

IMPACTO SOBRE LOS CULTIVOS AGRICOLAS.

Roger E. Rivero Vega, Zoltan I. Rivero Jaspe y Roger R. Rivero Jaspe

Centro Meteorológico de Camagüey
Carretera de Nuevitas, km 7 ½
Camagüey, Cuba, Apdo 160, CP 70100
Tfno.: (53-32) 261103, 261284
Email (Autor principal): roger@met.cmw.inf.cu

1. Introducción.

La actividad agrícola resulta tan importante para las colectividades humanas que los estudios de impacto del cambio climático siempre incluyen este sector entre los primeros a abordar. Esto ocurre también porque la agricultura es una de las actividades humanas más dependientes del clima y de otros factores ambientales, tanto que puede llegar a hablarse del condicionamiento del clima sobre la agricultura. Las condiciones climáticas de una localidad determinan en gran medida el que en ella pueda cultivarse uno u otro cultivo. Mucho del desarrollo tecnológico en la esfera de la agricultura ha estado dirigido a modificar localmente las condiciones climáticas para hacerlas más favorables para el crecimiento y desarrollo de los cultivos. Esto ha permitido desarrollar el concepto de eficiencia tecnológica como la fracción del rendimiento potencial de un cultivo que es posible alcanzar en condiciones reales de campo utilizando la tecnología disponible.

En el presente trabajo se abordarán con profundidad solo los impactos biofísicos del cambio climático sobre los cultivos agrícolas en condiciones de campo. No obstante esto la presente evaluación posee un cierto grado de integración ya que incluye el impacto sobre los cultivos de varios factores del clima así como de ciertos factores agrotécnicos como el riego y la fecha de siembra. Nuestra evaluación se concentrará en los impactos sobre la duración de las fases fenológicas y el rendimiento agrícola. Es nuestro criterio que, a corto plazo, estos indicadores serán los de mayor interés para los productores agrícolas camagüeyanos.

Todos los antecedentes nacionales sobre la evaluación cuantitativa del impacto de los cambios climáticos en la agricultura han sido hechos desde el Centro

Meteorológico de Camagüey. El primer esfuerzo en esta dirección data de la primera mitad de la década del 90 cuando Rivero (1995) realizó una estimación inicial sobre el impacto de los cambios climáticos en Camagüey empleando escenarios sintéticos y el modelo de zonas agroecológicas de la FAO.

Este esfuerzo inicial fue seguido por un estudio más a fondo empleando escenarios semisintéticos originales creados en el Centro Meteorológico de Camagüey (Rivero y Rivero, 1998) y derivados del modelo de circulación general (océano / atmósfera) HadCM2, y el modelo biofísico de cultivo WOFOST 4.1 (Diepen et al., 1988). Este trabajo fue el primer estudio cubano de su tipo que alcanzó divulgación internacional (Rivero et al, 2000).

Paralelamente se desarrolló la evaluación nacional del impacto de los cambios climáticos sobre numerosos sectores de interés en Cuba, con inclusión de la agricultura y los bosques (Rivero et al., 1999). En ese estudio, con mayor alcance y profundidad, se emplearon los escenarios de cambio climático derivados de la versión 2.3 del sistema MAGICC / SCENGEN y el paquete de modelos biofísicos DSSAT 3.0. Tales estudios fueron completados por los trabajos de Rivero y Rivero (1998), Rivero (1999) y Rivero (2000). Las experiencias obtenidas en las evaluaciones realizadas en otros países del área por Rivero (2001b y c), así como por Rivero y Bretous (2001), también han constituido antecedentes de la presente evaluación.

2. Materiales y Métodos.

2.1. Base de datos climatológicos actual y futura.

Como línea base climática fue escogido el período 1961-90 de las estaciones meteorológicas Esmeralda, Nuevitas, Florida, Camagüey, Palo Seco y Santa Cruz del Sur, como es internacionalmente recomendado en evaluaciones del impacto de los cambios climáticos. Esta base de datos contiene los valores diarios de las temperaturas máximas y mínimas, horas-luz, humedad relativa y velocidad del viento medidos en estas estaciones.

