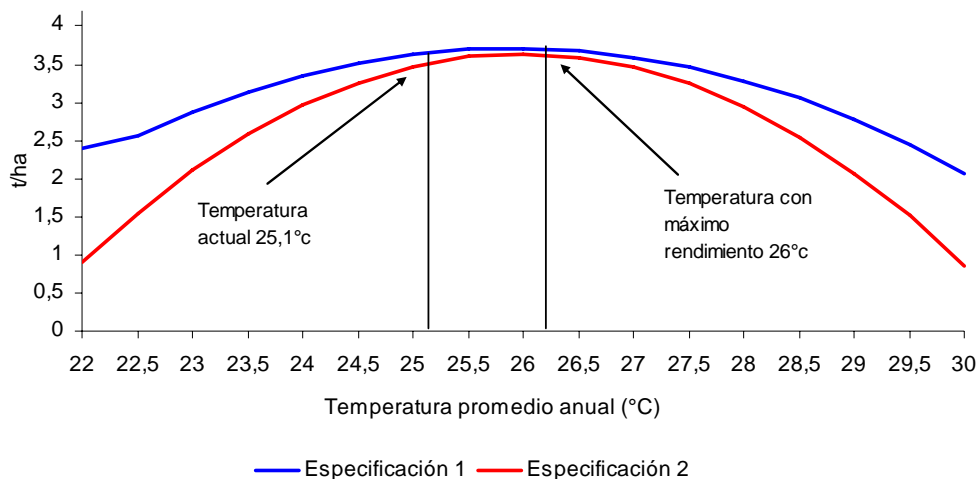
*** significativo al 1%; ** significativo al 5%; * significativo al 10%.

El ejercicio mostrado en la gráfico 7 indica que estaría por alcanzarse el nivel de temperatura que permite el máximo rendimiento de producción de arroz¹⁹. En tanto que en el gráfico 8 se aprecia que los rendimientos de arroz tienden a decrecer cuando la precipitación supera el nivel promedio actual de la

¹⁹ Con otras especificaciones se encontró que actualmente se estaría en el nivel que permite el mayor rendimiento.

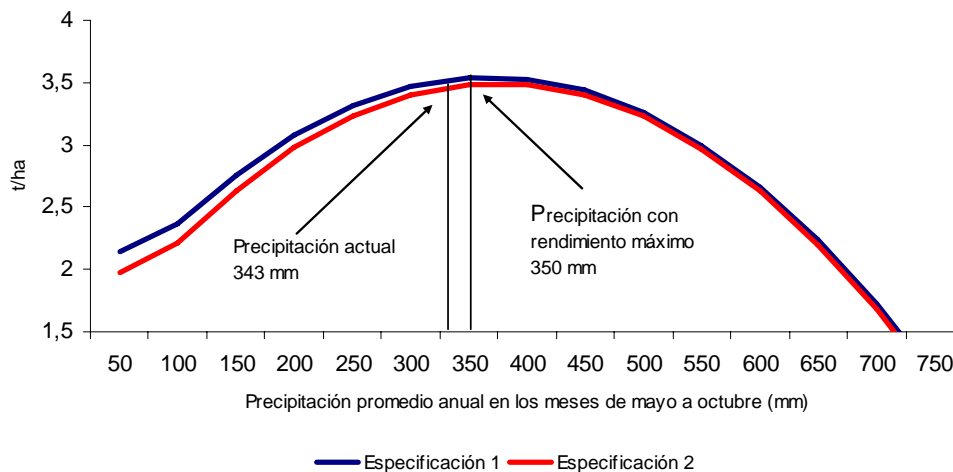
región (mayor a 350 mm) en los meses de mayo a octubre, que es la precipitación que apareció como relevante en las estimaciones de los rendimientos de este cultivo.

Gráfico 7
ISTMO CENTROAMERICANO: RENDIMIENTOS DEL ARROZ ANTE VARIACIONES EN LA TEMPERATURA



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 8
ISTMO CENTROAMERICANO: RENDIMIENTOS DEL ARROZ ANTE VARIACIONES EN LA PRECIPITACIÓN



Fuente: Elaboración propia.

3. Impacto sobre el valor de la tierra (ganancias agrícolas). Datos y resultados del enfoque Ricardiano: El caso de Honduras

a) Datos

Los datos económicos y sociodemográficos fueron obtenidos de la Encuesta Permanente de Hogares de Propósitos Múltiples realizada por el Instituto Nacional de Estadística (INE) de Honduras en septiembre de 2006. La información de esta encuesta es de cobertura nacional y tiene como unidad de análisis los hogares de este país. La documentación de la encuesta y la base de datos han sido preparadas por la División de Estadística y Proyecciones Económicas de la CEPAL, quien además tuvo a su cargo evaluar la consistencia de la información y generar un conjunto de nuevas variables en un contexto de comparabilidad con los demás países de América Latina. Los datos meteorológicos fueron proporcionados por el Grupo de Cambio Climático y Radiación Solar del Centro de Ciencias de la Atmósfera de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Estos datos comprenden información de temperatura y precipitación a nivel municipal. Por último, los datos de las características de suelos se obtuvieron a partir de información de FAO (2003).

b) Resultados

En el cuadro 8 se muestran las estadísticas descriptivas empleadas en el modelo Ricardiano. El conjunto de variables se presentan en tres grupos: sociodemográficas, agrícolas y climáticas. Asimismo, en el cuadro se observan la media y la desviación estándar de las variables clave utilizadas en la modelación para la muestra completa y para los hogares que se encuentran en los primeros ocho y los últimos dos deciles de las ganancias agrícolas. Resulta importante señalar que la variable que se usa como proxy de la renta de la tierra la constituyen las ganancias agrícolas reportadas por los hogares que participan en esta actividad.

Las variables climáticas sólo se presentan para el total de la muestra empleada, y las variables sociodemográficas 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 5,5 miembros, y es mayor para los hogares de los últimos dos deciles con 5,9 miembros. La escolaridad promedio del jefe del hogar es de 2,4 años, y la escolaridad media del hogar, sin incluir al jefe, es de dos años; ambas variables son superiores en los últimos dos deciles de las ganancias agrícolas, con 2,8 y 2,4 años de instrucción, respectivamente.

La edad promedio de los jefes de hogar es de 48,4 años para la muestra total, siendo 48,1 años para los primeros ocho deciles y 49,4 años para los últimos dos con respecto al número de jefes del hogar que saben leer y escribir, se observa un número mayor para los jefes en los últimos dos deciles. El número promedio de cuartos en el hogar registrado en la muestra es de 3,2, y es mayor para los hogares de los últimos dos deciles con 3,7, lo que representa 23,3% más cuartos para esas familias con relación a los primeros ocho deciles que tienen una media de tres cuartos.

Cuadro 8
ESTADÍSTICAS DESCRIPTIVAS

Concepto	Total de hogares en la muestra		Hogares en los primeros ocho deciles de las ganancias agrícolas		Hogares en los últimos dos deciles de las ganancias agrícolas	
	Media	Desviación estándar	Media	Desviación estándar	Media	Desviación estándar
Sociodemográficas						
Tamaño del hogar	5,5	2,4	5,5	2,4	5,9	2,5
Educación promedio del hogar sin jefe (años)	2,0	1,5	1,9	1,5	2,4	1,7
Educación del jefe del hogar (años)	2,4	2,4	2,3	2,4	2,8	2,5
Número de cuartos	3,2	3,4	3,0	3,3	3,7	3,7
Edad del jefe del hogar	48,4	15,3	48,1	15,6	49,4	14,0
Sabe leer y escribir el jefe de hogar	0,6	0,5	0,6	0,5	0,7	0,5
Número de personas mayores de 15 años en el hogar	3,1	1,4	3,0	1,4	3,4	1,5
Género del jefe del hogar (<i>Dummy</i> : 1 = masculino)	0,9	0,3	0,9	0,3	0,9	0,3
Variables agrícolas						
Ingreso agropecuario mensual por hogar (dólares)	72,85	796,11	45,91	879,03	185,28	196,84
Ingreso agrícola mensual por hogar (dólares)	44,72	98,30	14,96	11,35	168,93	174,22
Ingreso ganadero mensual por hogar (dólares)	28,13	790,74	30,94	879,19	16,36	94,78
Ganancias agrícolas mensuales por hogar (dólares)	46,49	97,90	17,15	12,66	168,93	174,23
Variables climáticas						
Temperatura mínima promedio anual (Celsius)	21,3	2,9	...	...	...	...
Temperatura máxima promedio anual (Celsius)	25,4	2,6	...	...	...	...
Temperatura promedio anual (Celsius)	23,5	2,6	...	...	...	...
Temperatura promedio en estación lluviosa (Celsius)	23,9	2,5	...	...	...	...
Temperatura promedio en estación seca (Celsius)	22,9	2,8	...	...	...	...
Temperatura máxima promedio en estación lluviosa (Celsius)	25,3	2,4	...	...	...	...
Temperatura máxima promedio en estación seca (Celsius)	25,1	2,5	...	...	...	...
Temperatura mínima promedio en estación lluviosa (Celsius)	22,2	2,6	...	...	...	...
Temperatura mínima promedio en estación seca (Celsius)	21,4	3,0	...	...	...	...
Precipitación promedio anual (mm/mo)	125,8	25,7	...	...	...	...
Precipitación acumulada anual (mm/mo)	1 509,5	308,1	...	...	...	...
Precipitación promedio en estación lluviosa (mm/mo)	187,0	40,1	...	...	...	...
Precipitación promedio en estación seca (mm/mo)	40,0	28,7	...	...	...	...
Tamaño de la muestra		3 947		3 177		770

Fuente: Elaboración propia con base en la Encuesta Permanente de Hogares de Propósitos Múltiples. Honduras, septiembre de 2006.

El ingreso agrícola mensual promedio es de 44,72 dólares para la muestra total, en la que los hogares situados en los primeros ocho deciles tienen una media de 14,96 dólares, 66,5% por debajo de la media muestral, y los hogares situados en los últimos dos deciles una media de 168,93 dólares, muy por arriba de la media muestral. El ingreso agropecuario promedio mensual es de 72,85 dólares para la muestra total, mientras que para los hogares situados en los primeros ocho deciles es de 45,91 dólares, y los hogares situados en los últimos dos deciles reciben en promedio un ingreso superior a los 185 dólares mensuales²⁰.

Asimismo, en el cuadro 8 se observan 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.

En el cuadro 9 se incluyen los resultados de tres estimaciones realizadas, utilizando la muestra completa de los hogares que reportaron actividad agrícola y tomando como variable dependiente las ganancias agrícolas. Además de las variables sociodemográficas, en la primera columna, el modelo I considera 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 una variable de interacción entre la precipitación y la temperatura.

