

CAMBIO CLIMÁTICO EN URUGUAY, POSIBLES IMPACTOS Y MEDIDAS DE ADAPTACIÓN EN EL SECTOR AGROPECUARIO

Autores: Agustín Giménez¹
José Pedro Castaño¹
Walter E. Baethgen²
Bruno Lanfranco³

¹Unidad de Agroclima y Sistemas de información (GRAS) del Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA), Uruguay.

²Instituto Internacional de Investigación en Clima y Sociedad (IRI), Universidad de Columbia, EEUU.

³Economía Agrícola, Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA), Uruguay.

Título: CAMBIO CLIMÁTICO EN URUGUAY, POSIBLES IMPACTOS
Y MEDIDAS DE ADAPTACIÓN EN EL SECTOR AGROPECUARIO

Autores: Agustín Giménez
José Pedro Castaño
Walter E. Baethgen
Bruno Lanfranco

Serie Técnica N° 178

© 2009, INIA

ISBN: 978-9974-38-275-6

Editado por la Unidad de Comunicación y Transferencia de Tecnología del INIA
Andes 1365, Piso 12. Montevideo - Uruguay
<http://www.inia.org.uy>

Quedan reservados todos los derechos de la presente edición. Esta publicación
no se podrá reproducir total o parcialmente sin expreso consentimiento del INIA.

Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria

Integración de la Junta Directiva

Ing. Agr., Dr. Dan Piestun - Presidente

Ing. Agr., Dr. Mario García - Vicepresidente



Ing. Agr. José Bonica

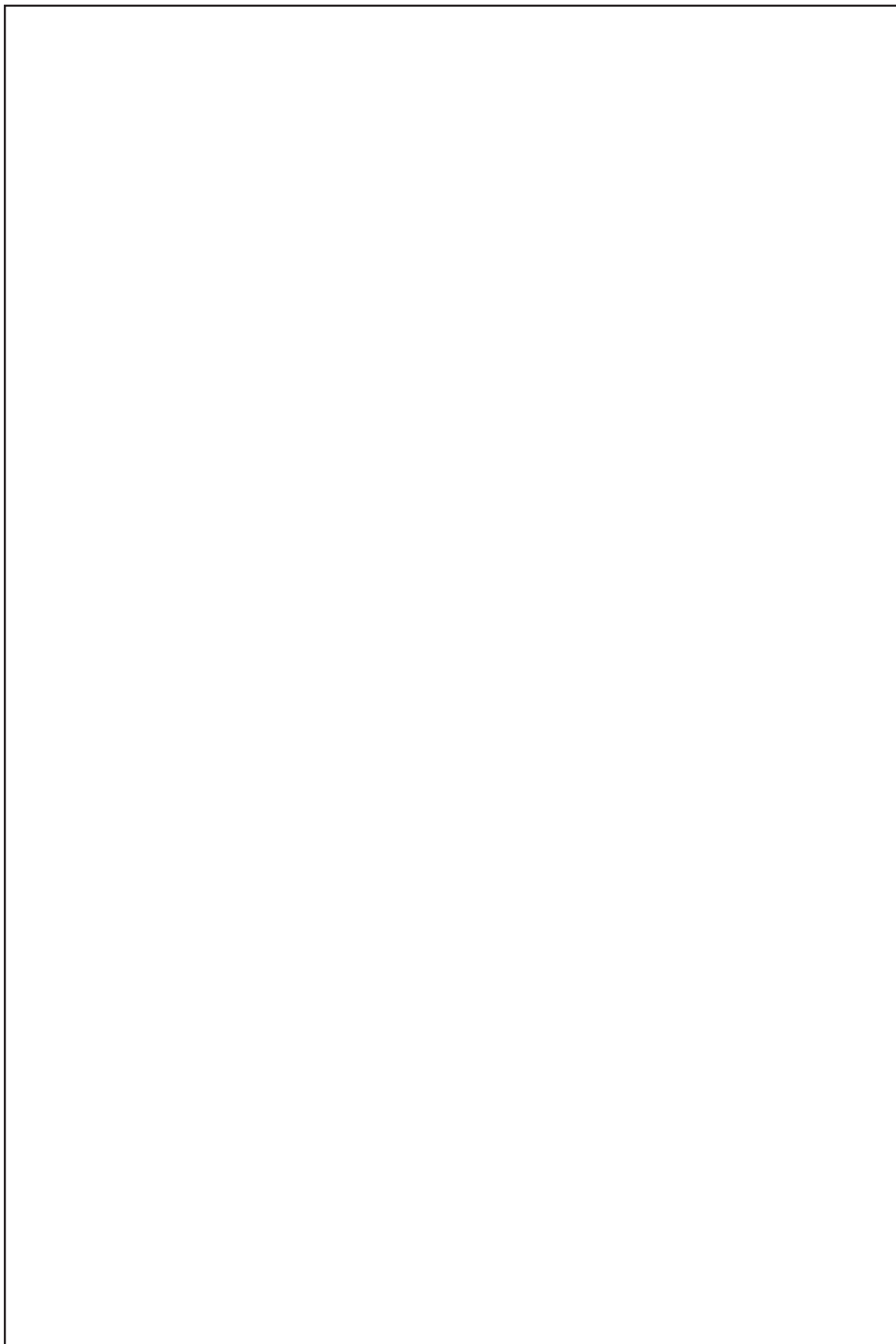
Dr. Alvaro Bentancur



Ing. Agr., MSc. Rodolfo M. Irigoyen

Ing. Agr. Mario Costa

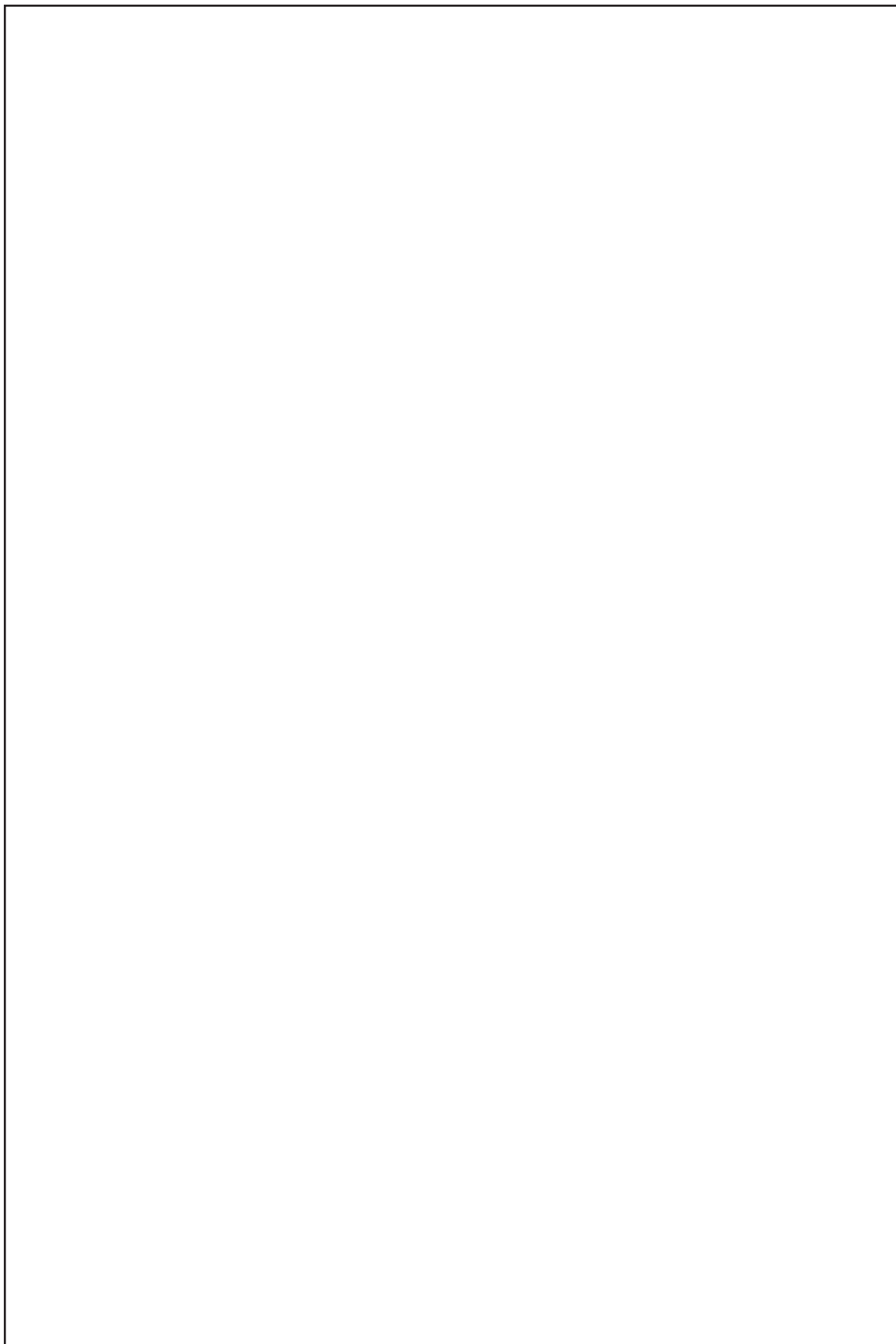




CONTENIDO

Página

I INTRODUCCIÓN.....	1
II CAMBIO CLIMÁTICO OBSERVADO.....	3
1. Introducción	3
2. Resultados	5
3. Síntesis	10
III CAMBIO CLIMÁTICO ESTIMADO EN ESCENARIOS FUTUROS	
1. Introducción	11
2. Escenarios climáticos futuros de precipitación y temperatura media anual.....	12
3. Escenarios climáticos futuros de precipitación y temperaturas medias para períodos intra anuales.....	15
3.1. Escenarios con horizonte temporal 2020	15
3.2. Escenarios con horizonte temporal 2055	17
4. Conclusiones generales sobre cambios en el clima proyectado	22
IV ALGUNAS ESTIMACIONES Y CONSIDERACIONES SOBRE POSIBLES IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA PRODUCCIÓN DE CULTIVOS Y PASTURAS EN URUGUAY Y LA REGIÓN	23
1. Introducción	23
2. Impactos en algunos cultivos de secano.....	23
3. Impactos en el cultivo del arroz	25
4. Impactos en la producción de pasturas.....	30
V LA VARIABILIDAD Y LOS EVENTOS CLIMÁTICOS EXTREMOS	36
1. Introducción	36
2. Algunas opciones de respuesta y adaptación a la variabilidad climática.....	38
2.1. Sistema de información y soporte para la toma de decisiones (SISTD).....	39
2.1.1. Introducción	39
2.1.2. Objetivo general de la propuesta.....	41
2.1.3. Productos esperados	41
2.2. Gestión de agua.....	41
2.2.1. Introducción	41
2.2.2. Objetivo general de la propuesta.....	43
2.2.3. Productos esperados	43
2.3. Seguros y otros instrumentos financieros para la gestión de riesgos	44
2.3.1. Introducción	44
2.3.2. Estrategias propuestas.....	45
2.3.3. Propuesta de acciones en el corto y mediano plazo para el logro de esta opción.....	47
VI REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	47



CAMBIO CLIMÁTICO EN URUGUAY, POSIBLES IMPACTOS Y MEDIDAS DE ADAPTACIÓN EN EL SECTOR AGROPECUARIO

I) INTRODUCCIÓN

En los últimos 10,000 años, que corresponde al presente período interglaciar, el clima de la Tierra ha permanecido relativamente estable. A lo largo de dicho período, el ser humano y las sociedades en general han venido evolucionando y en muchos casos han logrado adaptarse a las condiciones climáticas y a su variabilidad natural. Sin embargo, actualmente la sociedad enfrenta cambios potencialmente mucho más rápidos en las condiciones climáticas futuras debido a actividades humanas que afectan tanto la composición de la atmósfera como el balance de la radiación solar.

Gran parte de la energía solar que recibe la Tierra es absorbida y convertida en calor y parte de ese calor es irradiado desde la superficie terrestre hacia la atmósfera. En la atmósfera existen gases que tienen la capacidad de absorber calor (vapor de agua, dióxido de carbono, óxido nitroso, metano, ozono). De esta manera parte del calor que la Tierra irradia desde su superficie queda retenido en la atmósfera y resulta en un calentamiento de la propia atmósfera y de la superficie terrestre. Este mecanismo es el que se denomina efecto invernadero natural, sin el cual la temperatura de la Tierra sería aproximadamente 33°C más baja que la actual (Baethgen y Martino, 2003).

El gran y continuo incremento de la quema de combustibles fósiles, el aumento de la deforestación y la expansión de las áreas cultivadas han resultado en cambios importantes en la composición de la atmósfera. La concentración atmosférica de gases de efecto invernadero ha venido incrementando continuamente desde la década del 1750 en que comenzó la era industrial. El dióxido de Carbono (CO₂) ha aumentado más del 30%, el metano (CH₄) más del 100%, y el óxido nitroso (N₂O) en un 15%. Analizando muestras de hielo extraídas en los polos, se ha logrado estudiar la composición de la atmósfera y las

condiciones climáticas del planeta de las últimas decenas de miles de años. Las investigaciones han concluido que los gases de efecto invernadero se encuentran en la actualidad en concentraciones más altas que en los últimos 160,000 años (IPCC, 1996).

Entre otros efectos, este cambio en la composición de la atmósfera ha resultado en un efecto invernadero intensificado, alterando el equilibrio natural que existía entre la energía solar entrante y la energía terrestre saliente y resultando en un aumento de la temperatura de la superficie de la Tierra. La comunidad científica internacional ha venido dedicando muchos esfuerzos al estudio de estos cambios y a la evaluación de los posibles impactos que los mismos pueden tener sobre el planeta. Estudios conducidos por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, 1995) han permitido concluir que la temperatura global del aire ha incrementado entre 0.3° y 0.6° C desde fines del siglo XIX. Por otro lado, utilizando modelos climáticos que consideran las concentraciones de los gases de efecto invernadero y de los aerosoles, se ha estimado que la temperatura global de la superficie de la Tierra podría aumentar entre 1° y 3.5° C para el año 2100. Este rango en las proyecciones se basa en estudios realizados por el IPCC y otras instituciones científicas, considerando tanto la sensibilidad del clima a los gases de invernadero como las estimaciones de emisiones de dichos gases proyectadas para el futuro. Dichas variaciones proyectadas en la temperatura promedio global significarían un cambio climático más rápido que cualquier otro experimentado desde la última era glacial hace 10,000 años.

Así mismo, los estudios indican que estas variaciones climáticas presentarían impactos importantes sobre el planeta. Algunos de los cambios considerados como más posibles incluyen: alteraciones en las zonas actuales de vegetación, cambios en la cantidad y distribución de las precipitaciones,

derretimiento de glaciares, aumento en el nivel del mar e inundaciones de las zonas costeras.

La comunidad internacional también ha reaccionado a estos cambios mediante la creación de programas y convenciones para unificar criterios de investigación, y adoptar medidas para enfrentar posibles cambios globales. Una de las iniciativas más importantes fue la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC). Otro resultado de esta acción coordinada internacional ha sido el establecimiento del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC), que está constituido por científicos de diferentes países y cuyo cometido fundamental es el actualizar la información científica sobre cambio climático y asesorar a los gobiernos en este tema.

El Tercer informe del IPCC (IPCC, 2001) incluye una recopilación de casos en los cuales hay suficiente evidencia científica de la causa antropogénica del Cambio Climático. Las últimas décadas del siglo XX, han sido caracterizadas por un incremento en la población humana mundial que impone una presión sin precedentes en los ecosistemas y en los sistemas de producción agropecuarios.

El sector agropecuario es uno de los sectores en los que se esperan mayores impactos del cambio climático. Las proyecciones realizadas por científicos de diferentes partes del mundo indican que la productividad agropecuaria disminuiría en algunas regiones y aumentaría en otras. La mayoría de dichos estudios coinciden en que los impactos más negativos ocurrirían en las zonas tropicales y subtropicales (Reilly et al., 1996). Estos resultados son de una gran importancia ya que justamente en esas regiones se encuentran algunos de los ecosistemas más frágiles del planeta. Por otro lado en estas mismas regiones se encuentra la mayor parte de los países menos desarrollados y por lo tanto más vulnerables a efectos negativos sobre su principal sector productivo (Baethgen y Martino, 2003).

Muchos estudios conducidos en los últimos 20 años (citados en los informes del IPCC) sugieren que los rendimientos de los cultivos podrían ser severamente reducidos en condiciones de temperaturas más altas como consecuencia del acortamiento de la estación de crecimiento y por aumentos en la presión de enfermedades (Parry et al., Rosenzweig y Iglesias, 1994, Baethgen y Magrin, 1995; Schneider et al., 2001). Más aún, algunos de los sistemas agropecuarios, que ya son frágiles en las condiciones actuales (tales como el Nordeste de Brasil, el Sahel de África), podrían volverse insostenibles bajo las condiciones esperadas por algunos escenarios climáticos del IPCC (Baethgen, 1997). La mayoría de los estudios sugieren que las regiones más severamente afectadas desde el punto de vista socioeconómico serían las que se encuentran alrededor de los trópicos donde se encuentra la mayoría de los países en vías de desarrollo.

A continuación se presenta un resumen de información sobre Cambio Climático observado en Uruguay y la región y posibles escenarios futuros.

Dicha información se basa fundamentalmente en estudios realizados y finalizados más recientemente (2005 - 2009) en Uruguay, en el marco del Programa "Assessment of Impacts and Adaptation to Climate Change", (AIACC - START, TWAS, GEF) (AIACC, 2006), en el "Análisis de la estadística climática y desarrollo y evaluación de escenarios climáticos e hidrológicos de las principales cuencas hidrográficas del Uruguay y la Zona Costera" (Unidad de Cambio Climático de la DINAMA del MVOTMA de Uruguay, PNUD, GEF, 2005), en el estudio de "Identificación de posibles impactos del Cambio Climático en la producción de pasturas naturales y de arroz en Uruguay" (PNUD URU/05/G32-252, Unidad de Cambio Climático de la DINAMA del MVOTMA de Uruguay, Unidad GRAS del INIA, 2008) y en el proyecto "Vulnerabilidad al cambio climático en los sistemas de producción agrícola en América Latina y el Caribe: "desarrollo de respuestas y estrategias" (Banco Mundial, Universidad de Cornell, Unidad GRAS del INIA, 2009).

II) CAMBIO CLIMÁTICO OBSERVADO

1) Introducción

El área pampeana comprendida por el centro de Argentina, el sur de Brasil y Uruguay constituye una de las mayores regiones productoras de alimentos del mundo.

Dada la importancia de esta zona para la humanidad y en el marco del Programa AIACC (Assessment of Impacts and Adaptation to Climate Change), se desarrolló un proyecto de investigación a fines de estudiar y determinar cambios en el clima de esta región y posibles impactos en la producción agropecuaria. El proyecto LA27 "Climate Change/Variability in the Mixed Crop/Livestock Production Systems of the Argentinean, Brazilian and Uruguayan Pampas: Climate Scenarios, Impacts and Adaptive Measures" (AIACC, 2006), fue ejecutado conjuntamente por el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) de Argentina, el Instituto de Investigación Agropecuaria (EMBRAPA) de Brasil, y el Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA) de Uruguay, con el apoyo del Instituto Internacional de Investigación en Clima y Sociedad (IRI) de la Universidad de Columbia de los Estados Unidos de Norteamérica y de la Unidad de Investigación en Sistemas de Producción Agropecuaria (APSRU) de Australia.

