

# IMPACTOS POTENCIALES DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA AGRICULTURA: ESCENARIOS DE PRODUCCIÓN DE CAFÉ PARA EL 2050 EN VERACRUZ (MÉXICO)

Carlos GAY; Francisco ESTRADA; Cecilia CONDE y Hallie EAKIN  
*Centro de Ciencias de la Atmósfera, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)*

## RESUMEN

La producción de café en México tradicionalmente ha sido una fuente importante de divisas y de ingreso para miles de pequeños productores. A pesar de su importancia económica nacional y local, se ha prestado muy poca atención a los impactos potenciales que cambios en las variables climáticas podrían tener sobre este cultivo. Los estudios que se han realizado en Veracruz analizan cambios en políticas agrícolas e inestabilidad del mercado, que resultan más inmediatas que el clima. Sin embargo, dependiendo de la sensibilidad del cultivo al clima y de cuánto se modifique éste en la región, las variables climáticas pueden convertirse en factores que determinen su viabilidad física y económica y con ello, las fuentes de ingreso y trabajo que genera. Este estudio aplica un modelo econométrico para explorar la sensibilidad de la producción de café en el Estado de Veracruz a cambios en variables climáticas y económicas. Se construyeron escenarios climáticos usando los modelos HadCM2 y ECHAM4 para obtener escenarios para el 2050 y se estimó la producción de café futura en el estado y se analizaron los posibles efectos de estos cambios en el ingreso de los productores. Los resultados sugieren que la situación económica de los productores empeorará, y que es necesario que el cambio climático sea parte explícita de los planes de desarrollo agrícola.

**Palabras clave:** Cambio climático, impactos en agricultura, impactos socioeconómicos.

## ABSTRACT

*Coffee has been one of Mexico's primary sources of foreign exchange, and is an important source of livelihood for thousands of smallholder farmers. Despite its national and regional economic importance, very little attention has been paid to the sensitivity of the crop to potential changes in climate parameters. Studies that have been carried out in Veracruz to assess coffee production vulnerability are almost exclusively concerned with policy changes and market instability. These factors represent more immediate, imperative threats than climate factors. Nonetheless, climate factors can determine the physical and economical viability for producing a particular crop, depending on how sensitive the crop turns out to be and on how significant are those changes for the region. This study applies an econometric model to explore the response of coffee production to climate and economic variables. Climate scenarios for 2050 were constructed using the HadCM2 and ECHAM4 models. Expected coffee production for present and for 2050 are calculated and some effects on producer's income are analyzed. Results suggest that climate change needs to become an explicit part of agricultural development planning.*

**Keywords:** Climate change, impacts on agriculture, socioeconomic impacts.

## 1. INTRODUCCIÓN

La producción de café en México ha sido una fuente importante de divisas y de ingreso para miles de pequeños productores. A pesar de su importancia económica nacional y local, se ha prestado

muy poca atención a los impactos que potenciales cambios en las variables climáticas podrían tener sobre este cultivo.

El Estudio de País (GAY, 1995,1996) proporciona escenarios para México en condiciones de doblamiento en las concentraciones atmosféricas de CO<sub>2</sub>. Este estudio presenta un México muy afectado y vulnerable con incrementos en las temperaturas de entre 2 y 4°C en todo el país, con problemas crecientes de sequía y erosión y en el manejo de recursos hídricos. Investigaciones conjuntas en los campos de las ciencias sociales y físicas han demostrado que el sector agrícola en México es particularmente sensible a cambios en la disponibilidad del agua y a los patrones climáticos (MAGAÑA y CONDE, 2000; CONDE *et al.*, 1997; MENDOZA *et al.*, 1997; LIVERMAN *et al.*, 1994). Ignorar los efectos potenciales de un cambio climático, resultaría especialmente arriesgado en casos como el de la producción de café en Veracruz ya que la inestabilidad del mercado internacional y las condiciones socioeconómicas que presenta el estado han incrementado, en gran medida, la vulnerabilidad de los productores y disminuido su capacidad de adaptación (GAY *et al.*, 2004).

