

III CONGRESO INTERNACIONAL SOBRE CAMBIO CLIMATICO Y DESARROLLO SUSTENTABLE

ESTRATEGIAS PARA LA ADAPTACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE MANÍ AL CAMBIO CLIMÁTICO Y A LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA EN EL SUR DE CÓRDOBA

Vinocur MG.,* Seiler RA.

Agrometeorología, Facultad de Agronomía y Veterinaria, Universidad Nacional de Río Cuarto, Córdoba, Argentina, Teléfono: +54-358-4676191

mvinocur@ayv.unrc.edu.ar

El cambio climático y la variabilidad climática ocasionan una variabilidad substancial en la producción y graves consecuencias sobre los agricultores, tanto en forma individual como sobre las economías regionales del centro de Argentina. El objetivo de este trabajo es evaluar, mediante la utilización del modelo de simulación de cultivos CROPGRO v3.5, el cambio en la fecha de siembra como estrategia de adaptación con el propósito de disminuir las posibles consecuencias negativas de la variabilidad y los cambios del clima sobre el cultivo de maní. Para la zona en estudio, que abarcó la mitad sur de la provincia de Córdoba, Argentina, se construyeron escenarios climáticos derivados de los Modelos de Circulación Global ECHAM4/OPY3 y HadCM3 y Escenarios de Emisiones A2 y B2 con y sin cambios en la concentración de CO₂ para el año 2050. El adelantamiento de la fecha de siembra en 15 y 30 días produjo rendimientos más elevados al alargarse el ciclo del cultivo y por menor exposición a las heladas tempranas aunque no debe descartarse el efecto negativo de heladas al inicio de la estación de crecimiento. Los resultados obtenidos pueden proveer una visión de las posibles modificaciones que será necesario realizar en la producción agropecuaria de la región para ayudar a enfrentar los cambios futuros

INTRODUCCIÓN

El cambio climático (CC) que está sufriendo nuestro planeta es un proceso global y de largo plazo que involucra interacciones complejas entre factores climáticos, sociales, ambientales, económicos, tecnológicos, institucionales y políticos. Estas características determinan significativas repercusiones internacionales e intergeneracionales en un contexto que pretende alcanzar la equidad y el desarrollo sustentable (Fischer *et al.*, 2002). Por otra parte, el hecho que el CC sea considerado una “*adversidad difícil de definir, percibir y describir*” (“*elusive hazard*”, Kates, 1985, citado de Tschakert, 2007) y a la vez ser de carácter “*acumulativo, difuso, lento e insidioso*” (Hood *et al.*, 1992, citado de Tschakert, 2007), dificulta la comprensión de los riesgos y posibles daños asociados a su ocurrencia y obstaculiza las oportunidades que los tomadores de decisiones puedan percibir para actuar en la prevención de sus efectos.

Las actividades humanas afectan los mecanismos de interacción con el ambiente y están provocando cambios en el clima de la tierra y afectando a los distintos ecosistemas (IPCC, 2007). Como la agricultura está situada en la interfase entre los ecosistemas y la sociedad, los cambios esperados en el clima alterarán la constitución y funcionalidad de los diferentes ecosistemas agrícolas afectando la producción de alimentos y la vulnerabilidad física y socio-económica del sistema agrícola. La magnitud de estos cambios dependerá de cómo los efectos del CC influya sobre los factores que determinan la viabilidad y utilidad de los ecosistemas (Fischer *et al.*, 2002).

Numerosos estudios a escala regional, en distintos lugares del mundo, han identificado los impactos potenciales del CC sobre los sistemas agrícolas, para uno o varios cultivos (e.g. Southworth *et al.*, 2002; Vinocur y Mearns, 1999; Vinocur *et al.*, 2000). También existen análisis para determinados países (e.g. Magrin y Travasso, 2002; Holden *et al.*, 2003; Izaurrealde *et al.*, 2003), continentes (e.g. Butterfield *et al.*, 2000) y a nivel mundial (e.g. Rosenszweig y Iglesias, 1998; Tan y Shibasaki, 2003). Estas y otras investigaciones encontraron respuestas de los cultivos muy diferentes y contrastantes a los futuros escenarios climáticos. Entre los impactos esperados se encuentran la disminución de la cantidad y calidad de la producción de los cultivos por efectos directos sobre el crecimiento y el desarrollo. También existen efectos indirectos que actúan sobre enfermedades, plagas y malezas o sobre modificaciones en el consumo de agua para riego, herbicidas, pesticidas y fertilizantes y sus efectos en el ambiente (Easterling *et al.*, 2007). Los efectos secundarios se ven exacerbados particularmente ante lluvias muy frecuentes o intensas que determinen el escurrimiento superficial o drenaje profundo de distintos componentes químicos, contaminando los cursos de agua y acuíferos subterráneos. También influyen sobre cambios en el ambiente rural por modificaciones en el uso de la tierra, el abandono del cultivo de ciertas especies y la introducción de nuevos cultivos, el desarrollo de proyectos a gran escala destinados al manejo del agua, la migración de personas, etc. (Delécolle *et al.*, 2000). El tipo de respuesta de los cultivos y la magnitud de la misma no están solamente determinados por las condiciones climáticas alteradas o por el cambio en la concentración de CO₂ ([CO₂]), sino por características biofísicas locales y de manejo de los agricultores en forma individual

cuya capacidad de enfrentar los efectos negativos o adaptarse a los cambios dependerá de los recursos que ellos tengan disponibles (Rivington *et al.*, 2007).

En Argentina se han desarrollado en los últimos veinte años estudios que indican los posibles efectos del CC sobre los principales cultivos extensivos tales como maíz, trigo y soja. Independientemente de los modelos de circulación global y escenarios de emisiones utilizados y áreas consideradas, todos en general coinciden en que se producirá un aumento de los rendimientos de soja y trigo y una disminución de los rendimientos de maíz (Baethgen y Magrin, 1995; Magrin *et al.*, 1997; Magrin y Travasso, 2002; Sala y Paruelo, 1994; Travasso *et al.*, 2007, etc.). Por otra parte, existen pocos estudios sobre los efectos del cambio y la variabilidad climática sobre el cultivo de maní. Algunos ejemplos son los de Challinor *et al.*, (2005, 2007) para la India; Burkett *et al.*, (2001), Vara Prasad *et al.*, (2000) y Brumbelow y Georgakakos (2001) para Estados Unidos de Norteamérica; Van Duivenbooden *et al.*, (2002) para Níger, y Vinocur y Mearns (1999) y Vinocur *et al.*, (2000, 2001, 2008) para Argentina. Por otra parte, Jarvis *et al.*, (2008) han encontrado que en los próximos 50 años es posible que se extingan el 61% de las especies silvestres de maní y se reduzca su área de distribución entre el 85 – 94% por efecto del CC, disminuyendo de esta manera las fuentes de genes que se utilizan para aumentar la capacidad de este cultivo para resistir a las plagas y enfermedades y tolerar las sequías.

La vulnerabilidad y adaptación en los sistemas agrícolas de Argentina al CC y a la variabilidad climática (VC) fueron estudiados por varios autores y con distintos enfoques (e.g. Wehbe *et al.*, 2007; Eakin *et al.*, 2007; Travasso *et al.*, 2007 y Vinocur y Rivarola, 2005). Los dos primeros autores abordaron la investigación con un enfoque ecológico-político y establecieron que ante una misma exposición al CC y VC, la vulnerabilidad de los productores agropecuarios del sur de Córdoba está determinada por su diferente sensibilidad y capacidad de adaptación asociada al tipo de actividad productiva, a las condiciones de calidad y uso del suelo, a los ingresos, al tamaño de la explotación y a los recursos materiales entre otros factores. Las estrategias que los productores utilizan actualmente para reducir su sensibilidad o incrementar su capacidad para manejar los impactos del clima están determinadas en su mayor parte por el contexto político, económico e institucional en el cual ellos desarrollan sus actividades productivas. Se reconoce, entonces que el clima es sólo uno de los muchos factores que los productores tienen en cuenta cuando analizan los ajustes productivos que llevarán a cabo en sus explotaciones a corto, mediano y largo plazo. El ajuste en la fecha de siembra, la distribución espacial del riesgo a través de la separación geográfica de los lotes en cultivo, el cambio de cultivo, el mantenimiento de stock de grano como reserva económica y la diversificación de la producción ganadera fueron las estrategias de adaptación más utilizadas en la zona en estudio (Wehbe *et al.*, 2007). Otras estrategias mencionados por los productores fueron la utilización de seguros agrícolas principalmente contra granizo, el cambio en la proporción de los cultivos que siembran cada año, el mantenimiento de fuentes alternativas de recursos económicos y la utilización de información agrometeorológica (Rivarola *et al.*, 2004; Vinocur y Rivarola, 2005; Wehbe *et al.*, 2007).