Una de las principales actividades desarrolladas en este proyecto consistió en estimar los cambios en el clima observado durante el siglo XX en la región de estudio (sur de Brasil, centro de Argentina y todo Uruguay), enfocado en dos variables climáticas que afectan en gran medida a los sistemas de producción agropecuarios: temperatura del aire y precipitaciones. Para ello se analizó la información mensual de temperaturas máximas medias y mínimas medias y de precipitaciones, obtenida de varias estaciones climáticas distribuidas por toda la región.

Adicionalmente y para un número menor de estaciones se analizaron los datos diarios

de temperaturas con el fin de cuantificar los cambios observados en las temperaturas extremas y en el régimen de heladas. Las temperaturas extremas (temperatura máxima absoluta -Tmax, y temperatura mínima absoluta -Tmin) son también importantes para los sistemas de producción agropecuarios. Tanto valores de Tmax muy altas o de Tmin muy bajos afectan el desarrollo y crecimiento de cultivos y pasturas y el comportamiento animal, pudiendo resultar en una pérdida muy importante de productividad. El régimen de heladas (día de primera y última helada, número de días con heladas, y temperatura mínima del día con helada) es también un factor relevante. De hecho, en muchos casos las fechas recomendadas para la siembra de cultivos anuales se definen considerando las chances de que las etapas críticas para el desarrollo de los cultivos (ej: floración) escapen al período en que ocurren las heladas. Cuando ocurren heladas tardías en la zona de estudio (setiembre - octubre según la localización) éstas coinciden por ejemplo con la floración de los cultivos de cerealeros (trigo y cebada), afectando drásticamente los rendimientos y la calidad del producto.

Por otro lado gran parte de los sistemas de producción ganadera en Uruguay se basan predominantemente en pasturas naturales mayoritariamente compuestas por especies estivales, en las cuales la ocurrencia de la primera helada resulta ser un factor fundamental para determinar el cese de su productividad. Por otra parte, los períodos de heladas también inciden en la persistencia de patógenos y en el desarrollo de enfermedades de cultivos, pasturas y animales. En ausencia de heladas, algunos patógenos sobreviven todo el año en residuos vegetales y/o en el suelo lo que puede resultar en una mayor presión de enfermedades para plantas y animales. Finalmente, es clara la incidencia negativa que tienen las heladas sobre las nuevas plantaciones forestales (quemando las plantas jóvenes), así como sobre la producción de frutales y hortalizas (afectando la floración, formación de frutos y causando necrosis foliar).

El área de estudio comprendió la región abarcada entre la latitud 27 Sur y 39 Sur y entre la longitud 51 Oeste y 64 Oeste. Se elaboró una base de datos climáticos observados mensuales para el período Enero de 1931 - Diciembre de 2000 con la información registrada en estaciones meteorológicas distribuidas en la región de estudio (Figura 1) de las siguientes variables: precipitación acumulada, temperaturas máximas medias y temperaturas mínimas medias.

software Surfer versión 8.0 (Golden Software, Inc.) con el método de interpolación espacial de Kriging. En segundo lugar se compararon los valores de precipitación trimestral de dos períodos: 1931-1960 y 1971-2000. Se elaboraron mapas para cada trimestre (es decir EFM, FMA, MAM, etc.) con las regiones en las que las diferencias fueron estadísticamente significativas ($P < 0.10$).

Para las temperaturas máximas medias y mínimas medias mensuales se utilizaron datos de 23 estaciones meteorológicas: 7 de

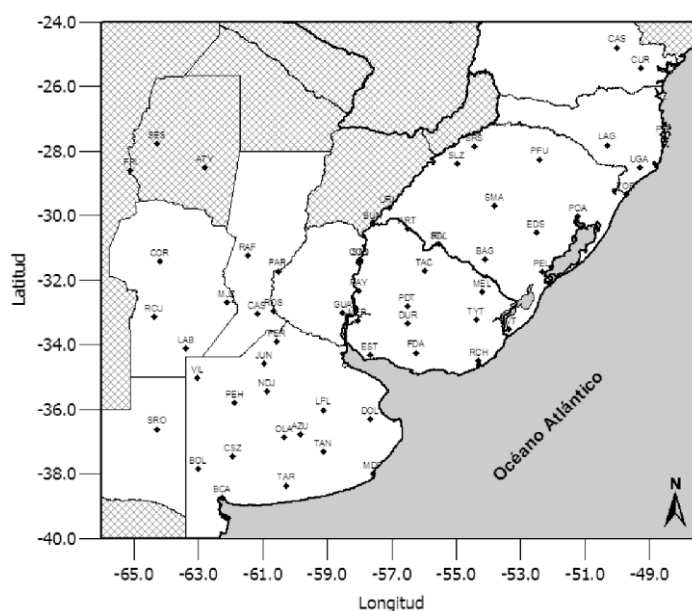


Figura 1. Región de estudio (en blanco) y distribución espacial de las estaciones climáticas utilizadas (puntos).

Para precipitación se utilizaron los datos provenientes de 49 estaciones climáticas (26 de Argentina, 14 de Uruguay y 9 de Brasil). Se llevaron a cabo dos tipos de análisis. En primer lugar las precipitaciones observadas (mensuales y trimestrales) de cada una de las 49 estaciones climáticas se utilizaron para ajustar modelos de regresión lineal y se estudió la significancia estadística de los coeficientes de regresión obtenidos utilizando el test no paramétrico de Kendall. Este test es menos afectado por valores extremos que los test convencionales (Hundecka y Bárdossy 2005; Arora et al. 2005; Mekis y Vincent 2005). Se elaboraron mapas de cambio de las precipitaciones trimestrales para toda la región de estudio utilizando solamente los coeficientes de regresión significativos al 90%. Para la realización de estos mapas se utilizó el

Argentina, 13 de Brasil y 3 de Uruguay. Se llevaron a cabo los mismos análisis que los presentados para precipitación (regresiones de todo el período y comparación de dos períodos: 1931-1960 vs 1971-2000), y se elaboraron mapas similares a los comentados previamente.

Finalmente, para el estudio de la evolución de las temperaturas extremas y el régimen de heladas se elaboró una base de datos diarios de temperaturas máximas y mínimas absolutas con información proveniente de 10 estaciones climáticas (5 de Argentina, 2 de Brasil y 3 de Uruguay), para el mismo período que los valores mensuales (1931-2000). Se estimaron las diferencias utilizando modelos de regresión lineal y significancia estadística evaluada por el método de Kendall.

2) Resultados

Como resumen de los resultados obtenidos se puede indicar que en términos generales se determinaron cambios en las precipitaciones y en las temperaturas y que los mismos fueron más evidentes durante los trimestres de primavera y verano. En estas

estaciones del año en general y en particular en los meses de diciembre, enero y febrero, las precipitaciones aumentaron y las temperaturas máximas medias descendieron prácticamente en toda la región (Figuras 2 y 3). Mientras que las temperaturas mínimas medias aumentaron a lo largo de todo el año (Figuras 4 y 5).

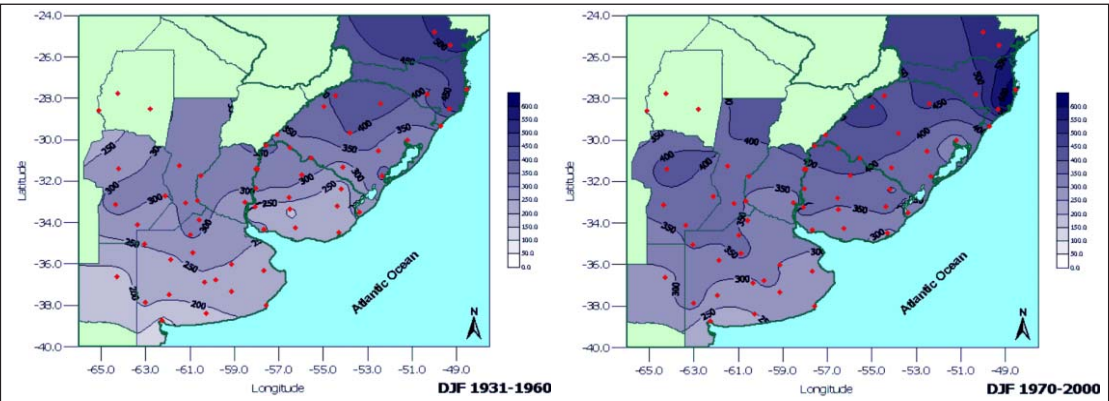


Figura 2. Cambios en las precipitaciones observadas (mm) entre 1931-1960 y 1971-2000 para el trimestre de verano (DJF).

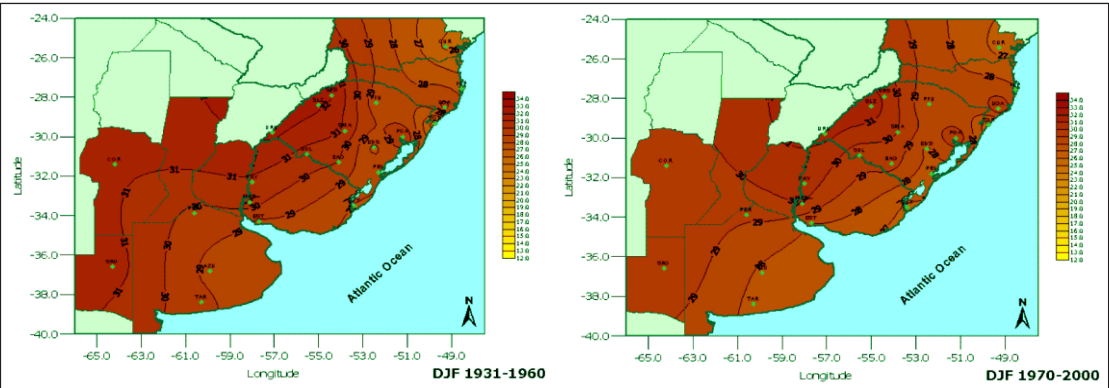


Figura 3. Cambios en la temperatura máxima media observada (°C) entre 1931-1960 y 1971-2000 para el trimestre de verano (DJF).

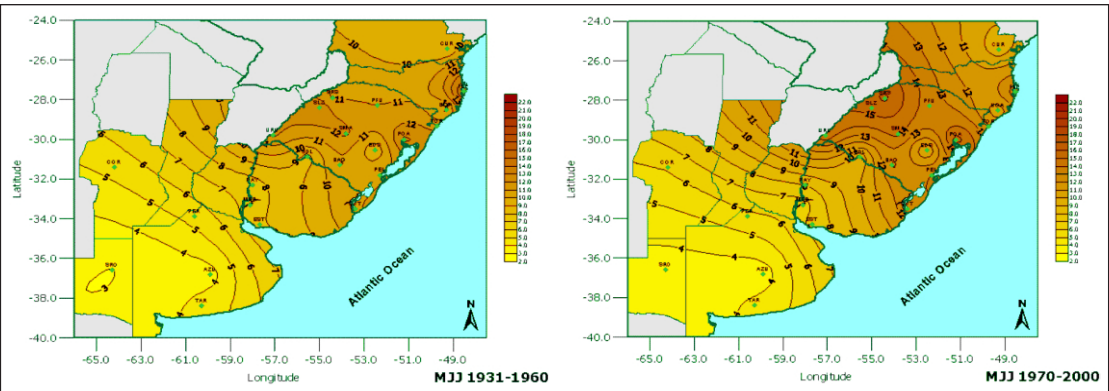


Figura 4. Cambios en la temperatura mínima media observada (°C) entre 1931-1960 y 1971-2000 para el trimestre de invierno (MJJ).

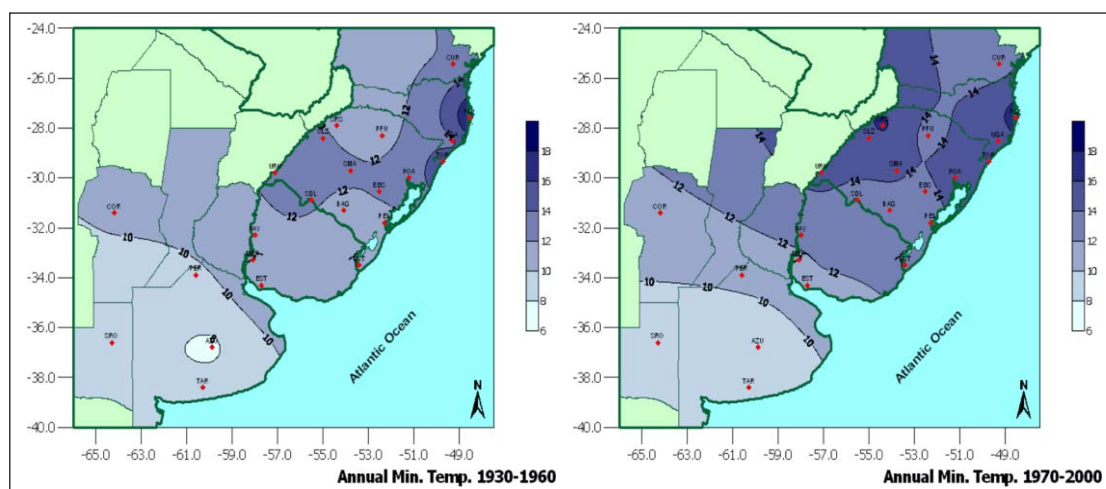


Figura 5. Cambios en la temperatura mínima media anual observada (°C) entre 1931-1960 y 1971-2000.

Los resultados también indicaron que los cambios estadísticamente significativos en la precipitaciones y en las temperaturas máximas medias fueron más evidentes en la región oriental de las Pampas en Argentina (Figuras 6, 7 y 8), lo que coincide con trabajos publicados previamente (Barros et al. 2000,

Camilloni y Bidegain 2005, Castañeda y Barros 1994). Los coeficientes de regresión ($^{\circ}\text{C año}^{-1}$) de las temperaturas máximas y mínimas medias estimados en base a trimestres móviles en el período 1931-2000, se presentan en las Tablas 1 y 2 respectivamente.

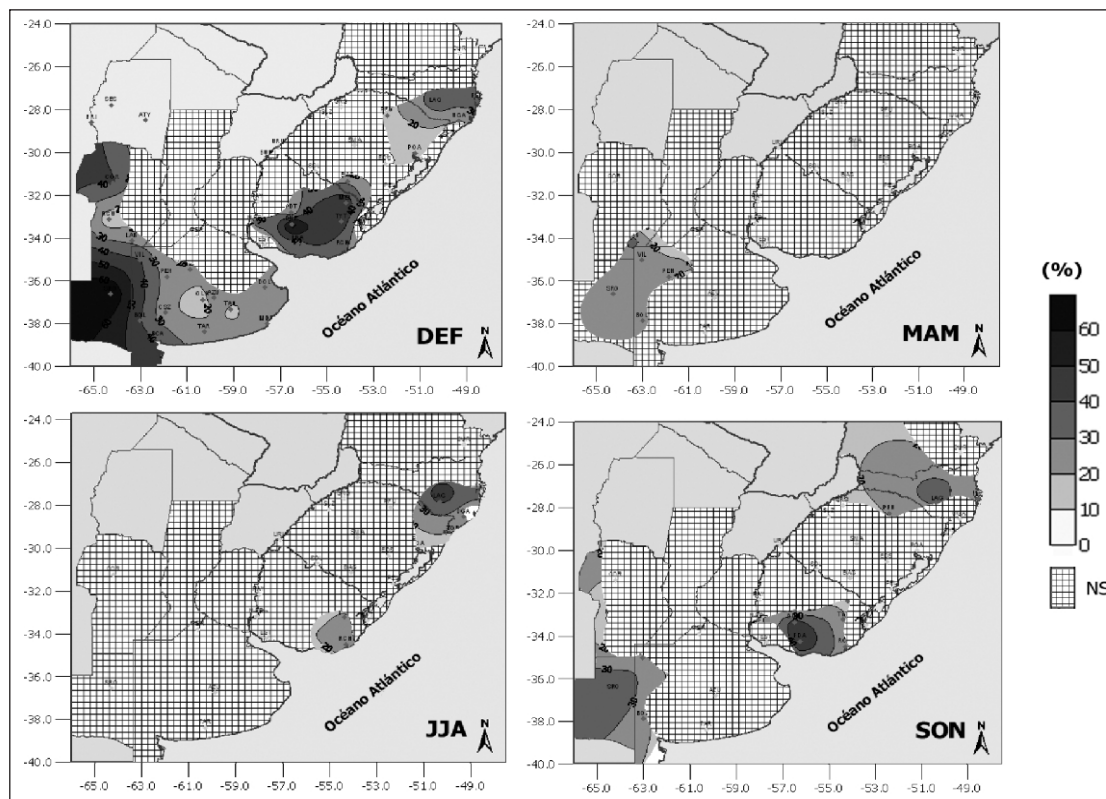


Figura 6. Cambios estadísticamente significativos ($P < 0.10$) en las precipitaciones observadas (% cambio) por trimestre entre 1931-1960 y 1971-2000.

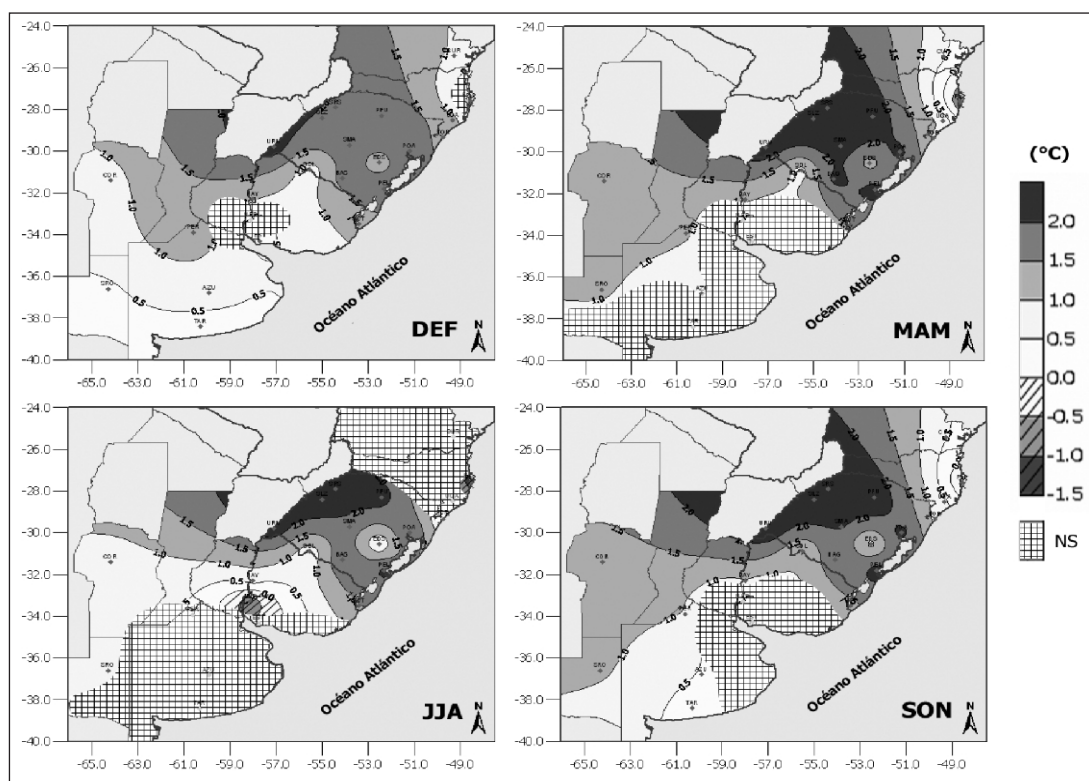


Figura 7. Cambios estadísticamente significativos ($P < 0.10$) en las temperaturas mínimas medias ($^{\circ}\text{C}$) observadas por trimestre entre 1931-1960 y 1971-2000.