A partir de esta base de datos fueron construidas las bases de datos correspondientes a los períodos de 30 años ubicados alrededor de los años

2010,2030,2050, 2075 y 2100. Para ello se emplearon, por las técnicas ya tradicionales (IES / UNEP, 1998), las predicciones climáticas futuras generadas por los modelos de circulación general (atmósfera / océano) HadCM2 y ECHAM4. Todo este proceso, realizado a partir de la versión 2.4 del sistema MAGIC / SCENGEN (Hulme et al., 1995) empleando los escenarios de emisión de gases de efecto invernadero correspondientes al Protocolo de Kyoto y una sensibilidad climática media, ha sido detalladamente explicado en la literatura de referencia (INSMET, 1999).

2.2 Modelos de Impacto.

Los modelos biofísicos constituyen hoy en día la herramienta más generalizada para el estudio de los impactos sobre los rendimientos agrícolas (Hoogenboom, 2000). El modelo de impacto biofísico utilizado en el presente estudio fue el modelo WOFOST 7.1.2.

El modelo biofísico WOFOST 7.1.2, contenido en el WOFOST Control Center (WCC 1.7 del 2002), constituye la versión más avanzada construida hasta hoy del modelo biofísico WOFOST cuya versión 4.1 (Diepen et al., 1988) había sido utilizada en todos los estudios anteriores realizados por el Centro Meteorológico de Camagüey. La presente versión elaborada en la Universidad de Wageningen y ampliamente utilizada en la Comunidad Europea para estudios de impacto y para el pronóstico de los rendimientos agrícolas en Europa, fue gentilmente cedida para los fines del presente proyecto por la institución europea **Alterra**. Todas las simulaciones con el modelo WOFOST 7.1.2 fueron realizadas en el más crítico de los casos, cuando no tiene lugar a escala de campo el efecto de fertilización por CO₂.

2.3 Conceptos fundamentales.

La imposibilidad física de estudiar todos los cultivos tradicionales y potenciales hizo pertinente el elegir un grupo de ellos que representase la diversidad agrícola y permitiese extender las conclusiones a cultivos no incluidos. Esto se hizo de modo representativo escogiendo tanto cultivares con ciclo fotosintético C₄ (maíz) como C₃ de clima cálido (boniato y arroz)) y frío (papa). Los cultivos escogidos representan cultivares de hábitos determinados, como el arroz y el maíz, e indeterminados como la papa. Entre los cultivos C₃ escogidos se encuentran tanto leguminosas de alto

contenido proteico (soya) como oleaginosas productoras de aceites vegetales (girasol).

Por duración del ciclo de cultivo entenderemos en el presente trabajo la cantidad de días que median entre la fecha de comienzo de la fase de emergencia del cultivo hasta el momento en que este alcanza la madurez agronómica requerida para su recolección y cosecha.

En nuestra provincia existe una época favorable de siembra antes de las tradicionales lluvias de mayo y junio. Esta época o campaña de siembra ha sido dada en llamar tradicionalmente como campaña de primavera y ha sido representada en el presente trabajo con una fecha de siembra correspondiente al 15 de abril. Una segunda época favorable ocurre antes de las lluvias de septiembre y octubre. Esta campaña de siembra, tradicionalmente llamada campaña de frío, ha sido representada en nuestro trabajo con una fecha de siembra correspondiente al 15 de agosto.

En general, en las campañas agrícolas de primavera y frío los cultivos pueden cultivarse tanto con riego como sin él, aunque con resultados que pueden en ocasiones ser muy diferentes. Durante el período seco (noviembre – abril) sin embargo, los cultivos solo pueden sembrarse y prosperar en condiciones de riego. En condiciones de secano, no se utilizó opción para riego alguno durante el ciclo de cultivo.

3. Análisis y Discusión de los Resultados.

3.1. Evolución temporal de los rendimientos potenciales.

Debido a que la mayor parte de los impactos observados poseen caracteres y tendencias temporales similares se ha escogido la localidad de Camagüey para ejemplificar y discutir la naturaleza y las causas de tales impactos.

Los rendimientos potenciales de todos los cultivos estudiados decrecen a lo largo del siglo XXI, tanto en los escenarios de cambio climático derivados del modelo de circulación general ECHAM4 como en los derivados del HadCM2. Este fenómeno afecta tanto a la siembra de primavera como a la siembra de frío y está

acompañado de una reducción progresiva de la duración en días de la fase de floración y del ciclo de cultivo.