Los estudios realizados sobre el cultivo de café en Veracruz se han concentrado cambios en políticas agrícolas e inestabilidad del mercado, que resultan más inminentes que el clima. Sin embargo, dependiendo de la sensibilidad del cultivo al clima y de cuánto se modifique éste en la región de estudio, las variables climáticas ser factores que determinen la viabilidad física y económica del cultivo y con ello, las fuentes de ingreso y trabajo que genera.

El sector primario en este estado tiene gran relevancia socioeconómica ya que genera el 7,9% del PIB estatal y da empleo al 31,7% de la población ocupada. La producción de café ocupa un importante lugar en este rubro. De acuerdo con el Censo Cafetalero de 1992 en Veracruz se dedican 153.000 ha a la cafecultura, la cual involucra a más de 67.000 productores ubicados en 82 municipios y genera alrededor de 300.000 empleos permanentes y 30 millones de jornales al año. Las condiciones socioeconómicas en gran parte del estado son desfavorables: en el año 2000 cerca de la mitad sus municipios se clasificaron con un grado de marginación de muy alto a alto<sup>1</sup>. Las condiciones climáticas actuales son muy favorables para la agricultura y en particular para la producción de café. Sin embargo, los modelos de cambio climático muestran que esto podría cambiar.

En la gran mayoría de los casos, los tomadores de decisión no están conscientes, ni mucho menos han evaluado, el riesgo potencial que el cambio climático podría representar. Este trabajo consiste en la elaboración de posibles escenarios climáticos y de sus impactos potenciales en la producción de este importante cultivo para el 2050.

Este trabajo utiliza un modelo econométrico desarrollado por GAY *et al.* (2004) para evaluar los efectos de variables climáticas y económicas sobre la producción de café en Veracruz. Los modelos HadCM2 (Hadley Centre) y ECHAM4 (Modelos de pronóstico del European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, modificados y extendidos en Hamburgo) se utilizaron para la generación de escenarios de cambio en las condiciones climáticas medias en el 2050. Para simular la variabilidad futura, se generaron números aleatorios acordes a las distribuciones de probabilidad mostradas por las series.

---

<sup>1</sup> Fuente: Consejo Estatal de Población, Xalapa, Veracruz (<http://coespo.ver.gob.mx/boletin11dejulio.htm>).

## 2. ESCENARIOS PARA EL 2050

En este apartado se utiliza el modelo econométrico desarrollado por GAY *et al.* (2004) para estimar los efectos de cambios en las variables climáticas sobre la producción de café en Veracruz. El modelo integra la variable económica de salarios, que representa alrededor del 80% de los costos de producción del café y las variables climáticas temperatura de invierno y de verano, y lluvias en primavera<sup>2</sup>. En el subapartado uno se desarrollan escenarios climáticos y en el subapartado dos se calculan los impactos potenciales que el cambio climático tendría en la producción de café en el Estado de Veracruz en el año 2050.

### 2.1. Escenarios climáticos para Veracruz en el año 2050

La tabla 1 presenta los valores medios actuales de las variables climáticas relevantes y los valores medios futuros obtenidos usando los modelos ECHAM4 y HadCM2 tanto para sensibilidad media como alta. Se consideró el escenario de emisiones A2 del Informe Especial sobre Escenarios de Emisiones del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, 2000). Los escenarios A2 corresponden con las siguientes características: un mundo muy heterogéneo, donde predominan la autosuficiencia y la conservación de las identidades locales; el índice de natalidad en el conjunto de las regiones convergen muy lentamente, con lo que se obtiene una población en continuo crecimiento; el desarrollo económico está orientado básicamente a las regiones y el crecimiento económico por habitante así como el cambio tecnológico es lento y no es constante.