La provincia de Córdoba, ubicada en el centro del país y cuya principal zona agrícola forma parte de la llanura pampeana, aporta un 83% de su superficie a diferentes actividades agropecuarias desarrolladas en condiciones edafo-climáticas muy variables y sobre suelos sin limitaciones de uso hasta en otros que son sólo aptos para la producción ganadera. La provincia ocupa un lugar muy importante en el sistema agroalimentario y agroindustrial nacional participando con aproximadamente el 17,2% del PBI agropecuario nacional (2003), 26,7% de la producción de cereales, 27% de las oleaginosas (trienio 2001/2-2003/4) y el 15% del stock ganadero nacional (INTA, 2005). Además, el sistema agroalimentario y agroindustrial de Córdoba es uno de los más dinámicos e importantes de la economía provincial, que aporta alrededor del 25% del PBG⁵³ (año 1994) (INTA, 2002).

Córdoba es la primera productora nacional de maní. El maní es considerado una economía regional de Córdoba, no sólo por la proporción de la superficie sembrada (localizada en el centro-sur de la provincia) y producción del total nacional sino también porque concentra casi la totalidad de las empresas seleccionadoras e industrias procesadoras y la totalidad de las fábricas de maquinaria agrícola específicas para este cultivo (Busso *et al.*, 2004). Como resultado del proceso de *sojización*, el maní también ha sufrido una disminución en el área cultivada y un desplazamiento de la misma hacia la zona sur de la provincia buscando la mayor rentabilidad que puede obtenerse en suelos nuevos sin problemas de hongos y de mayor productividad (Busso *et al.*, 2003). Los impactos sociales y económicos, tanto directos como indirectos derivados de su cultivo, por la generación de divisas por la exportación y de trabajo a nivel predial e industrial (Fernández y Giayetto, 2006) acentúan la necesidad de mantenerlo dentro del esquema productivo regional.

Considerando la gran importancia agrícola que representa este cultivo para la zona de estudio y con el propósito de mantener la sustentabilidad del sistema productivo, el objetivo de este trabajo es evaluar mediante

⁵³ PBG es el Producto Bruto Geográfico.

la utilización de modelos de simulación, la aplicación de algunas estrategias de adaptación con el propósito de disminuir las posibles consecuencias negativas de la variabilidad y los cambios del clima sobre el cultivo de maní.

MATERIALES Y MÉTODOS

De acuerdo a Wehbe *et al.* (2007), el cambio en la fecha de siembra es una de las estrategias de adaptación más utilizadas por los productores agropecuarios del sur de Córdoba para enfrentar el CC y la VC. Considerando esos resultados, se decidió examinar el efecto sobre el crecimiento y desarrollo del cultivo de maní en Manfredi y Río Cuarto de cambios en la fecha de siembra, adelantando 14 días (noviembre 1 = día juliano **305**) y 31 días (octubre 15 = día juliano **288**) la siembra con respecto a la fecha media de siembra en la región, noviembre 15 (día juliano = **319**), utilizando el modelo de simulación de cultivos CROPGRO V3.5 (Boote *et al.*, 1997, 1998). Este modelo fue calibrado y validado para maní y para la región en estudio con datos de once ensayos a campo realizados en tres localidades (Manfredi, 31° 48'S, 63° 46' W; Río Cuarto, 33° 07'S, 64° 14' W; Carnerillo, 32° 55'S, 64° 02' W), utilizando un mismo cultivar tipo runner (Florman INTA). Luego de la calibración y validación se construyeron series de rendimiento asumiendo que Florman INTA es sembrado en un suelo franco limoso (Haplustol éntico, Manfredi) y en un suelo franco arenoso (Hapludol típico, Río Cuarto) en la misma fecha cada año (Noviembre 15) y con una densidad de siembra de 12 plantas m⁻², separadas 0,7 m de distancia entre hileras. Las simulaciones son realizadas para condiciones de secano y de riego (riego automático, se inicia cuando el agua disponible es menor al 50% en los primeros 0,3 m del perfil y finaliza al alcanzar capacidad de campo), sin estrés de nitrógeno y con el mismo contenido de agua en el suelo a la fecha de siembra cada año.

Los datos climáticos diarios (temperatura máxima y mínima del aire, radiación solar y lluvia) necesarios para operar el modelo de cultivo fueron obtenidos utilizando el generador estocástico de datos climáticos WGEN (Richardson y Wright, 1984), creándose series de 99 años de datos diarios que incluyen cambios en la varianza de la temperatura (CVar) desde la mitad (CVar=0,5) hasta el doble de la varianza observada (CVar=2) en incrementos de 0,5. Una serie de 25 años de datos observados de Río Cuarto (1974-1998) y una de 28 años de Manfredi (1969-1996) fueron utilizados por WGEN para estimar los parámetros para cada localidad. El análisis de los efectos del CC y VC se basó en escenarios derivados de los modelos de circulación global acoplados atmósfera – océano (AOMCG) identificados como **ECHAM4/OPY3** (Roeckner *et al.*, 1992,1996) y **HadCM3** (Gordon *et al.*, 2000; Pope *et al.*, 2000; Johns *et al.*, 2003), y escenarios de emisiones (SRES)(**A2** y **B2**) (Nakicenovic *et al.*,2000) para el año 2050, construidos de manera de incorporar cambios en la variabilidad de la temperatura y cambios en los valores medios de la temperatura y precipitación. La construcción de los escenarios de CC se realizó utilizando el modelo **MAGICC/SCENGEN** versión 4.1 (Model for the Assessment of Greenhouse – gas Induced Climate Change and a Scenario Generator) (Wigley y Raper, 2001, 2002; Hulme *et al.*, 2000). MAGICC/SCENGEN es un modelo acoplado de ciclo de los gases y clima (MAGICC) que permite convertir las emisiones de GEI en concentraciones atmosféricas de estos gases, las que son empleadas para calcular mediante modelos de transferencia de radiación y de balance de energía, el calentamiento global y el aumento del nivel del mar. Estos resultados son tomados por el generador de escenarios SCENGEN en donde son combinados con las salidas de los AOMCG seleccionados en forma espacial para todo el mundo o para la región que el usuario elija, en mapas que presentan los cambios del clima futuro. Los escenarios de CC y VC analizados son **E-A2** (AOMCG ECHAM4/OPY3 y SRES A2) y **H-B2** (AOMCG HadCM3 y SR ES B2) con y sin aumento en la [CO₂] y para la varianza de la temperatura sin cambios (CVar=1) y con la duplicación de la varianza de la temperatura (CVar =2) para el período de treinta años centrado en el 2050.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En las simulaciones bajo riego y con relación al escenario base (sin cambios en la temperatura y en las precipitaciones y CVar=1), fechas de siembra más tempranas ocasionan en todos los casos (con y sin aumento en la [CO₂]) incrementos en los rendimientos tanto en Manfredi como en Río Cuarto, con aumentos proporcionalmente mayores cuando el aumento en la [CO₂] no es considerado (Fig. 1 y 2). La duplicación de la varianza de la temperatura asociada a estos escenarios causa una disminución de las pérdidas para los escenarios E-A2 y H-B2 en la siembra del 1 de noviembre y un leve aumento en la siembra del 15 de octubre en Manfredi. En los restantes escenarios en Manfredi y en todos los casos para Río Cuarto se observan aumentos en los rendimientos a medida que la fecha de siembra se adelanta, aunque menores en la siembra del 15 de octubre (Fig. 1 y 2).