Los efectos de la temperatura media y la precipitación acumulada son significativos, así como el impacto del número de personas mayores de 15 años y la escolaridad del jefe de hogar. Por ejemplo, para el modelo I las ganancias agrícolas mensuales promedio disminuyen en 1,72 dólares ante un incremento de un grado Celsius en la temperatura media anual. Dicho efecto representa poco más del 1% del ingreso promedio de los hogares rurales hondureños. Sin embargo, si se considera el 20% de los hogares rurales con menos ingresos, el efecto representa una disminución del 23% en su ingreso. Asimismo las ganancias agrícolas aumentan 4,2 dólares si la escolaridad del jefe del hogar es mayor en un año (equivalente al 2,8% del ingreso promedio de los hogares rurales). Existen diferencias atribuibles al género del jefe de familia y por el tipo de vivienda que poseen, pues la variable *dummy*, definida para distinguir el material del techo de la vivienda, es significativa. De esta manera, aquellos hogares encabezados por jefes de género masculino perciben en promedio más de 17 dólares por concepto de ganancias agrícolas (equivalente a 11% del ingreso promedio total de los hogares rurales). Para los modelos II y III, las variables *dummy* de suelo que fueron significativas corresponden a los tipos de suelo: luvisols y rendzinas, con un efecto positivo al 95% de nivel de confianza. Resulta importante señalar que el signo y la significancia de los coeficientes para las variables de control antes señaladas se mantiene a través de los tres modelos utilizados, lo que proporciona evidencia de que los resultados presentados son bastante robustos.

En el cuadro 10 se presentan los efectos marginales de las variables climáticas sobre las ganancias agrícolas de los hogares hondureños. Los efectos anuales de la precipitación acumulada y la temperatura media se calcularon para la muestra total, y puede observarse que la inferencia es robusta para las tres especificaciones empleadas a un nivel de confianza del 95%, ya que en los tres modelos empleados se mantiene tanto el signo como la significancia.

²⁰ Las cifras presentadas en dólares corresponden a dólares de diciembre de 2003.

Cuadro 9
ESPECIFICACIONES LINEALES DEL MODELO RICARDIANO: EL CASO DE HONDURAS

Variables	Modelo I	Modelo II	Modelo III
Temperatura media anual	-1,72 (2,80) ***	-2,14 (2,96) ***	13,25 (1,11)
Temperatura media anual al cuadrado			-0,37 (1,57)
Precipitación acumulada anual	-0,02 (3,98) ***	-0,013 (2,59) **	-0,065 (0,91)
Precipitación acumulada anual al cuadrado			0,00078 (0,59)
Temperatura media anual *precipitación acumulada anual			0,001226 (0,5)
Miembros de mayores de 15 años en el hogar	5,33 (4,64) ***	5,68 (4,97) ***	5,67 (4,96) ***
Género del jefe de hogar	17,27 (3,65) ***	16,82 (3,57) ***	16,42 (3,48) ***
Edad del jefe de hogar	0,15 (1,31)	0,14 (1,25)	0,15 (1,31)
Escolaridad del jefe de hogar (años)	4,2 (6,37) ***	4,25 (6,46) ***	4,28 (6,5) ***
Techo de loza (<i>dummy</i>)	57,67 (2,23) **	59,14 (2,29) **	58,43 (2,27) **
Alumbrado público (<i>dummy</i>)	6,43 (1,80) *	6,95 (1,91) *	6,71 (1,84)* *
Acrisols		10,34 (1,15)	5,09 (0,54)
Cambisols		11,12 (1,46)	6,69 (0,84)
Rendzinas		33,43 (3,91) ***	27,17 (2,93) ***
Gleysols		16,4 (0,62)	4,23 (0,15)
Fluvisols		11,89 (0,88)	7,91 (0,57)
Luvisols		34,04 (4,11) ***	27,79 (3,08) ***
Histosols		5,92 (0,45)	6,89 (0,52)
Regosols		-9,43 (0,42)	-10,22 (0,45)
Constante	65,94 (3,94)	48,29 (2,64) **	-83,25 (0,49)
Estadístico F	13,99 ***	10,48 ***	9,02 ***

Fuente: Elaboración propia.

Nota: Valores absolutos del t-estadístico entre paréntesis.

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

El número de la muestra es de 3,947 hogares.

El incremento en un grado Celsius de la temperatura media implica una disminución de 1,72, 2,14 y 2,56 dólares bajo el modelo I, II y III, respectivamente. Es decir, existe un impacto negativo de entre 1,72 y 2,5 dólares en las ganancias agrícolas mensuales ante un ligero aumento en la temperatura media anual. Considerando el promedio de los efectos marginales (2,14) ante un ascenso de dos grados Celsius en la temperatura media anual, las ganancias agrícolas mensuales promedio aproximadamente se reducirían en 9%, lo que representa para los hogares rurales hondureños cerca del 3% de su ingreso mensual total. Este impacto es mucho mayor para los primeros dos deciles de los hogares rurales (57% de su ingreso), pero es considerablemente menor para el 20% de los hogares rurales con mayores ingresos (sólo 1,3% de su ingreso total).

De forma similar, un incremento en una unidad de la precipitación acumulada anual implica una contracción aproximada de 0,02 dólares bajo el modelo I; 0,013 dólares bajo el modelo II y 0,012 dólares bajo el modelo III. Es decir, existe un impacto negativo relativamente pequeño en las ganancias agrícolas mensuales ante un ligero aumento en la precipitación acumulada anual. Los resultados anteriores indican que las ganancias agrícolas promedio mensuales se reducirían menos de 20 centavos de dólar ante un crecimiento de 10 mm en la precipitación acumulada anual, lo que representa una disminución del 0,1% del ingreso mensual total en los hogares rurales de Honduras. Sin embargo, para 20% de los hogares rurales con menos ingresos, este efecto representa cerca del 3% de su ingreso total.

Cuadro 10
EFFECTOS MARGINALES DE LAS VARIABLES CLIMÁTICAS SOBRE LAS
GANANCIAS AGRÍCOLAS
(Modelo lineal)

	Modelo I	Modelo II	Modelo III
Temperatura promedio anual	-1,72 (2,8) ***	-2,14 (2,96) ***	-2,56 (3,23) ***
Precipitación acumulada anual	-0,02 (3,98) ***	-0,013 (2,59) **	-0,012 (2,08) **

Fuente: Elaboración propia.

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

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

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 9.

Aun cuando resulta intuitivo pensar que una temperatura más elevada afecta negativamente a la actividad agrícola, los efectos negativos atribuibles a un aumento en la precipitación acumulada anual no son evidentes, lo cual invita a explorar dicha relación con mayor cuidado. No obstante, es posible percibir que el efecto negativo debe ser dominado por la presencia de fenómenos meteorológicos adversos, tales como inundaciones y huracanes, entre otros.

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

1. Impactos sobre la producción agropecuaria

Para cuantificar los impactos económicos 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 fin de calcular estos impactos, se mantuvieron constantes, con valores de 2005, las variables de control utilizadas en las funciones de producción y sólo se permitieron variaciones en temperatura y precipitación. De igual modo, se supuso la inexistencia de cambios tecnológicos y una adaptación nula a los efectos del cambio climático por parte de los agricultores.

Las estadísticas descriptivas y los gráficos de los escenarios A2 (con base en el promedio de los modelos HADGEM, GFDL y ECHAM²¹) y B2 (con base en el promedio de los modelos HADGEM, GFDL y ECHAM) muestran que tanto el escenario B2 como el A2 pronostican una disminución en la precipitación acumulada anual en la región. Sin embargo, el escenario A2 indica niveles menores de precipitación en el período 2005-2100. Además de pronosticar niveles de precipitación menores que los del escenario B2, la variación en la precipitación es mayor en el escenario A2, como lo demuestra la desviación estándar. En el caso de la temperatura, el escenario A2 pronostica incrementos mayores a los pronosticados por el escenario B2 (véase el anexo III).

Los impactos económicos del cambio climático en el sector agropecuario, considerando diferentes tasas de descuento y distintos horizontes temporales para los escenarios A2 y B2.

Para el presente análisis sólo se considerarán los escenarios A2 y B2; el resultado de las estimaciones de los escenarios A2 se presentan en el cuadro 11, las del B2 se incluyen en el anexo IV. Las simulaciones con este escenario indican que los impactos negativos derivados de las variaciones en temperatura y precipitación en el sector agropecuario del Istmo Centroamericano, con una tasa de descuento del 4%, alcanzan 2,8% del PIB²² para el 2050 y 4% para el 2100. Sin embargo, al considerar una tasa de descuento de 0,5%, estos mismos impactos representan 5,4% del PIB en 2050 y 19,1% en 2100.

Los resultados considerando los impactos por cambios en temperatura y precipitación por separado, para el promedio de escenarios A2, se presentan en la parte inferior del cuadro 11. Los impactos de cambios en la temperatura en el sector agropecuario, con una tasa de descuento de 4%, son de 1,8% del PIB, calculados a 2050, y de 3,4%, calculados a 2100. Por otro lado, si sólo se toman en cuenta los cambios en la precipitación, los impactos ascienden a 0,97% en 2050 y a 0,59% en 2100.

En el cuadro 11 también se muestran los impactos negativos del cambio climático en el sector agrícola (índice de cultivos). Para el promedio de escenarios A2, los impactos ocasionados por variaciones en temperatura y precipitación, con una tasa de descuento del 4%, son de 2% del PIB para el 2050 y 2,6% para el 2100. De la misma forma se realizaron las estimaciones para calcular los impactos sobre la producción de cereales, cuyos resultados se presentan en la parte derecha del cuadro 11. Para el

²¹ ECHM German High Performance Computing Centre Climate and Earth System Research; GFDL Geophysical Fluid Dynamics Laboratory; HADGEM Hadley Centre Global Environmental Model.

²² Para el presente análisis se consideran todos los impactos como porcentajes del PIB de 2007 del Istmo Centroamericano.

promedio de escenarios A2 los impactos ocasionados por variaciones en temperatura y precipitación, con una tasa de descuento del 4%, son de 0,3% del PIB para el 2050 y de 0,47% para el 2100. Como se observa en el cuadro 11, la proporción mayor de impactos negativos en el sector serán consecuencia de incrementos en la temperatura.

Cuadro 11
ISTMO CENTROAMERICANO: IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO:
2020, 2030, 2050, 2070 Y 2100
ESCENARIO A2 (ECHAM, GFDL, HADGEM)
(En porcentajes del PIB de 2007)

Año	Producción agropecuaria				Producción agrícola				Producción de cereales			
	Tasa de descuento (r)				Tasa de descuento (r)				Tasa de descuento (r)			
	0,005	0,02	0,04	0,08	0,005	0,02	0,04	0,08	0,005	0,02	0,04	0,08
Cambios en temperatura y precipitación												
2020	1,75	1,58	1,38	1,08	1,25	1,14	1,00	0,80	0,17	0,15	0,13	0,10
2030	3,42	2,81	2,21	1,47	2,50	2,05	1,62	1,09	0,32	0,26	0,21	0,14
2050	5,41	3,99	2,82	1,64	3,77	2,81	2,01	1,20	0,62	0,44	0,30	0,16
2070	8,67	5,44	3,32	1,71	5,30	3,49	2,24	1,23	1,14	0,67	0,38	0,17
2100	19,10	8,61	4,01	1,75	11,49	5,37	2,65	1,25	2,53	1,10	0,47	0,18
Cambios en temperatura												
2020	0,88	0,77	0,66	0,48	0,34	0,30	0,25	0,19	0,12	0,11	0,09	0,07
2030	1,61	1,31	1,02	0,65	0,62	0,51	0,40	0,25	0,22	0,18	0,14	0,09
2050	4,40	2,96	1,85	0,88	1,72	1,15	0,72	0,34	0,61	0,41	0,26	0,12
2070	9,28	5,12	2,60	0,98	3,66	2,01	1,02	0,38	1,26	0,70	0,36	0,14
2100	21,73	8,91	3,42	1,03	8,69	3,54	1,35	0,40	2,89	1,20	0,46	0,14
Cambios en precipitación												
2020	0,87	0,80	0,73	0,60	0,91	0,83	0,75	0,61	0,05	0,04	0,04	0,03
2030	1,82	1,50	1,19	0,81	1,87	1,54	1,22	0,83	0,10	0,08	0,06	0,04
2050	1,01	1,04	0,97	0,76	2,05	1,65	1,28	0,85	0,02	0,03	0,04	0,04
2070	-0,61	0,32	0,72	0,72	1,65	1,47	1,22	0,84	-0,12	-0,03	0,02	0,04
2100	-2,63	-0,29	0,59	0,72	2,80	1,83	1,30	0,85	-0,36	-0,10	0,00	0,03

Fuente: Elaboración propia.