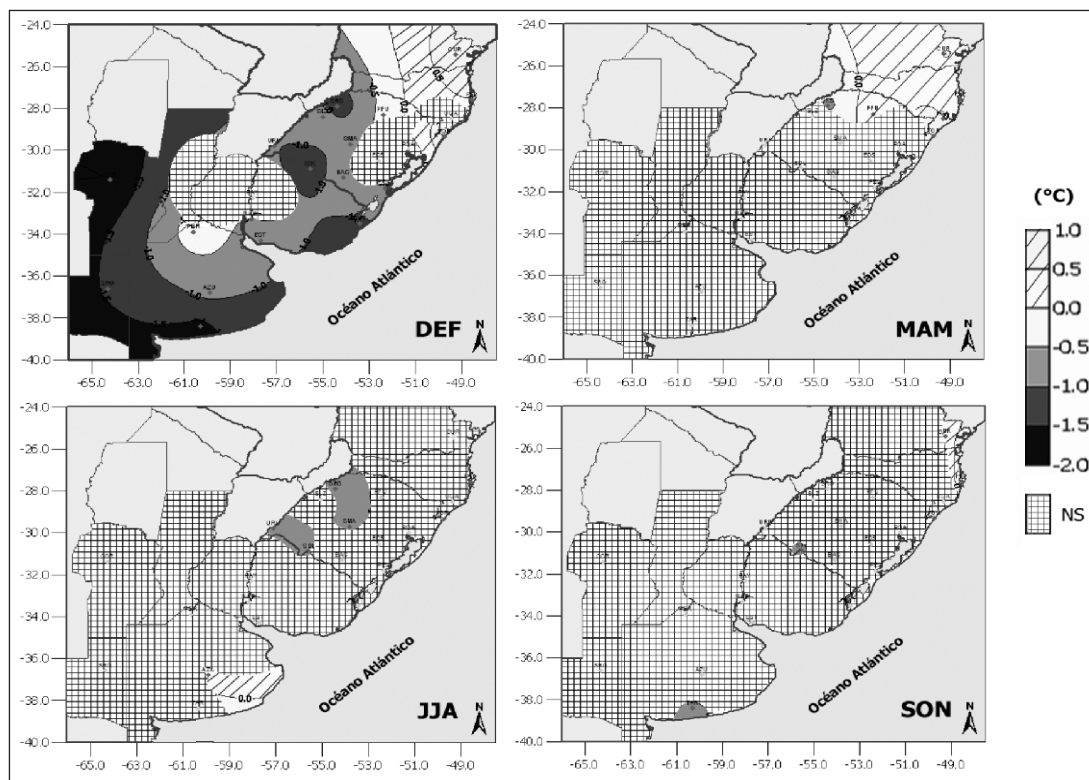


Figura 8. Cambios estadísticamente significativos ($P < 0.10$) en las temperaturas máximas medias ($^{\circ}\text{C}$) observadas por trimestre entre 1931-1960 y 1971-2000.

Sitio	Trimestre											
	EFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDE	DEF
AR-AZU	-0.010	ns	ns	ns	ns	ns	0.013	0.013	ns	ns	-0.012	-0.019
AR-COR	-0.037	-0.022	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	-0.029	ns	-0.054
AR-PER	-0.012	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0.009	ns	ns	ns	ns
AR-SRO	-0.028	-0.016	ns	ns	ns	ns	ns	ns	-0.013	-0.021	-0.034	-0.043
AR-TRA	-0.024	-0.017	-0.004	ns	-0.004	ns	ns	ns	-0.008	-0.016	-0.025	-0.031
BR-BAG	ns	ns	ns	ns	-0.009	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
BR-CUR	0.017	0.016	ns	0.007	ns	ns	ns	ns	0.014	0.022	0.028	0.026
BR-EDS	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0.008	0.013	0.009	ns
BR-FPA	0.008	0.014	0.01	ns	ns	ns	ns	0.008	0.016	0.019	0.013	0.011
BR-PAF	-0.001	ns	ns	0.007	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	-0.007
BR-PEL	-0.012	-0.008	-0.008	ns	-0.010	ns	ns	ns	ns	ns	-0.009	-0.016
BR-POA	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
BR-SDL	-0.018	-0.016	-0.016	ns	-0.013	-0.017	-0.020	-0.020	-0.020	-0.015	-0.018	-0.018
BR-SLZ	ns	ns	ns	0.005	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
BR-SMA	-0.013	-0.013	ns	ns	-0.014	-0.023	-0.025	ns	ns	ns	-0.009	-0.015
BR-SRB	-0.031	-0.028	-0.018	ns	-0.011	-0.018	-0.022	-0.023	-0.017	ns	-0.021	-0.030
BR-SVP	-0.025	ns	ns	ns	-0.013	ns	ns	ns	ns	ns	-0.023	-0.033
BR-TOR	0.022	0.026	0.026	0.017	0.015	0.011	0.015	0.019	0.024	0.027	0.025	0.024
BR-URU	-0.023	-0.025	-0.014	-0.015	-0.012	-0.017	-0.018	ns	ns	ns	-0.014	-0.026
BR-USS	ns	0.016	0.011	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
UY-EST	-0.015	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	-0.023
UY-MER	ns	ns	ns	-0.006	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
UY-PAY	ns	ns	ns	-0.002	ns	ns	ns	0.003	ns	ns	ns	ns
Porcentaje	69.6	52.2	34.8	30.4	39.1	21.7	26.1	30.4	34.8	34.8	56.5	65.2

Tabla 1. Coeficientes de regresión ($^{\circ}\text{C}$ año $^{-1}$) para temperatura máxima media de los trimestres móviles en el período 1931-2000 con valores significativos (valores de Tau de Kendall $P < 0.10$). La última fila muestra la proporción de sitios que presentaron coeficientes de regresión significativos. (AR = Argentina, BR= Brasil, UY = Uruguay; ns = no significativos).

Sitio	Trimestre											
	EFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDE	DEF
AR-AZU	0.022	ns	ns	0.024	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0.023	0.028
AR-COR	0.015	ns	ns	0.020	ns	ns	ns	0.009	ns	ns	0.014	0.018
AR-PER	0.021	0.012	0.031	0.034	0.005	ns	ns	0.015	0.018	0.033	0.026	0.032
AR-SRO	0.025	0.026	0.014	0.039	ns	ns	0.016	ns	0.019	0.029	0.035	0.040
AR-TRA	0.033	0.028	0.027	0.034	0.032	ns	ns	0.006	ns	0.026	0.032	0.038
BR-BAG	0.014	ns	ns	0.010	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0.010	0.024
BR-CUR	ns	ns	-0.020	ns	-0.034	-0.054	-0.029	-0.034	-0.014	ns	ns	ns
BR-EDS	0.015	ns	ns	ns	ns	-0.040	ns	ns	ns	ns	0.015	0.018
BR-FPA	0.014	ns	ns	0.027	ns	ns	ns	0.008	ns	0.020	0.016	0.028
BR-PAF	0.027	0.020	0.035	0.042	ns	ns	ns	0.024	0.019	0.030	0.032	0.031
BR-PEL	0.043	0.038	0.027	0.036	0.013	ns	0.015	0.027	0.012	0.023	0.040	0.039
BR-POA	0.044	0.021	0.030	0.034	ns	ns	ns	0.013	0.024	0.030	0.037	0.052
BR-SDL	0.010	0.011	ns	0.029	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0.011	0.021
BR-SLZ	0.030	ns	ns	0.036	ns	ns	0.022	0.021	0.014	0.028	0.026	0.029
BR-SMA	0.037	0.023	0.032	0.048	0.022	ns	0.026	0.025	0.018	0.036	0.033	0.047
BR-SRB	0.019	0.018	0.016	0.023	ns	-0.024	ns	ns	ns	0.026	0.028	0.034
BR-SVP	0.039	0.017	0.031	0.031	ns	ns	0.026	0.031	ns	0.028	0.037	0.038
BR-TOR	0.012	ns	0.040	0.036	0.010	ns	ns	0.029	0.027	0.021	0.025	0.025
BR-URU	0.033	0.015	ns	0.018	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0.018	0.024
BR-USS	0.027	0.027	0.029	0.029	ns	ns	0.016	0.003	0.016	0.031	0.031	0.043
UY-EST	0.024	ns	0.015	0.009	ns	ns	ns	0.006	ns	ns	0.016	0.019
UY-MER	ns	ns	ns	0.016	ns	-0.029	ns	ns	ns	ns	0.011	0.021
UY-PAY	0.032	0.032	0.022	0.044	ns	ns	ns	ns	0.014	0.023	0.037	0.048
Porcentaje	91.3	56.5	60.9	91.3	26.1	17.4	30.4	60.9	47.8	60.9	95.7	95.7

Tabla 2. Coeficientes de regresión ($^{\circ}\text{C}$ año $^{-1}$) para temperatura mínima medias de los trimestres móviles en el período 1931-2000 con valores significativos (valores de Tau de Kendall $P < 0.10$). La última fila muestra la proporción de sitios que presentaron coeficientes de regresión significativos. (AR = Argentina, BR= Brasil, UY = Uruguay; ns = no significativos).

Los cambios observados en el régimen de heladas en la región de estudio durante el período 1931-2000 se presentan en la Tabla 3. La fecha de la primera helada cambió significativamente en 4 de los 10 sitios estudiados (3 en Argentina y 1 en Uruguay). Las estimaciones basadas en el modelo de regresión indican que el período de heladas en el año 2000 comienza 18 a 33 días más tarde que en 1931. La fecha promedio de la

última helada cambió significativamente en 5 de los 10 sitios y las estimaciones en base a regresiones muestran que el período de heladas en 2000 finaliza 22 a 35 días más temprano que en 1931. Como consecuencia, la duración del período de heladas resulta entre 28 y 68 días más corto en 2000 que en 1931. La figura 9 presenta ejemplos de los cambios observados en una localidad de Argentina (Santa Rosa) y otra de Uruguay (La Estanzuela).

Localidad	Día* de 1ra. Helada		Día* de última Helada		Período de heladas		Días con heladas		Temp. media helada (°C)	
	1931	2000	1931	2000	1931	2000	1931	2000	1931	2000
AR-Azul	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
AR-Cordoba	122	140	272	249	149	109	42	22	-0.8	-0.2
AR-Pergamino	107	133	293	261	187	128	49	32	-0.6	-0.2
AR-Santa Rosa	80	116	313	278	233	162	80	51	-1.2	-0.9
AR-Tres Arroyos	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
BR-Pelotas	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
BR-Passo Fundo	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
UY-Estanzuela	ns	ns	253	233	ns	ns	18	7	0.6	0.9
UY-Mercedes	ns	ns	ns	ns	ns	ns	21	32	0.1	-0.4
UY-Paysandu	136	163	267	241	131	78	27	11	-0.5	0.6

AR = Argentina, UY = Uruguay, BR = Brasil; *Días desde principio del año (1-ene)

Tabla 3. Cambios en las fechas de primera y última helada, duración del período de heladas, número de días con heladas y temperatura promedio de las heladas en el período 1931-2000. Los valores fueron estimados con modelos de regresión significativos ($P < 0.10$).

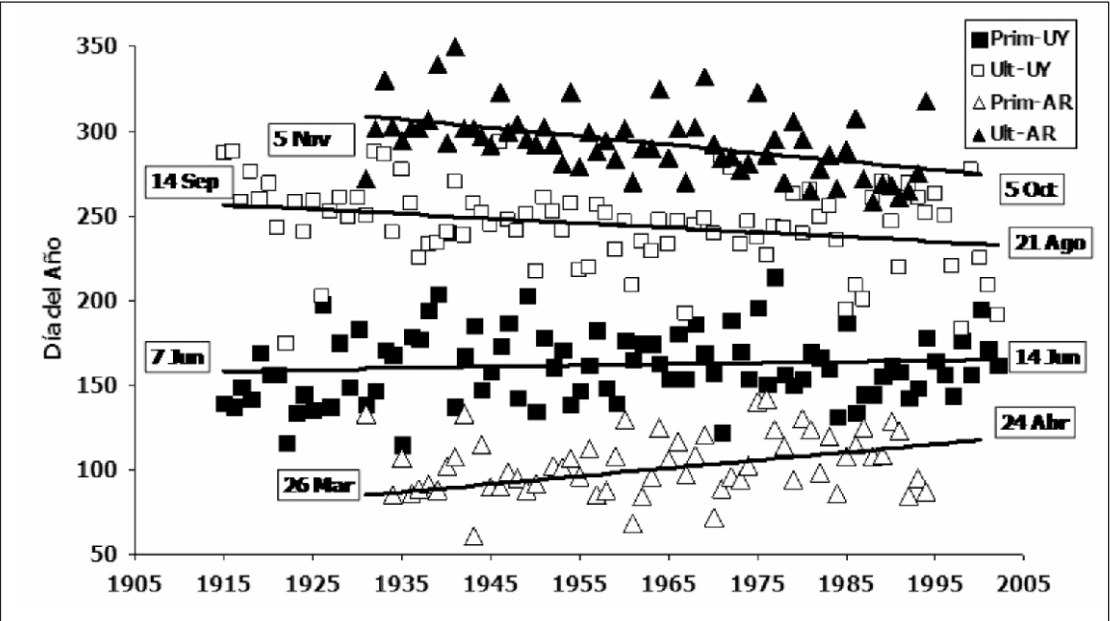


Figura 9. Cambios observados en el régimen de heladas en dos localidades de la región de estudio, una de Uruguay (UY) y otra de Argentina (AR).

También, al comparar el año 2000 con 1931, se observan entre 13 y 26 días menos con heladas (días en que la temperatura mínima a 2m se encuentra por debajo de 2°C dentro del período de ocurrencia de heladas), y la temperatura mínima promedio de los días con heladas fue 0.3° a 0.5° C superior (con la excepción de un sitio en Uruguay donde la temperatura fue inferior).

De esta manera, los resultados muestran que durante el período de estudio (1931 - 2000) el régimen de heladas se ha venido suavizando, las heladas comienzan más tarde, terminan más temprano (acortamiento del período con heladas), hay menos cantidad de días con heladas y sus temperaturas medias son más altas (heladas menos severas). Estos cambios se evidenciaron en algunos sitios de Argentina y Uruguay, pero no en los sitios brasileños.

La comparación de temperaturas extremas muestra tendencias similares a las observadas en los valores promedio mensuales (Tabla 4). En el año 2000 la temperatura máxima absoluta en los sitios que mostraron cambios significativos fue en promedio 4.3°C mayor que en 1931 (en un rango entre 1.5° a 12.3° C). La temperatura mínima se incrementó en promedio en 1.9° C

(rango: 0.9° a 3.5° C) durante el período 1931-2000. Los cambios también fueron observados en sitios de Argentina y Uruguay, mientras que no se detectaron cambios en los sitios de Brasil.



3) Síntesis

En base a lo expuesto y en relación a los cambios observados de algunas variables climáticas en Uruguay y la región se puede concluir que:

- Los análisis de regresiones realizados con los datos climáticos de 1931 a 2000 y la comparación entre los períodos 1931-1960 vs. 1971-2000, revelaron incrementos en las precipitaciones (principalmente en primavera – verano), disminución de las temperaturas máximas medias del aire en verano (sin cambios en el resto de las estaciones), e incremento en la temperaturas mínimas medias del aire a lo largo de todo año.
- Las temperaturas máximas absolutas en el 2000 en los sitios que mostraron cambios significativos fueron en promedio 4.3° C inferiores que en 1931 (rango: 1.5° a 12.3° C). La temperatura mínima absoluta se incrementó en promedio 1.9° C (rango 0.9° a 3.5° C) durante el período 1931 – 2000.
- A través del período de estudio (1931 – 2000) el régimen de heladas se ha suavizado: el período con heladas es más corto (las heladas comienzan más tarde, terminan más temprano), hay menos cantidad de días con heladas y las heladas son menos severas (las temperaturas mínimas absolutas de los días con heladas son generalmente más altas).

Localidad	Día* de 1ra. Helada		Día* de última Helada	
	1931	2000	1931	2000
AR-Azul	46	33.7	ns	ns
AR-Cordoba	41.1	37.5	-6.3	-4.3
AR-Pergamino	ns	ns	-5.9	-4.2
AR-Santa Rosa	41.2	38.3	-8.9	-7.1
AR-Tres Arroyos	40.2	36	ns	ns
BR-Pelotas	ns	ns	ns	ns
BR-Passo Fundo	ns	ns	ns	ns
UY-Estanzuela	38.9	36.3	-1.6	-0.7
UY-Mercedes	40.4	37.5	ns	ns
UY-Paysandu	39.8	38.3	-4.5	-1.1
AR = Argentina, UY = Uruguay, BR = Brasil				

Tabla 4. Cambios en la temperatura máxima y mínima absoluta en el período 1931-2000 con valores significativos (valores de Tau de Kendall P<0.10). (ns = no significativos)

III) CAMBIO CLIMÁTICO ESTIMADO EN ESCENARIOS FUTUROS

1) Introducción

La comunidad científica ha venido desarrollando y mejorando modelos climáticos que permiten establecer rangos de escenarios climáticos posibles para distintos períodos del futuro (hasta fin del siglo XXI) en base a suposiciones sobre niveles de emisiones de gases con efecto invernadero (GEI), tasas de deforestación, etc. El último informe del IPCC (IPCC 2007a, IPCC 2007b) considera los mejores modelos climáticos disponibles en la actualidad y ha resumido la enorme cantidad de información resultante en mapas en los que por ejemplo se presentan los rangos de cambio en la temperatura global esperado para distintos períodos y para diversos escenarios socioeconómicos. El informe del IPCC también presenta los resultados de los modelos en relación al nivel de coincidencia en la dirección de los cambios esperados en la lluvia (aumentos o disminuciones).

En relación a la temperatura global, los modelos coinciden en que bajo todos los escenarios considerados la misma tendería a aumentar, pero el rango de esos aumentos es considerablemente grande (desde menos de 1°C hasta más de 6°C hacia fines del siglo XXI). En el caso de las lluvias, existen regiones del mundo en las que la mayoría de los modelos coinciden en la dirección del cambio esperado, pero tienen mucha divergencia en relación a la magnitud del mismo. En otras regiones los modelos ni siquiera coinciden en la dirección del cambio esperado. En el caso del SE de América del Sur, región que incluye a Uruguay, la mayoría de los modelos climáticos coinciden en que el escenario más probable incluye un aumento en las lluvias, especialmente en los meses de primavera y verano.

Es decir que aún utilizando las mejores herramientas disponibles para establecer escenarios posibles del clima futuro, dichos escenarios necesariamente presentan un nivel de incertidumbre muy grande.

Las incertidumbres son mayores para las lluvias que para las temperaturas, y son mucho mayores cuando se consideran escalas regionales o locales que para los escenarios globales. Estas incertidumbres son el resultado de la naturaleza caótica del clima, de la necesidad de avanzar en los conocimientos científicos en los que se basan los modelos, y de las suposiciones que es necesario hacer acerca de los niveles de emisiones netas de GEI que van a existir en los próximos 70-100 años.