En las mismas figuras también se presentan las variaciones simuladas en el rendimiento de maní en los distintos escenarios y fechas de siembra en secano para Manfredi y Río Cuarto respectivamente. Cuando la varianza no cambia, el adelantamiento en la fecha de siembra produce un aumento en los rendimientos en ambas localidades, más importantes para la siembra del 1 de noviembre. En Manfredi, la siembra del 15 de

octubre presenta mejores rendimientos (aunque con menores aumentos que los correspondientes a la siembra del 1 de noviembre) solamente cuando el incremento en la [CO₂] es considerado (Fig. 1). El aumento en la varianza de la temperatura determina una disminución de las pérdidas en los escenarios H-B2 y CVar=2 en Río Cuarto y en los E-A2 y H-B2 CVar=2 en Manfredi y aumentos en los rendimientos en ambas localidades para la siembra del 1 de noviembre cuando se considera el efecto de mayor [CO₂]. La siembra del 15 de octubre sólo presenta rendimientos mayores al escenario base, aunque de menor magnitud en Río Cuarto (Fig.1 y 2). En las siembras tempranas y al aumentar la variabilidad de la temperatura, se observa una disminución de aproximadamente un 75% en la cantidad de veces en las cuales el cultivo no termina su ciclo ya que las heladas de fin de abril y mayo no lo afectan como sucedía en la siembra del 15 de noviembre. Sin embargo, la siembra del 15 de octubre presenta el efecto negativo de las heladas tardías que ocasionan la muerte del cultivo apenas nacido cuando ocurren durante la última semana de octubre y primera de noviembre. Estas últimas heladas tienen mayor incidencia en Manfredi lo que explica los rendimientos decrecientes obtenidos en esa localidad al adelantar la fecha de siembra al 15 de octubre.

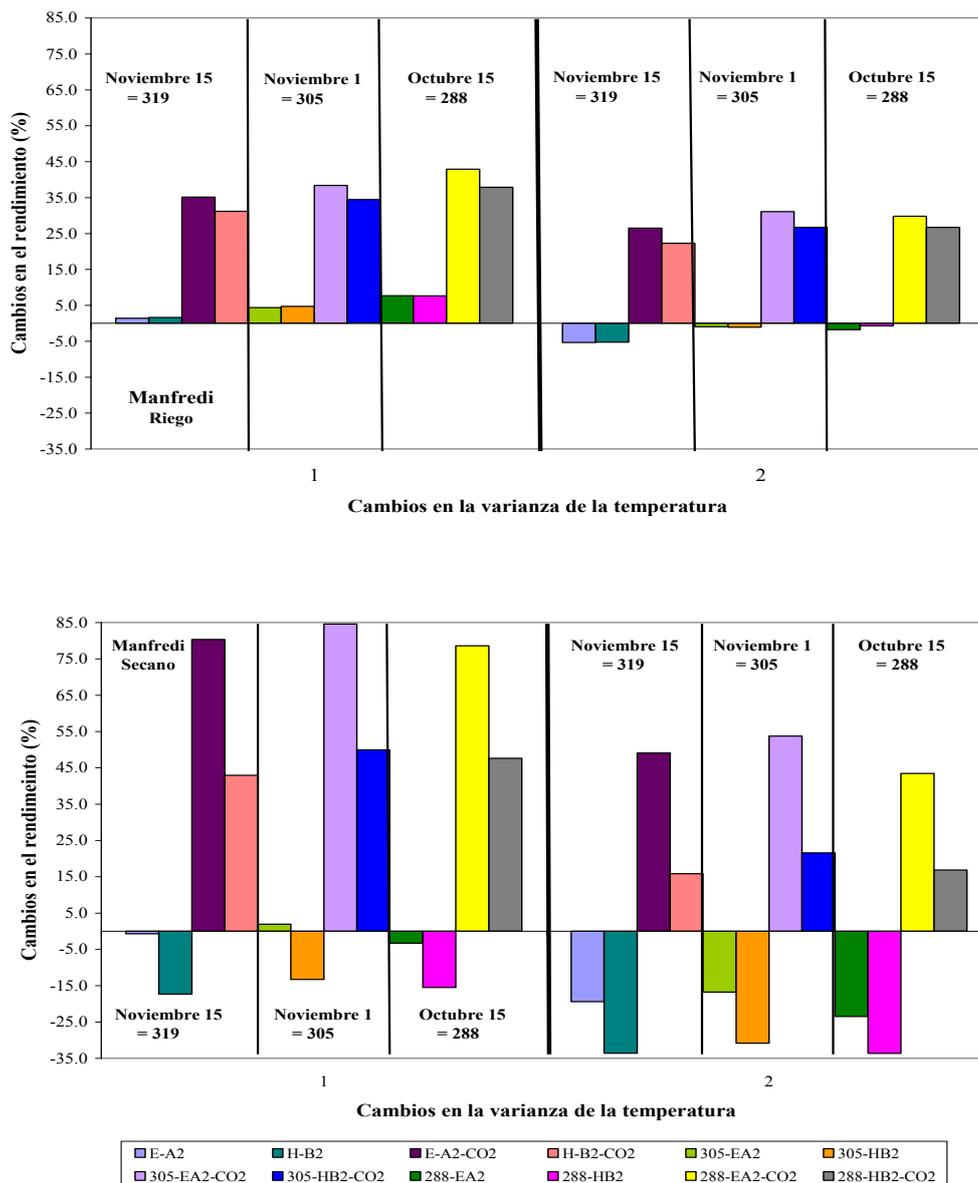


Figura 1. Cambios porcentuales en los rendimientos simulados de maní con riego y en seco bajo distintos escenarios, cambios en la varianza de la temperatura, concentraciones de CO₂ y fechas de siembra para el año 2050 en Manfredi. E-A2-CO2 y H-B2-CO2 son los escenarios E-A2 y H-B2 que incluyen aumentos en la concentración de CO₂. 305-EA2 corresponde al escenario E-A2 sembrado el 1 de noviembre (día

305 del calendario juliano). 1 y 2 representan los escenarios sin cambio y con la duplicación de la varianza de la temperatura respectivamente.

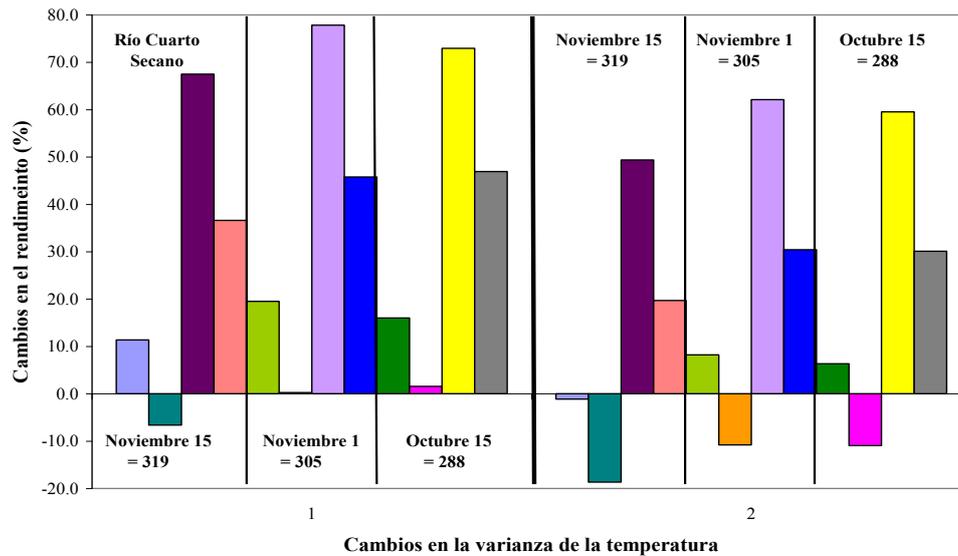
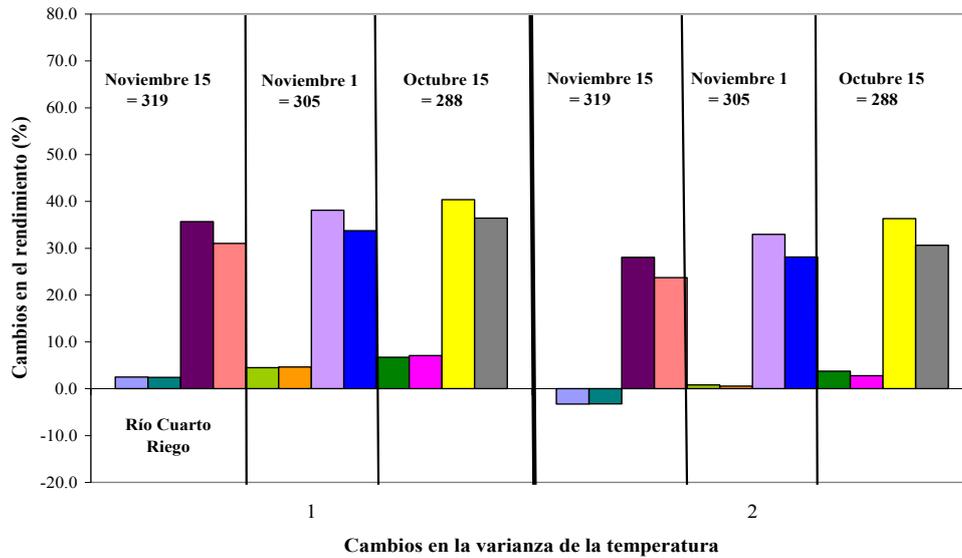


Figura 2. Cambios porcentuales en los rendimientos simulados de maní con riego y en seco bajo distintos escenarios, cambios en la varianza de la temperatura, concentraciones de CO₂ y fechas de siembra para el año 2050 en Río Cuarto. E-A2-CO2 y H-B2-CO2 son los escenarios E-A2 y H-B2 que incluyen aumentos en la concentración de CO₂. 305-EA2 corresponde al escenario E-A2 sembrado el 1 de noviembre (día 305 del calendario juliano). 1 y 2 representan los escenarios sin cambio y con la duplicación de la varianza de la temperatura respectivamente.