En el caso de la producción pecuaria y debido a la especificación utilizada, sólo fue posible calcular los impactos por cambios en temperatura (véase el anexo IV). Tomando como referencia el promedio de escenarios A2 y una tasa de descuento de 4%, los impactos ascienden a 1% del PIB calculados al año 2050 y 1,8% calculados al 2100.

Como ya se mencionó, la temperatura y la precipitación promedio de 2005 provocaron que la producción en la parte decreciente de la función, apuntando a que el cambio climático producirá pérdidas en la producción agropecuaria. En el gráfico 9 se indica la proyección del índice de producción agropecuaria de acuerdo con el promedio de escenarios A2; se puede observar las consecuencias negativas del cambio climático en la producción agropecuaria.

Por su parte, las proyecciones con base en el escenario B2 promedio señalan que los impactos derivados de variaciones en temperatura y precipitación en el sector agropecuario, con una tasa de descuento del 4%, alcanzan 2% del PIB para el 2050 y 3% para el 2100 (véase el anexo IV y el gráfico 10). La caída en la producción es menor en este escenario que, si se compara con la registrada en la producción, que pronostica el promedio de escenarios A2, las diferencias se pueden ver claramente al comparar los gráficos 9 y 10.

En el sector agrícola (índice de cultivos) el promedio de escenarios B2 pronostica que los impactos ocasionados por variaciones en temperatura y precipitación, con una tasa de descuento del 4%, son de 1,4% del PIB para el 2050 y 1,8% para el 2100. No obstante, al considerar una tasa de descuento de 0,5%, estos mismos impactos representan 3,07% del PIB en 2050 y 7,54% en 2100.

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

A partir de los resultados de los coeficientes estimados en la sección 2 del capítulo IV (véanse los cuadros 5, 6 y 7). Para cada una de las variables dependientes, se realizaron estimaciones de cómo podría evolucionar el rendimiento de los cultivos entre 2006 y 2100. Para ello se utilizaron dos escenarios de estimación del clima: A2 y B2.

En el gráfico 11 se presentan los resultados de las estimaciones para los rendimientos de maíz a partir de los 2 escenarios y para las dos especificaciones empleadas. Las proyecciones se hacen con variaciones en la temperatura y la precipitación, manteniendo los demás términos constantes con valores de 2006. Como se observa, en los dos escenarios, las estimaciones muestran comportamientos similares; la producción tiende a crecer ligeramente en el corto plazo y luego a decrecer. Así, el cambio climático podría favorecer inicialmente la producción del maíz y posteriormente generaría pérdidas.

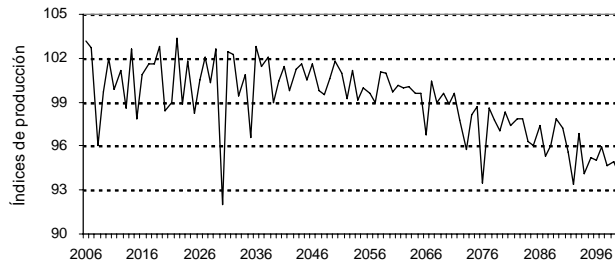
Con los valores estimados previamente, en 2007 se calcularon los posibles impactos en términos del PIB de la región. En el cuadro 12 se presentan estos resultados, en el que se emplean las siguientes tasas de descuento: 0,5%, 2%, 4% y 8%. Como se observa, en el caso del maíz los beneficios iniciales que podría ocasionar el cambio climático se nulificarían en el largo plazo.

En el gráfico 12 se muestra la evolución del rendimiento en frijol a partir de las estimaciones anteriores y de los escenarios A2 y B2. Como se observa, los dos escenarios sugieren que el cambio climático traería como consecuencias disminuciones importantes en los rendimientos de este producto, ya que como se mostró anteriormente, la temperatura que permite el máximo rendimiento para este producto ya se habría rebasado.

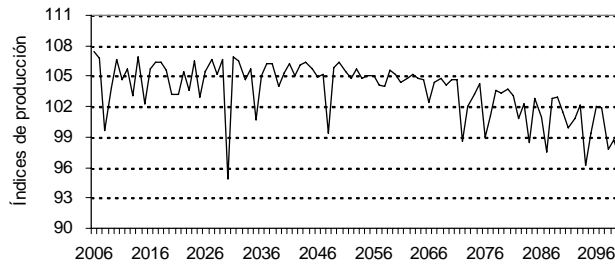
Para conocer cómo se traducirían estas disminuciones en términos económicos también se calcularon los posibles impactos, tomando como referencia el PIB de la región en 2007. En el cuadro 13 se presentan estos resultados, en el que se utilizan las siguientes tasas de descuento: 0,5%, 2%, 4% y 8%. Como se observa, los impactos al año 2100 significarían una pérdida que iría en alrededor de 0,5% del PIB de 2007, considerando una tasa de descuento de 4%.

Gráfico 9
ISTMO CENTROAMERICANO: PROYECCIONES DE LOS ÍNDICES DE PRODUCCIÓN AGROPECUARIA A PARTIR DEL ESCENARIO A2

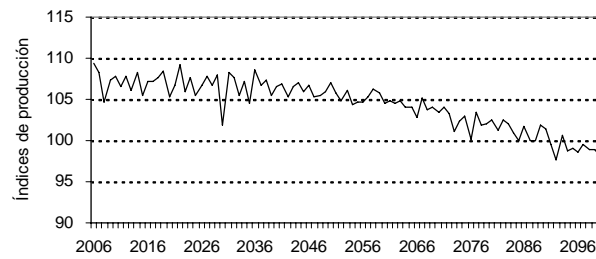
Índice de producción agropecuaria ante el cambio climático a partir del escenario A2



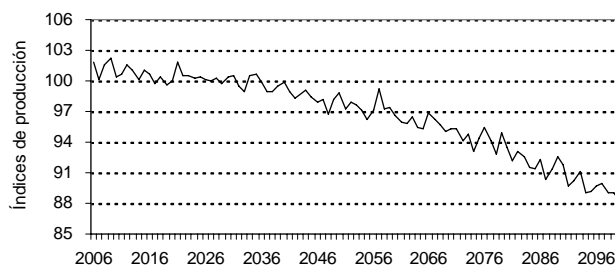
Índice de producción de cultivos ante el cambio climático a partir del escenario A2



Índice de producción de cereales ante el cambio climático a partir del escenario A2



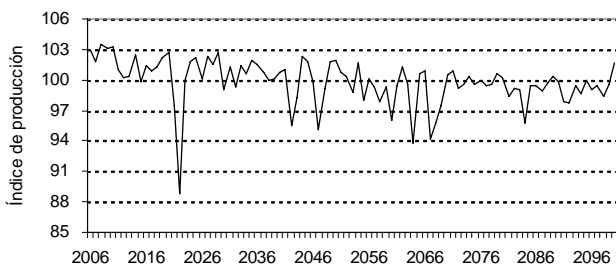
Índice de producción pecuaria ante el cambio climático a partir del escenario A2 (sólo cambios en temperatura)



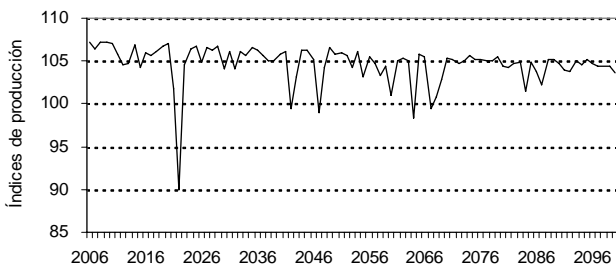
Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 10
ISTMO CENTROAMERICANO: PROYECCIONES DE LOS ÍNDICES DE PRODUCCIÓN AGROPECUARIA A PARTIR DEL ESCENARIO B2

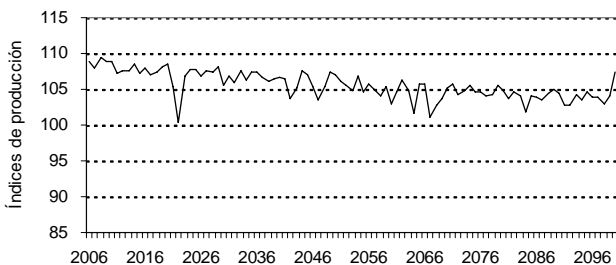
Índice de producción agropecuaria ante el cambio climático a partir del escenario B2



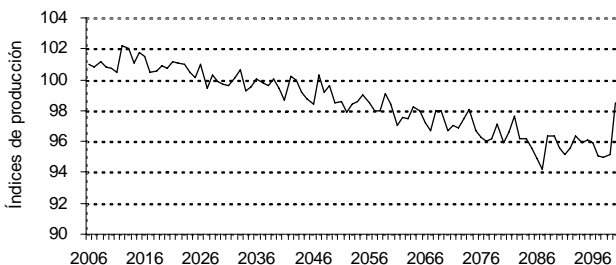
Índice de producción de cultivos ante el cambio climático a partir del escenario B2



Índice de producción de cereales ante el cambio climático a partir del escenario B2

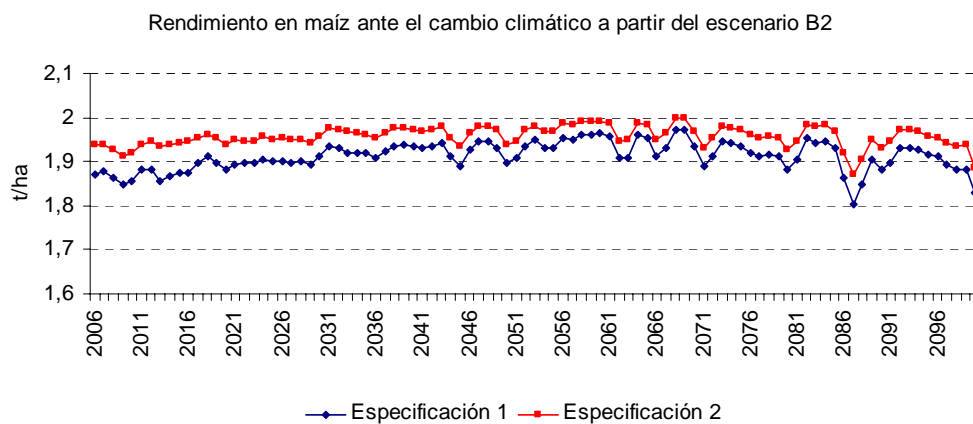
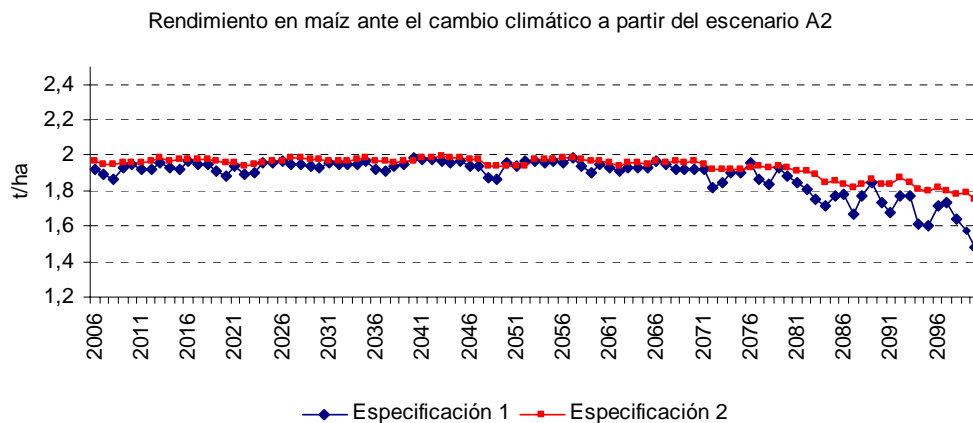


Índice de producción pecuaria ante el cambio climático a partir del escenario B2 (sólo cambios en temperatura)



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 11
ISTMO CENTROAMERICANO: PROYECCIONES DE LOS RENDIMIENTOS
DEL MAÍZ A PARTIR DEL ESCENARIO A2 Y B2



Fuente: Elaboración propia.