La causa principal del acortamiento de las fases de floración y maduración de los cultivos, y de todas las restantes fases fenológicas, es el incremento progresivo de las temperaturas durante el siglo XXI. Las ligeras diferencias entre los resultados obtenidos para los escenarios construidos con los modelos de clima global ECHAM4 y HadCM2 provienen de que estos modelos no predicen el mismo ritmo de aumento de las temperaturas para diferentes épocas del año.

Las causas demostradas de la disminución progresiva de los rendimientos potenciales fueron:

- Acortamiento de la duración de las fases fenológicas.
- Disminución de la intensidad de la fotosíntesis.
- Aumento de la intensidad de los procesos respiratorios.

Estas mismas causas explican parcialmente las diferencias entre los rendimientos potenciales obtenidos en diferentes épocas de siembra para un cultivo dentro del mismo escenario climático.

De la información obtenida resulta evidente que, en un mismo escenario climático, tanto los rendimientos potenciales como la duración del ciclo de cultivo son menores para la siembra de frío que para la de primavera. Esto se debe en parte a que las temperaturas medias durante el ciclo de cultivo son superiores para la primera de estas épocas de siembra, lo que conduce a una reducción de la duración del ciclo de cultivo acompañada de menor fotosíntesis bruta y neta. El resto de la explicación de tal fenómeno es suministrado por las diferencias en la radiación solar global entre ambas épocas del año.

En el caso de la papa, cuya fecha de siembra es en diciembre bajo condiciones estrictas de regadío, sus rendimientos potenciales y la duración del ciclo de cultivo decrecen continuamente a lo largo del presente siglo, tanto en los escenarios derivados del ECHAM4 como en los derivados del HadCM2. La papa es uno de los cultivos cuyos rendimientos potenciales futuros reflejan de modo más intenso el

impacto del cambio climático en progreso. Impactos semejantes deben esperarse de hortalizas y cultivos de clima frío como el trigo, para los que las condiciones climáticas actuales se encuentran en los límites extremos de su rango de adaptación y solo prosperan marginalmente en Cuba.

3.2. Rendimientos de secano.

En las condiciones correspondientes al clima de referencia (1961-90) los rendimientos de secano resultan ser por lo general inferiores a los rendimientos potenciales en las dos principales épocas de siembra. Los rendimientos de secano de los cultivos estudiados decrecen durante el siglo XXI de modo semejante al que lo hacen los rendimientos potenciales. La caída progresiva de los rendimientos de secano es más notable en los escenarios climáticos derivados del modelo de clima global HadCM2 que en los derivados del ECHAM4. La duración total del ciclo de cultivo y el ritmo de cambio de las fases fenológicas sufren los mismos cambios en los escenarios futuros que los que ya fueron discutidos en el caso de los rendimientos potenciales.

La primera causa de la disminución progresiva de los rendimientos de secano es el decrecimiento sistemático de los rendimientos potenciales durante el presente siglo cuyas causas primarias fueron discutidas con alguna profundidad en epígrafes anteriores. Una segunda causa adicional está dada por las variaciones esperadas en el régimen de precipitaciones para los escenarios climáticos futuros que es más notable en aquellos derivados del modelo HadCM2.

3.3. Impacto diferencial sobre los rendimientos de los cultivos.

El índice escogido para este análisis es el cociente entre el rendimiento en el clima dado y el correspondiente al clima actual. En todos los casos, el girasol resulta, con mucho, el cultivo más afectado. En el resto de los cultivos el impacto es similar entre sí y siempre negativo hacia el futuro.

Para los rendimientos potenciales el cultivo que menos sufre es el maíz, seguido por la soya (Figuras 1 - 2). Según el ECHAM4, el próximo que menos sufre en la siembra de primavera es el boniato, mientras que para la siembra de agosto es el

arroz en ambas siembras, y para la siembra de primavera según el HadCM2 es el boniato para climas cercanos y el arroz para climas lejanos, con diferencias poco significativas.