En las simulaciones con riego, para CVar=1 y en ambas localidades, fechas de siembra más tempranas contribuyeron a una mayor longitud del subperíodo Siembra-Floración (**S-F**) con respecto al escenario base mientras que la duración del subperíodo Floración-Madurez fisiológica (**F-MF**) resulta menor que la del escenario base (Tablas 1 y 2). La duplicación de la varianza de la temperatura determina cambios similares a los observados para CVar=1 en la duración de ambos subperíodos aunque se observa un aumento de dos días en promedio en la longitud del subperíodo **S-F** y entre cinco a siete días para el **F-MF** al comparar

III CONGRESO INTERNACIONAL SOBRE CAMBIO CLIMATICO Y DESARROLLO SUSTENTABLE

CVar=2 vs CVar=1 en cada fecha de siembra (Tablas 1 y 2). La longitud total del ciclo del cultivo (Siembra a Madurez Fisiológica, **S-MF**) no presenta cambios significativos entre las fechas de siembra del 1 y 15 de noviembre mientras que para la fecha del 15 de octubre se observa un alargamiento del ciclo en aproximadamente tres y seis días en promedio para Río Cuarto y para Manfredi respectivamente (Tablas 1 y 2). En CVar=2, la longitud de este subperíodo es mayor a medida que la siembra es más temprana.

En ambas localidades y en secano, para CVar=1 se observa también un alargamiento en la longitud del subperíodo **S-F** con respecto al escenario base al anticipar la fecha de siembra. El subperíodo **F-MF** se acorta en las siembras más tempranas observándose una reducción en la longitud de este subperíodo en aproximadamente cinco días cuando se compara la siembra del 15 de octubre con la del 15 de noviembre (Tablas 1 y 2).

La duplicación de la varianza de la temperatura determina cambios en la duración de ambos subperíodos, similares a los observados bajo riego en ambas localidades (**S-F** aumenta y **F-MF** disminuye). Estos cambios en la longitud de los subperíodos ocasionan un alargamiento del ciclo de los cultivos sembrados más temprano en aproximadamente cinco días cuando se comparan las siembras del 15 de noviembre y la del 15 de octubre. Sin embargo el subperíodo **S-MF** sigue siendo más corto que el correspondiente al escenario base como resultado de los diferentes incrementos en la temperatura a lo largo del año que aporta cada uno de los escenarios considerados en este análisis. El incremento en la [CO₂] no produce diferencias en la respuesta en cuanto a la longitud de los distintos subperíodos en ambas localidades (Tablas 1 y 2).

Tanto en Manfredi como en Río Cuarto y en condiciones de riego y de secano, el peso del grano (**PG**) disminuye en todos los escenarios. En Río Cuarto con riego resultan pocas variaciones entre los valores de las distintas fechas de siembra mientras que las reducciones son mayores a medida que la fecha de siembra es más temprana en secano en Río Cuarto y en ambas condiciones en Manfredi (Fig. 3 y 4). Los escenarios que incluyen la duplicación de la varianza de la temperatura no presentan resultados diferentes a los analizados en CVar=1. El acortamiento del subperíodo **F-MF** que se observa al adelantar la fecha de siembra (Tablas 1 y 2) explica los resultados observados.

Fecha de siembra		Noviembre 15 = 319				Noviembre 1 = 305			
Escenarios		E-A2	H-B2	E-A2-CO2	H-B2-CO2	E-A2	H-B2	E-A2-CO2	H-B2-CO2
RIEGO									
CVar=1	S-F	39	39	39	39	43	43	43	43
	F-MF	113	113	113	113	110	111	110	111
	S-MF	152	152	152	152	153	154	153	154
CVar=2	S-F	41	41	41	41	44	45	44	45
	F-MF	117	118	117	118	117	117	117	117
	S-MF	158	159	158	159	161	162	161	162
SECANO									
CVar=1	S-F	39	40	39	40	43	44	43	44
	F-MF	110	109	110	109	107	106	107	106
	S-MF	149	149	149	149	150	150	150	150
CVar=2	S-F	41	42	41	42	45	46	45	46
	F-MF	115	114	115	114	113	112	113	112
	S-MF	156	156	156	156	158	158	158	158

Fecha de siembra		Octubre 15 = 288			
Escenarios		E-A2	H-B2	E-A2-CO2	H-B2-CO2
RIEGO					
CVar=1	S-F	48	49	48	49
	F-MF	110	110	110	110
	S-MF	158	159	158	159
CVar=2	S-F	49	50	49	50
	F-MF	115	115	115	115
	S-MF	164	165	164	165
SECANO					
CVar=1	S-F	49	50	49	50
	F-MF	105	105	105	105
	S-MF	141	142	142	142
CVar=2	S-F	50	51	50	51
	F-MF	111	111	111	111
	S-MF	161	162	161	162

III CONGRESO INTERNACIONAL SOBRE CAMBIO CLIMATICO Y DESARROLLO SUSTENTABLE

Tabla 1. Longitud promedio (en días) simuladas de los subperíodos Siembra-Floración (**S-F**), Floración-Madurez Fisiológica (**F-MF**) y Siembra – Madurez Fisiológica (**S-MF**) para maní para distintas fechas de siembra, escenarios con cambios en la varianza de la temperatura y concentraciones de CO₂ para el año 2050, en condiciones de riego y seco en Manfredi

Fecha de siembra		Noviembre 15 = 319				Noviembre 1 = 305			
Escenarios		E-A2	H-B2	E-A2-CO2	H-B2-CO2	E-A2	H-B2	E-A2-CO2	H-B2-CO2
RIEGO									
CVar=1	S-F	40	40	40	40	44	45	44	45
	F-MF	118	117	118	117	113	113	113	113
	S-MF	158	157	158	157	157	158	157	158
CVar=2	S-F	42	42	42	42	46	46	46	46
	F-MF	121	122	121	122	118	119	118	119
	S-MF	163	164	163	164	164	165	164	165
SECANO									
CVar=1	S-F	40	40	40	40	44	45	44	45
	F-MF	113	112	113	112	110	108	110	109
	S-MF	153	152	153	152	154	153	154	154
CVar=2	S-F	42	42	42	42	45	46	46	46
	F-MF	117	116	118	117	114	114	115	114
	S-MF	159	158	160	159	159	160	161	160

Fecha de siembra		Octubre 15 = 288			
Escenarios		E-A2	H-B2	E-A2-CO2	H-B2-CO2
RIEGO					
CVar=1	S-F	50	51	50	51
	F-MF	111	111	111	111
	S-MF	161	162	161	162
CVar=2	S-F	51	52	51	52
	F-MF	116	116	116	116
	S-MF	167	168	167	168
SECANO					
CVar=1	S-F	50	51	50	51
	F-MF	107	107	108	107
	S-MF	157	158	158	158
CVar=2	S-F	51	52	51	52
	F-MF	113	112	113	112
	S-MF	164	164	164	164

Tabla 2. Longitud promedio (en días) simuladas de los subperíodos Siembra-Floración (**S-F**), Floración-Madurez Fisiológica (**F-MF**) y Siembra – Madurez Fisiológica (**S-MF**) para maní para distintas fechas de siembra, escenarios con cambios en la varianza de la temperatura y concentraciones de CO₂ para el año 2050, en condiciones de riego y seco en Río Cuarto

Los aumentos simulados en los rendimientos del cultivo en ambas localidades, están determinados principalmente por el incremento en el número de granos por metro cuadrado (**GM**) al adelantar la fecha de siembra (Fig. 5 y 6). Los mayores aumentos entre fechas de siembra se observan al comparar la del 15 de noviembre y la del 1 de noviembre. Los menores incrementos simulados para la siembra del 15 de octubre en Río Cuarto y el aumento en las pérdidas en los escenarios con duplicación de la varianza de la temperatura sin incremento en la [CO₂] en Manfredi, pueden ser el resultado del aumento de las afectaciones por heladas que ocasionan la muerte del cultivo antes de la floración. En general, estos resultados están también relacionados con la mayor longitud del subperíodo **S-F** que se observó en las siembras tempranas (Tablas 1 y 2) y posiblemente en temperaturas más adecuadas durante el crecimiento del cultivo en los escenarios en donde la varianza de la temperatura permanece sin cambios. Además la mayor cantidad de **GM** para llenar y el acortamiento del subperíodo **F-MF** permiten explicar también el menor **PG** observado al adelantar la fecha de siembra.