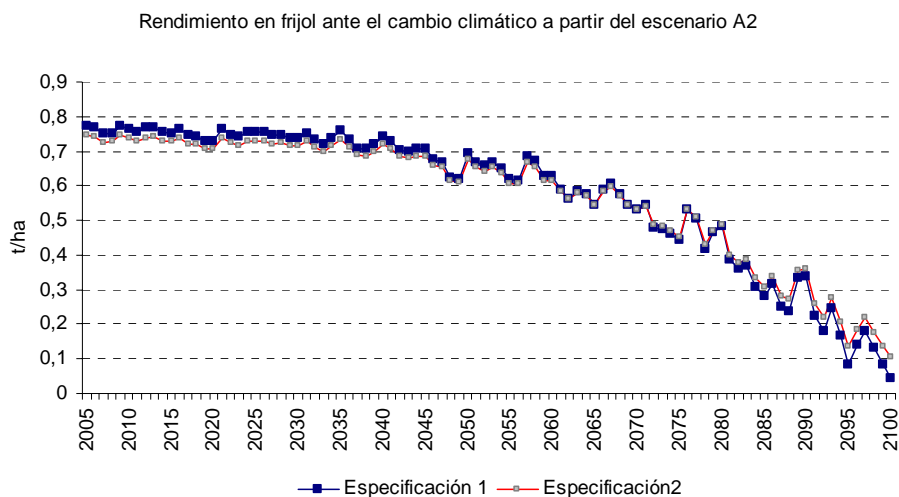
La evolución del rendimiento en arroz, a partir de las estimaciones anteriores y de los escenarios A2 y B2, se presentan en el gráfico 13, en el que se muestra que en el corto plazo la producción por hectárea se mantendría relativamente estable, pudiendo incluso incrementar, quizá porque como se mostró antes, el nivel de temperatura actual es cercano al que permite la producción máxima. Sin embargo, a largo plazo, la producción tendería a descender, tal como lo muestran los dos escenarios bajo las dos especificaciones empleadas.

Cuadro 12
ISTMO CENTROAMERICANO: IMPACTOS ECONÓMICOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO
EN LA PRODUCCIÓN DEL MAÍZ COMO PORCENTAJE DEL PIB DE 2007

Año	ESCENARIO A2				ESCENARIO B2			
	Especificación 1				Especificación 1			
	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	0,12	0,11	0,10	0,08	0,18	0,17	0,15	0,13
2030	0,14	0,12	0,11	0,09	0,20	0,18	0,16	0,13
2050	0,15	0,13	0,11	0,09	0,08	0,11	0,12	0,12
2070	0,17	0,13	0,11	0,09	-0,14	0,01	0,09	0,11
2100	1,57	0,54	0,19	0,09	-0,14	0,00	0,08	0,11
	Especificación 2				Especificación 2			
2020	0,09	0,08	0,07	0,06	0,13	0,12	0,11	0,09
2030	0,12	0,11	0,09	0,07	0,15	0,14	0,12	0,10
2050	0,22	0,16	0,12	0,08	0,12	0,12	0,11	0,09
2070	0,31	0,20	0,13	0,08	0,03	0,07	0,09	0,09
2100	1,32	0,50	0,19	0,08	0,13	0,10	0,10	0,09

Fuente: Elaboración propia.

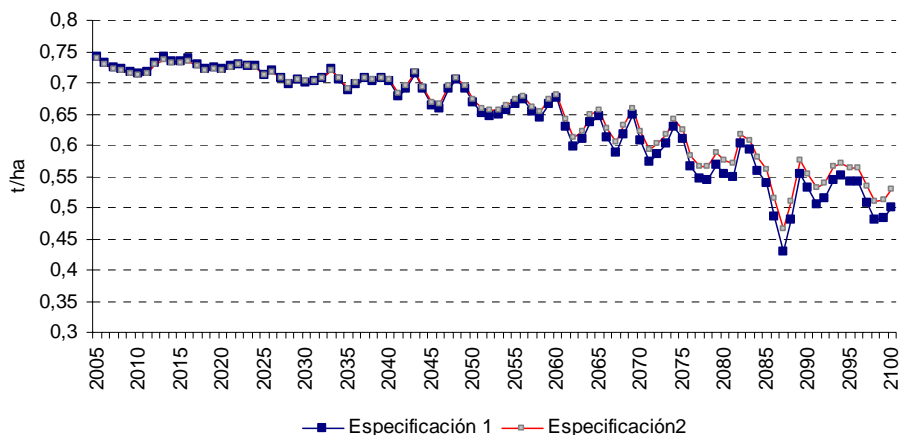
Gráfico 12
ISTMO CENTROAMERICANO: PROYECCIONES DE LOS RENDIMIENTOS DEL FRIJOL
A PARTIR DEL ESCENARIO A2 Y B2



(Continúa)

Gráfico 12 (Conclusión)

Rendimiento en frijol ante el cambio climático a partir del escenario B2



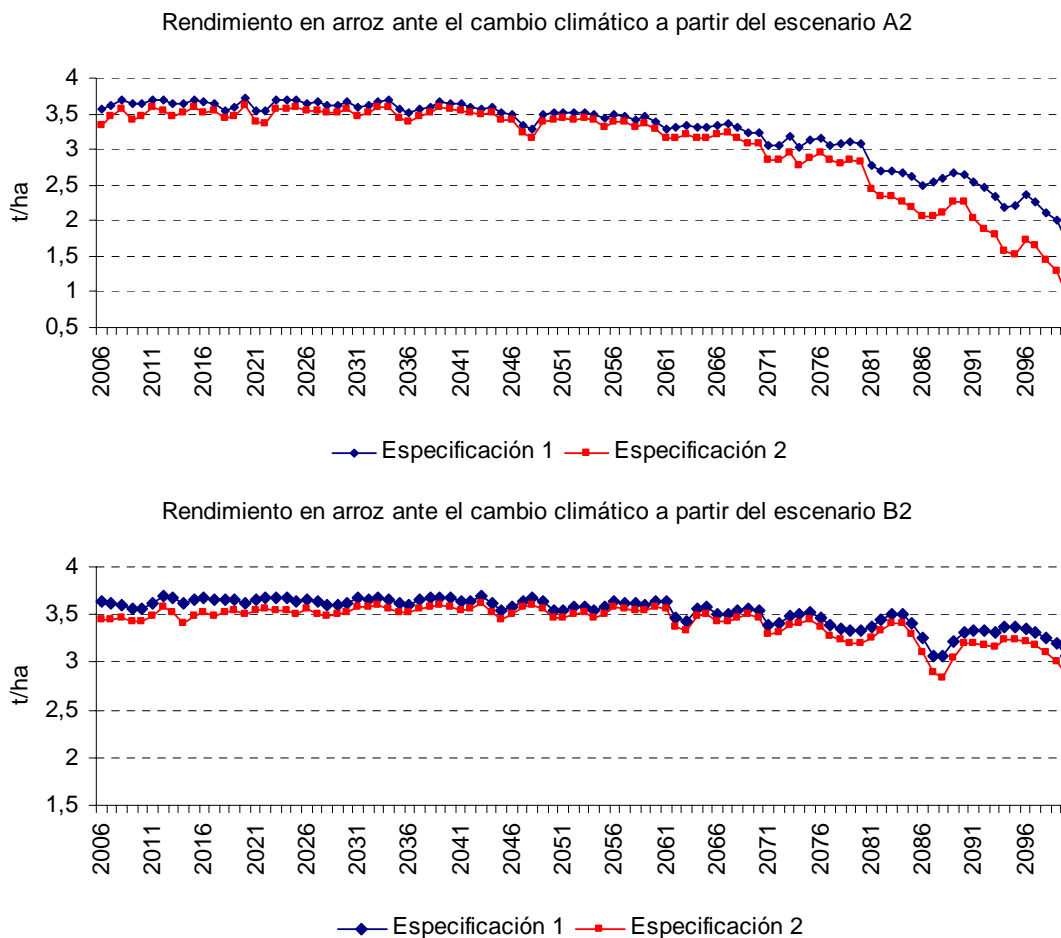
Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 13
ISTMO CENTROAMERICANO: IMPACTOS ECONÓMICOS DEL CAMBIO
CLIMÁTICO EN LA PRODUCCIÓN DEL FRIJOL COMO PORCENTAJE
DEL PIB DE 2007

Año	ESCENARIO A2				ESCENARIO B2			
	Tasa de descuento (r)				Tasa de descuento (r)			
	0,005	0,02	0,04	0,08	0,005	0,02	0,04	0,08
	Especificación 1				Especificación 1			
2020	0,05	0,05	0,04	0,03	0,04	0,04	0,03	0,03
2030	0,10	0,08	0,06	0,04	0,10	0,08	0,06	0,04
2050	0,44	0,28	0,16	0,07	0,34	0,22	0,14	0,06
2070	1,27	0,64	0,29	0,08	0,85	0,45	0,21	0,07
2100	4,41	1,59	0,49	0,09	2,18	0,85	0,30	0,08
	Especificación 2				Especificación 2			
2020	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
2030	0,08	0,06	0,05	0,03	0,06	0,05	0,04	0,02
2050	0,37	0,23	0,13	0,05	0,25	0,16	0,09	0,04
2070	1,08	0,54	0,24	0,06	0,66	0,34	0,16	0,05
2100	3,79	1,36	0,41	0,07	1,79	0,69	0,23	0,05

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 13
ISTMO CENTROAMERICANO: PROYECCIONES DE LOS RENDIMIENTOS DEL ARROZ
A PARTIR DEL ESCENARIO A2 Y B2



Fuente: Elaboración propia.

El análisis de impactos de las variaciones en la producción del arroz, ante cambio climático, señala que éstos al año 2100 podrían estar en un rango de 0,05% a 0,22% del PIB de 2007, con una tasa de descuento de 4% (véase el cuadro 14).