Tabla 1. Valores medios actuales y para el 2050

MEDIA	PRECIPITACIÓN EN PRIMAVERA	TEMPERATURA DE VERANO	TEMPERATURA DE INVIERNO
<b>Actual</b>	81,35	24,96	20,75
<b>E sm 2050</b>	79,72	26,81	22,45
<b>E sa 2050</b>	69,15	26,81	22,95
<b>H sm 2050</b>	68,34	26,86	22,45
<b>H sa 2050</b>	61,01	27,56	23,15
E sm = ECHAM4 sensibilidad media; E sa = ECHAM4 sensibilidad alta H sm = HadCM2 sensibilidad media; E sa = HadCM2 sensibilidad alta			

La tabla anterior muestra que algunos valores se repiten. Para la temperatura de verano el modelo ECHAM4 produce el mismo cambio con una sensibilidad media que con una sensibilidad alta y además resulta muy parecido al obtenido con el HadCM2. En el caso de la temperatura de invierno, el valor obtenido con los dos modelos con sensibilidad media es el mismo. Asimismo, los valores de los modelos ECHAM4 y HadCM2 para la precipitación en primavera son muy similares.

Para simular la variabilidad futura en las series climáticas, se utilizó un generador de números aleatorios. Se realizó la prueba Jarque-Bera a las series de datos observados (1969-1998) para evaluar si se pudiera considerar que se distribuyen de manera normal. Dicha prueba no rechazó

<sup>2</sup> Estas variables representan etapas importantes en el desarrollo y maduración del fruto.

esta hipótesis, por lo que se procedió con la generación de números aleatorios usando la desviación estándar observada en la serie y una media cero. Las variaciones obtenidas se sumaron a las tendencias lineales que se calcularon entre la media actual y las medias futuras obtenidas con los modelos climáticos. Las figuras 1, 2 y 3 muestran las series de temperatura y precipitación para el periodo 1969-2050.

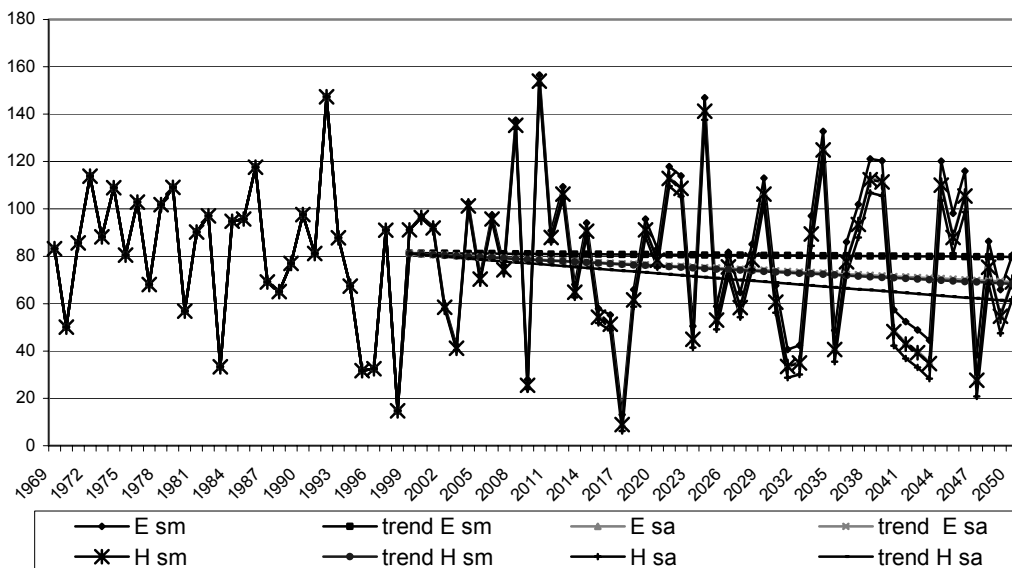


Fig. 1. Precipitación en primavera para el periodo 1969-2050  
E = Echam; H = Hadley; sm = sensibilidad media; sa = sensibilidad alta; trend = tendencia