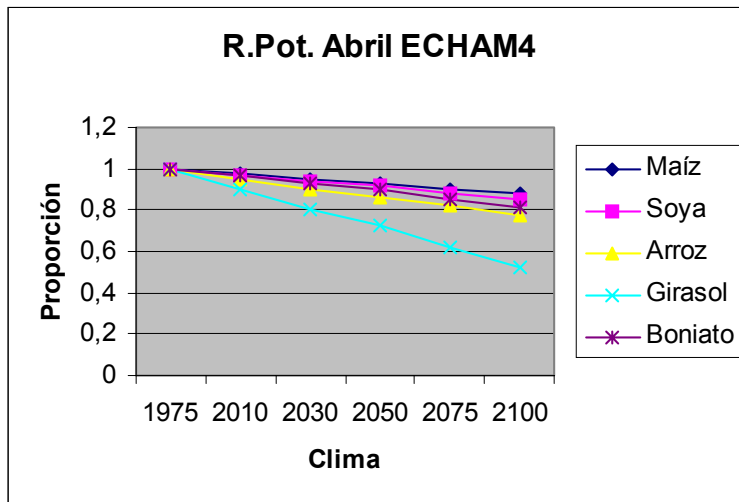


Figura 1. Impacto diferencial del cambio climático sobre el rendimiento potencial de diferentes cultivos para Camagüey. Siembra de primavera para cultivos de regadío en escenarios derivados del modelo de clima global ECHAM4.

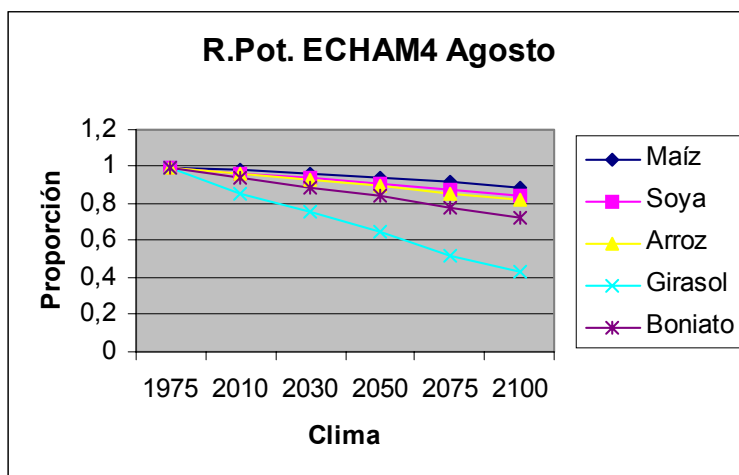


Figura 2. Impacto diferencial sobre el rendimiento potencial de diferentes cultivos para Camagüey. Siembra de frío para cultivos de regadío en escenarios derivados del ECHAM4.

Para los rendimientos de secano, en la siembra de primavera, el que menos sufre es la soya, seguido muy de cerca por el maíz (Figura 3), mientras que para la de

agosto es el maíz, con una ventaja más apreciable sobre la soya (Figura 4). Los impactos negativos son en general mayores para los cultivos de secano.

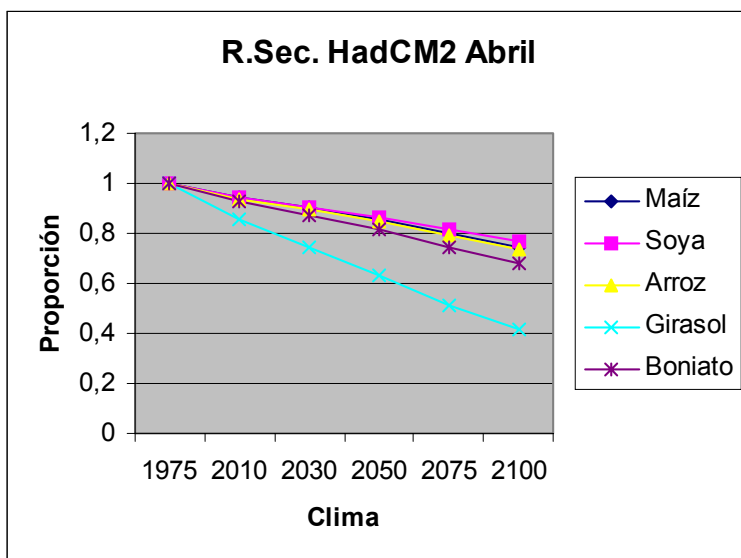


Figura 3. Impacto diferencial del cambio climático sobre diferentes cultivos para Camagüey. Siembra de primavera para cultivos de secano en escenarios derivados del HadCM2.