3. Proyecciones e impactos sobre la renta de la tierra (ganancias agrícolas)

En esta sección se emplean los resultados de las regresiones estimadas anteriormente, incluidas en el cuadro 9 para los dos primeros modelos, y con ello se explora de qué manera los cambios futuros en el clima pueden afectar las ganancias agrícolas de los hogares rurales de Honduras. Los resultados muestran que los valores de las ganancias varían a lo largo de los diferentes municipios de Honduras. Los efectos marginales calculados indican que un pequeño cambio en la temperatura perjudica a la producción agrícola hondureña. En este sentido, se explora la magnitud de los impactos cuando los cambios climáticos se manifiesten en años venideros. Las estimaciones asumen que el resto de las condiciones se

mantienen constantes, y de esa forma se pretende aislar el efecto del cambio climático sobre las ganancias agrícolas mediante las variables de temperatura y precipitación. En cuanto a este punto, cabe señalar que no se toman en cuenta los cambios probables en precios, inversión, población y tecnología.

Cuadro 14
ISTMO CENTROAMERICANO: IMPACTOS ECONÓMICOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO
EN LA PRODUCCIÓN DEL ARROZ COMO PORCENTAJE DEL PIB DE 2007

Año	ESCENARIO A2				ESCENARIO B2			
	Tasa de descuento (r)				Tasa de descuento (r)			
	0,005	0,02	0,04	0,08	0,005	0,02	0,04	0,08
	Especificación 1				Especificación 1			
2020	0,03	0,02	0,02	0,02	0,04	0,03	0,03	0,03
2030	0,05	0,05	0,04	0,03	0,06	0,05	0,04	0,03
2050	0,20	0,13	0,08	0,04	0,09	0,07	0,05	0,03
2070	0,52	0,27	0,13	0,04	0,21	0,12	0,07	0,04
2100	2,04	0,72	0,22	0,05	0,69	0,27	0,10	0,04
	Especificación 2				Especificación 2			
2020	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03	0,03	0,03	0,03
2030	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03	0,03	0,03	0,02
2050	0,07	0,04	0,03	0,02	-0,03	-0,01	0,01	0,02
2070	0,34	0,16	0,07	0,02	0,00	0,00	0,01	0,02
2100	2,19	0,71	0,18	0,03	0,44	0,14	0,04	0,02

Fuente: Elaboración propia.

Nuestra proyección considera un escenario climático de precipitación acumulada y temperatura media anual a nivel de los municipios hondureños. El modelo utilizado para predecir las anomalías del clima en años futuros es el Miroc de alta resolución bajo el escenario A1B. Para evaluar el efecto futuro del clima sobre las ganancias agrícolas, se han considerado como puntos de referencia o de corte los años 2020, 2030, 2050, 2070 y 2095.

La temperatura promedio anual y la precipitación acumulada anual históricas, que se consideran como base de referencia, son 23,48° C y 1.513,59 mm, respectivamente, si bien es importante señalar que la distribución de los cambios en temperatura y precipitación varían a lo largo de los municipios hondureños.

Para realizar nuestras predicciones, se han considerado las dos primeras especificaciones comentadas en la sección 3 del capítulo anterior (véase el cuadro 9). Inicialmente, se calcula el valor esperado de las ganancias agrícolas para cada hogar y posteriormente se estima el impacto total promedio para 2020, 2030, 2050, 2070 y 2095, tal como se señaló en la ecuación (17) del capítulo metodológico de este estudio.

En el cuadro 15 se presenta el monto de las ganancias agrícolas futuras junto con la variación porcentual estimada con respecto al monto promedio actual. Lo anterior para cada uno de los años de corte considerados en este análisis. Es posible observar que en todos los casos el efecto es negativo, anticipando una disminución gradual en las ganancias agrícolas para los distintos períodos futuros.

Cuadro 15
IMPACTOS DE CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE LAS GANANCIAS
AGRÍCOLAS DE HOGARES RURALES HONDUREÑOS^a

Año	Modelo I	Modelo II
	Ganancias agrícolas actuales y futuras (dólares)	
2003	46,49	46,49
2020	44,14	32,85
	(-5,05%)	(-29,34%)
2030	46,79	34,07
	(0,65%)	(-26,72%)
2050	42,85	30,53
	(-7,83%)	(-34,33%)
2070	45,54	30,92
	(-2,04%)	(-33,49%)
2095	44,34	28,71
	(-4,62%)	(-38,24%)

Fuente: Elaboración propia.

^a Los impactos son cambios en las ganancias agrícolas mensuales (dólares). Los cambios porcentuales con respecto al año base se encuentran entre paréntesis.

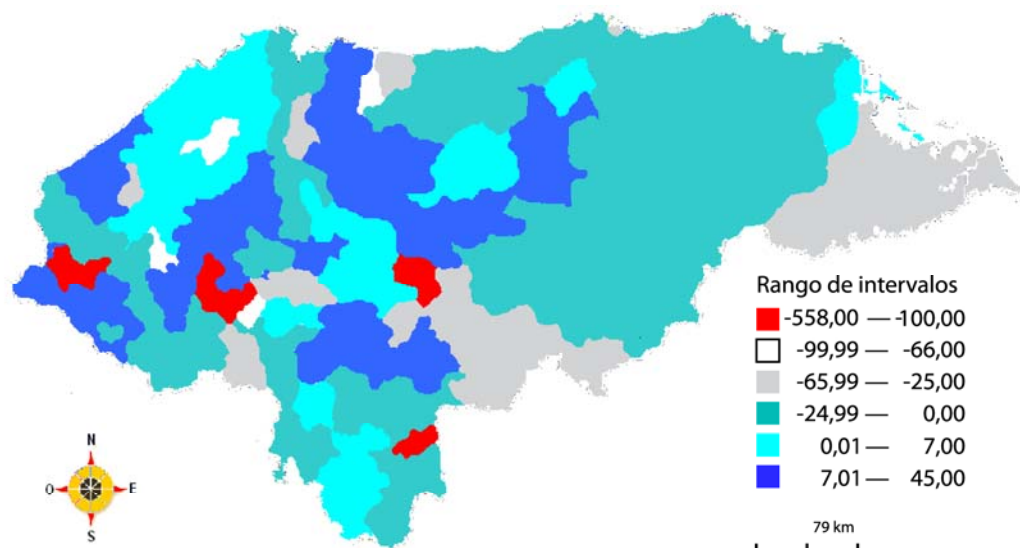
En las proyecciones del modelo I, para 2020 se encuentra que un aumento de la temperatura media anual de 1,71° C y una disminución de la precipitación acumulada de 25,1 mm, en relación con los valores medios históricos, implican una reducción de 5,05% de las ganancias agrícolas, mientras que el modelo II, que incluye variables por tipo de suelo, predice una baja del orden de 29,3%.

Para el año 2050 se observa un incremento de la temperatura media anual de 3,19° C y una disminución de 87,71 mm en la precipitación acumulada. Estos cambios implican una contracción de 7,8% en las ganancias agrícolas bajo el modelo I, mientras que el modelo II pronostica una reducción de 34,3%.

Asimismo, para el año 2095 se genera un aumento de la temperatura media anual de 6,02° C y una baja de la precipitación acumulada de 409,91 mm con respecto a los valores medios históricos. Lo anterior conlleva a una disminución de 4,6% de las ganancias agrícolas en el modelo I, mientras que el modelo II predice una baja del 38,2%. Las diferencias entre las especificaciones de los modelos I y II radican en que la segunda especificación captura 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 1, 2 y 3, donde se muestra la distribución de los cambios en las ganancias agrícolas para los municipios de Honduras en los años 2020, 2050 y 2095, utilizando los resultados econométricos del modelo II y evaluando los resultados de impacto a nivel municipal. En estos mapas es posible notar que el efecto es diferenciado a lo largo de las comunidades hondureñas. No obstante, es posible recalcar que el efecto negativo en las ganancias agrícolas, que surge de manera conjunta por el aumento en la temperatura media anual y la baja en la precipitación acumulada anual, se permean prácticamente en todo el territorio hondureño.

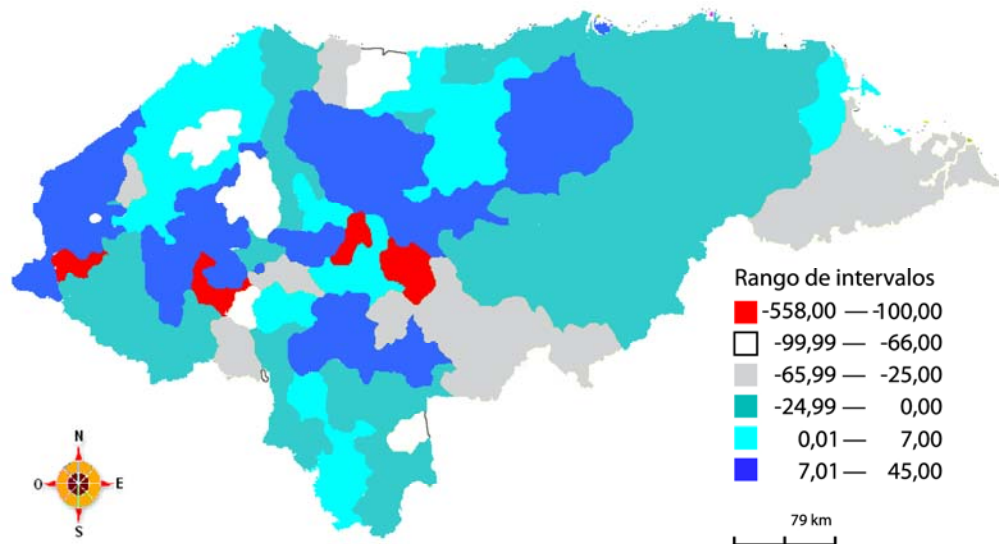
Mapa 1
DISTRIBUCIÓN DE LOS IMPACTOS A NIVEL MUNICIPAL SOBRE LAS GANANCIAS AGRÍCOLAS
PARA EL AÑO 2020



Fuente: Elaboración propia.

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

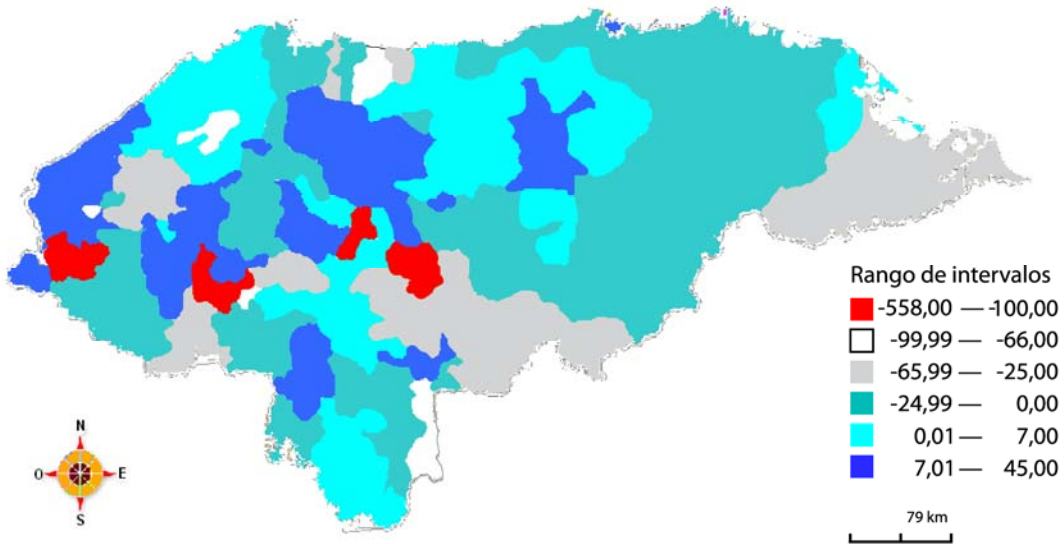
Mapa 2
DISTRIBUCIÓN DE LOS IMPACTOS A NIVEL MUNICIPAL SOBRE LAS GANANCIAS AGRÍCOLAS
PARA EL AÑO 2050



Fuente: Elaboración propia.