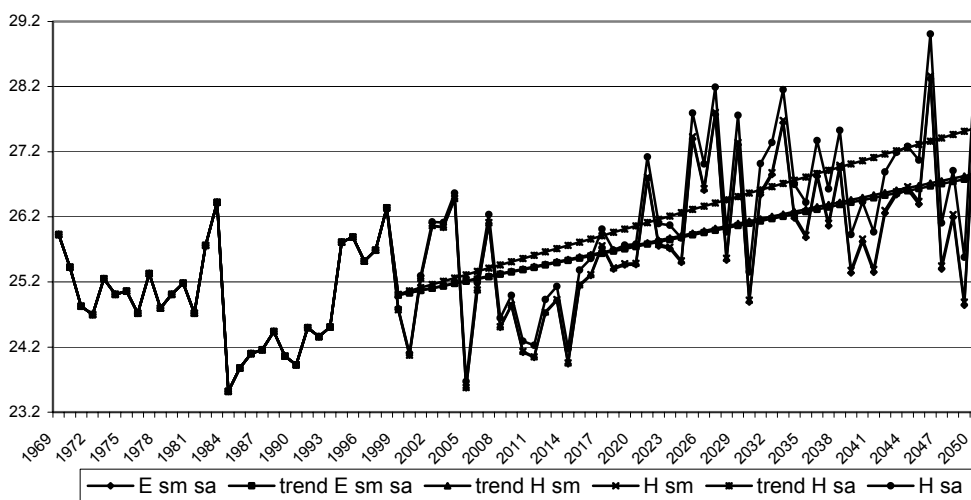


Fig. 2. Temperatura de verano para el periodo 1969-2050  
E = Echam; H = Hadley; sm = sensibilidad media; sa = sensibilidad alta; trend = tendencia

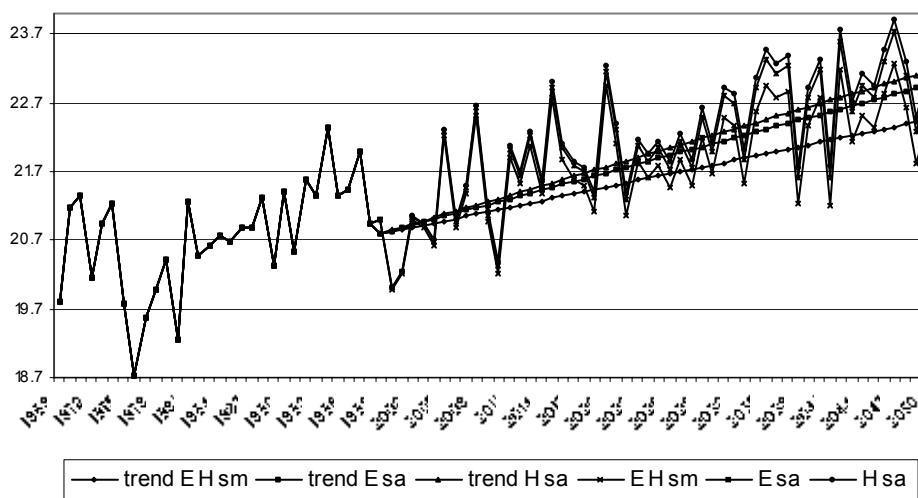


Fig. 3. Temperatura de invierno para el periodo 1969-2050

E = Echam; H = Hadley; sm = sensibilidad media; sa = sensibilidad alta; trend = tendencia

De los cuatro posibles escenarios para cada serie (dos modelos, dos sensibilidades) se escogieron dos, el que presenta mayor cambio (pesimista) y el que presenta menor cambio (optimista).

Se calcularon las probabilidades de que las series climáticas se encuentren en distintos rangos: en un rango medio para valores entre más/menos una desviación estándar ( $\sigma$ ) actual; en un rango de más una desviación estándar para valores en el intervalo  $[\sigma, 2\sigma)$ ; más dos desviaciones estándar para valores mayores o iguales que  $2\sigma$ . Para variaciones negativas se definieron los rangos de menos una desviación estándar y de menos dos desviaciones estándar de la misma manera. Las desviaciones estándar que definen estos rangos se mantuvieron fijas en los valores mostrados en el presente con el objeto de servir de base de comparación para el futuro. Variaciones dentro del rango medio  $(-\sigma, \sigma)$  representan cambios en la producción de café menores a un 10% por lo que suponemos que representa un estado al esta actividad está adaptado. Sin embargo, las proyecciones futuras nos indican que cada vez será más frecuente alcanzar valores para los que la producción de café no esta adaptado. Las probabilidades actuales y de los escenarios optimistas y pesimistas para el 2050 se presentan en la tabla 2 y en la tabla 3 respectivamente.