CONCLUSIÓN

Los resultados de este estudio de simulación para maní indican que el manejo de la fecha de siembra es una estrategia adecuada para enfrentar los cambios en los valores medios de la temperatura y de la precipitación y en la variabilidad de la temperatura que proyectan los distintos escenarios para el año 2050. Fe-

chas de siembras más tempranas no sólo producen mayores rendimientos sino que también permitirían adelantar la cosecha para antes de los meses de abril y mayo, en los cuales los escenarios E-A2 y H-B2 (sólo para abril) prevén aumentos muy elevados en las precipitaciones. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que el probable aumento en la variabilidad de la temperatura puede incrementar la probabilidad de heladas tardías (que ocurren en las primeras etapas del desarrollo del cultivo) causales de la muerte de la planta.

El maní es un cultivo que en la actualidad sufre una gran desventaja en la competencia por el uso de la tierra con la soja, por lo tanto se evidencia una disminución del área sembrada y un corrimiento de su región de producción tradicional hacia zonas más marginales y alejadas del sur de la provincia de Córdoba (Busso *et al.*, 2003). El adelantamiento de la fecha de siembra en estas nuevas regiones estará condicionado a que los requerimientos agroclimáticos del cultivo sean cubiertos por la oferta ambiental proyectada por los escenarios de cambio climático.

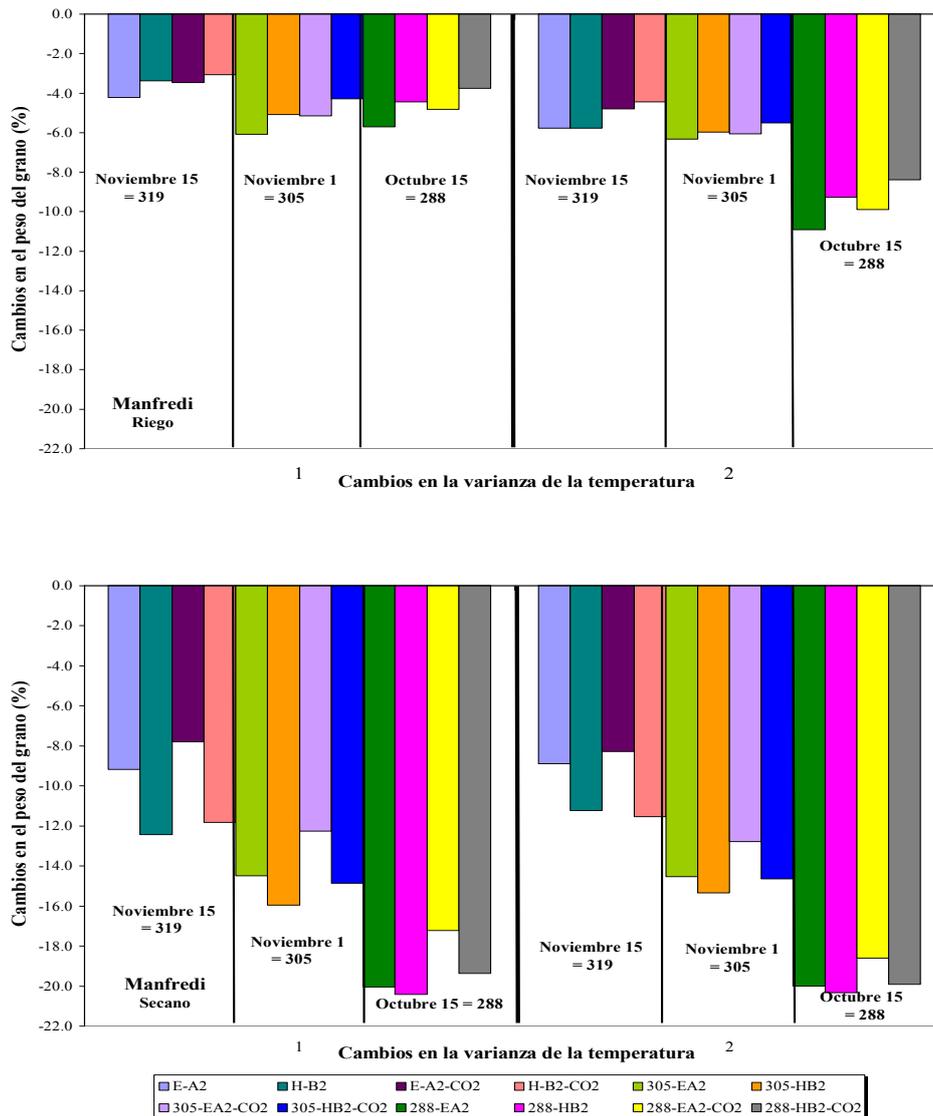


Figura 3. Cambios porcentuales simulados en el peso del grano (PG) de maní con riego y en seco bajo distintos escenarios, cambios en la varianza de la temperatura, concentraciones de CO₂, fechas de siembra y para el año 2050 en Manfredi. E-A2-CO2 y H-B2-CO2 son los escenarios E-A2 y H-B2 que incluyen aumentos en la concentración de CO₂. 286-EA2 corresponde al escenario E-A2 sembrado el 16 de octubre

(día 289 del calendario juliano). 1 y 2 representan los escenarios sin cambio y con la duplicación de la varianza de la temperatura respectivamente.