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

Mapa 3
DISTRIBUCIÓN DE LOS IMPACTOS A NIVEL MUNICIPAL SOBRE LAS GANANCIAS AGRÍCOLAS
PARA EL AÑO 2095



Fuente: Elaboración propia.

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

VI. CONCLUSIONES

La derivación de los modelos de funciones de producción muestra que el cambio climático producirá efectos negativos sobre la producción agropecuaria del Istmo Centroamericano. La consecuencia directa de los cambios en temperatura y precipitación será el deficiente suministro de alimentos en la región, así como pérdidas económicas. Estas pérdidas al 2100 representan una porcentaje de alrededor de 19% del PIB de 2007 (escenario A2 con una tasa de descuento de 0,05%).

Los resultados de los ejercicios empíricos realizados revelan los efectos adversos sobre los rendimientos de los productos agrícolas, que se traducirían en pérdidas económicas importantes. Se analizaron tres de los productos más importantes en la región: maíz, frijol y arroz. De acuerdo con los resultados, en la producción de frijol es donde se presentarían las mayores pérdidas económicas, seguida de la producción de arroz y por último del maíz.

El análisis Ricardiano de Honduras, realizado a partir de los modelos base utilizados, evidencian, bajo un nivel de confianza alto, que las ganancias agrícolas en Honduras son sensibles al clima, ya que un incremento marginal en la temperatura promedio anual de un grado Celsius reduce las ganancias agrícolas anuales en aproximadamente 26 dólares. En otras palabras, un ligero aumento en la temperatura conlleva un impacto negativo hacia la agricultura hondureña. Así, cuando la temperatura se eleve en 2 grados Celsius las ganancias agrícolas mensuales promedio disminuirían en alrededor de 9%, lo que representa para los hogares rurales hondureños cerca del 3% de su ingreso mensual total. Este impacto es mucho mayor para los primeros dos deciles de los hogares rurales (57% de su ingreso); en cambio, es considerablemente menor para el 20% de los hogares rurales con mayores ingresos (cerca de 1% de su ingreso total). De igual manera, un incremento en la precipitación acumulada anual de 10 mm implica una contracción de las ganancias agrícolas de aproximadamente 0,20 dólares.

El análisis Ricardiano también consideró los impactos de futuros cambios en el clima, los cuales no muestran un escenario alentador sobre los ingresos provenientes del sector agrícola hondureño. Los impactos de las proyecciones futuras predicen efectos negativos que van desde el 2% hasta cerca del 40% de las ganancias agrícolas. De manera adicional, es posible observar que estos efectos presentan una dispersión considerable a través de las distintas regiones del territorio hondureño.

Si bien es cierto que en este trabajo no se toma en cuenta la posible adaptación que los individuos y sus parcelas puedan experimentar ante las variaciones de temperatura y precipitación, resulta importante subrayar el mensaje de impacto negativo atribuible a un aumento en la temperatura y/o precipitación, que debe tomarse en consideración para desarrollar e implementar las medidas de política necesarias y adecuadas a fin de enfrentar los efectos adversos de las variaciones climáticas sobre las ganancias agrícolas de los hogares hondureños.

Los impactos negativos del cambio climático sobre la economía de los países del Istmo Centroamericano son significativos, como se demostró en el enfoque de las funciones de producción. La región del Istmo Centroamericano depende fundamentalmente de su producción agropecuaria, no sólo para su seguridad alimentaria, sino también porque un porcentaje importante de sus exportaciones corresponden a cultivos que se verán afectados. Sin embargo, el impacto principal será sobre los

agricultores de subsistencia, los cuales representan en la región 59,4%²³ de los productores totales. Estos pequeños productores poseen tan sólo 6,5% de la superficie cultivada, y esta proporción de tierra, en su mayoría, es de bajos rendimientos. Asimismo, estos agricultores no cuentan con tecnologías ni riego, que les permita enfrentar los efectos adversos del cambio climático.

La disminución en la producción ocasionará pérdidas económicas importantes, ya que no se tendrán los recursos suficientes para compensarla; es en este sector de la población donde se esperan los mayores impactos negativos, pues dependen de cultivos que eventualmente serán muy afectados, como los granos básicos (frijol, maíz y arroz). Las condiciones de pobreza de los agricultores los hacen muy vulnerables a los impactos del cambio climático. Como señala Altieri y Nicholls (2009) para estos agricultores, aun los menores cambios en el clima pueden tener un impacto desastroso en sus vidas y medios de sustento.

Bajo el escenario desalentador y la falta de recursos hay que buscar estrategias viables, sobre todo para los agricultores pobres vulnerables. En el trabajo de Altieri y Nicholls (2009) se señala que en algunas áreas del mundo los campesinos han desarrollado sistemas agrícolas adaptados a las condiciones locales que les permiten una producción continua necesaria para subsistir, a pesar de cultivar en ambientes marginales, con variabilidad climática no predecible y un uso muy bajo de insumos externos. Bajo este esquema, muchos de los sistemas agrícolas tradicionales alrededor del mundo sirven como modelos de sostenibilidad que ofrecen ejemplos de medidas de adaptación que pueden ayudar a millones de pobladores rurales a reducir su vulnerabilidad al impacto del cambio climático. Los autores señalan las siguientes estrategias de adaptación:

- 1) Uso de variedades/especies adaptadas localmente, mostrando adaptaciones más apropiadas al clima y a los requerimientos de hibernación o resistencia incrementada al calor y la sequía.
- 2) Incremento del contenido de materia orgánica de los suelos mediante la aplicación de estiércol, abonos verdes, cultivos de cobertura, con miras a una mayor capacidad de retención de humedad.
- 3) Un uso más amplio de tecnologías de “cosecha” de agua, conservación de la humedad del suelo mediante *mulching*, y un uso más eficiente del agua de riego.
- 4) Manejo adecuado del agua para evitar las inundaciones, la erosión y lixiviación de nutrientes cuando la precipitación pluvial aumenta.
- 5) Uso de estrategias de diversificación como cultivos intercalados, agroforestería, entre otros, e integración animal.
- 6) Prevención de plagas, enfermedades e infestaciones de malezas mediante prácticas de manejo que promueven mecanismos de regulación biológica y otros (antagonismos, antagonismos, alelopatía, etc.), y desarrollo y uso de variedades y especies resistente a plagas y enfermedades.
- 7) Uso de indicadores naturales para el pronóstico del clima a fin de reducir riesgos en la producción.

²³ Fuente: CEPAL, sobre la base de cifras oficiales de los Censos Agropecuarios de Costa Rica, Guatemala, Honduras, Nicaragua y Panamá. El Salvador MAGA/OPA, Estudio Nacional del Sector Agropecuario, Encuesta sobre Uso y Tenencia de la Tierra .

BIBLIOGRAFÍA

- Adams, Richard, B. Hurd, J. Reilly (1999), "A review of impacts to U.S. agricultural resources", preparado para el Pew Center on Global Climate Change.
- Adams, Richard y otros (1998), "Effects of global climate change on agriculture: An interpretative review", *Climate Research*, II: 19-30.
- _____ (1990), "Global climate change and US agriculture", *Nature*, 345: 219-223.
- _____ (1988), "Implications of global climate change for western agriculture", *Western Journal of Agricultural Economics*, 13 (2): 348-356.
- Alfaro, W. y L. Rivera (2008), *Cambio climático en Mesoamérica: temas para la creación de capacidades y la reducción de la vulnerabilidad*, Fundación Futuro Latinoamericano.
- Altieri, M. y C. Nicholls (2009), "Cambio climático y agricultura campesina: impactos y respuestas adaptativas", *Leisa Revista de Agroecología*, marzo.
- Audesirk, Teresa (2003), *Biología: La vida en la Tierra*, Prentice Hall México.
- Backlund, Peter, Anthony Janetos y David Schimel (2009), Managing Editor: Margaret Walsh, "The effects of climate change on agriculture, land resources, water resources, and biodiversity in the United States", *Synthesis and Assessment Product 4.3 Report by the U.S. Climate Change Science Program and the Subcommittee on Global Change Research, U. S. Global Change Research Program, Global Climate Change Impacts in the United States*, Agriculture, Cambridge University Press.
- 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.
- Banco Central de Belice (2009), *Reportes anuales, varios años, del 2004 al 2008*.
- Banco Central de Honduras (2009), *Boletín estadístico mensual*, diciembre de 2008.
- _____ (2009) *Honduras en cifras, 2002-2008*
- _____ (2009), *Informe de Comercio Exterior, 2008*.
- Banco Central de Nicaragua (2009), *Indicadores económicos mensuales*, junio.
- Banco Central de Reserva de El Salvador (2009), *Revista trimestral*, octubre-diciembre de 2008.
- Banco de Guatemala (2009), *Boletín Estadístico*, diciembre de 2008.
- _____ (2009) *Boletín de estadísticas agrícolas y pecuarias, 2008*.
- CAC (Consejo Agropecuario Centroamericano) (2007), "Política Agrícola Centroamericana 2008-2017", *Una agricultura competitiva e integrada para un mundo global*, San José, Costa Rica.
- _____ (2002), *Estrategia para el manejo de la sequía en el sector agropecuario de Centroamérica*, San José, Costa Rica, enero.
- CCAD (Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo) (2008), *Lineamientos de la Estrategia Regional de Cambio Climático*, San Salvador, El Salvador, abril.
- _____ (2007), "Política agrícola centroamericana 2008-2017", *Una agricultura competitiva e integrada para un mundo global*, San José, Costa Rica.
- _____ (2005), Plan Ambiental de la Región Centroamericana (PARCA), aprobado por el Consejo de Ministros de la CCAD en su XL Reunión Ordinaria, celebrada en Managua el 28 de julio.
- 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), *Anexos estadísticos de las notas económicas*.
- _____ (2008), *Economic Survey of the Caribbean, 2007-2008* (LC/CAR/L.173), julio.