La mayoría de las decisiones, planes de desarrollo, y la elaboración de políticas públicas requieren considerar plazos más cortos (por ejemplo para 10 a 30 años en el futuro) que los que generalmente consideran los modelos climáticos como los incluidos en los informes del IPCC (70-100 años en el futuro). Al trabajar con esos plazos de tiempo más cortos ("Cambio Climático Cercano") es fundamental considerar la denominada "variabilidad climática multidecadica", que es la que hace que existan décadas en las que la lluvia tiende a estar por encima de lo normal y décadas en las que tiende a estar por debajo de lo normal. En algunas regiones del mundo esa variabilidad multidecadica es muy importante (por ejemplo en el Sahel de África). Los modelos climáticos actuales no reproducen bien ese tipo de variabilidad y por lo tanto cuando se requiere trabajar a plazos más cercanos que 70-80 años, esa limitación le agrega aún más incertidumbre a los escenarios producidos.

Por otro lado, la gran mayoría de los modelos climáticos coinciden en que, como consecuencia del calentamiento global, el nivel de energía de la atmósfera va a incrementar. Esto a su vez resultará en una atmósfera más inestable y un clima más variable con alta probabilidad de mayor frecuencia de eventos extremos tales como sequías e inundaciones.

Dado el alto nivel de incertidumbre de los mejores escenarios disponibles, y dada la necesidad de considerar plazos más cercanos en el tiempo y escalas geográficas más pequeñas, la comunidad científica ha

venido explorando otras formas de generar escenarios climáticos posibles para el futuro. Uno de estos métodos consiste en estudiar qué es lo que ha venido sucediendo con el clima en los últimos 70 o más años, caracterizar la variabilidad observada en el clima y proyectar esos cambios observados hacia el futuro.

La información que se presenta a continuación se basa en los resultados de los dos principales y más recientes estudios sobre escenarios futuros de cambio climático en Uruguay.

En primer término se presenta la información de escenarios futuros de cambios en las precipitaciones y temperatura media anual, resultados extractados o transcritos de la publicación "Análisis de la estadística y desarrollo y evaluación de escenarios climáticos e hidrológicos de las principales cuencas hidrográficas del Uruguay y su zona costera", (Unidad de Cambio Climático de la DINAMA del MVOTMA, PNUD, GEF, 2005).

En segundo lugar se analiza la información de posibles futuros cambios estimados para Uruguay y la región en las variables precipitaciones, temperatura máxima media y temperatura mínima media del aire en períodos intra anuales (trimestrales, mensuales, diarios), resultados obtenidos en los Proyectos LA27 "Climate Change/Variability in the Mixed Crop/Livestock Production Systems of the Argentinean, Brazilian and Uruguayan Pampas: Climate Scenarios, Impacts and Adaptive Measures" ejecutado en el marco del programa AIACC (Assessment of Impacts and Adaptation to Climate Change) (GEF, TWAS, 2006) e "Identificación de posibles impactos del Cambio Climático en la producción de pasturas naturales y de arroz en Uruguay" (PNUD URU/05/G32-252, Unidad de Cambio Climático de la DINAMA del MVOTMA de Uruguay, Unidad GRAS del INIA, 2008), mencionados anteriormente.

2) Escenarios climáticos futuros de precipitación y temperatura media anual

La siguiente información fue extraída de la publicación "Análisis de la estadística y desarrollo y evaluación de escenarios climáticos e hidrológicos de las principales cuencas hidrográficas del Uruguay y su zona costera", (Unidad de Cambio Climático, DINAMA, MVOTMA y PNUD, GEF, 2005).

Los escenarios futuros de cambio climático tanto para precipitación como para temperatura a nivel regional se realizaron para el área del sudeste de América del Sur limitada por las latitudes 20°S a 40°S y las longitudes 45°W a 63°W. Comprende a Uruguay, el este de Argentina, el Paraguay, y los Estados de Río Grande do Sul, Santa Catarina y Paraná en Brasil. Las estimaciones fueron realizadas en base al ensamble de cuatro modelos climáticos globales (HADCM3, ECHAM4, CSIRO-mk2 y GFDL-R30), de buen comportamiento en la región (Hoftadter y Bidegain, 1997), forzados con los escenarios socioeconómicos A2 (alto) y B2 (medio), fijados por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, Data Distribution Center), y para los horizontes temporales 2020 y 2050.

En el escenario socio económico A2 las características más distintivas son la autosuficiencia y la conservación de las identidades locales y 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 están más fragmentados y son más lentos que en otras líneas evolutivas.

El escenario B2 describe un mundo en el que predominarán las soluciones locales a la sostenibilidad económica, social y ambiental. La población aumenta a un ritmo menor que en el escenario A2, con un nivel de desarrollo económico intermedio, y con un cambio tecnológico menos rápido y más diverso que en otros escenarios socio económicos (A1 y B1).

La resolución espacial utilizada fue de 2.5° de latitud por 2.5° de longitud.

Los valores de base utilizados para precipitación y temperatura corresponden al período 1971 - 2000 (Figuras 10 y 11). Para Uruguay dichos valores son de 1200 mm de lluvia acumulada promedio anual y 17° a 18° C de temperatura del aire promedio anual.

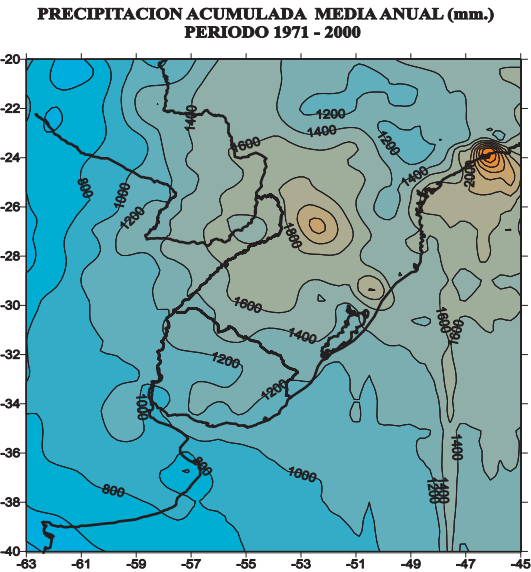


Figura 10. Precipitación acumulada media anual en la región (mm).

El cambio estimado en precipitaciones para la década del 2020 (Figura 12) es positivo para la región con mayores incrementos (2.5% en promedio) en el escenario A2. En dicho escenario los mayores incrementos se darían en Uruguay y en el este de Argentina con valores que podrían alcanzar el 4%. El escenario B2 prevé para Uruguay incrementos de las precipitaciones algo inferiores al escenario A2 (entre 2 a 3%).

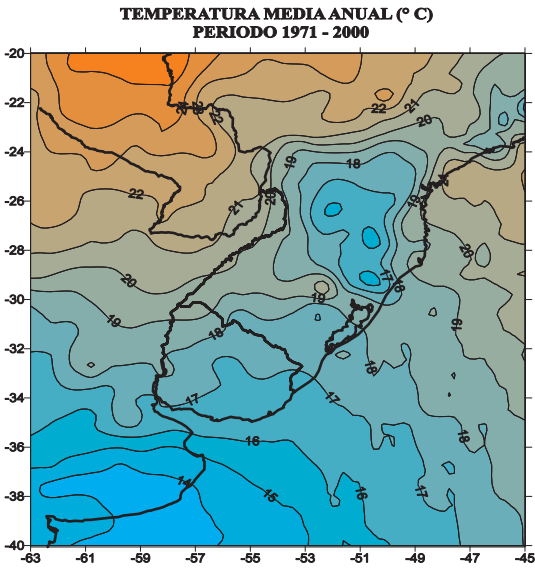


Figura 11. Temperatura del aire media anual en la región (° C).

Para la década 2050 también se estima un aumento en las precipitaciones acumuladas anuales (Figura 13). En el escenario A2 los mayores incrementos en las lluvias se darían en Uruguay y este de Argentina con valores de hasta 7%. El escenario B2 muestra incrementos de las precipitaciones anuales algo inferiores al escenario A2, pero la distribución espacial de dichos cambios es similar al anterior.

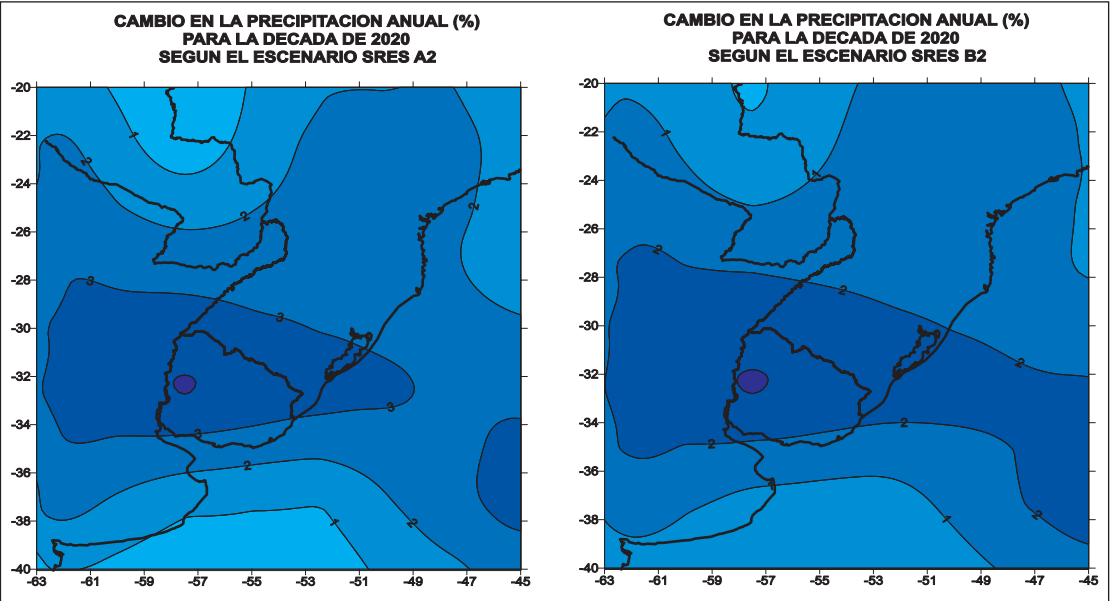


Figura 12. Cambios en la precipitación acumulada media anual (%) en la década de 2020 respecto al periodo base.

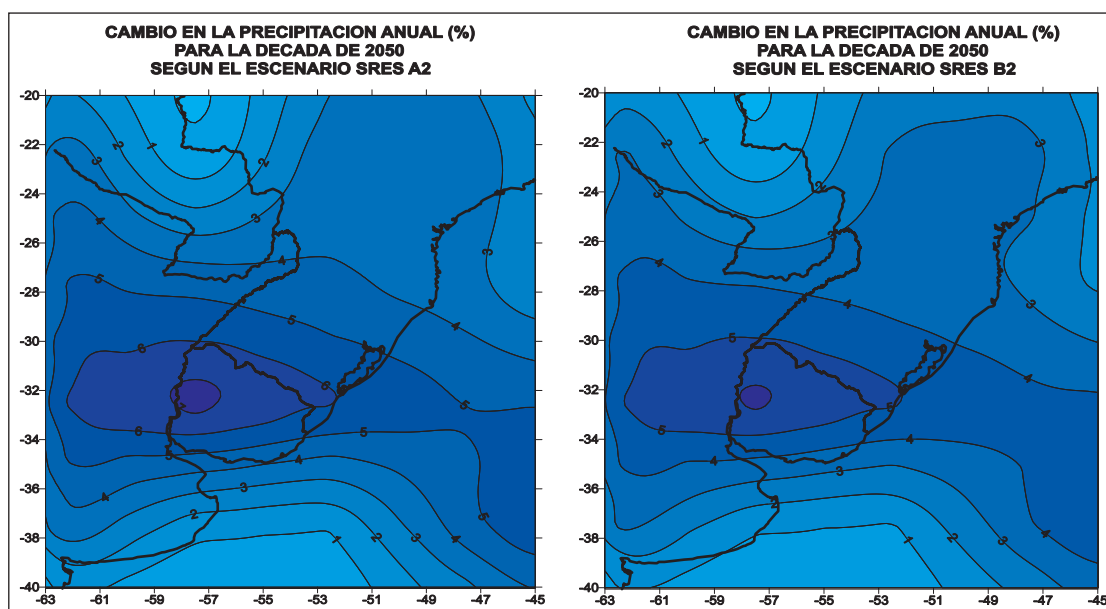


Figura 13. Cambios en la precipitación acumulada media anual (%) en la década de 2050 respecto al período base.

En el caso de la temperatura del aire media anual, en el escenario A2 se estiman para la región incrementos de la media anual superiores a los estimados en el escenario B2 (Figura 14). En Uruguay ocurrirían menores tasas de calentamiento promedio anuales que en el resto de la región con valores que irían desde 0.3 a 0.5° C para los escenarios A2 y B2 respectivamente.

Para la década del 2050 (Figura 15), serían esperables incrementos de la temperatura del aire media anual mayores que para la década 2020, con valores para la región que varían entre 1° y 2° C para ambos escenarios (A2 y B2). En el Uruguay, se experimentarían tasas de calentamiento medias anuales que irían desde 1.2° a 1.8° C en el escenario A2 y desde 1.0° a 1.3° C en el escenario B2.

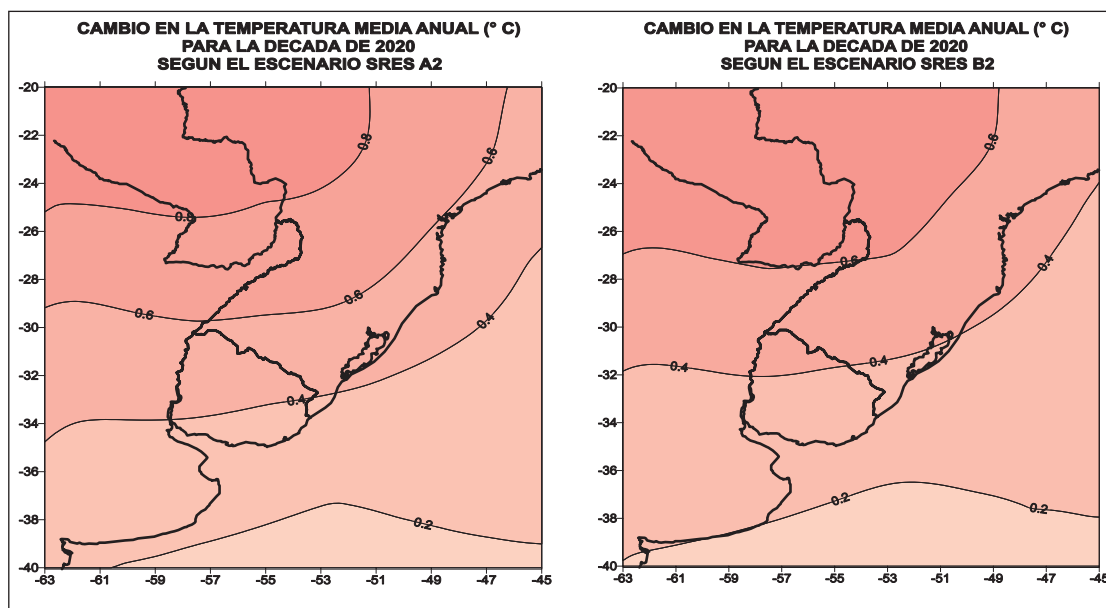


Figura 14. Cambios en la temperatura del aire media anual (°C) en la década de 2020 respecto al período base.

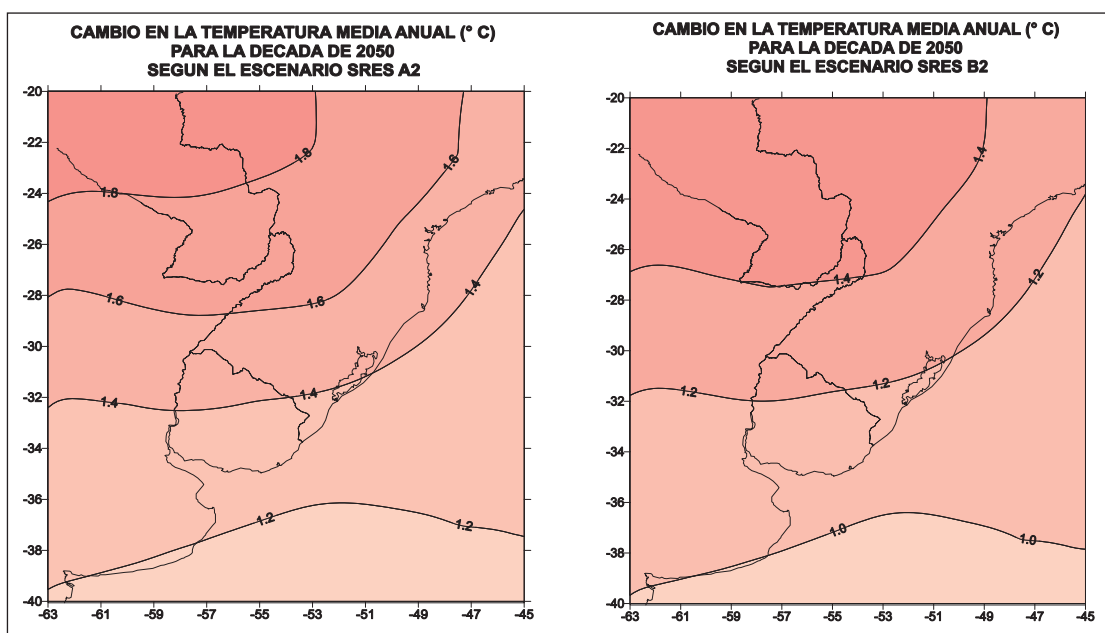


Figura 15. Cambios en la temperatura del aire media anual (°C) en la década de 2050 respecto al periodo base.

En síntesis se puede resumir que:

- El cambio en la precipitación acumulada promedio anual estimado para Uruguay en los horizontes temporales 2020 y 2050 sería incremental en todo el territorio.

- Los mayores incrementos para la década del 2020 ocurrirían en el escenario A2 con valores de 2.5% en promedio, y máximos de 4%. En el escenario B2 se estiman incrementos de la lluvia acumulada media anual ligeramente inferiores a los estimados en el escenario A2.

- Para el horizonte temporal 2050 los mayores incrementos de la precipitación media anual se darían en el escenario A2, con valores máximos de 7%. En el escenario B2 se determinaron posibles incrementos de la precipitación promedio anual ligeramente inferiores a los estimados en el escenario A2.

- La temperatura del aire media anual, en los escenarios A2 y B2 y para la década de 2020 incrementaría entre 0.3 a 0.5° C.

- En la década 2050 el incremento de la temperatura del aire media anual sería mayor, alcanzando valores de entre 1.2° a

1.8° C en el escenario A2, y de 1.0° a 1.3° C en el escenario B2. Los mayores incrementos de la temperatura del aire promedio anual ocurrirían al norte de Uruguay y los menores en las áreas cercanas al litoral atlántico.

3) Escenarios climáticos futuros de precipitación y temperaturas medias para períodos intra anuales

3.1 Escenarios con horizonte temporal 2020

En el proyecto LA 27 del Programa AIACC (AIACC, 2006), se utilizaron dos métodos diferentes de estimación de escenarios futuros de cambio climático en base mensual y diaria para la región comprendida por el sur de Brasil, Uruguay, y el centro - este de Argentina.