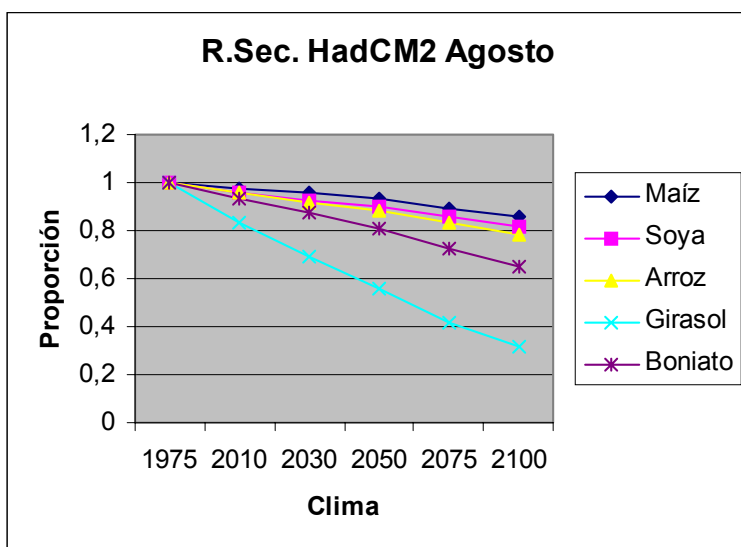


Figura 4. Impacto diferencial del cambio climático sobre diferentes cultivos para Camagüey. Siembra de frío para cultivos de secano en escenarios derivados del HadCM2.

3.4. Probabilidad de pérdida de cosecha.

La variabilidad interanual de los rendimientos conduce a que habrá años en que los rendimientos alcanzados en la práctica sean tan bajos que la campaña en cuestión deba ser considerada un desastre o pérdida completa. La toma de decisiones acerca de si un cultivo debe ser o no incluido en una estrategia de producción agrícola debe obligatoriamente incluir una valoración del riesgo de obtener resultados finales satisfactorios para una campaña cualquiera.

A falta de un criterio definitivo, válido en todas los escenarios climáticos y económico – sociales previsible, hemos utilizado para este fin un conjunto de criterios que permitan una valoración de la probabilidad de que el riesgo de obtener cosechas insatisfactorias crezca con el cambio climático. Estos criterios integran de cierto modo, en un solo parámetro, el impacto del decrecimiento progresivo de los rendimientos y los cambios en la variabilidad de estos.

Los diferentes criterios utilizados para la evaluación del riesgo de obtener resultados de desastre fueron,

- Rendimientos iguales o inferiores al 50%, 75% o 100% del rendimiento medio actual.
- Un criterio integrado de desastre económico (Rivero, 2003).

En los tres primeros criterios, los rendimientos obtenidos en escenarios futuros son comparados con estadígrafos correspondientes al clima actual, ya que los escenarios futuros no contemplan cambios en la variabilidad climática ni escenarios socioeconómicos concretos. El parámetro analizado es el número de años desastrosos para cada localidad en cada escenario.

Si bien aquellos tres criterios tienden a medir el desastre desde el punto de vista de la producción necesaria de alimentos, el criterio integrado de desastre económico lo maneja desde una perspectiva económica y de la rentabilidad de la empresa agrícola. Las comparaciones se realizan con el resto de las estaciones en el mismo año, cultivo y modalidad.

Según el criterio del 50% para el rendimiento potencial, los únicos cultivos para los que se registra algún desastre son el girasol y la papa. Los mismos aparecen a partir del clima correspondiente al 2030, y en la mayoría a partir del 2050 en la

siembra de frío y 2075 en la de primavera, para el caso del girasol, donde abundan más los desastres para la siembra de frío, llegando a ser todos los años desastrosos para el 2100 según el HadCM2. Respecto a la papa, el comienzo es más irregular, y se ubica entre los climas 2030 y 2075. Los desastres ocurren con menor frecuencia, llegándose a contabilizar hasta 18 para el 2100, en escenarios derivados del ECHAM4 en Santa Cruz del Sur. La variabilidad entre la cantidad de desastres máxima para cada localidad es considerable. El impacto según el ECHAM4 es más notable aquí que según el HadCM2, a diferencia del girasol, lo que se debe a las épocas de siembra que se consideran para cada cultivo. La cantidad de desastres siempre aumenta o se mantiene hacia el futuro.