Tabla 2. Probabilidades actuales

	Media ( $-\sigma, \sigma$ )	Media más una desviación estándar $[\sigma, 2\sigma)$	Media más dos desviaciones estándar $\geq 2\sigma$	Media menos una desviación estándar $[-\sigma, -2\sigma)$	Media menos dos desviaciones estándar $\leq -2\sigma$
<b>TINV</b>	0,73	0,07	0,03	0,13	0,03
<b>TVERA</b>	0,60	0,20	0,00	0,20	0,00
<b>PPRIM</b>	0,73	0,07	0,03	0,13	0,03

Tabla 3. Escenarios para el 2050

ESCENARIO OPTIMISTA						
	Media ( $-\sigma, \sigma$ )	Media más una desviación estándar [ $\sigma, 2\sigma$ )	Media más dos desviaciones estándar $\geq 2\sigma$	Media menos una desviación estándar [ $-\sigma, -2\sigma$ )	Media menos dos desviaciones estándar $\leq 2\sigma$	Modelo*
<b>TINV</b>	0,46	0,24	0,23	0,05	0,01	E sm / H sm
<b>TVERA</b>	0,45	0,23	0,18	0,13	0,00	E sm / E sa / H sm
<b>PPRIM</b>	0,63	0,13	0,04	0,17	0,02	E sm
ESCENARIO PESIMISTA						
<b>TINV</b>	0,41	0,24	0,28	0,05	0,01	H sa
<b>TVERA</b>	0,39	0,26	0,24	0,11	0,00	H sa
<b>PPRIM</b>	0,66	0,06	0,02	0,22	0,04	H sa
E sm = ECHAM4 sensibilidad media; E sa = ECHAM4 sensibilidad alta H sm = HadCM2 sensibilidad media; E sa = HadCM2 sensibilidad alta						

Comparando las probabilidades actuales con las probabilidades asociadas a los escenarios futuros, vemos que en el caso de las temperaturas las variaciones por arriba de la media actual serán más frecuentes en el futuro, mientras que la probabilidad de la media y las desviaciones por debajo de la misma serán menos frecuentes que ahora. En el caso de la lluvia ocurre lo contrario, las desviaciones positivas serán menos frecuentes en tanto que las probabilidades de la media y de las variaciones negativas serán más frecuentes. Cabe señalar que la probabilidad conjunta de que las series se encuentren en su valor medio actual será menor en el futuro. En el presente esta probabilidad es de 32,26% y de acuerdo con los escenarios optimista y pesimista será de 13,26% y 10,65% respectivamente. Como se mostrará posteriormente en el caso de la temperatura esto tiene importantes efectos sobre la producción.

## 2.2. Escenarios para la producción de café en Veracruz en el año 2050

El modelo desarrollado por GAY *et al.* (2004) consiste en la función de producción mostrada en la Ecuación 1 que integra aspectos climáticos y económicos. Las variables climáticas son: temperatura promedio de verano, temperatura promedio de invierno y precipitación promedio en primavera. Se tomó el salario mínimo como la variable económica debido a que la producción de café en Veracruz representa el 80% de los costos de producción. Para el caso de la temperatura se escogió una forma funcional cuadrática con el fin de capturar su efecto no monótono en la producción de café y para poder identificar cual sería su valor óptimo. En el caso de la precipitación se determinó que, para el rango de valores que la serie ha mostrado y que se espera muestre en el futuro, la mejor manera de modelar su efecto sería de manera lineal<sup>3</sup>.