En el primer método, los valores observados de precipitaciones y de temperaturas del aire mínimas y máximas medias registradas en los períodos 1931 - 1960 y 1971 - 2000 fueron utilizados para elaborar los escenarios futuros de cambio climático utilizando el generador de clima LARS (Semenov et al. 1998). Básicamente LARS calcula propiedades estadísticas de la serie de datos

observados utilizados de base, a partir de lo cual crea distribuciones estadísticas empíricas y genera bases de datos climáticos diarios a futuro. De tal forma con el LARS se caracterizaron estadísticamente los dos períodos (1931 - 1960 y 1971 - 2000) de datos observados climáticos estudiados y en base a ello, se crearon series sintéticas de datos representando posibles escenarios climáticos para los siguientes 20 años.

El segundo método utilizado para la creación de escenarios climáticos futuros se basó en la salidas del modelo HadCM3 desarrollado por el Hadley Center de Inglaterra y en esta revisión se presentan los resultados obtenidos utilizando como escenario socio económico futuro del IPCC el A2 (ya descrito anteriormente) por considerarse el más realista para un horizonte futuro cercano (20 años).

Las proyecciones futuras del modelo fueron obtenidas para valores máximos y mínimos medios de temperatura del aire y precipitación acumulada en base mensual y diaria, presentándose aquí los resultados estimados para el horizonte temporal 2020, por considerarse el menos incierto (corto plazo) y para poder realizar un análisis comparativo con el escenario estimado por el método LARS.

Los escenarios de cambio climático obtenidos tuvieron variaciones entre métodos.

En términos generales el modelo HadCM3 proyectó cambios en las precipitaciones menores que los estimados por el generador de clima LARS. Los valores de lluvia proyectados por LARS fueron mayores en todas la estaciones climáticas, a excepción del invierno (JAS), en donde las diferencias entre las estimaciones del LARS y del modelo HadCM3 fueron mínimas (Figura 16). A pesar de la diferencia en las magnitudes, para los meses de primavera y verano, ambos métodos proyectaron incrementos de las lluvias en dichas épocas del año. Para el período otoñal (AMJ) mientras que el LARS proyectó incrementos de las precipitaciones, el HadCM3 estimó disminución de las mismas.

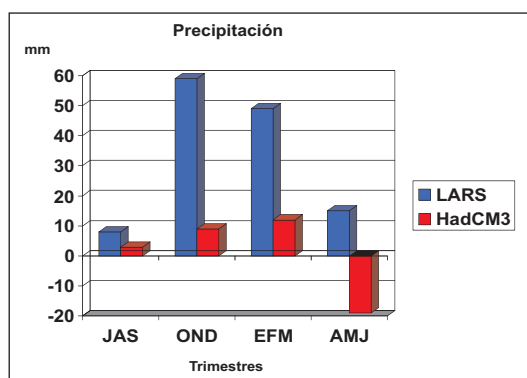


Figura 16. Proyecciones de cambios estacionales en las precipitaciones (mm) en base al Modelo HadCM3 (A2) y al generador de clima LARS.

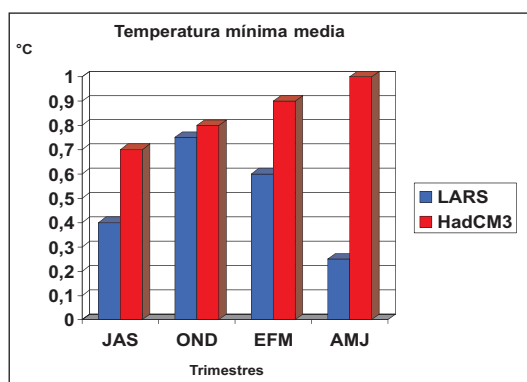


Figura 17. Proyecciones de cambios estacionales en la temperatura mínima media (°C) en base al modelo HadCM3 (A2) y al generador de clima LARS.

Los valores estimados de temperaturas del aire máximas medias fueron más inconsistentes entre métodos. El modelo HadCM3 estimó incrementos a lo largo de todo el año, mientras que LARS proyectó disminuciones de la temperatura máxima en los meses de verano y ausencia de cambios relevantes en el resto del año (Figura 18). Los resultados obtenidos con el método LARS para el período de verano son más coherentes con los resultados de las proyecciones de precipitaciones, pues en general un incremento de lluvias trae aparejado una baja de las temperaturas máximas (debido a mayor nubosidad).

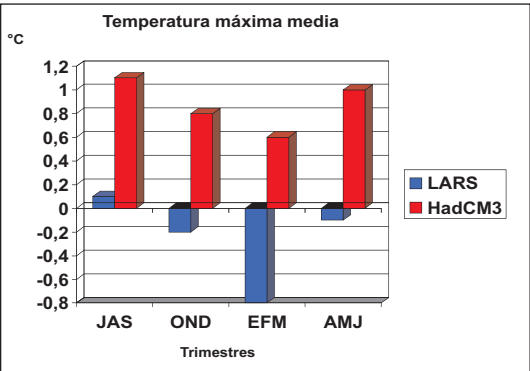


Figura 18. Proyecciones de cambios estacionales en la temperatura máxima media (°C) en base al modelo HadCM3 (A2) y al generador de clima LARS.

En resumen, los dos tipos de escenarios futuros de cambio climático tuvieron algunas diferencias pero también algunas tendencias coincidentes. En ambos casos las proyecciones muestran que las lluvias incrementarían particularmente en los meses de primavera y verano, pero el método LARS proyectó incrementos mayores a los estimados por el modelo HadCM3. Ambos métodos también proyectaron incrementos en las temperaturas mínimas medias en todas las épocas del año. Pero en las temperaturas máximas medias los resultados fueron opuestos, resultando que el LARS proyectó disminuciones en el verano y ausencias de cambios relevantes en el resto del año, y el HadCM3 estimó incrementos de la temperatura máxima media a lo largo de todo el año.

3.2 Escenarios con horizonte temporal 2055

La siguiente información fue generada en el marco de un proyecto liderado por la Unidad GRAS del INIA, promovido por la Unidad de Cambio Climático de la Dirección Nacional de Medio Ambiente (DINAMA) del Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente (MVOTMA) del Uruguay y ejecutado en el marco de la Solicitud de Propuesta del PNUD URU/05/G32-252 para la realización de un estudio de "Identificación de posibles impactos del Cambio Climático en la producción de pasturas naturales y de

arroz en Uruguay". Para la ejecución de la propuesta el INIA subcontrató los servicios de la Facultad de Ciencias (Gustavo Nagy y Mario Bidegain) a fines de la elaboración de los Escenarios de Cambio Climático. La Unidad GRAS tomó tales Escenarios como base para estimar los posibles impactos sobre la producción de pasturas naturales y arroz utilizando los modelos de simulación biológica Century y DSSAT Arroz.

Para la elaboración de los escenarios se crearon series temporales mensuales desde el año 2016 al 2055 para las variables temperatura máxima, temperatura mínima, precipitación y radiación solar. A tales fines se utilizaron las salidas mensuales disponibles en puntos de grilla, de 4 Modelos Climáticos (HADCM3, ECHAM4, GFDL-R30 y CSIRO-mk4), según los escenarios socioeconómicos A2 y B2. Las series mensuales están dadas para cuatro sectores o cuadrantes (Figura 19) del país: NW (30°-32.5°S, 58.5°-56°W), SW (32.5°-35°S, 58.5°-56°W), SE (32.5°-35°S, 53.5°-56°W) y NE (30°-32.5°S, 53.5°-56°W).

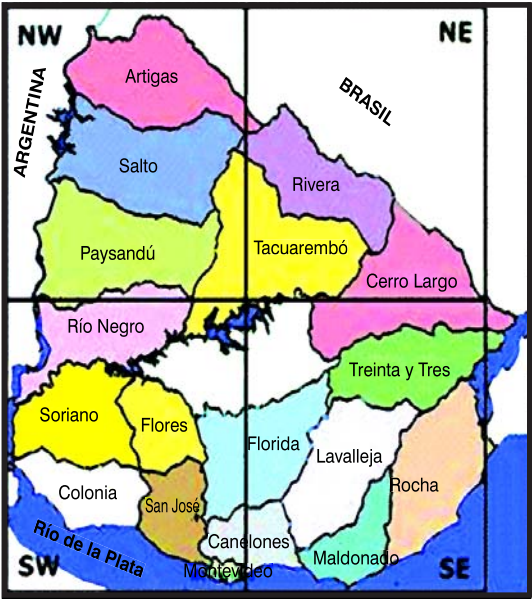


Figura 19. Zonas del país (NW = Noroeste, NE = Noreste, SW = Suroeste, y SE = Sureste) para las cuales se generaron los escenarios climáticos futuros.

Se generaron bases de datos con dicha información, donde se incluyen para cada mes y año los valores medios mensuales de temperatura máxima media (°C), temperatura

mínima media (C°), precipitación acumulada mensual (mm) y radiación solar global media mensual (megajoules por metro cuadrado). Dicha información se presenta de forma resumida en las siguientes figuras.

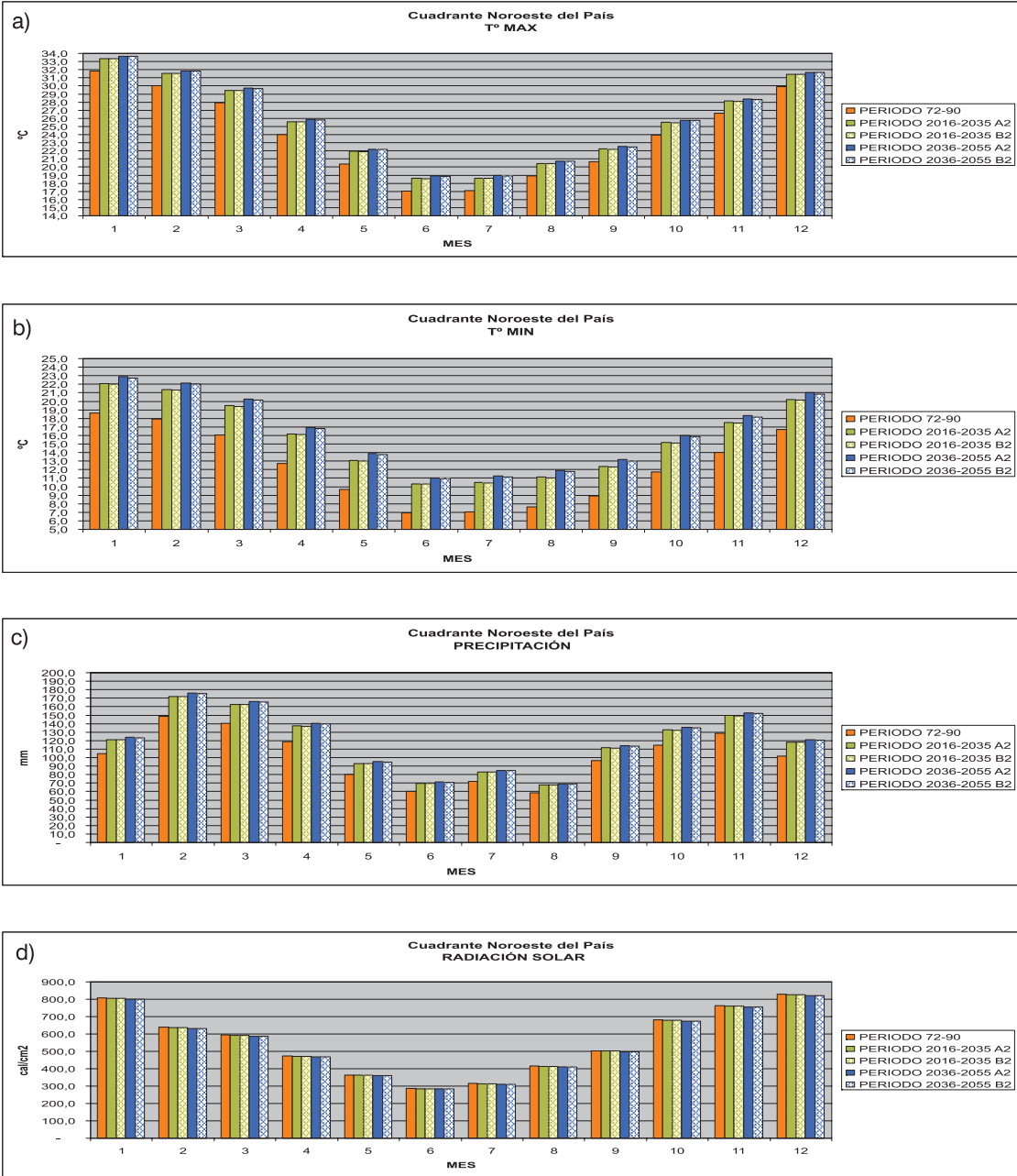


Figura 20. Series mensuales observadas en el período base 1972-1990 y estimadas para los períodos 2016-2035 y 2036-2055 en los escenarios SRES A2 y B2, de a) temperatura máxima media, b) temperatura mínima media, c) precipitación y d) radiación solar para la región (cuadrante) Noroeste (NW) del país.

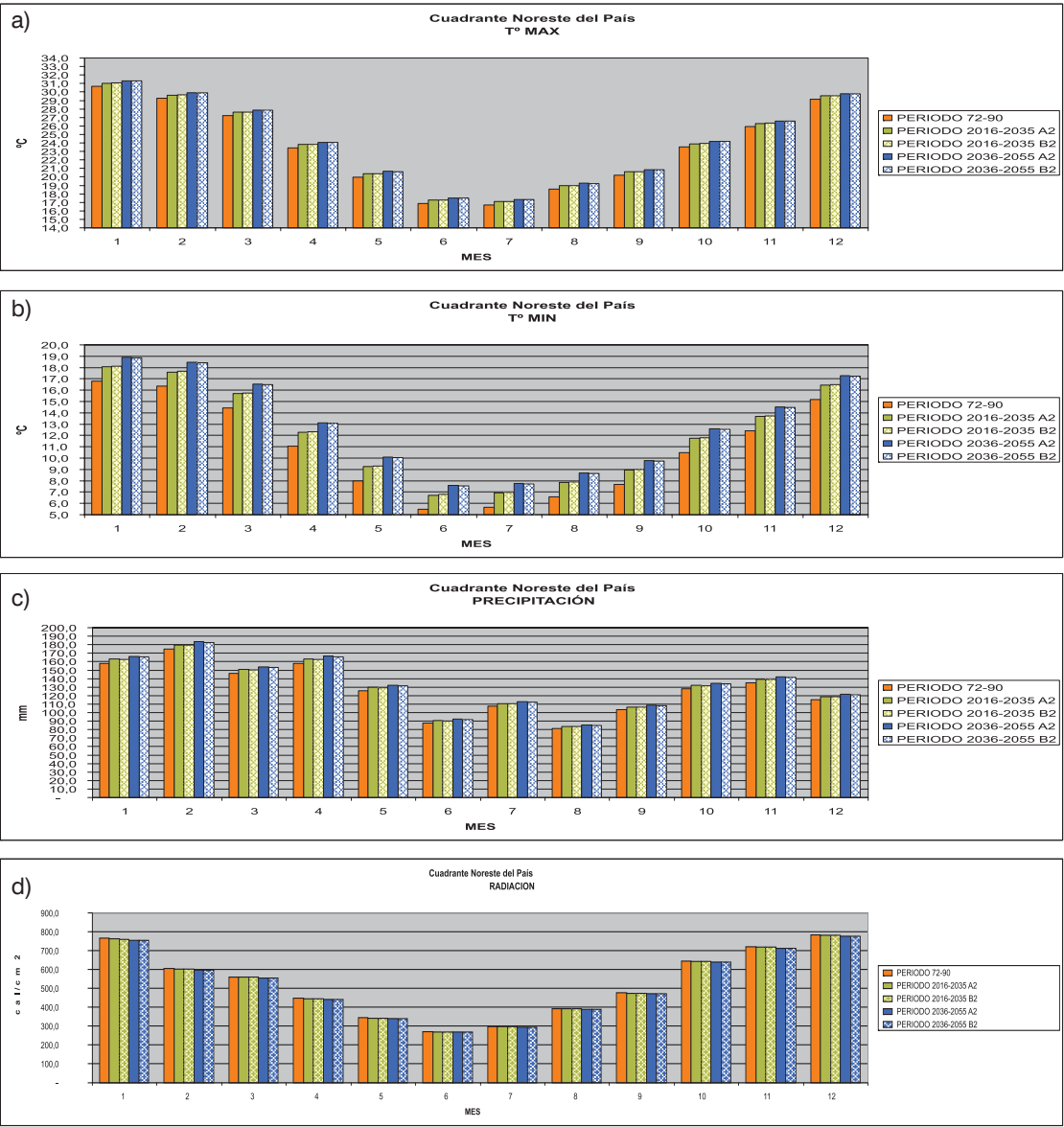
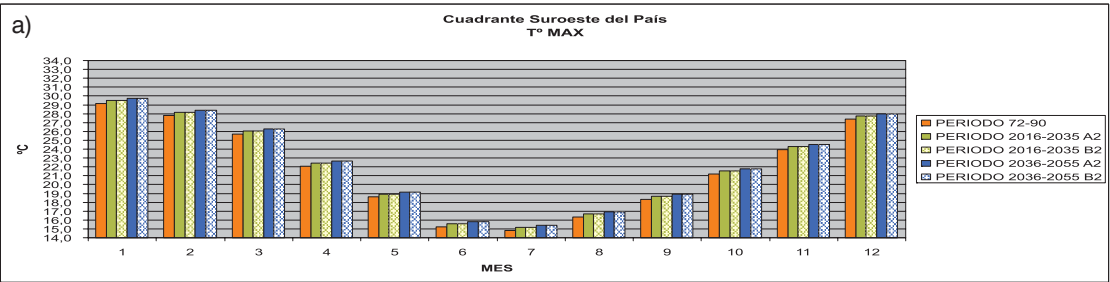


Figura 21. Series mensuales observadas en el período base 1972-1990 y estimadas para los períodos 2016-2035 y 2036-2055 en los escenarios SRES A2 y B2, de a) temperatura máxima media, b) temperatura mínima media, c) precipitación y d) radiación solar para la región (cuadrante) Noreste (NE) del país.