Según el criterio del 75 %, se llegan a presentar desastres para todos los cultivos. En el cultivo del maíz comienzan a partir del 2075 para la siembra de primavera, llegando hasta 2 en el 2100, escenarios derivados del HadCM2 en Palo Seco. Para la siembra de frío se presentan unos pocos casos aislados en el 2100, lo que implica que la siembra de frío es la que se comporta como más favorable. En la soya ocurre algo muy similar ya que la cantidad de desastres llega a ser de hasta 4 en la siembra de agosto para el 2100 en Esmeralda bajo el modelo HadCM2.

Para el arroz los desastres comienzan en el 2050. La cantidad total de desastres registrada para la siembra de primavera es mayor que para la de frío, pero depende de las regiones, de modo tal que para varias de ellas la mayor cantidad de desastres registrada ocurre en la siembra de frío. Se llegan a registrar hasta 16 cosechas desastrosas en el clima 2100, para Florida en escenarios derivados del HadCM2 con siembra de primavera.

En el caso de la soya, los desastres son sumamente abundantes. Se llega a registrar un caso de desastre para varias localidades y épocas de siembra en el clima actual. La cantidad de desastres llega a ser hasta de 30 (el máximo posible), lo que comienza a ocurrir incluso en el clima 2050 para muchos casos. En el 2100 sólo para la siembra de primavera, escenarios del ECHAM4, se llegan a registrar menos de 30 desastres en Santa Cruz del Sur, con 29, y en Nuevitas, con 28. Si asumimos que si de cada dos veces que se cultive se obtiene sólo un rendimiento no desastroso, el cultivo no es sustentable, entonces a partir del 2050 deberá

abandonarse la siembra de girasol. Los impactos son más negativos en la siembra de frío.

El boniato podrá cultivarse con bastante éxito hasta el 2100 en algunas localidades, si se le siembra en época de primavera, pero para la de agosto debería abandonarse de cualquier manera en el 2100, y en el 2075, si la evolución del clima es similar a la del HadCM2, cultivarse sólo en Santa Cruz del Sur. Para esta época de siembra aparecen algunos desastres desde el clima 2030, llegando hasta 28 en el 2100, Camagüey y Florida, con el modelo HadCM2, mientras que para la de primavera aparecen desde el clima 2050.

Para la papa, aparecen varios desastres desde el clima base, aunque no para todas las estaciones. Su cultivo quizá sería factible hasta el clima 2030, donde el número de desastres en cada caso es muy cercano a 10. A partir del 2050, la acumulación de desastres hacen incompatible la explotación del cultivo en la provincia. Nunca llegan a ser todos los rendimientos desastrosos, sino que se llegan a producir hasta 27 en el 2100, Florida y Santa Cruz del Sur con el ECHAM4. Para este escenario se producen las mayores cantidades de desastres.

Para los rendimientos de secano, todos los cultivos, en siembra de frío o primavera, presentan algún que otro desastre en el clima actual incluso según el criterio del 50%. El hecho de que aun en el clima actual se presenten desastres, lo que no ocurre en la mayoría de los cultivos en condiciones de regadío óptimo, se explica por la mayor variabilidad en los rendimientos dependientes de las precipitaciones.

La variabilidad espacial se acentúa más para los cultivos de secano. El boniato en Camagüey para siembra de frío nunca llega a presentar desastres mientras que en Nuevitas se presentan muchos, comenzando por 3 en el clima actual hasta 17 (ECHAM4) ó 18 (HadCM2) en el 2100. En general, la diferencia para los desastres entre el ECHAM4 y el HadCM2 es mayor para los rendimientos de secano, lo que cabría esperar, ya que ambos escenarios se diferencian considerablemente por su predicción de las precipitaciones.