Ecuación 1. Modelo econométrico para la producción de café en Veracruz

<sup>3</sup> De acuerdo con los autores, los niveles de precipitación en primavera actuales y esperados en el futuro se encuentran lejos del punto de inflexión donde el efecto de esta variable sobre la producción pase de positivo a negativo y por lo tanto no es necesario incluir el término cuadrático.

$$P_{café} = -35965262 + 2296270(T_{vera}) - 46298.67(T_{vera})^2 + 658.01618(P_{prim}) + 813976.3(T_{inv}) - 20318.27(T_{inv})^2 - 3549.71(SMINVER)$$

Donde:

- $T_{vera}$  es la temperatura de verano tomando el promedio de la temperatura de los meses de junio, julio y agosto en el Estado de Veracruz.
- $P_{prim}$  es la precipitación durante la primavera tomando el promedio de la precipitación durante los meses marzo, abril y mayo en el Estado de Veracruz.
- $T_{inv}$  es el promedio de la temperatura durante diciembre del año y enero y febrero del siguiente año en el Estado de Veracruz.
- $SMINVER$  es el salario mínimo real en el Estado de Veracruz.

Las variables climáticas utilizadas en el modelo están muy relacionadas con etapas importantes de la fenología de la planta: la precipitación en primavera coincide con la caída de hojas y la floración del cafeto, mientras que la temperatura de verano y la temperatura de invierno coinciden con el desarrollo y maduración del fruto.

Las figuras 4 y 5 muestran los efectos de la temperatura de verano y de invierno sobre la producción. La temperatura promedio en verano que maximiza la producción de café en el Estado de Veracruz es  $24,79^{\circ}\text{C}$ , mientras que para el caso de invierno esta temperatura corresponde a  $20,03^{\circ}\text{C}$ . Las temperaturas medias actuales durante estas estaciones son un poco superiores a los valores óptimos que el modelo arroja, por lo que cualquier incremento en la temperatura provocaría una disminución en la producción.

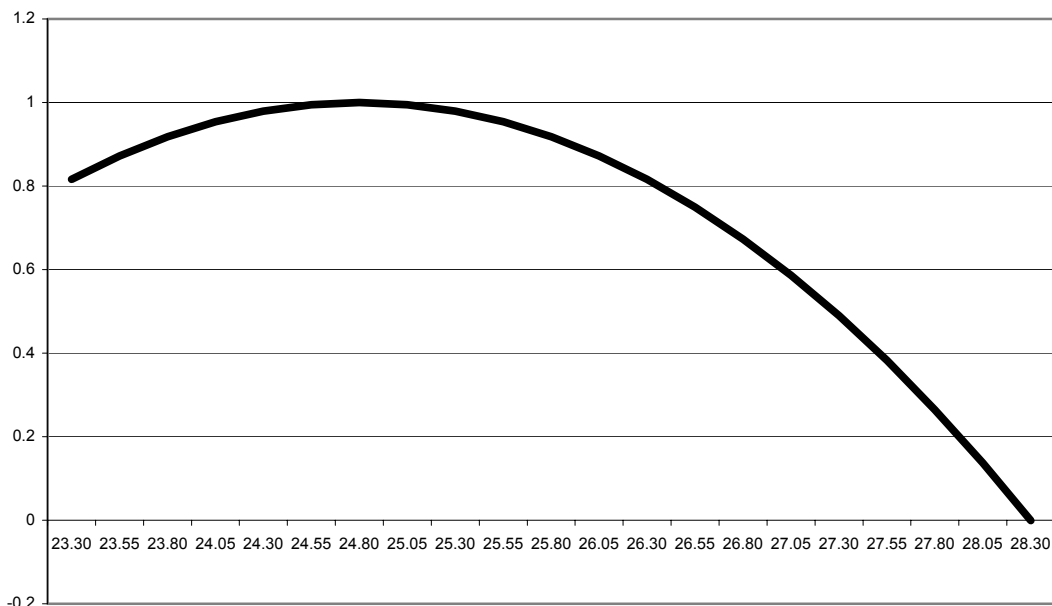


Fig. 4. Efectos de cambios graduales en la temperatura promedio de verano sobre la producción de café