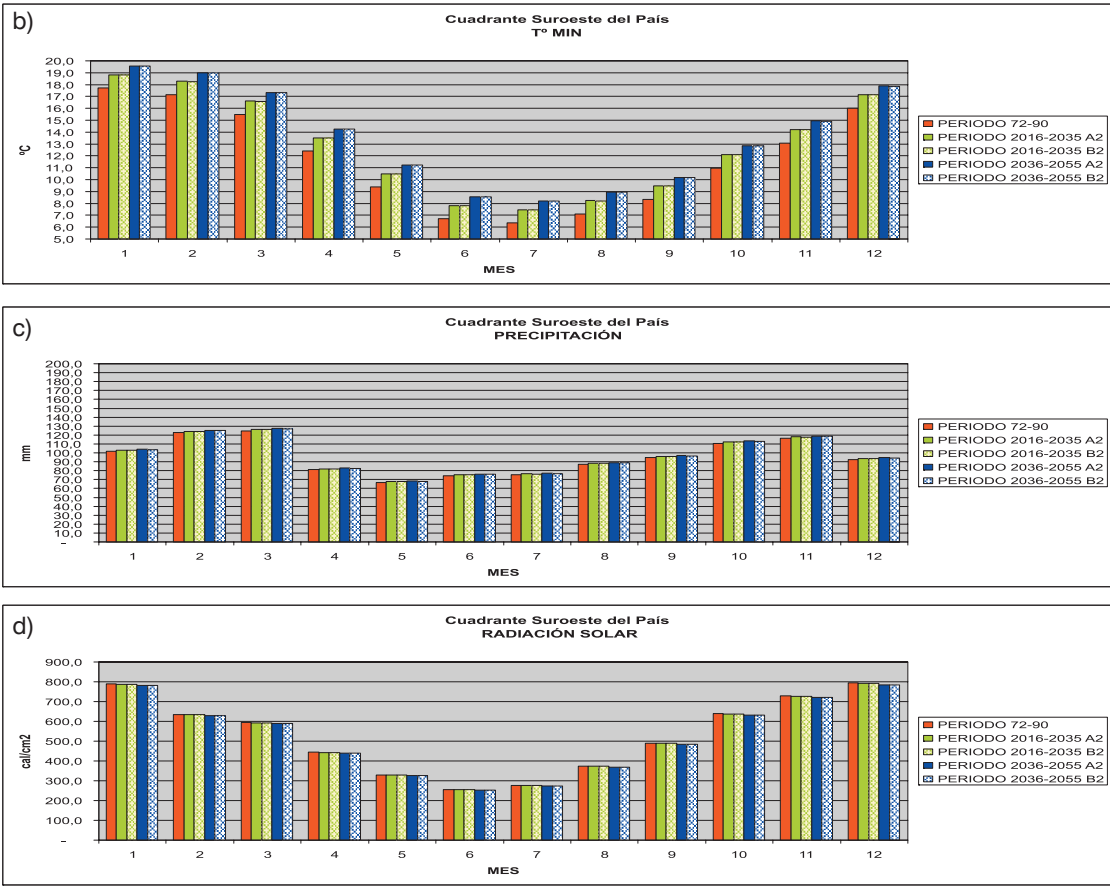
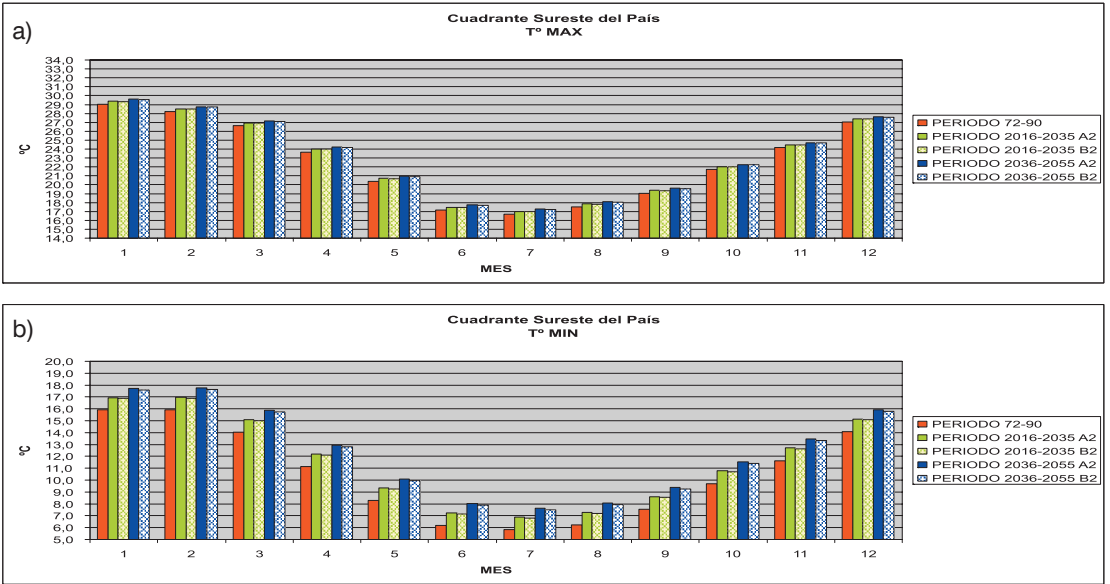


Figura 22. Series mensuales observadas en el período base 1972-1990 y estimadas para los períodos 2016-2035 y 2036-2055 en los escenarios SRES A2 y B2, de a) temperatura máxima media, b) temperatura mínima media, c) precipitación y d) radiación solar para la región (cuadrante) Suroeste (SW) del país.



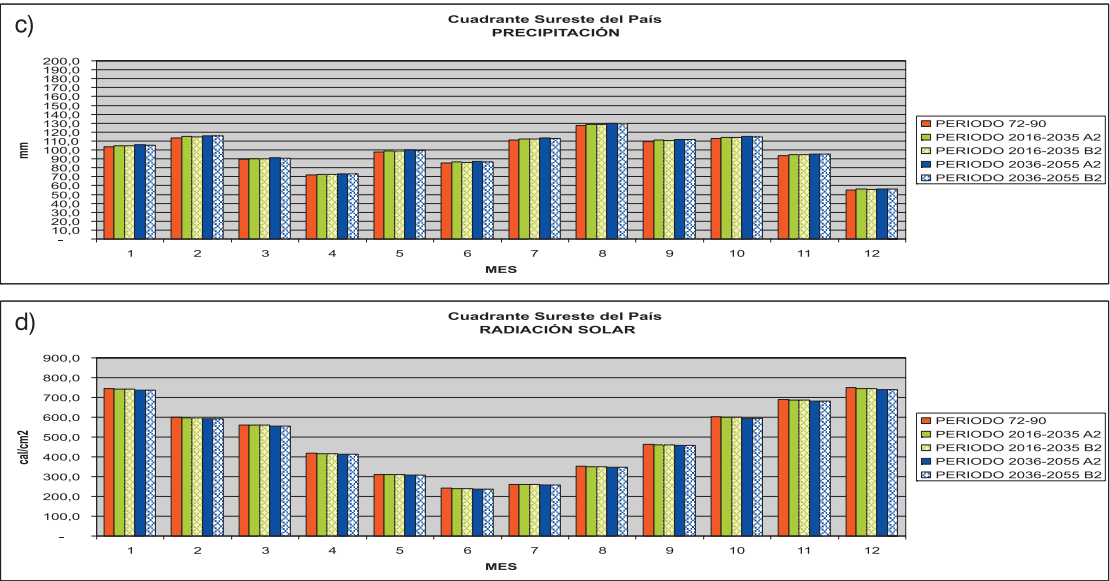


Figura 23. Series mensuales observadas en el período base 1972-1990 y estimadas para los períodos 2016-2035 y 2036-2055 en los escenarios SRES A2 y B2, de a) temperatura máxima media, b) temperatura mínima media, c) precipitación y d) radiación solar para la región (cuadrante) Sureste (SE) del país.

En términos generales se pueden realizar las siguientes apreciaciones en relación a los datos presentados en las figuras anteriores.

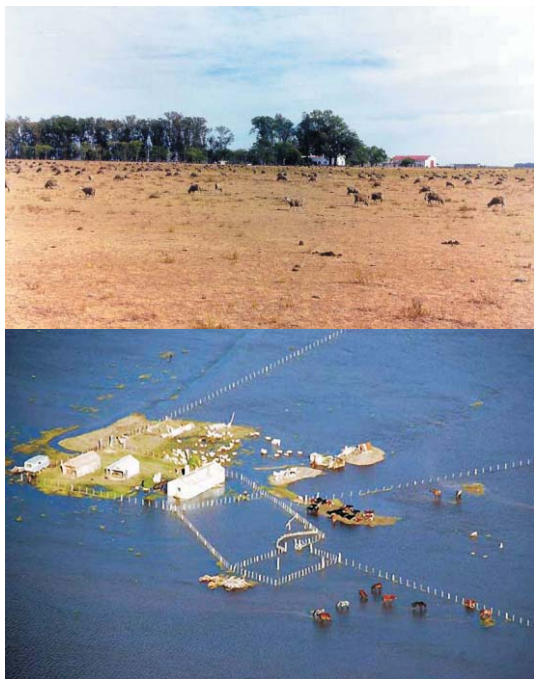
No se observan diferencias relevantes entre las estimaciones en el marco de los escenarios SRES A2 y B2 para ninguna de las variables climática analizadas, en ninguna de las 4 regiones del país. Sólo en la región Sureste del país, se podría apreciar una muy leve tendencia de mayores temperaturas, en particular de las mínimas medias, en el escenario A2 en relación al B2.

En relación a las temperaturas del aire, comparando los datos observados del período base con los datos estimados en los escenarios futuros, se observa una tendencia general a un incremento de las mismas en todos los meses del año, en las cuatro regiones del país. Esta tendencia para la temperatura máxima media es más marcada en la región Noroeste (NW) con incrementos máximos cercanos a los 2°C, siendo más leve en el resto de las regiones. Para la temperatura mínima media del aire, la tendencia incremental mencionada es relativamente marcada en todo el país con aumentos máximos cercanos a los 4°C.

Respecto a las precipitaciones, se observa una tendencia incremental para todos los meses del año, en las estimaciones futuras con relación al período base (observado), siendo la misma más marcada en la zona norte del país, y dentro de ésta, superior en el cuadrante Noroeste (NW). Se observa también, que dicha tendencia incremental de las precipitaciones es mayor en algunos meses de primavera y verano, particularmente en los cuadrantes al norte del país (NW y NE). De cualquier manera, la mayoría de los incrementos mensuales estimados son del orden de 10 mm (o menores), con máximos no muy superiores a 20 mm.

Finalmente, se observa que la radiación solar prácticamente no presenta variaciones en los escenarios futuros en relación al período base. Apenas una tendencia decreciente sin relevancia se observa en algunos meses para algunas zonas del país, probablemente relacionada con la tendencia de ocurrencia de mayores precipitaciones (mayor nubosidad). Así mismo, los niveles de radiación estimados en los escenarios climáticos futuros exceden aún los indicados como requeridos para un buen desarrollo de

un cultivo como el arroz, (Benacchio y Avilán, 1991), con valores superiores a los 500 Mj/m²/mes durante todo el período crecimiento del mismo.



4) Conclusiones generales sobre cambios en el clima proyectado

- El cambio en la precipitación acumulada promedio anual estimado para Uruguay en los horizontes temporales 2020 y 2050 sería incremental. Los mayores incrementos para la década del 2020 (4%) y 2050 (7%) ocurrirían en el escenario A2 y ligeramente inferiores en el B2.

- La temperatura media anual del aire, en los escenarios A2 y B2 y para la década 2020 incrementaría entre 0.3° y 0.5° C. En la década 2050 el incremento de la temperatura alcanzaría valores de entre 1.2° y 1.8° C en el escenario A2 y de 1.0° y 1.3° C en el escenario B2.

- En el horizonte temporal 2020, los dos tipos de escenarios proyectados de cambio climático (LARS y HadCM3 - A2) a paso intra anual (estacional, mensual, diario) tuvieron algunas diferencias pero también algunas tendencias coincidentes. En ambos casos las proyecciones muestran que las lluvias

incrementarían particularmente en los meses de primavera y verano.

- Ambos métodos también proyectaron incrementos en las temperaturas del aire mínimas medias los cuales ocurrirían a lo largo de todo los meses del año.

- Respecto a las temperaturas del aire máximas medias los métodos tuvieron marcadas diferencias de estimación. HadCM3 estimó incrementos a lo largo de todo el año, mientras que LARS proyectó cambios significativos (disminuciones) sólo en los meses de verano, resultado este más coherente con el incremento de precipitaciones estimado (por ambos métodos) para dicha época del año.

- Para las estimaciones mensuales en un horizonte temporal 2055, no se observaron diferencias relevantes entre los escenarios SRES A2 y B2 para ninguna de las variables climática analizadas, en ninguna de las 4 regiones del país.

- En relación a las temperaturas del aire se observa una tendencia general a un incremento de las mismas en todos los meses del año en todo el país. Esta tendencia para la temperatura máxima media es más marcada en la región Noroeste (NW) con incrementos máximos cercanos a los 2°C. Para la temperatura mínima media del aire, la tendencia incremental mencionada es relativamente marcada en todo el país con aumentos máximos cercanos a los 4°C.

- Respecto a las precipitaciones, se observa una tendencia incremental para todos los meses del año, en las estimaciones futuras con relación al período base (observado), siendo la misma más marcada en la zona norte del país, y dentro de ésta, superior en el cuadrante Noroeste (NW). Se observa también, que dicha tendencia incremental de las precipitaciones es mayor en algunos meses de primavera y verano, particularmente en los cuadrantes al norte del país (NW y NE). Los incrementos mensuales estimados son del orden de 10 mm (o menores), con máximos no muy superiores a 20 mm.

IV) Algunas estimaciones y consideraciones sobre posibles impactos del Cambio Climático en la producción de cultivos y pasturas en Uruguay y la región

1) Introducción

En el marco de los proyectos LA27 del Programa AIACC (AIACC, 2006) y del PNUD URU/05/G32-252 (octubre de 2008) se realizó la evaluación de posibles impactos de los cambios estimados del clima sobre el rendimiento de algunos cultivos y pasturas, y también sobre el desarrollo de enfermedades de trigo. A tales efectos se trabajó básicamente con modelos de simulación.

Los modelos de simulación de desarrollo biológico DSSAT (Tsuji et al, 1994), fueron utilizados para la evaluación del posible impacto del cambio del clima en los cultivos de trigo, maíz, soja y arroz.

El modelo Century, desarrollado por el Laboratorio de Recursos Naturales y Ecología de la Universidad del estado de Colorado de los Estados Unidos, (Parton et al, 1987), fue utilizado para evaluar el desarrollo de pasturas mejoradas y naturales.

Finalmente el modelo GIBSIM (Del Ponte, 2004), que simula el desarrollo de una enfermedad del trigo llamada Fusarium (*Gibberella zeae* Schwain (Petch.)), fue utilizado a fines de estimar el posible impacto de futuros escenarios de cambio climático sobre el desarrollo de este patógeno.

2) Impactos en algunos cultivos de secano

Los resultados obtenidos con los modelos DSSAT para los cultivos de trigo, maíz y soja para los escenarios climáticos estimados con la metodología LARS y HadCM3 para el horizonte temporal 2020 se pueden apreciar en la figura 24.

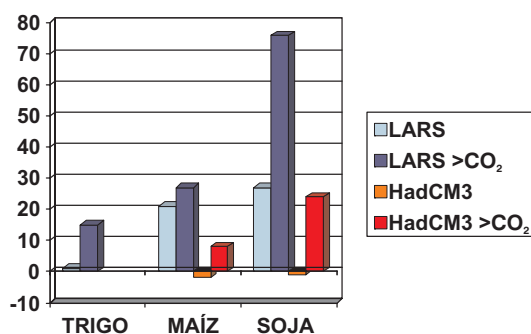


Figura 24. Variaciones (%) del rendimiento estimado de trigo, maíz y soja (promedio de la región pampa argentina, Uruguay y sur de Brasil) en los distintos escenarios en relación al período base (1971 - 2000)

Para las condiciones climáticas futuras (2020) estimadas por LARS, considerando el nivel de concentración de CO₂ atmosférico actual y para condiciones de producción en secano como es el caso de Uruguay, los rendimientos estimados para el cultivo de trigo no sufrieron cambios significativos en relación a los rendimientos estimados modelando con las condiciones climáticas observadas (período de base 1971 - 2000). Mientras que para los cultivos de maíz y soja se estimó para las condiciones futuras un incremento en la producción de grano de 21% y 27% respectivamente.

Cuando se corrieron los modelos considerando un incremento de 330 ppm en la concentración de CO₂ atmosférico (>CO₂), los rendimientos de grano se incrementaron en el escenario climático futuro LARS un 15%, 29% y 76% para trigo, maíz y soja respectivamente.

Posiblemente, el incremento en las precipitaciones y la disminución de la temperatura máxima media estimada por LARS, en particular para los meses de verano, expliquen el incremento estimado del rendimiento de los cultivos de maíz y soja (de desarrollo estival) y la indiferencia del cultivo de trigo (cultivo invernal). En condiciones de mayor concentración de CO₂ atmosférico, los rendimientos de grano estimados por los modelos incrementaron en todos los cultivos, posiblemente debido a un aumento de la fotosíntesis y el consecuente incremento de la síntesis de hidratos de carbono (Kimball et al, 2003; Leakey et al, 2006).

Para el escenario climático creado por el modelo HadCM3 (y SERES A2), se estimó el posible impacto sólo sobre los cultivos de soja y maíz. En este caso, para las mismas condiciones de manejo de cultivos (secano) consideradas para el LARS, los rendimientos de maíz y soja tuvieron una tendencia decreciente en sus rendimientos de un 1% al 2% en promedio respectivamente. En condiciones de incremento de CO₂ atmosférico, se revirtió la tendencia negativa y los rendimientos estimados de los cultivos incrementaron promedialmente un 8% en maíz y un 24% en soja (Figura 24).

En el caso del cultivo de maíz los modelos de simulación biológica DSSAT mostraron un acortamiento del ciclo de los cultivos en la condiciones climáticas estimadas por HadCM3 (AIACC, 2006, Travasso et al., 2006), resultado seguramente debido al incremento de la temperatura máxima media que este método proyectó. Este acortamiento del ciclo de desarrollo afectaría negativamente los rendimientos en comparación con los estimados bajo las condiciones climáticas del período base 1971 - 2000 considerado. Tal como se observa en la tabla 5, ese efecto podría ser revertido adelantando la época de siembra del cultivo.

	1971-00 (1)	2020 (1)	2020 (2)	2020 (3)
Días S-F	86	82	91	101

Tabla 5. Duración (días) del período de siembra a floración (S-F) de maíz para la fecha de siembra tradicional (1), 20 días antes de la tradicional (2) y 40 días antes de la tradicional (3) en el escenario SRES A2 estimado con HadCM3 para el horizonte temporal 2020.

La simulación bajo un incremento de la concentración de CO₂ atmosférico en el aire revirtió dichos resultados neutros o negativos por acortamiento del ciclo de los cultivos, posiblemente debido a un incremento de la fotosíntesis y la síntesis de carbohidratos.

En este caso, la diferencia en la magnitud de la respuesta en la producción de grano estimada entre ambos cultivos podría ser atribuida a los efectos de la concentración de CO₂ en el aire en cada especie. En soja (una planta C3) los efectos del CO₂ en la fotosíntesis son mayores que en maíz (planta C4) (Derner et al, 2003).

Las estimaciones de incidencia de la enfermedad del trigo Fusarium, en base a las corridas del modelo GIBSIM, mostraron que el "Índice de riesgo" de desarrollo de la enfermedad se incrementó bajo las condiciones climáticas de los escenarios futuros (2020) en comparación al índice de riesgo estimado utilizando los valores de clima observado del período base 1971 -2000 en Uruguay (Figura 25) (Del Ponte et al, 2004). Seguramente, las mejores condiciones para el desarrollo del patógeno representadas por el incremento de la temperatura del aire mínima media y de las precipitaciones en primavera (momento de desarrollo del patógeno en el cultivo) estimadas en ambos escenarios futuros (LARS y HadCM3), expliquen estos resultados obtenidos.

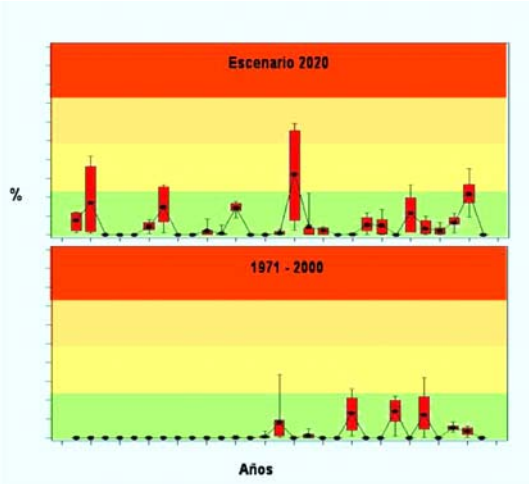


Figura 25. Riesgo de Infección de Fusarium (%) estimado con los datos climáticos proyectados para el horizonte temporal 2020 y con los datos climáticos observados 1971 - 2000 de Uruguay.