Según el criterio integrado de desastre económico, para los rendimientos potenciales, las ganancias acumulativas en la provincia siempre decrecen hacia los climas futuros. La ganancia acumulativa de la provincia llega incluso a ser negativa en el girasol, acompañada de gran cantidad de desastres, en la siembra de agosto, para el clima 2100, al igual que para la papa. Es decir, se ocasionarían grandes pérdidas, por lo que definitivamente debería abandonarse el cultivo del girasol y la papa para ese período.

En el cultivo de secano los efectos negativos son más acentuados. La ganancia para cultivos resistentes al cambio climático como el maíz llega a ser ínfima, representando el 1.3 % del dinero invertido en el 2100 para la siembra de primavera y el 0.0056 % para la de frío (aun cuando la cantidad de desastres es mayor en la siembra de primavera), cuando representan el 10.2 % y el 9.1 % en el clima actual. Algunos cultivos, como la soya, logran salvar ganancias apreciables, de 11.2 % a 7.0 % en la siembra de primavera y de 14.4 % a 8.0 % en la de agosto. Para el girasol y la papa, hay pérdidas incluso desde el clima actual.

4. Conclusiones.

Los resultados obtenidos denotan la existencia de impactos negativos considerables sobre los rendimientos agrícolas. El cambio climático produce un decrecimiento progresivo general del rendimiento potencial de los cultivos para todas las épocas de siembra y en todos los escenarios, acompañado de una reducción de la duración del ciclo de cultivo.

Los rendimientos potenciales obtenidos son en general mayores para la siembra de primavera que para la siembra de frío, lo que es atribuible a condiciones de temperatura y radiación solar más favorables en la primera campaña de siembra. La causa principal del decrecimiento es la elevación progresiva de la temperatura, la que conduce a un acortamiento progresivo de la duración del ciclo de cultivo, a una reducción en la intensidad de la fotosíntesis bruta y a un aumento en la intensidad de los procesos respiratorios.

Los rendimientos de secano son en general inferiores a los potenciales. Los rendimientos de secano decrecen a lo largo del siglo actual de forma aún más

marcada que los rendimientos potenciales y poseen una mayor variabilidad interanual. Las causas de esto radican en el decrecimiento de los rendimientos potenciales y a variaciones en el total de precipitaciones durante el ciclo de cultivo. Tales efectos son más notables en los escenarios creados a partir del modelo de clima global HadCM2.

La papa resulta ser uno de los cultivos más afectados en sus rendimientos. Esta característica se debe a ser un cultivo C₃ de clima frío, que al nivel del mar en Cuba prospera en condiciones climáticas marginales. Algo semejante debe ocurrir con otros cultivos C₃ de clima frío como el trigo.

Existe una variabilidad espacial en los rendimientos potenciales aún en la actualidad. Los mayores rendimientos potenciales tienden a producirse hacia Santa Cruz y Palo Seco, debido a que estas localidades disponen de los mayores niveles de radiación solar y temperaturas medias relativamente bajas. La región de Nuevitas arroja rendimientos entre los más bajos, debido a que la temperatura media está entre las más altas de la provincia y la oscilación diurna es muy baja. A medida que avance el cambio climático las localidades con mayores y menores rendimientos potenciales experimentarán cambios, pero no se aprecia una tendencia definida al respecto que sea susceptible de generalización con excepción de que Santa Cruz y Palo Seco continúan estando entre los primeros lugares y Nuevitas en los últimos.

De modo diferente sucede con los rendimientos de secano ya que estos son en general superiores en zonas interiores e inferiores en las costas, hasta el punto en que estas últimas estén representadas por Nuevitas y Santa Cruz del Sur. Esto se atribuye a que los totales de precipitación son inferiores en zonas costeras al sur y nordeste de la provincia. Tal comportamiento de los rendimientos de secano sufrirá poco cambio a consecuencia del cambio climático previsto.

A medida que transcurra el tiempo a lo largo del siglo XXI, el riesgo de obtener producciones desastrosas en los cultivos se incrementará notablemente, tanto desde el punto de vista de la cantidad total del renglón producido como desde el punto de vista económico.