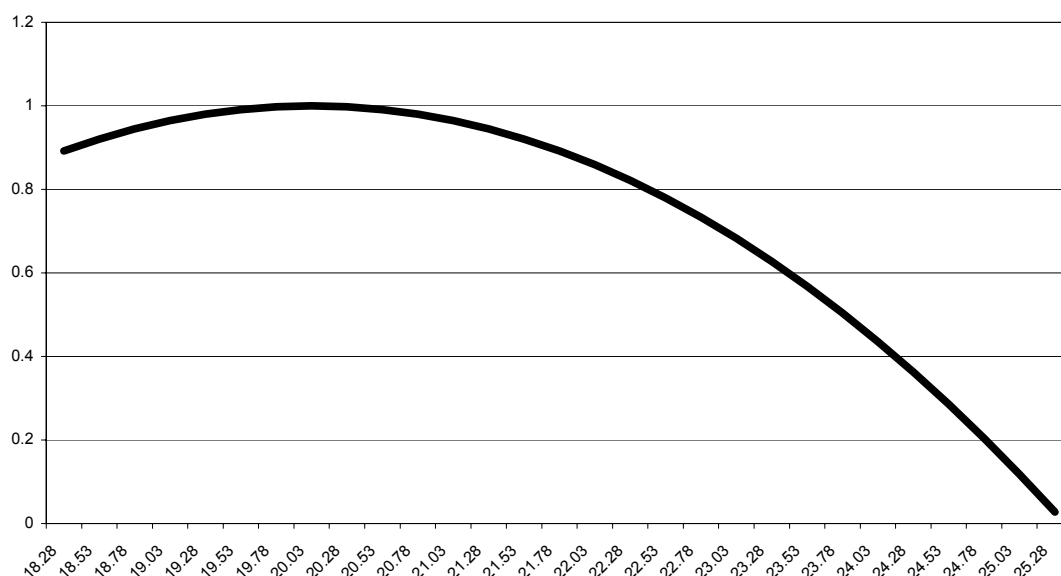


Fig. 5. Efectos de cambios graduales en la temperatura promedio de invierno sobre la producción de café

Tomando las probabilidades presentes y futuras encontradas en el subapartado anterior se calcularon las probabilidades conjuntas de todas las posibles combinaciones rangos de temperaturas y precipitación que se podrían presentar durante un año y los niveles de producción asociados a cada combinación para generar las producciones esperadas<sup>4</sup>.

La producción esperada para condiciones actuales es muy parecida a la producción potencial. Esto ocurre porque las condiciones climáticas actuales, tanto en su valor promedio como en su variabilidad, son muy favorables para el cultivo. Sin embargo, al introducir los cambios, tanto en valores medios como en variabilidad, esperadas para el 2050, la producción esperada se reduce de manera importante. Tomando como punto de comparación la producción esperada actual, la producción esperada en el 2050 podría disminuir entre un 73 y 78% de acuerdo con los escenarios optimista y pesimista respectivamente. Es importante señalar que el modelo no considera ninguna estrategia de adaptación y que el escenario de emisiones A2 utilizado es uno de los escenarios más severos. Un estudio realizado por el GRID Arendal<sup>5</sup> (UNEP) sobre el cultivo de café robusta en Uganda muestra que con un cambio de 2°C, la superficie apta para este cultivo se reduciría de manera dramática y extiende que estos resultados serían parecidos para otras regiones del planeta. Nuestro estudio presenta una situación similar para la región de Veracruz.

Las implicaciones económicas de esta caída en la producción podrían ser devastadoras, en particular para los pequeños productores. Suponiendo que para el 2050 se mantuviera la misma cantidad de hectáreas y productores dedicados al café que existe en la actualidad, y tomando un precio medio rural de café fijo de \$3.508,4, tendríamos que para el productor promedio con 2,26 ha, el ingreso que percibiría no alcanzaría para cubrir sus costos de producción<sup>6</sup>. La tabla 4

<sup>4</sup> Para todos los cálculos se mantuvo el salario mínimo real en \$38,11 pesos, su valor de 2001.

<sup>5</sup> [http://www.grida.no/db/maps/prod/level3/id\\_1243.htm](http://www.grida.no/db/maps/prod/level3/id_1243.htm)

<sup>6</sup> En un estudio de caso (EAKIN, 2003) en un municipio de Veracruz, llamado Úrsulo Galván, se determinó que el costo de producción promedio por hectárea asciende a \$8.000,00 pesos.



muestra la producción esperada y los ingresos esperados para el productor promedio hoy en día y en el 2050.