3) Impactos en el cultivo de arroz

El análisis de impacto sobre el cultivo de arroz se realizó en base a los escenarios de cambio climático con un horizonte temporal 2055, seleccionándose para el estudio las zonas Noroeste, Noreste y Sureste del país (Figura 19), por ser en las cuales se siembra el cultivo.

Para el análisis por modelación con el DSSAT Arroz (Jones et al., 1998), las corridas y comparaciones se realizaron entre el período base con valores de clima observados (1972 -1990) y dos períodos de 20 años cada uno (2016 - 2035 y 2036 - 2055) de los escenarios climáticos futuros estimados.

La variedad de arroz seleccionada para este estudio fue "El Paso 144" por ser la más sembrada en el país, con el 72.7 % del área

(DIEA, 2007). El manejo del cultivo utilizado en la modelación fue el recomendado a nivel de producción con una fertilización adecuada para obtener los niveles de rendimientos actuales y aplicación de riegos acorde a las necesidades de agua del cultivo.

Complementariamente, se realizaron corridas del modelo en condiciones de incremento de CO₂ atmosférico a una concentración de 500ppm (la concentración actual es de 330ppm), simulando lo que los escenarios socioeconómicos prevén para el año 2050 (A2 532ppm y B2 478ppm, IPCC 2001), a fines de evaluar el posible efecto en la productividad del cultivo.

En las Figuras 26 y 27 se expresan los resultados obtenidos en la región Norte del país, (zonas Noroeste y Noreste).

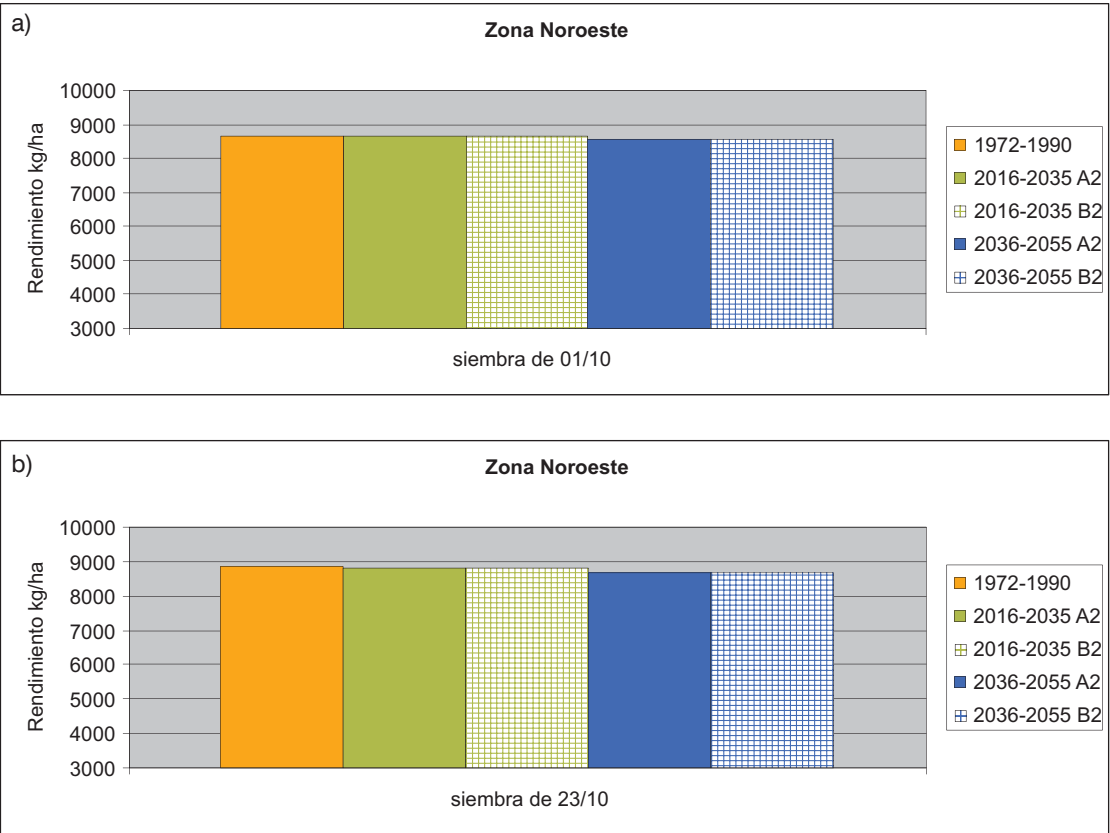


Figura 26. Rendimientos de arroz (kg/ha) estimados por modelación en la zona Noroeste del país, para los distintos escenarios climáticos y en las épocas de siembra de (a) inicios y (b) fines de octubre.

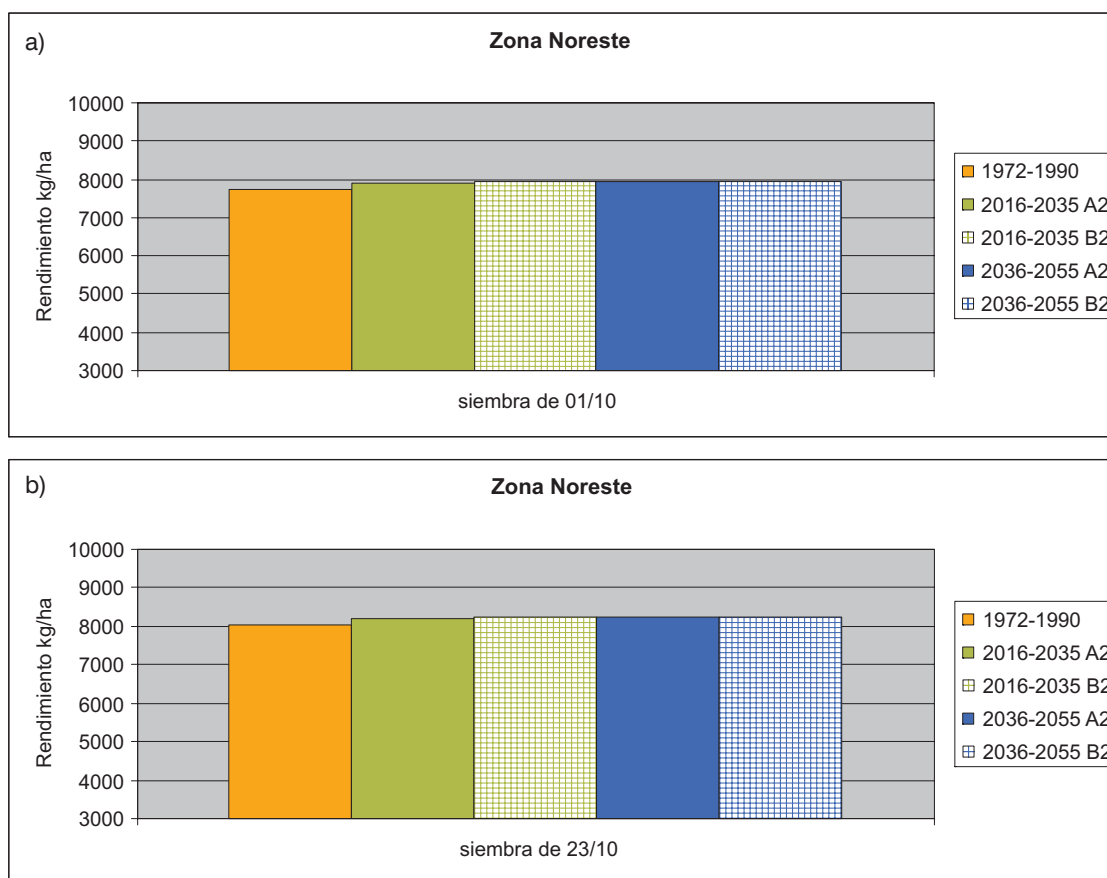


Figura 27. Rendimientos de arroz (kg/ha) estimados por modelación en la zona Noreste del país, para los distintos escenarios climáticos y en las épocas de siembra de (a) inicios y (b) fines de octubre.

Como se puede observar en las figuras, no se cuantificaron diferencias de relevancia en la productividad del cultivo entre ninguno de los tratamientos realizados (escenarios futuros, período base observado), para ninguna de las fechas de siembra, en ninguna de las zonas estudiadas al Norte del país.

Considerando que el arroz es un cultivo irrigado en nuestro país y que por lo tanto la variable precipitaciones no incide desde el punto de vista de las necesidades de agua del mismo, y que en la variable radiación solar los escenarios climáticos futuros estimados prácticamente no presentaron cambios en relación a los valores observados en el período base, la variable temperatura del aire pasa a ser el principal factor referente a fines de explicar una posible presencia o ausencia de impactos climáticos sobre la productividad del arroz.

La bibliografía (Benacchio y Avilán, 1991, IRRI, 1976) menciona que el arroz se desarrolla bien con un rango de temperaturas entre 10° y 35°C y con un óptimo para la fotosíntesis de 25 a 32°C. Uno de los factores que rigen el final del período vegetativo e inicio de la floración del cultivo de arroz son las sumas térmicas, o sea, la acumulación de grados de temperaturas diarias por encima de 10°C (por debajo de 10°C no se acumula), (Roel y Blanco, 1993). Es así que en condiciones de temperaturas más altas, la suma térmica se realiza en menos días, el inicio de la floración se realiza antes y el período vegetativo se acorta con una consecuente menor acumulación de materia seca en la planta. Este efecto, en ambientes de muy altas temperaturas, puede resultar en menores rendimientos de grano. Así mismo, en ambientes donde las temperaturas son bajas, con varios días con temperaturas medias por debajo de los 10°C, también

puede disminuirse el crecimiento vegetativo y la acumulación de materia seca en la planta por menor cantidad de días con condiciones de crecimiento, resultando también en una menor producción de grano (Deambrosi et al, 1997). Días de bajas temperaturas, menores a 15°C, en el período entre primordio floral y antésis, pueden también afectar negativamente la producción de grano del cultivo (Deambrosi et al, 1997).

En base a lo anterior, vemos que en términos generales en la zona Norte del país (Noroeste y Noreste, Figuras 20 y 21), las temperaturas no son una limitante para el buen desarrollo del cultivo. Los valores observados para el período base están aproximadamente entre 12° y 18°C para las temperaturas mínimas medias y entre 24° y

32°C para las máximas medias. Si bien en los escenarios climáticos futuros se estima un incremento de las mismas, los valores se mantienen en niveles considerados como buenos para el cultivo, de 15° a 23°C para las temperaturas mínimas y de 26° a 33,5°C para las máximas.

Por tal motivo, los resultados de la modelación de la producción de grano del cultivo no manifiestan diferencias entre las distintas condiciones climáticas evaluadas (observadas 1972 - 1990 y escenarios climáticos futuros) en las zonas Noroeste y Noreste del país.

Los resultados obtenidos para la zona Sureste del país sí muestran diferencias entre los distintos ambientes climáticos evaluados (Figura 28).

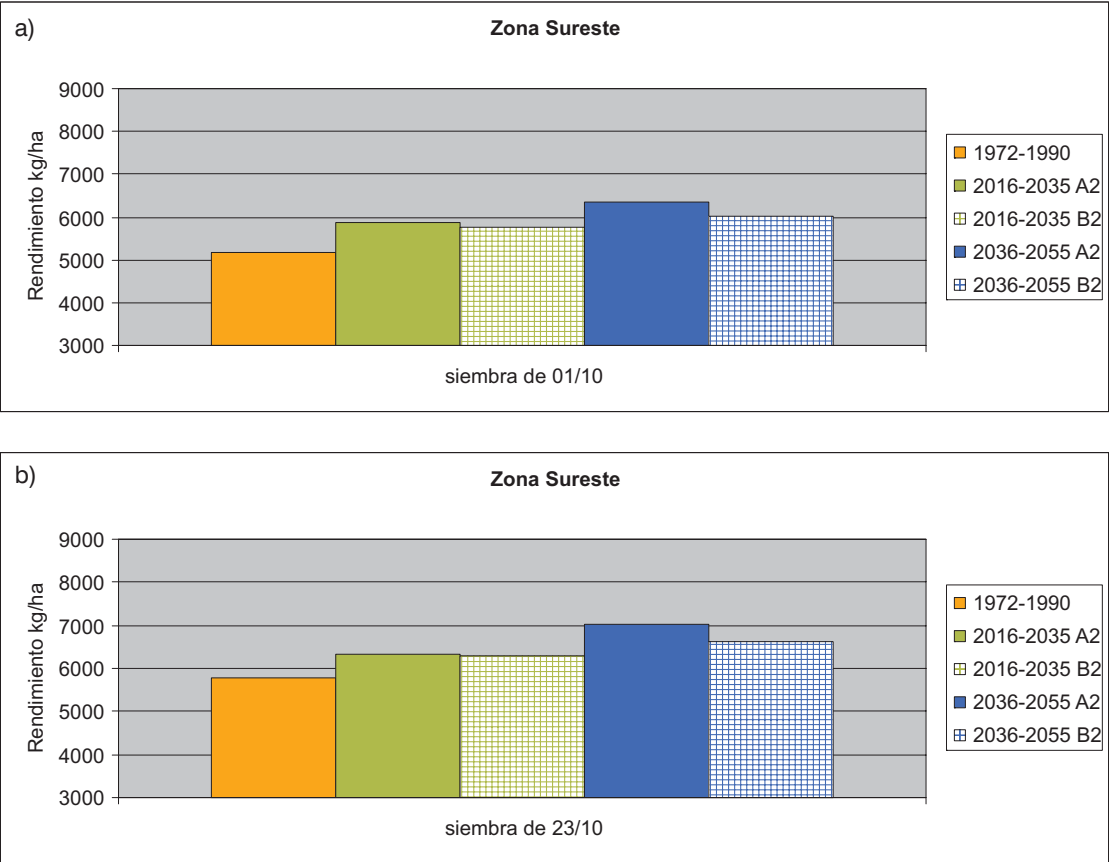


Figura 28. Rendimientos de arroz (kg/ha) estimados por modelación en la zona Sureste del país, para los distintos escenarios climáticos y en las épocas de siembra de (a) inicios y (b) fines de octubre.

En ambas épocas de siembra, la producción de grano de arroz estimada por el modelo, muestra un incremento de un 10% a un 20% en las condiciones climáticas de los escenarios futuros en relación a las del período base observado, siendo este incremento más importante aún en el segundo período de 20 años de los escenarios (2036 - 2055), con valores de hasta más de 1000 kg/ha. Así mismo, para el período 2036 - 2055 se observa una tendencia a mayor producción de grano en las condiciones del escenario socioeconómico A2 en relación al B2.

Los valores de temperaturas del período base observado (considerado en este estudio), muestran en la zona Sureste, estar en niveles límites para el buen desarrollo del cultivo de arroz, particularmente en lo referente a las temperaturas mínimas medias (valores promedio de 9.7°C en octubre a 15.9°C en Enero), (Figura 23b).

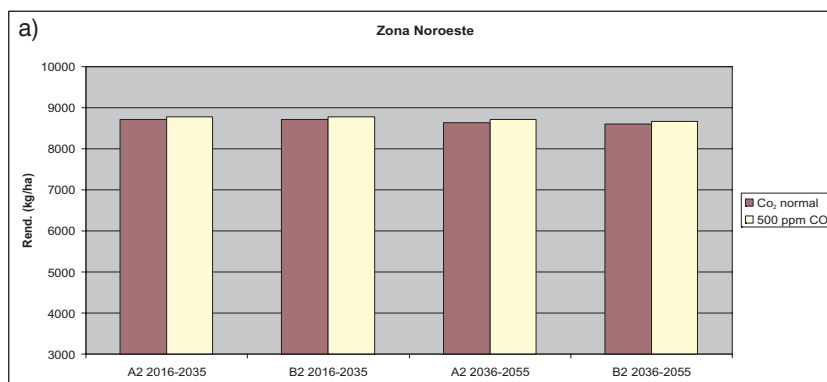
En esta zona, normalmente las temperaturas durante el desarrollo del cultivo son menores que en el Norte del país, con valores límites en algunos períodos y críticos en otros. Así por ejemplo, en esta región (Sureste) ocurren eventualmente días de bajas temperaturas en el período entre primordio floral y antesis (menores a 15°C), lo cual afecta negativamente la producción de grano del cultivo (Deambrosi et al, 1997). El incremento estimado de la temperatura mínima media en los escenarios climáticos futuros, (en particular en el período 2036 - 2055 y en el escenario A2), probablemente sea la causa de que la modelización estime un mejor desarrollo del cultivo y mayores rendimientos de grano en esta región.

El impacto del cambio climático previsto en los escenarios futuros estimados en este estudio, resulta así positivo en la región Sureste, con condiciones climáticas más favorables para el desarrollo del cultivo (temperaturas del aire más altas) y tendencias a mayores volúmenes de grano de arroz producidos al final de cada zafra.

Consideraciones sobre mejoras en la capacidad de acopio de grano y en la capacidad de transporte del mismo (caminería, servicios de transporte, etc.) podrían ser elementos a considerar como respuesta de adaptación a este efecto estimado del cambio climático sobre la producción de arroz en dicha zona del país.

En relación a la capacidad instalada de la industria arrocera en el país, ésta parece no ser limitante frente a una posible hipótesis de un futuro incremento de la producción de arroz. La misma sería en la actualidad de unas 1,62 millones de toneladas anuales de arroz cáscara. El promedio de producción de los últimos 5 años es de 1,17 millones de toneladas anuales, lo cual significa un 72% de utilización o, dicho de otra manera, podría aumentarse la producción de arroz en un 38% con la capacidad industrial instalada actualmente, (Lanfranco, B. 2008, com. pers.).

Respecto a las estimaciones de productividad con un incremento de CO₂ atmosférico, se observa una leve tendencia a mayores rendimientos en tal situación en ambos escenarios (A2 y B2), pero las mismas no son de relevancia, con valores que no superan el 2 a 3% de diferencia (Figura 29).



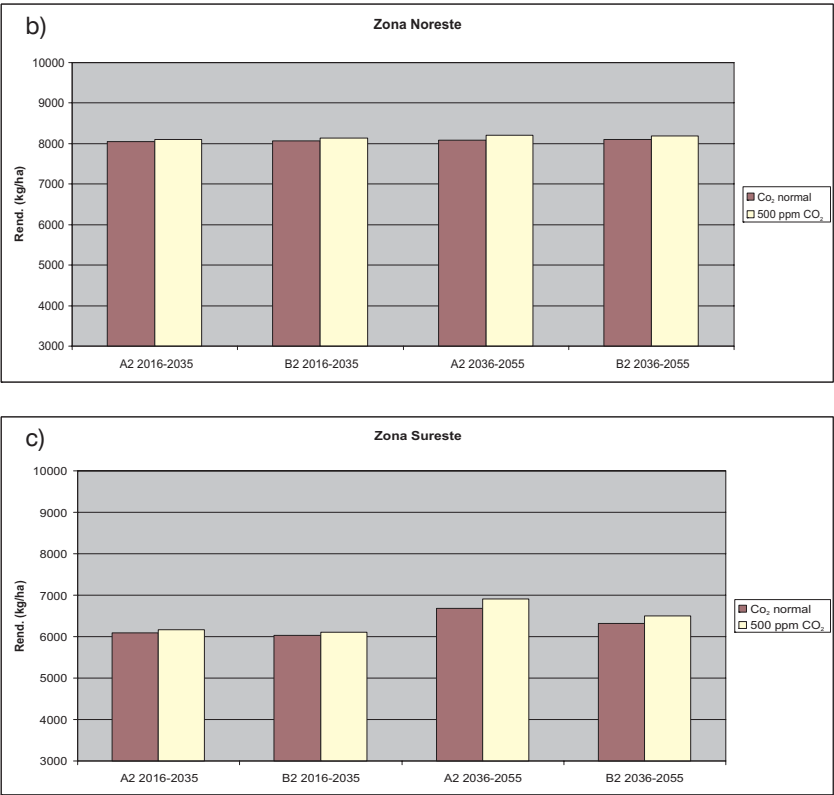


Figura 29. Resultados de la modelación de rendimientos de arroz en cada escenario socioeconómico (A2 y B2) con y sin incremento de CO₂ atmosférico para las regiones a) Noroeste, b) Noreste, y c) Sureste del país.