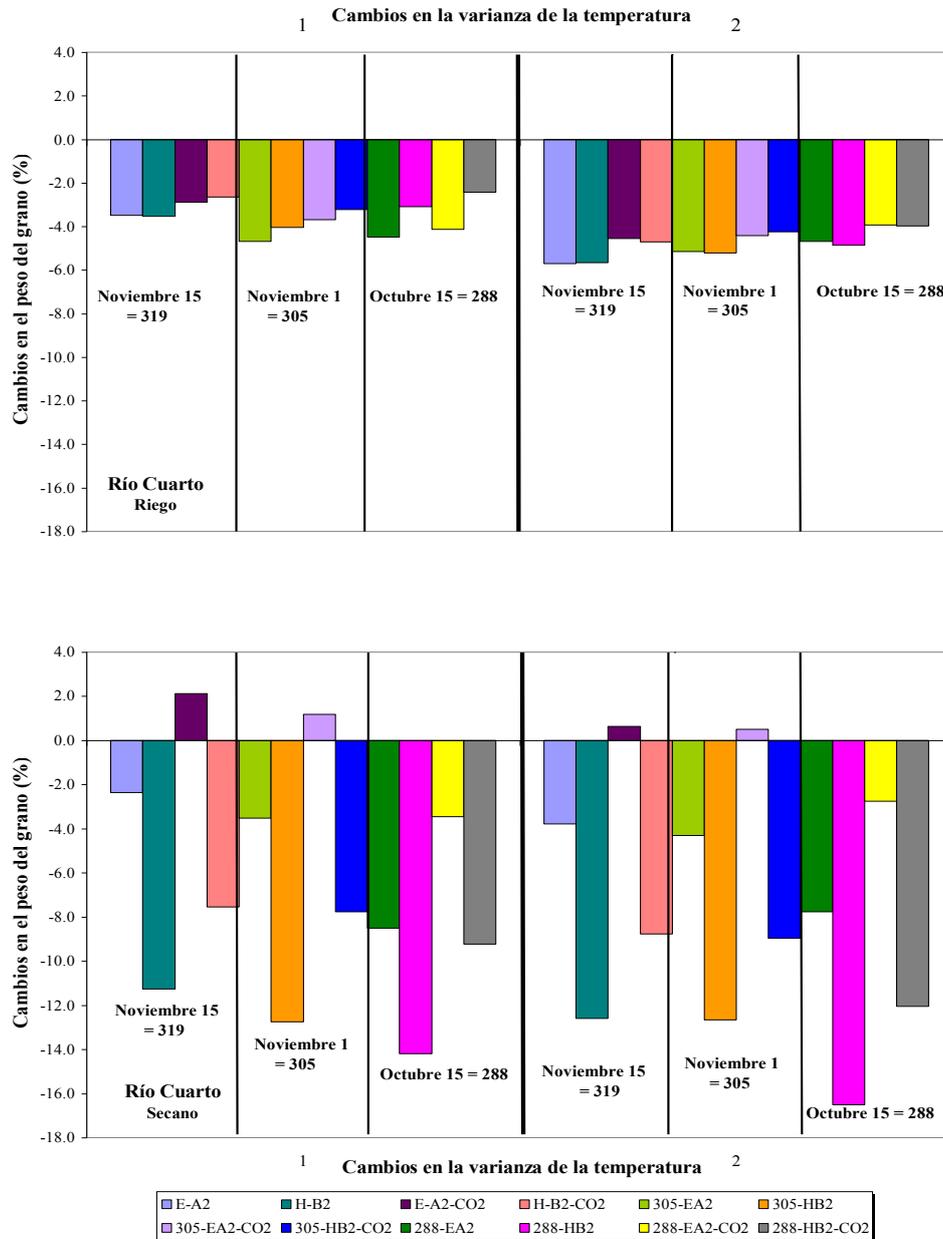


Figura 4. Cambios porcentuales simulados en el peso del grano (PG) de maní con riego y en seco bajo distintos escenarios, cambios en la varianza de la temperatura, concentraciones de CO₂, fechas de siembra y para el año 2050 en Río Cuarto. E-A2-CO2 y H-B2-CO2 son los escenarios E-A2 y H-B2 que incluyen aumentos en la concentración de CO₂. 286-EA2 corresponde al escenario E-A2 sembrado el 16 de octubre (día 289 del calendario juliano). 1 y 2 representan los escenarios sin cambio y con la duplicación de la varianza de la temperatura respectivamente.

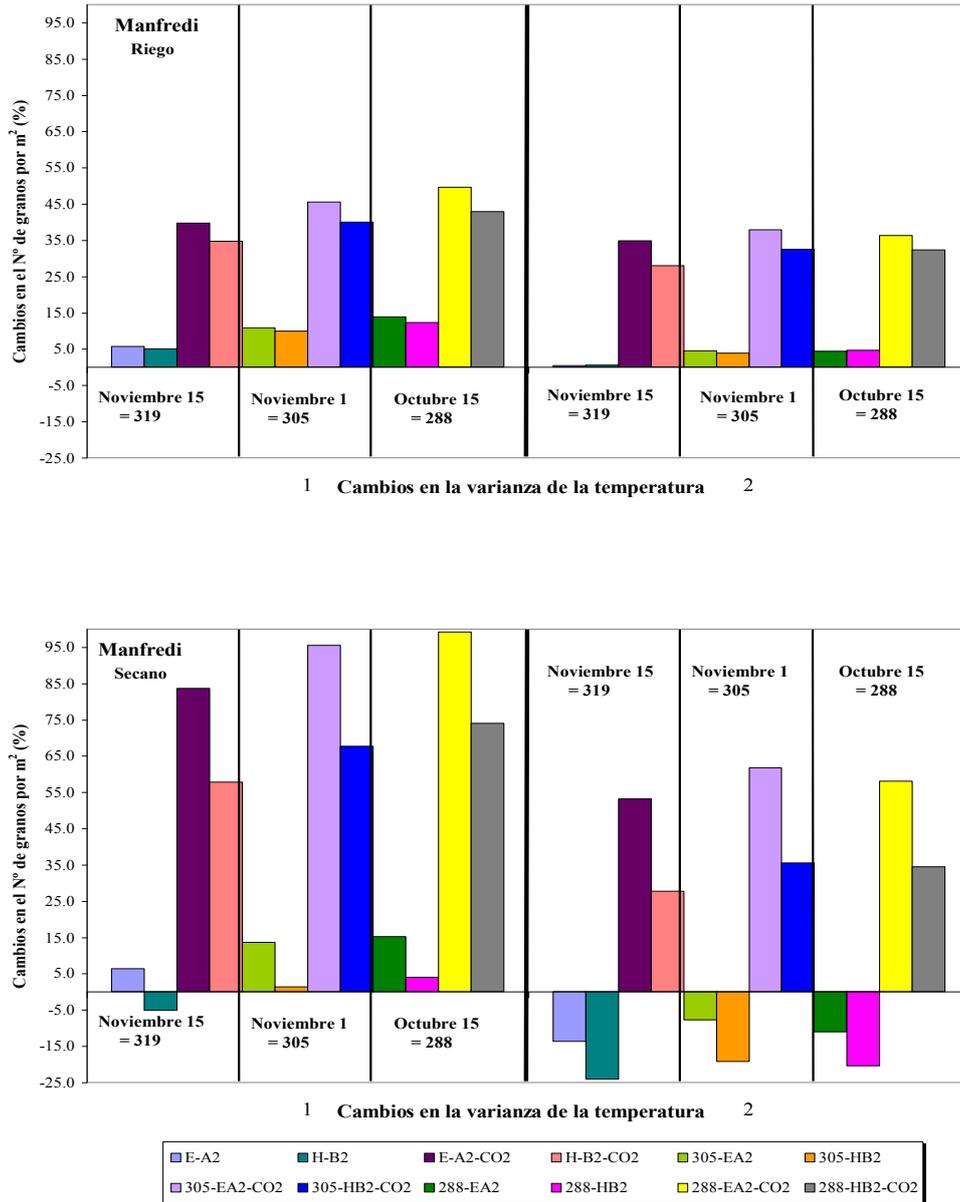


Figura 5. Cambios porcentuales simulados en el número de granos por metro cuadrado (**GM**) de maní con riego y en seco bajo distintos escenarios, cambios en la varianza de la temperatura, concentraciones de CO₂, fechas de siembra y para el año 2050 en Manfredi. E-A2-CO2 y H-B2-CO2 son los escenarios E-A2 y H-B2 que incluyen aumentos en la concentración de CO₂. 286-EA2 corresponde al escenario E-A2 sembrado el 16 de octubre (día 289 del calendario juliano). 1 y 2 representan los escenarios sin cambio y con la duplicación de la varianza de la temperatura respectivamente.