- CGR (Contraloría General de la República) (2009), *Boletín de granos básicos y boletín de información pecuaria, 2008*, Panamá.
- _____ (2009), *Encuesta de Empleo, 2008*.
- _____ (2009), *Sistema de Consulta de Estadísticas de Comercio Exterior*.
- 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.
- 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.
- DIGESTYC (Dirección General de Estadística y Censos) (2008), *Encuesta de Hogares de Propósitos Múltiples, 2007*, El Salvador.
- Espinoza, Gatica y Smyle (1999), *El pago de servicios ambientales y el desarrollo sostenible en el medio rural*, San José Costa Rica, Serie de Publicaciones RUTA, RUTA e IICA, junio.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación) (2003a), *World Agriculture: Towards 2015/2030. A FAO Perspective*, Roma.
- _____ (2003b), *The Digital Soil Map of the World (DSMW) CD-ROM*, Roma.
- Finger, R. y S. Schmid (2007), *Modelling 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, No. 4135, Banco Mundial.
- Fournier, L. y J. di Stefano (2004), “Variaciones climáticas entre 1988 y 2001 y sus posibles efectos sobre la fenología de varias especies leñosas y el manejo de un cafetal con sombra en ciudad Colón de Mora”, *Agronomía Costarricense*, 28 (001): 101-120, Costa Rica.
- Galindo, L. (2009) “La economía del cambio climático en México”, *Gobierno Federal, SHCP y SEMARNAT*.
- Gay, C. y otros (2004), “Impactos potenciales del cambio climático en la agricultura: escenarios de producción de café para el 2050 en Veracruz”, México, inédito.
- Harmeling, S. (2007), *Global Climate Risk Index 2008*, Germanwatch [en línea] <<http://www.germanwatch.org/klima/cri.htm>>.
- INE (Instituto Nacional de Estadística) (2008), *Encuesta Agropecuaria Básica*, Honduras.
- _____ (2007), *Encuesta Permanente de Hogares*, Honduras.
- INEC (Instituto Nacional de Estadística y Censos) (2008), *Encuesta de Hogares de Propósitos Múltiples*, Costa Rica.
- INEC (Instituto Nacional de Estadística y Censos) (2009), *Encuesta de Empleo*, Nicaragua.
- INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias) (2005), “Potencial productivo agrícola de la región valles de Jalisco”, INIFAP, SAGARPA.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2007), *Cambio climático 2007: informe de síntesis. Contribución de los grupos de trabajo I, II y III al cuarto informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*, Ginebra, pág. 104.
- Klinedinst, P. L. y otros (1993), “The potential effects of climate change on summer season dairy cattle milk production and reproduction”, *Climatic Change*, 23(1): 21-36.
- Leary, N., J. Kulkarni y C. Seipt (2007), *Assessment of Impacts and Adaptation to Climate Change (AIACC): Final Report*, AIACC Implementing Agency of the United Nations Environment Programme (UNEP), Washington, D. C.
- Maddison, D., M. Manley y P. Kurukulasuriya (2007), “The impact of climate change on African agriculture. A Ricardian approach”, *Policy Research Working Paper*, 4306, Banco Mundial.
- MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería) (2008), *Información del Sector Agropecuario, 2007*, El Salvador.
- MAGA (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación), Unidad de Políticas e Información Estratégica (UPI) (2007), *Estadísticas de Producción Agropecuaria*, Guatemala.

- MAGA/OPA (Ministerio de Agricultura y Ganadería y Oficina de Planificación Agropecuaria) (1989), “Estudio nacional del sector agropecuario”, *Encuesta sobre uso y tenencia de la tierra*, El Salvador.
- MAGFOR (Ministerio Agropecuario y Forestal) (2008), *Información estadística anual de producción agropecuaria (Ciclo agrícola 2006/2007 y período pecuario 2008)*, Nicaragua.
- 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*, informe 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.
- Metz, B. y otros (2007), *Climate Change 2007, Mitigation of Climate Change*, IPCC.
- MIDA (Ministerio de Desarrollo Agropecuario) (2008), *Cartilla Agropecuaria, 2007*, Panamá.
- Ministerio de Economía y Finanzas (2009), Dirección de Análisis y Políticas Económicas, *Informe económico anual, 2008*, Panamá.
- Molua, E. y C. Lambi (2007), “The economic impact of climate change on agriculture in Cameroon”, *Policy Research Working Paper*, N° 4364, Banco Mundial.
- Monterrosa de Tobar, M. (1998), “Evaluación de los impactos del cambio climático en el sector agropecuario de la zona costera de El Salvador”, Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Mora, J. J. y A. Yúnez-Naude (2008), “Climate change and migration in rural Mexico”, informe al Banco Mundial, Latin American Division.
- Parry, M. L. y otros (2004), “Effects of climate change on global food production under SRES emissions and socio-economic scenarios”, *Global Environmental Change*, 14: 53-67.
- PNUMA (Programa de la Naciones Unidas para el Medio Ambiente) y UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change) (2004), “Carpeta de Información sobre el cambio climático”, octubre.
- PROCOMER (Promotora de Comercio Exterior) (2009), *Estadísticas de exportación, 2008*, Costa Rica.
- Rosenzweig, C. y M. Parry (1994), “Potential impact of climate change on world food supply”, *Nature*, 367: 133-138.
- SAG (Secretaría de Agricultura y Ganadería), INFOAGRO (Información Agrícola) (2006), *Información sobre el sector agropecuario*, Honduras.
- 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.
- 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.

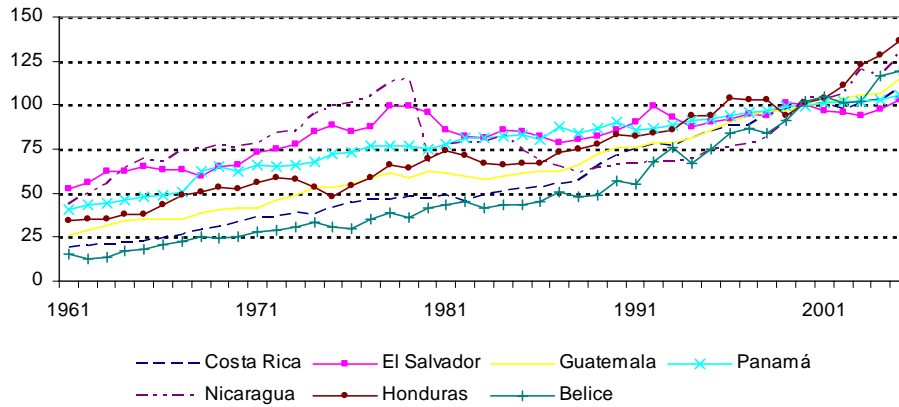
- Seo, S. N. y R. Mendelsohn (2008a), "A Ricardian analysis of the impact of climate change on Latin American farms, *Policy Research Series Working Paper*, N° 4163, Washington, D. C., Banco Mundial.
- _____ (2008b), "A Ricardian analysis of the impact of climate change on South American farms", *Chilean 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.
- _____ (2008d), "Measuring impacts and adaptations to climate change: A structural Ricardian model of African Livestock Management", *Agricultural Economics*, 38:151-165.
- _____ (2006), "Climate change impacts on animal husbandry in Africa: A Ricardian analysis", *World Bank Policy Research Working Paper*, No. 4621, Washington, D. C.
- SEPSA (Secretaría Ejecutiva de Planificación Sectorial Agropecuaria) (2009), *Boletín Estadístico Agropecuario*, N° 19, Costa Rica.
- Sergendon, 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.
- 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.
- Vega, E. y L. Gámez (2003), "Implicaciones económicas de los eventos hidrometeorológicos en Costa Rica: 1996-2001", inédito.
- Warrick, R. A. (1984), "The possible impacts on wheat production of a recurrence of the 1930's drought in the great plains", *Climatic Change*, 6: 5-26.
- Wild, Alan (1992), *Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Russell*, Mundi-Prensa.

Anexos

Anexo I

Gráfico I-1

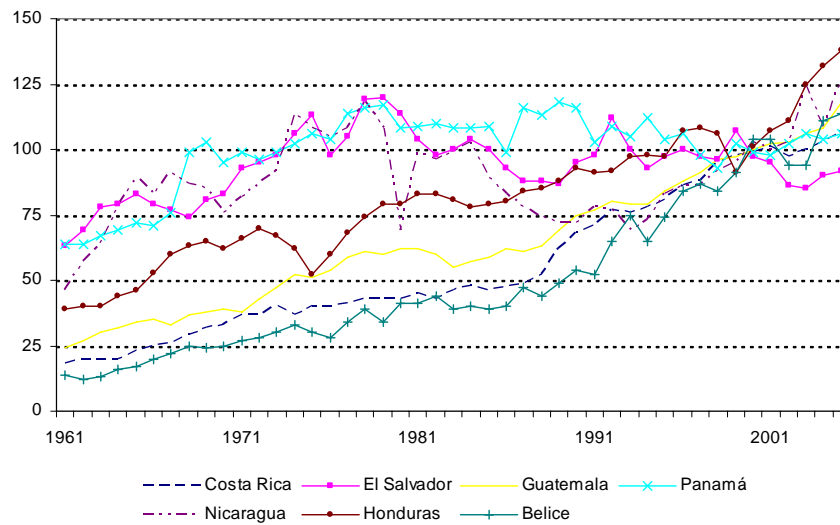
ISTMO CENTROAMERICANO: ÍNDICE DE PRODUCCIÓN AGROPECUARIA, 1961-2005



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico I-2

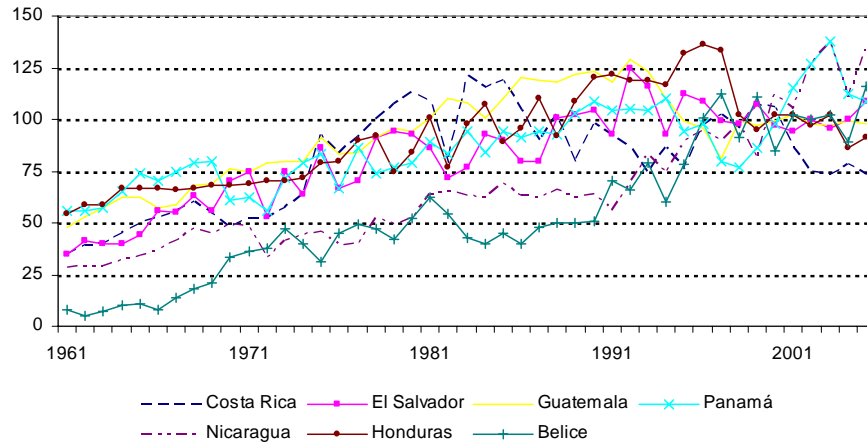
ISTMO CENTROAMERICANO: ÍNDICE DE PRODUCCIÓN DE CULTIVOS, 1961-2005



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico I-3

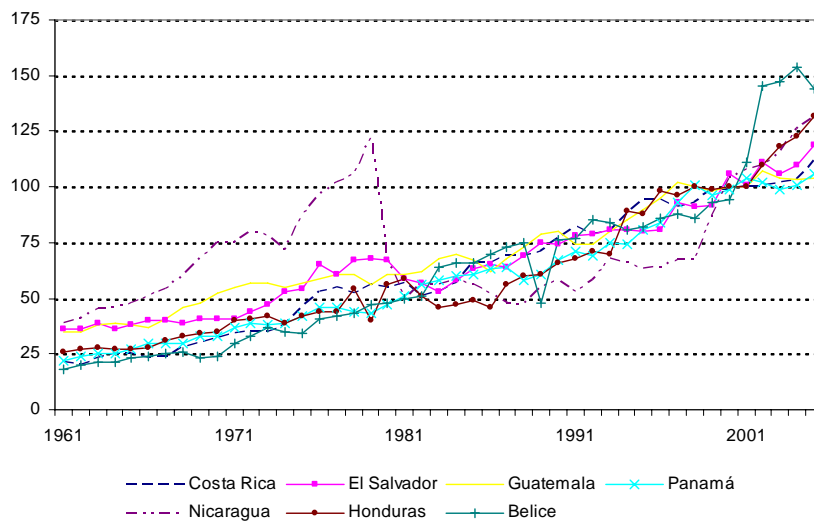
ISTMO CENTROAMERICANO: ÍNDICE DE PRODUCCIÓN DE CEREALES, 1961-2005



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico I-4

ISTMO CENTROAMERICANO: ÍNDICE DE PRODUCCIÓN PECUARIA, 1961-2005



Fuente: Elaboración propia.