6. REFERENCIAS.

- Diepen, C. A. van, C. Rappolt, J. Wolf and H. van Keulen (1988): *CWFS Crop Growth Simulation Model WOFOST. Documentation Version 4.1*. Center for World Food Studies, Wageningen.
- Hoogenboom, G. (2000): *The state-of-art in crop modeling*. In **Climate Prediction and Agriculture** (Ed. M. K. V. Sivakumar), Washington, D.C., 69 – 76 pp
- Hulme, M., T. Jiang and T. Wigley (1995): *SCENGEN: A Climate Change Scenario Generator*. Software User Manual, Version 1.0, Climate Research Unit, University of East Anglia, Norwich.
- INSMET (1998): *Evaluación rápida de los impactos del cambio climático y medidas de adaptación en Cuba*. Informe Parcial del Proyecto No. FP/CP/2200-97-12, Instituto de Meteorología, La Habana, 45 pp.
- INSMET (1999): *Impactos del cambio climático y medidas de adaptación en Cuba*. Informe Final del Proyecto No. FP/CP/2200-97-12, Instituto de Meteorología, La Habana, 206 pp.
- Rivero, R. E. (1995): *Impacto de los cambios climáticos sobre los cultivos en Camagüey, Cuba*. Informe Científico Técnico, Centro Meteorológico de Camagüey, Camagüey, 18 pp.
- Rivero, R. E., G. Gómez, A. Alvarez, R. R. Rivero, D. R. García et al.(1999): *Agricultura y Silvicultura*. En **Impactos del cambio climático y medidas de adaptación en Cuba**. Informe Final del Proyecto No. FP/CP/2200-97-12, Instituto de Meteorología, La Habana, 81-129 pp.
- Rivero, R. E. (1999): *Modelo integrado del impacto agrícola de los cambios climáticos. Un estudio de caso en Camagüey, Cuba*. Informe Científico Técnico, Centro Meteorológico de Camagüey, Camagüey,
- Rivero, R. E. (2001a): *Evaluación preliminar del impacto de los cambios climáticos sobre la agricultura y los bosques de la República Dominicana*. Informe de

Consultoría, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales de la República Dominicana, Santo Domingo, Abril del 2001, 49 pp.

Rivero, R. E. (2001b): *Impacts of climate change on agriculture, forests, water resources and health in Saint Kitts and Nevis*. Consultant Report, Ministry of Tourism and Environment, Basseterre, 27 pp.

Rivero, R. E. and Bretous, L. (2001): *Impacts of climate change on agriculture and forests in Haiti*. Consultant Report, Ministry of Environment, Port-au-Prince, 32 pp.

Rivero, R. E., R. R. Rivero, N. E. Rivero, M. Sánchez, A. R. Roque, D. R. García and E. C. Lavado (2000): *Preliminary assessment of the biophysical impacts of climate change on forests and main crops in Camagüey, Cuba*. In **Climate change impacts and responses. Proceedings of the Conference on National Assessments Results of Climate Change held in San José, Costa Rica, March 25-28, 1998 (Ed. N. Mimura)**, Japan Environment Agency / Overseas Environmental Cooperation Center, 223- 241 pp.

Rivero, Z. I. (2000): *Impacto de los cambios climáticos, con inclusión del efecto de fertilización por CO₂, sobre los pastizales camagüeyanos*. Trabajo de Diploma en opción al grado de Licenciado en Biología, Universidad de Oriente / Centro Meteorológico de Camagüey, Santiago de Cuba, 55 pp.

Rivero, Z. I. y R. E. Rivero (1998): *Evaluación comparada del efecto directo de la concentración atmosférica de CO₂ en condiciones del cambio climático, sobre los rendimientos y uso del agua en gramíneas tropicales C₃ y C₄*. Informe Científico Técnico, Universidad de Oriente / Centro Meteorológico de Camagüey, Camagüey, 10 pp.

Rivero, R. R. y R. E. Rivero (1998): *Un nuevo tipo de escenarios climáticos: los escenarios semisintéticos*. Informe Científico Técnico, Centro Meteorológico de Camagüey / XII Forum de Ciencia y Técnica, Camagüey, 8 pp. + anexos.

UNEP / IES (1998): *Handbook on Methods for Climate Change Impact Assessment and Adaptation Strategies*. UNEP / IES, Vrije, The Netherlands.