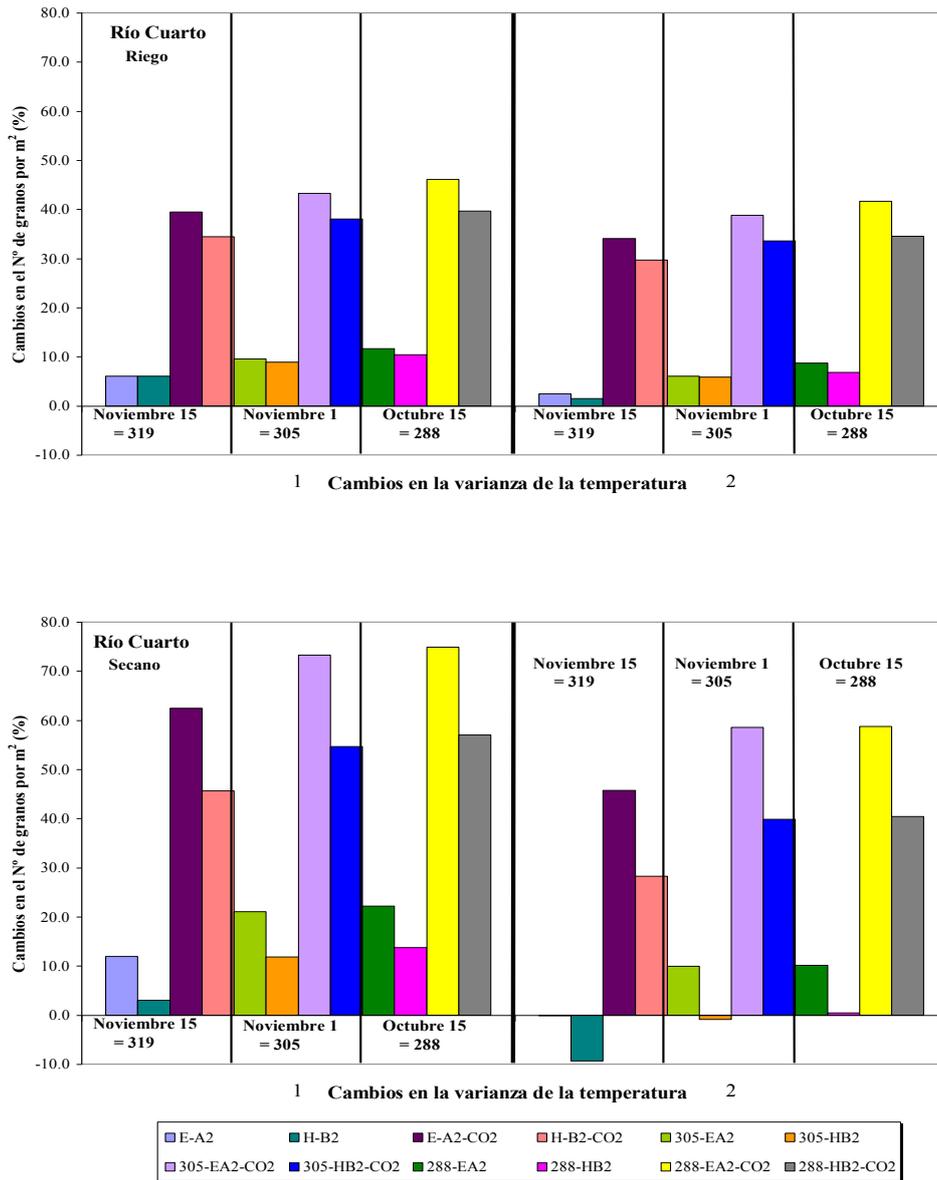


Figura 6. Cambios porcentuales simulados en el número de granos por metro cuadrado (**GM**) de maní con riego y en seco bajo distintos escenarios, cambios en la varianza de la temperatura, concentraciones de CO₂, fechas de siembra y para el año 2050 en Río Cuarto. E-A2-CO₂ y H-B2-CO₂ son los escenarios E-A2 y H-B2 que incluyen aumentos en la concentración de CO₂. 286-EA2 corresponde al escenario E-A2 sembrado el 16 de octubre (día 289 del calendario juliano). 1 y 2 representan los escenarios sin cambio y con la duplicación de la varianza de la temperatura respectivamente.

BIBLIOGRAFÍA

Baethgen W.E. and Magrin G. O. 1995. Assessing the impacts of climate change on winter crop production in Uruguay and Argentina using crop simulation models. En: Climate Change and Agriculture: analysis of potential international impacts. ASAE Special Publication N° 59. pp. 207-228.

Boote K.J., Jones J.W. and Hoogenboom G. 1997. Simulation of Crop Growth: CROPGRO model. En: Agricultural Systems Modeling and Simulation. Peart, R.M., and Curry, R. B., (eds.). Marcel Dekker Publishers, New York. pp. 651-692

Boote K.J., Jones J.W., Hoogenboom G. and Pickering N. B. 1998. The CROPGRO model for grain legumes. En: Understanding options for agricultural production. Systems approaches for sustainable agricultur-

III CONGRESO INTERNACIONAL SOBRE CAMBIO CLIMATICO Y DESARROLLO SUSTENTABLE

- al development Vol.7. Tsuji, G.Y., Hoogenboom, G., and Thornton, P.K., (eds.). Kluwer Academic Publishers, Great Britain. pp. 99-128
- Brumbelow K. and Georgakakos A. 2001. An assessment of irrigation needs and crop yield for the United States under potential climate changes. *J. Geophys. Res.* 106 (D21): 27,383–27,405
- Burkett V., Ritschard R., McNulty S., O' Brien J. J., Abt R., Jones J., Hatch U., Murray B., Jagtap S. and Cruise J. 2001. Potential consequences of climate variability and change for the southeastern United States. Chapter 5. En: *Climate change impacts on the United States, The potential consequences of climate variability and change*. Disponible en <http://www.usgcrp.gov/usgcrp/Library/nationalassessment/05SE.pdf> pp. 137-164.
- Busso G., Civitaresi M., Geymonat A. y Roig R. 2003. Análisis de la situación socioeconómica de los productores primarios de maní en la región Centro sur de la provincia de Córdoba. Campaña 2002-2003. XXXIV Reunión de la Asociación Argentina de Economía Agraria (AAEA), Río Cuarto, pp.27
- Busso G., Civitaresi M., Geymonat A. y Roig R. 2004. Situación socioeconómica de la producción de maní y derivados en la región centro-sur de Córdoba. Diagnósticos y propuestas de políticas para el fortalecimiento de la cadena. Universidad Nacional de Río Cuarto, Facultad de Ciencias Económicas, Instituto de Desarrollo Regional, Fundación Maní Argentino, Río Cuarto, 163 pp.
- Butterfield R. P., Harrison J., Orr M. and Lonsdale K. 2000. Modelling Climate Change Impacts on Wheat, Potato and Grapevine in Great Britain. En: *Climate Change, Climate Variability and Agriculture in Europe – An Integrated Assessment*. Downing, T. E., Harrison, P. A., Butterfield, R. E., and Lonsdale, K. G., (eds.), Res. Report N° 21, Environmental Change Unit, Univ. of Oxford, 1A Mansfield Road, OX1 3TB, U.K., 445 pp.
- Challinor A., Wheeler T., Slingo J. and Hemming D. 2005. Quantification of physical and biological uncertainty in the simulation of the yield of a tropical crop using present day and doubled CO₂ climates. *Philos. Trans. R. Soc. B* 360 1463:1983–1989.
- Challinor A., Wheeler T., Craufurd P.Q., Ferro C.A.T. and Stephenson D.B. 2007. Adaptation of crops to climate change through genotypic responses to mean and extreme temperatures. *Agric. Ecosyst. and Environment* 119: 190–204.
- Delécolle R., Jayet P.A. and Soussana J.F. 2000. Agricultura française et effet de serre : Quelques éléments de réflexion. Impacts potentiels du changement climatique en France au XXIème siècle. *Mate et Mies*. pp 74-80.
- Eakin H., Webhe M., Ávila C., Sánchez Torres G. and Bojórquez-Tapia L. 2007. Social vulnerability of farmers in Mexico and Argentina. En: *Climate Change and Vulnerability*. Leary, N., Adejuwon, J., Barros, V., Burton, I., Kulkarni, J., and Lasco, R., (eds.). Earthscan, London-Sterling (VA), USA, pp 257-278
- Easterling W.E., Aggarwal P. K., Batima P., Brander K. M., Erda L., Howden S. M., Kirilenko A., Morton J., Soussana J.-F., Schmidhuber J. and Tubiello F. N. 2007. Food, fibre and forest products. Chapter 5. En: *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Parry, M.L., Canziani, O. F., Palutikof, J. P., van der Linden, P. J. and Hanson, C.E. (eds.), Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp.273-313.
- Fernández E. M. y Giayetto O (Compiladores). 2006. El cultivo de maní en Córdoba. Universidad Nacional de Río Cuarto, 280 pp.
- Fischer G., Shah M. and van Velthuisen H. 2002. *Climate Change and Agricultural Vulnerability*. IIASA, Laxenburg, Austria.160 pp.
- Gordon C., Cooper C., Señor C.A., Banks H., Gregory J.M., Johns T. C., Mitchell J.F.B. and Wood R.A. 2000. The simulation of SST, sea ice extents and ocean heat transport in a version of the Hadley Centre coupled model without flux adjustments. *Climate Dynamics* 16: 147-168.
- Holden N. M., Brereton A. J., Fealy E. and Sweeney J. 2003. Possible change in Irish climate and its impact on barley and potato yields. *Agriculture and Forest Meteorology* 116: 181-196
- Hulme M., Wigley T.M.L., Barrow E.M., Raper S.C.B., Centella A., Smith S.J. and Chipanshi A.C. 2000. Using a Climate Scenario Generator for Vulnerability and Adaptation Assessments: MAGICC and SCENGEN Version 2.4 Workbook. Climatic Research Unit, Norwich UK, 52 pp.