Anexo II

EMISIONES DE CO₂

Para ejemplificar, se realizaron estimaciones de las funciones de producción agropecuaria y cultivos con la precipitación acumulada en la época de lluvias y emisiones de CO₂. Es importante tomar en cuenta lo complejo que resulta efectuar un análisis de las consecuencias del aumento de las emisiones de CO₂. Los resultados se presentan en el cuadro A II-1. También se incluyeron términos cuadráticos para capturar el efecto no lineal de ambas variables en las funciones de producción. Los signos de las variables precipitación y emisiones de CO₂ son los esperados y ambos son significativos. Las estimaciones muestran que niveles mayores de emisión de 7,6 millones de toneladas ocasionarán pérdidas en la producción agrícola (Véanse los gráficos II-1 y II-2.)

Cuadro II-1
ESTIMACIONES DEL MODELO DE MCO DE
ÍNDICE DE PRODUCCIÓN

	Agropecuaria	Cultivos
Tendencia	0,6591142 (2,52) **	0,3664403 (2,22) **
Tendencia ²	0,0100926 -1,76	
Precipitación acumulada en época de lluvias	0,0439372 (12,18) ***	0,0831884 (7,28) ***
Precipitación acumulada en época de lluvias ²	-0,0000149 (10,33) ***	-0,0000271 (8,15) ***
Emisiones de CO ₂	8,034438 (6,83) ***	13,7635 (8,18) ***
Emisiones de CO ₂ ²	-0,5307181 (4,68) ***	-0,9286919 (5,94) ***
Superficie de tierra arable y cultivos permanentes	0,0029398 (2,11) **	0,0058016 (2,03) **
Participación de PEA rural / PEA total		-47,52142 (2,44) **
Observaciones	315	315
R ^{2a}	70,0	51,0

Fuente: Elaboración propia.

Valores absolutos del t-estadístico entre paréntesis.

^a Debido a que ese suprimió la constante de las ecuaciones, la R² no es relevante, pero se reporta la que arroja el programa E-views.

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

Gráfico II-1
IMPACTOS DE CAMBIOS EN PRECIPITACIÓN Y EMISIONES DE CO₂
EN LA PRODUCCIÓN AGROPECUARIA

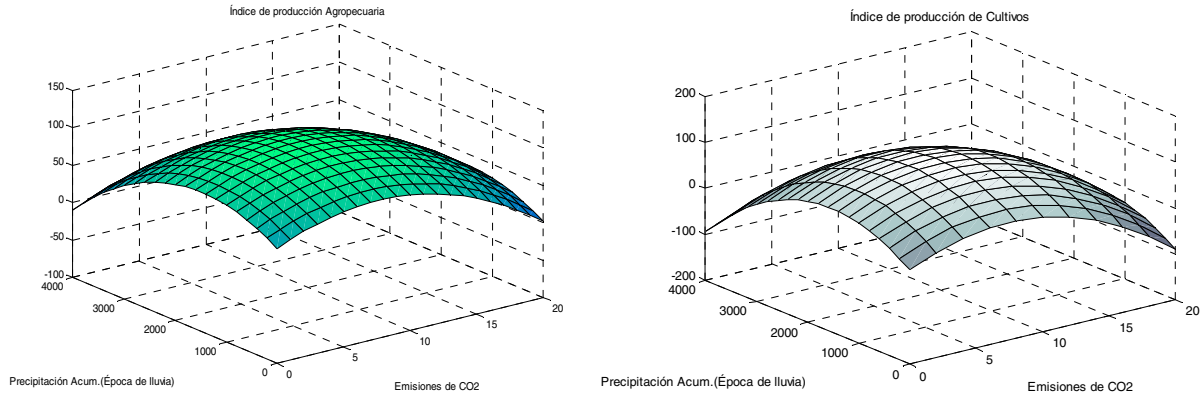
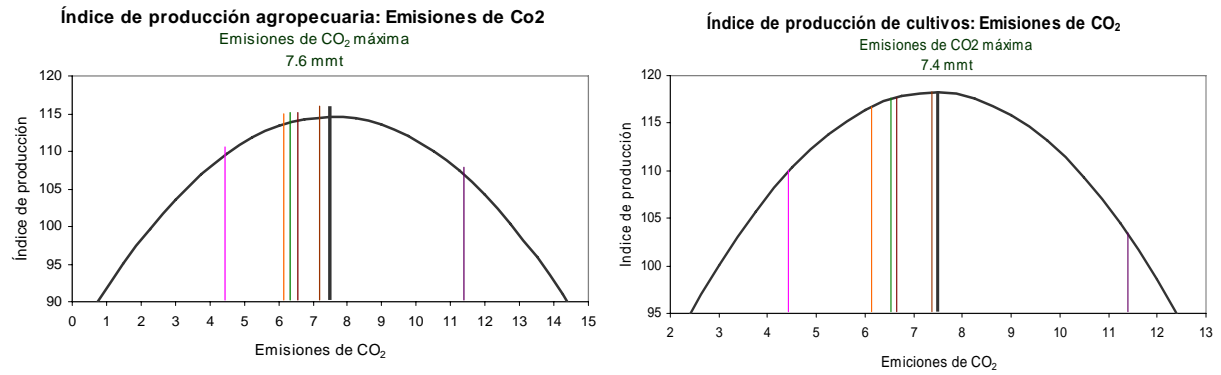


Gráfico II-2
NIVEL DE EMISIONES DE CO₂ 2005

Belice	0.8mmt	Costa Rica	6.4mmt	El Salvador	6.6mmt
Guatemala	11.4mmt	Honduras	7.4mmt	Nicaragua	4.4mmt
Panamá	6.1mmt				



Anexo III

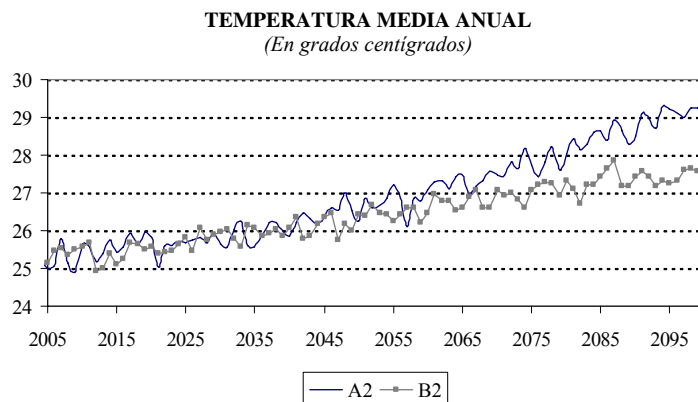
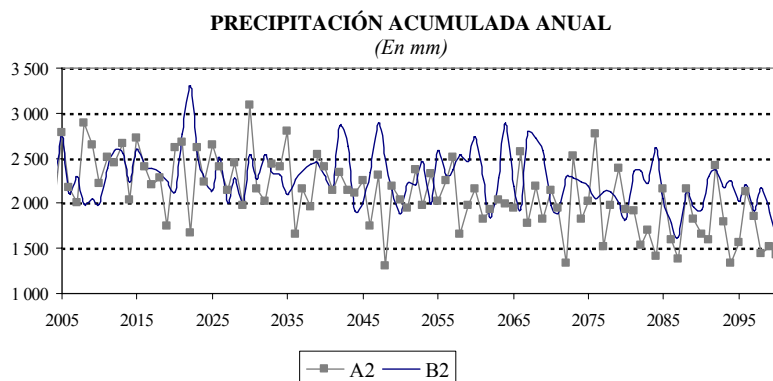
Cuadro III-1
ISTMO CENTROAMERICANO: ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA, 2005-2100^a

	Observaciones	Media	Desviación estándar	Valor mínimo	Valor máximo
Precipitación acumulada anual (A2)	95	2 090,88	392,52	1 311,57	3 095,68
Precipitación acumulada anual (B2)	95	2 270,50	293, 5	1 565,15	3 300,88
Temperatura media anual (A2)	95	26,93	1,25	24,88	29,47
Temperatura media anual (B2)	95	26,41	0,74	24,92	27,87

Fuente: Elaboración propia.

^a Promedio de la región.

Gráfico III-1
ISTMO CENTROAMERICANO: ESCENARIOS A2 PROMEDIO Y B2 PROMEDIO



Fuente: Elaboración propia.

Anexo IV

Cuadro IV-1
ISTMO CENTROAMERICANO: IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO, 2020, 2030, 2050, 2070 Y 2100
ESCENARIO B2 (ECHAM, GFDL, HADGEM)
(En porcentajes del PIB de 2007)

Año	Producción agropecuaria				Producción agrícola				Producción de cereales			
	Tasa de descuento (r)				Tasa de descuento (r)				Tasa de descuento (r)			
	0,005	0,02	0,04	0,08	0,005	0,02	0,04	0,08	0,005	0,02	0,04	0,08
Cambios en temperatura y precipitación												
2020	0,25	0,20	0,14	0,05	0,21	0,18	0,14	0,08	0,05	0,04	0,03	0,02
2030	2,19	1,70	1,22	0,62	1,62	1,28	0,94	0,51	0,22	0,17	0,13	0,07
2050	4,86	3,28	2,03	0,85	3,07	2,13	1,36	0,62	0,55	0,37	0,23	0,10
2070	9,20	5,19	2,68	0,93	5,33	3,11	1,70	0,67	1,07	0,60	0,31	0,11
2100	14,17	6,73	3,02	0,95	7,54	3,79	1,84	0,67	1,84	0,84	0,36	0,11
Cambios en temperatura												
2020	0,56	0,50	0,44	0,36	0,22	0,19	0,17	0,14	0,08	0,07	0,06	0,05
2030	1,28	1,04	0,80	0,52	0,50	0,40	0,31	0,20	0,18	0,14	0,11	0,07
2050	3,54	2,38	1,50	0,72	1,38	0,93	0,58	0,28	0,49	0,33	0,21	0,10
2070	7,09	3,96	2,05	0,80	2,78	1,55	0,80	0,31	0,97	0,55	0,28	0,11
2100	14,05	6,11	2,52	0,82	5,54	2,40	0,99	0,32	1,91	0,83	0,35	0,11
Cambios en precipitación												
2020	-0,31	-0,31	-0,31	-0,31	-0,01	-0,02	-0,03	-0,06	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03
2030	0,91	0,66	0,42	0,10	1,12	0,87	0,62	0,31	0,04	0,03	0,02	0,00
2050	1,32	0,90	0,53	0,13	1,70	1,20	0,78	0,34	0,06	0,04	0,02	0,00
2070	2,12	1,23	0,63	0,14	2,55	1,56	0,90	0,36	0,10	0,06	0,03	0,00
2100	0,12	0,62	0,50	0,13	1,99	1,38	0,86	0,35	-0,07	0,00	0,01	0,00

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro IV-2
ISTMO CENTROAMERICANO: IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO, 2020, 2030, 2050, 2070 Y 2100
(En porcentajes del PIB de 2007)

Año	Cambios en temperatura							
	Producción pecuaria							
	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	0,49	0,43	0,36	0,27	0,30	0,27	0,24	0,19
2030	0,88	0,72	0,56	0,36	0,70	0,57	0,44	0,28
2050	2,41	1,62	1,02	0,49	1,94	1,31	0,82	0,39
2070	5,07	2,80	1,43	0,54	3,88	2,17	1,12	0,43
2100	11,79	4,85	1,87	0,56	7,67	3,34	1,38	0,45

Fuente: Elaboración propia.