Tabla 4. Producción e ingresos esperados

	Producción esperada (Tons)	Tons/ productor	Ingreso por productor	Costo / hectárea	Ingreso neto	Hectáreas	Productores
<b>Presente</b>	549.158	8,16	\$28.659,15	\$18.142,40	10.516,73	152.457,4	67.227
<b>2050 (optimista)</b>	148.035	2,20	\$7.725,57	\$18.142,40	-10.416,83		
<b>2050 (pesimista)</b>	120.886	1,80	\$6.308,73	\$18.142,40	-11.833,67		

### 3. CONCLUSIONES

El escenario de emisiones en el que se basa este estudio es uno de los más severos, sin embargo su probabilidad de ocurrencia no es mala ya que la suposición que se encuentra atrás de este escenario es un mundo muy parecido al actual, con un uso intensivo de combustibles fósiles.

Por otra parte, la situación económica y la capacidad técnica de los productores ha empeorado de manera dramática en los últimos años debido a la situación del mercado internacional del café y la desaparición de las instituciones de apoyo técnico y comercial del gobierno. La respuesta del gobierno a estos problemas ha sido otorgar subsidios que son insuficientes y que han actuado como paliativos únicamente, generando una gran dependencia de los pequeños productores a estos apoyos. Todo esto se podría traducir en una capacidad de adaptación muy reducida, con impactos socioeconómicos muy elevados. Una reducción en la producción de café de esta magnitud sería determinante para la viabilidad económica del cultivo en el estado y para las familias que dependen de él.

Es importante que los tomadores de decisión estén conscientes de lo que este riesgo implica para poder planear a futuro. El gobierno probablemente tendría que invertir en estudios que den opciones de adaptación para este cultivo o en investigar cuales serían cultivos más aptos para las condiciones climáticas futuras y que cuenten con un mercado, en lugar de financiar un subsidio ineficiente y que, según vayan cambiando las condiciones climáticas, será cada vez más caro. Un cambio en la productividad de una actividad tan importante como lo es la producción de café para el Estado de Veracruz, por los ingresos que genera, la cantidad de personas involucrada, y las hectáreas dedicadas generará importantes problemas socioeconómicos, así como posiblemente ambientales como cambio de uso de suelo y deforestación. El problema planteado requiere cambios graduales pero pronto, con políticas y líneas de acción estratégicas dirigidas por el gobierno. El tema de cambio climático tiene que formar parte de manera explícita en los planes de desarrollo agrícola.

#### 4. REFERENCIAS

- CONDE, C. et al. (1997). "Vulnerability of rainfed maize crops in Mexico to climate change". *Climate Research*, 9(1), pp.17-23.
- GAY, C. et al. (2004). "Potential impacts of climate change on agriculture: A case of study of coffee production in Veracruz, Mexico". *Agricultural Economics* (en prensa).
- GAY, C. et al. (Eds.) (1996). *Memorias del Segundo Taller del Estudio del País México ante el Cambio Climático*. INE, CCA, UNAM, USCSP. Cuernavaca, Mor., 1995.
- GAY, C. et al. (Eds.) (1995). *Memorias del Primer Taller del Estudio del País: México ante el Cambio Climático*. INE, CCA, UNAM, USCSP. Cuernavaca, Mor., 1994.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2000). *Special Report on Emissions Scenarios*. N. Nakicenovic (Ed.), Cambridge, Cambridge University Press.
- LIVERMAN, D. et al. (1994). Possible Impacts of climate change on maize yields in Mexico. In: ROSENZWEIG, C. and IGLESIAS, A. (Eds.). *Implications of Climate Change for International Agriculture: Crop Modeling Study*. U.S. Environmental Protection Agency, Mexico. Washington D.C., pp. 1-4.
- MAGAÑA, V. and CONDE, C. (2000). "Climate variability and freshwater resources in northern Mexico. Sonora: a case study". *Environmental Monitoring and Assessment, KLUWER Academic Publishers*, 61, pp. 167- 185
- MENDOZA, V.M.; VILLANUEVA, E.E. and ADEM, J. (1997). "Vulnerability of basins and watersheds in Mexico to global climate change". *Clim. Res.* (2), pp. 139-145.