III CONGRESO INTERNACIONAL SOBRE CAMBIO CLIMATICO Y DESARROLLO SUSTENTABLE

- INTA Centro Regional Córdoba. 2002. Plan de Tecnología Regional (2001-2004). Ediciones INTA, Buenos Aires, 96 pp.
- INTA Centro Regional Córdoba. 2005. Resumen Plan de Tecnología Regional (2005-2007). Disponible en: www.inta.gov.ar/. Activo Noviembre 2007
- IPCC. 2007. Resumen para Responsables de Políticas. En: Cambio Climático 2007: Impactos y Vulnerabilidad. Contribución del Grupo de Trabajo II al Cuarto Informe de Evaluación del IPCC. Parry, M.L., Canziani, O.F., Palutikof, J.P., van der Linden, P.J., y Hanson, C.E., (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido
- Izaurre C.E., Rosenberg N.J., Brown R.A. and Thomson A.M. 2003. Integrated assessment of Hadley Centre (HADCM2) climate-change impacts on agricultural productivity and irrigation water supply in the conterminous United States Part II. Regional agricultural production in 2030 and 2095. *Agricultural and Forest Meteorology* 117: 97-122.
- Jarvis A., Lane A., and Hijmans R. 2008. The effect of climate change on crop wild relatives. *Agric. Ecosyst. Environ.* 126 (1-2):13-23
- Johns T.C., Gregory J.M., Ingram W.J., Johnson C.E., Jones A., Lowe J. A., Mitchell J.F.B., Roberts D.L., Sexton D. M. H., Stevenson D. S., Tett S. F. B. and Woodage M.J. 2003. Anthropogenic climate change from 1860 to 2100 simulated with the HadCM3 model under updated emissions scenarios. *Climate Dynamics* 20: 583–612.
- Magrin G. O., Travasso M. I., Díaz R. A. and Rodríguez R. O. 1997. Vulnerability of the agricultural systems of Argentina to climate change. *Climate Research*. 9:31-36
- Magrin G. O. and Travasso M. I. 2002. An Integrated Climate Change Assessment from Argentina. Chapter 10. En: *Effects of Climate Change and Variability on Agricultural production Systems*. Doering, O. III, Randolph, J.C., Southworth, J., and Pfeifer, R.A., (eds.). Kluwer Academic Publishers, Boston, Dordrecht, London. pp. 193-218.
- Nakicenovic N., Alcamo J., Davis G., de Vries B., Fenhann J., Gaffin S., Gregory K., Grübler A., Jung T.Y., Ktram T., La Rovere E.L., Michaelis L., Mori S., Morita T., Pepper W., Pitcher H., Price L., Raihi K., Roehrl A., Rogner H., Sankovski A., Schlesinger M., Shukla P., Smith S., Swart R., van Rooijen S., Victor N. and Dadi Z. 2000. Emissions Scenarios. A Special Report of Working Group III of the IPCC. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, USA, 599 pp.
- Pope V.D., Gallani M.L., Rowntree P.R. and Stratton R.A. 2000. The impact of new physical parametrization in the Hadley Centre climate model – HadAM3. *Climate Dynamics* 16: 123-146
- Richardson C.W. and Wright D.A. 1984. WGEN: a model for generating daily weather variables. USDA-ARS-8, USA, 80 pp.
- Rivarola A. del V., Seiler R. y Vinocur M. 2004. Vulnerabilidad y adaptación de los productores agropecuarios al cambio y a la variabilidad climática: el uso de la información agrometeorológica. *Revista Reflexiones Geográficas* 11: 109-120.
- Rivington M., Matthews K. B., Bellocchi G., Buchan K., Stöckle C. O. and Donatelli M. 2007. An integrated assessment approach to conduct analyses of climate change impacts on whole farm systems. *Environmental Modelling and Software* 22: 202-210.
- Roeckner E., Arpe K., Bengtsson L., Brinkop S., Dümenil L., Esch M., Kirk E., Lunkeit F., Ponater M., Rockel B., Suasen R., Schlese U., Schubert S. and Windelband M. 1992. Simulation of the present-day climate with the ECHAM4 model: impact of model physics and resolution. Max-Planck Institute for Meteorology, Report N°93, Hamburg, Germany, 171 pp.
- Roeckner E., Arpe K., Bengtsson L., Christoph M., Claussen M., Dümenil L., Esch M., Giorgetta M., Schlese U. and Schulzweida U. 1996. The atmospheric general circulation model ECHAM-4: model description and simulation of present-day climate Max-Planck Institute for Meteorology, Report N°.218, Hamburg, Germany, 90 pp.
- Rosenzweig C. and Iglesias A. 1998. The use of crop models for international climate change impact assessment. En: *Understanding Options for Agricultural Production*. Tsuji, G. Y., Hoogenboom, G., and Thornton, P. K. (eds.). Kluwer Academic Publishers, London, pp. 267–292.
- Sala O. E. and Paruelo J. M. 1994. Impacts of global climate change on maize production in Argentina. En: *Implications of climate change for international agriculture: Crop modeling study*. Rosenzweig, C., and Igle-

III CONGRESO INTERNACIONAL SOBRE CAMBIO CLIMATICO Y DESARROLLO SUSTENTABLE

- sias, A., (eds). United States Environmental Protection Agency, Office of Policy, Planning and Evaluation, Climate Change Division, Washington, DC. pp. 1-12
- Southworth J., Pfeifer R. A., Habeck M., Randolph J. C., Doering O. C., Johnston J. J. and Rao D. G. 2002. Changes in soybean yields in the Midwestern United States as a result of future changes in climate, climate variability and CO₂ fertilization. *Climatic Change* 53: 447-475
- Tan G. and Shibasaki R. 2003. Global estimation of crop productivity and the impacts of global warming by GIS and EPIC integration. *Ecological Modelling* 168: 357-370.
- Travasso M. I., Magrin G. O., Baethgen W. E., Castaño J. P., Rodríguez G. R., Pires J. L., Giménez A., Cunha G. and Fernandes M. 2007. Maize and soybean cultivation in southeastern South America: Adapting to climate change. En: *Climate Change and Adaptation*. Leary, N., Adejuwon, J., Barros, V., Burton, I., Kulkarni, J., and Lasco R., (eds.). Earthscan, London-Sterling (VA), USA. pp. 332-352.
- Tschakert P. 2007. Views from the vulnerable: Understanding climatic and other stressors in the Sahel. *Global Env. Change* 17: 381-396
- Van Duivenbooden N., Abdoussalam S. and Ben Mohamed A. 2002. Impact of climate change on agricultural production in the Sahel-Part 2. Case study for groundnut and cowpea in Niger. *Climatic Change* 54: 349-368
- Vara Prasad P. V., Craufurd P. Q., Summerfield R. J. and Wheeler T. R. 2000. Effects of short episodes of heat stress on flower production and fruit-set of groundnut *Arachis hypogaea* L. *J. Exp. Bot.* 51 (345): 777-784.
- Vinocur M. G. y Mearns L. O. 1999. Peanut crop responses to climate variability in Córdoba, Argentina: a simulation study. XI Congresso Brasileiro de Agrometeorología y II Reunión Latino-americana de Agrometeorología, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil, pp. 705-712.
- Vinocur M. G., Seiler R. A. y Mearns L. O. 2000. Forecasting the impact of climate variability on peanut crop production in Argentina. International Forum on climate prediction, agriculture and development, Palisades, NY. IRI Publication IRI-CW/00/1 pp.189-195
- Vinocur M. G., Seiler R. A. y Mearns L. O. 2001. Respuestas del cultivo de maní a distintos escenarios climáticos. *Revista Argentina de Agrometeorología (RADA)*, 1 (2): 71-76.
- Vinocur, M.G. 2008. Evaluación de los efectos de la variabilidad climática y del cambio climático sobre la producción agrícola en la Provincia de Córdoba, Argentina. Tesis Doctor en Ciencias Agropecuarias, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba. 184 páginas.
- Vinocur, M. G. and Rivarola A. 2005. Adaptation of farmers to climate variability and change in central Argentina: a case study. 6th Open Meeting of the Human Dimensions of Global Environmental Change Research Community, Session 96: Understanding Climate Change Adaptation in Practice, Lessons from around the World, Bonn. Disponible en: http://openmeeting.homelinux.org/abstract_listing.asp. Activo enero 2006.
- Wehbe M., Eakin H., Seiler R., Vinocur M., Ávila C., Maurutto C. and Sánchez Torres G. 2007. Local perspectives on adaptation to climate change: Lessons from Mexico and Argentina. En: *Climate change and adaptation*. Leary, N., Adejuwon, J., Barros, V., Burton, I., Kulkarni, J. and Lasco, R., (eds.). Earthscan, London-Sterling (VA), USA, pp. 315-331.
- Wigley T. M. L. and Raper S. C. B. 2001. Interpretation of high projections for global-mean warming. *Science* 293: 451-454.
- Wigley T. M. L. and Raper S. C. B. 2002. Reasons for larger warming projections in the IPCC Third Assessment Report. *J. Climate* 15: 2945-2952.