Esa tendencia podría ser atribuida al efecto de las mayores concentraciones de CO₂ incrementando la actividad fotosintética en la planta (Derner et al, 2003). Sin embargo, la respuesta de los cultivos a mayores concentraciones de CO₂ en el aire no está aún totalmente entendida. Muchos estudios y experimentos han sido realizados al respecto, y permanecen aún muchas incertidumbres relacionadas con interacciones entre cultivos, agua, nutrientes, etc., con el ambiente. Estudios recientes sugieren que la estimulación inicial de la fotosíntesis causada por un incremento de la concentración de CO₂ en el aire, puede ser contrarrestada en el largo plazo por una baja en la actividad enzimática en la fotosíntesis, como respuesta adaptativa de la planta a las nuevas condiciones ambientales (Adam et al., 2004).

Finalmente cabe hacer algunas consideraciones de posibles impactos hipotéticos de los escenarios climáticos futuros en la productividad del arroz, más allá del análisis por modelación del desarrollo del cultivo realizado en este estudio.

En el caso de las precipitaciones, los escenarios futuros estimados en este estudio proyectan tendencias de incremento de las mismas en todas las regiones estudiadas y en todos los meses del año (10 a 20 mm por mes), con los valores mayores generalmente en primavera y verano, (Figuras 20c, 21c, 22c y 23c).

Como se mencionó previamente, en Uruguay el cultivo de arroz se realiza bajo riego en la totalidad del área sembrada, dado lo cual, las precipitaciones durante el período de desarrollo del cultivo no tienen incidencia desde el punto de vista de la satisfacción de

la demanda de agua (Roel y Baethgen, 2005). Un efecto de la ocurrencia de mayores precipitaciones durante el desarrollo del cultivo podría ser la disminución de la radiación solar (por mayor nubosidad) lo cual podría afectar su buen desarrollo. Pero los valores de esta variable, estimados en los escenarios futuros, no tuvieron cambios relevantes en relación a los observados en el período base, y los mismos no resultan limitantes para el cultivo. Sin embargo, mayores precipitaciones en la época de siembra del cultivo, pueden dificultar y retrasar la misma, lo cual causaría mermas en la producción de grano, (Deambrosi et al, 1997, Roel y Baethgen, 2005). Este efecto negativo, que provocaría el incremento proyectado de las precipitaciones en los meses de siembra del arroz (Octubre y Noviembre), podría ser mitigado en parte con la aplicación más generalizada de técnicas de siembra directa (sin laboreo, siembras con avión, etc.) del cultivo (Deambrosi y Méndez, 1993 y 1996, Méndez y Deambrosi, 1996).

Por otro lado, se podría pensar que las mayores precipitaciones estimadas en los escenarios futuros durante otoño e invierno, resultarían en mayor disponibilidad de agua para riego del cultivo de arroz (represas, causes naturales, etc.) (Roel y Baethgen, 2005), pudiendo causar así una mayor estabilidad del área sembrada a nivel nacional, e incluso un incremento de la misma. Sin embargo, las mayores temperaturas estimadas en los escenarios futuros, podrían causar incrementos de la evaporación del agua de las represas destinadas al riego del arroz, así como mayor demanda de agua por el cultivo, lo cual anularía el efecto anteriormente descrito (Roel, com. pers., 2008). Estudios específicos deberían promoverse a fines de cuantificar estos efectos de mayor o menor disponibilidad (oferta - demanda) de agua para el cultivo y posibles medidas de respuesta a los mismos.

Por último, temperaturas más altas conjuntamente con mayores precipitaciones durante los meses de verano (tal como estiman los escenarios futuros realizados en

este estudio) son condiciones climáticas favorables para el desarrollo del "Quemado del Arroz" o "Brusone" (*Piricularia oryzae*), una enfermedad que puede causar importantes pérdidas en el cultivo de arroz, (Deambrosi et al, 1997). El continuar desarrollando e incrementar los recursos volcados a los programas de mejoramiento genético a fines de crear o seleccionar genotipos más tolerantes o resistentes a esta enfermedad, parece ser el mejor camino para adaptarse al efecto de un futuro incremento de esta amenaza. Así mismo, el desarrollo de sistemas de alerta temprana para esta enfermedad, podría ser una herramienta que permita prever y adoptar medidas de control, ayudando a disminuir la posible mayor incidencia de la misma.

4) Impactos en la producción de pasturas

Los resultados obtenidos con la simulación de producción de materia seca de pasturas mejoradas en condiciones de producción intensiva de Uruguay (AIACC, 2006) con un horizonte temporal 2020, fueron muy similares para ambos escenarios futuros (LARS y Hadley), sin efectos negativos y con incrementos del 3% al 7%, (Tabla 6). Estos resultados sugieren que las pasturas sembradas con especies perennes en áreas de producción intensiva de carne en Uruguay, serían menos sensibles que los cultivos anuales considerados a las condiciones climáticas proyectadas en este estudio.

Escenario	Materia seca de forraje (kg/ha)
1930 - 1960	6828
1970 - 2000	7088
LARS (2020)	7213
Hadley A2 (2020)	7573

Tabla 6. Producción estimada de pasturas mejoradas (kg de materia seca por hectárea) en Uruguay en 2 escenarios climáticos observados (1930-1960 y 1970-2000) y 2 escenarios climáticos futuros (LARS and Hadley A2) generados para el horizonte temporal 2020.

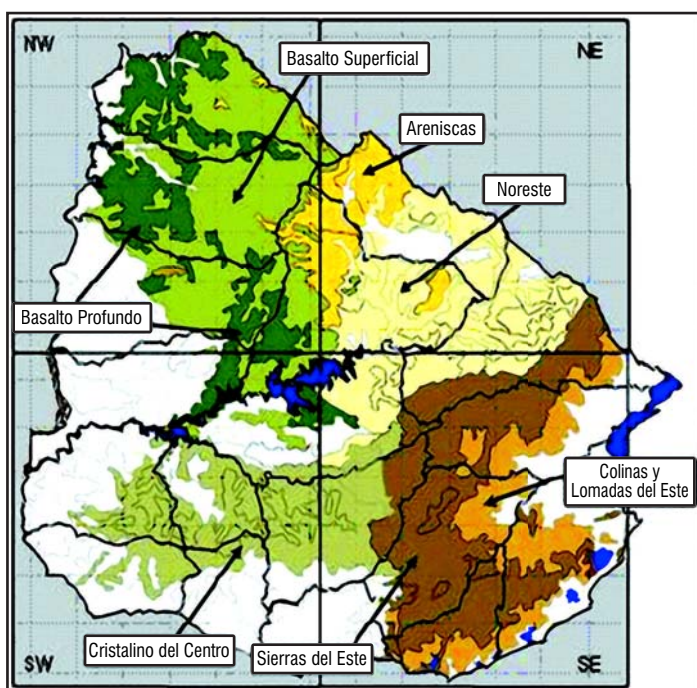


Figura 30. Zonas agroecológicas seleccionadas para el estudio de pasturas naturales

Para el estudio del impacto en la producción de pasturas naturales se utilizaron los escenarios climáticos futuros con un horizonte temporal 2055 estimados para las cuatro regiones del país (Figura 19), y se seleccionaron zonas agroecológicas predominantes dentro de cada una de ellas (Figura 30).

A continuación se presenta la descripción de la producción de las pasturas y de la comunidad florística de cada zona agroecológica seleccionada en cada región del país (Berretta, E. 2006).

-Región Noroeste: Se ubican dos zonas agroecológicas, el Basalto Profundo y el Basalto Superficial, que se caracterizan por una producción de forraje promedio de 4600 y 3300 kg MS/ha/año respectivamente y presentan una distribución estacional de dicha producción similar, con valores promedio de 31% en primavera, 33% en verano, 21% en otoño y 15% en invierno. En cuanto a la composición florística del Basalto Profundo son más frecuentes las gramíneas de las especies: *Paspalum notatum*, *Paspalum plicatulum*, *Paspalum dilatatum*, *Paspalum indecorum*, *Rottboellia selloana*,

Panicum miliodes, *Andropogon ternatus*, *Bothriochloa laguroides*, *Axonopus affinis*, *Aristida uruguayensis*, *Leptocoryphium lanatum*, *Schizachyrium microstachyum*, *Schizachyrium spicatum*, *Stipa neesiana*, *Piptochaetium stipoides*, *Piptochaetium medium*, *Piptochaetium montevidense*, *Poa marigera* y *Bromus auleticus*; mientras que en la comunidad florística del Basalto Superficial predominan gramíneas de las especies: *Schizachyrium spicatum*, *Chloris grandiflora*, *Eragrostis neesii*, *Eustachys bahiensis*, *Microchloa indica*, *Bouteloua megapotamica*, *Aristida venustula*, *Aristida murina* y *Aristida uruguayensis*.

-Región Noreste: Se ubican dos zonas agroecológicas, Areniscas y Noreste. La zona de Areniscas se caracteriza por una producción promedio de forraje de 5100 kg MS/ha/año y una distribución estacional promedio de 37% en primavera, 45% en verano, 12 % en otoño y 6% en invierno. La composición florística de esta zona se caracteriza por un dominio de gramíneas de especies estivales como: *Paspalum notatum*, *Axonopus argentinus*, *Axonopus affinis*, *Sporobolus indicus*, *Rottboellia selloana*, *Panicum milioides*, *Panicum sabulorum*,

Andropogon lateralis, *Paspalum nicorae* y *Eragrostis montevidense*. La gramínea de invierno más frecuente es el *Piptochaetium montevidense*. La zona agroecológica Noreste se caracteriza por una producción promedio de forraje de 3310 kg MS/ha/año y una distribución estacional promedio de 36% en primavera, 36% en verano, 18 % en otoño y 10% en invierno. En su composición florística las especies más abundantes son gramíneas de las cuales el 70 por ciento son de crecimiento estival, tales como *Paspalum notatum*, *Paspalum dilatatum*, *Bothriochloa laguroides*, *Rottboellia selloana*, *Axonopus affinis*, *Panicum milioides*, *Setaria geniculata*, *Sporobolus indicus* y *Eragrostis neesii* y especies invernales menos frecuentes, representadas por *Piptochaetium stipoides*, *Piptochaetium montevidense*, *Stipa neesiana* y *Stipa charruana*.

-Región Sureste: Se ubican dos zonas agroecológicas Colinas y Lomadas del Este y Sierras del Este. La zona de Colinas y Lomadas del Este se caracteriza por una producción promedio de forraje de 3600 kg MS/ha/año y una distribución estacional promedio de 29% en primavera, 38% en verano, 23% en otoño y 10% en invierno. La zona Sierras del Este se caracteriza por una producción promedio de forraje de 2100 kg

MS/ha/año y una distribución estacional promedio de 26% en primavera, 42% en verano, 27% en otoño y 6% en invierno. En cuanto a la composición florística de estas dos zonas, la mayoría de las especies (80 a 85%), son gramíneas perennes estivales, siendo la asociación *Paspalum notatum* – *Axonopus affinis* la principal contribuyente a la producción.

-Región Suroeste: Se ubica la zona agroecológica Cristalino del Centro. Ésta se caracteriza por una producción promedio de forraje de 4100 kg MS/ha/año y una distribución estacional promedio de 35% en primavera, 29% en verano, 23% en otoño y 13% en invierno. En cuanto a la composición florística de esta zona, la vegetación tiene una alta proporción de especies estivales pero escasa en especies invernales. Las especies estivales más frecuentes son: *Andropogon ternatus*, *Rottboellia selloana*, *Paspalum notatum*, *Paspalum plicatulum*, *Paspalum dilatatum*, *Bothriochloa laguroides*, *Axonopus affinis*, *Aristida murina*.

Para el análisis por modelación de la producción de las pasturas de la zonas agroecológicas, se realizaron corridas del modelo Century para el período base con valores de clima observados (1972 -1990) y

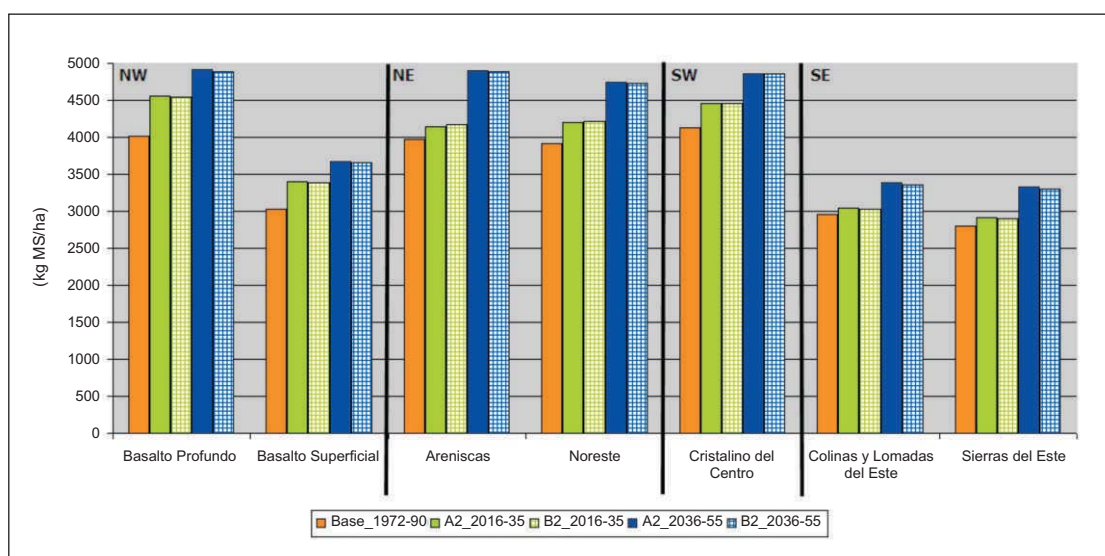


Figura 31. Producción anual de pasturas (materia seca kg/ha) en cada zona agroecológica estimada por modelación, para el período base y para los distintos escenarios climáticos.

dos períodos de 20 años cada uno (2016 – 2035 y 3036 – 2055) de los escenarios climáticos futuros estimados. De tal forma, con los datos de temperatura y precipitación mensual, para cada una de las zonas (cuadrantes) del país, y cada unos de los períodos mencionados, se llevaron a cabo simulaciones con el modelo Century para cada una de las 7 zonas agroecológicas seleccionadas: Basalto profundo, Basalto superficial, Cristalino del centro, Colinas y Lomadas del Este, Sierras del Este, Areniscas y Región Noreste (Figura 30). Para completar la información necesaria para las corridas del modelo, se consideraron las propiedades de los suelos característicos de cada zona estudiada, y coeficientes de producción de pasturas para cada zona resultantes de la calibración.

Al analizar los resultados de las proyecciones de producción anual de pasturas (Figura 31) considerando los dos escenarios socioeconómicos utilizados A2 y B2, se observa que no se estimaron mayores diferencias entre ellos en ninguno de los dos períodos estudiados (2016-35 y 2036-55), en ninguna de las siete zonas agroecológicas.

Sin embargo, se estimó que la producción anual de pasturas incrementó en todas las zonas agroecológicas al comparar los dos períodos proyectados 2016-35 y 2036-55 con el período base 1972-90 (Figura 32), registrándose mayores incrementos en el último período de 20 años. En promedio se estimó un incremento del 7% en el primer período de 20 años (2016-35) comparado con el período base y del 20% en el segundo período de 20 años (2036-55) comparado con el período base (Figura 32).

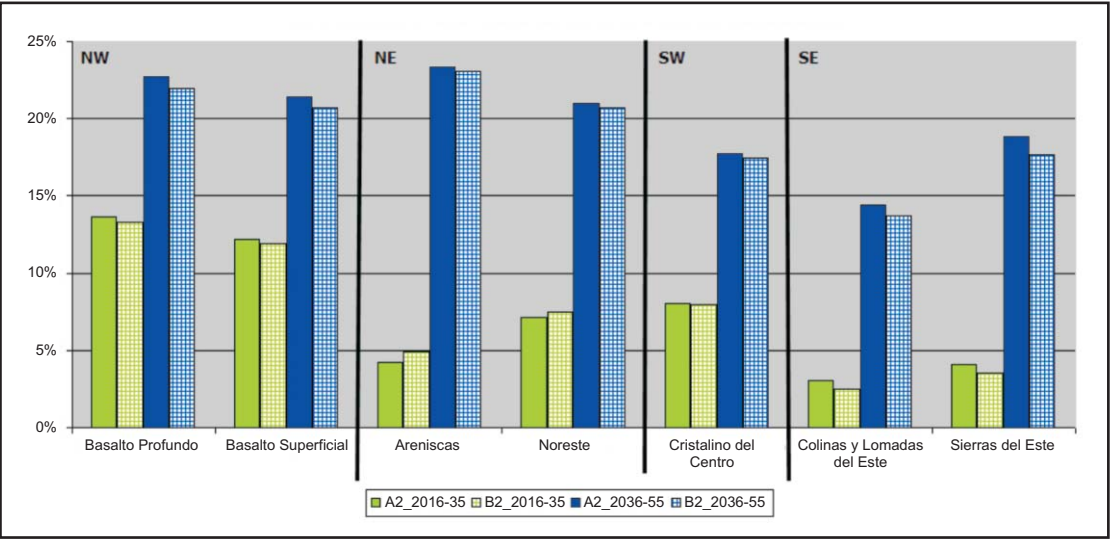


Figura 32. Diferencia (%) de la producción anual de pasturas en cada zona agroecológica estimada por modelación, entre el período base y los distintos escenarios climáticos.

Para las zonas agroecológicas Basalto Profundo y Basalto Superficial ubicadas en la región Noroeste (NW) del país, se estimaron en ambos casos incrementos anuales de la producción de las pasturas de 13% durante el primer período 2016 - 35 y de 22% durante el segundo período 2036 - 55 (figuras 31 y 32). Estos incrementos esperados en la

producción de forraje serían consecuencia de los cambios estimados a futuro en los valores de las variables climáticas para esta región (NW), que en términos generales representarían un incremento de 3 a 4°C de la temperatura mínima, 2°C, de la temperatura máxima, y de 17% de las precipitaciones prácticamente durante todo el año. Dado que

en el modelo Century, uno de los factores que determina la producción de forraje es la temperatura media mensual, es de esperar que un incremento en las temperaturas (mínimas y máximas) genere incrementos en la producción durante todo el año (Figura 33). La otra variable climática que afecta la producción de pasturas son las precipitaciones, siendo el mayor efecto

durante los meses del verano en que éstas son deficitarias, ya que se registran menos precipitaciones que las necesarias para cubrir la demanda de la vegetación. Dado que para esta zona se esperarían incrementos en las precipitaciones durante todo el año, esto generaría un menor déficit de agua durante el verano con el consecuente aumento en la producción durante esta estación (Figura 33).

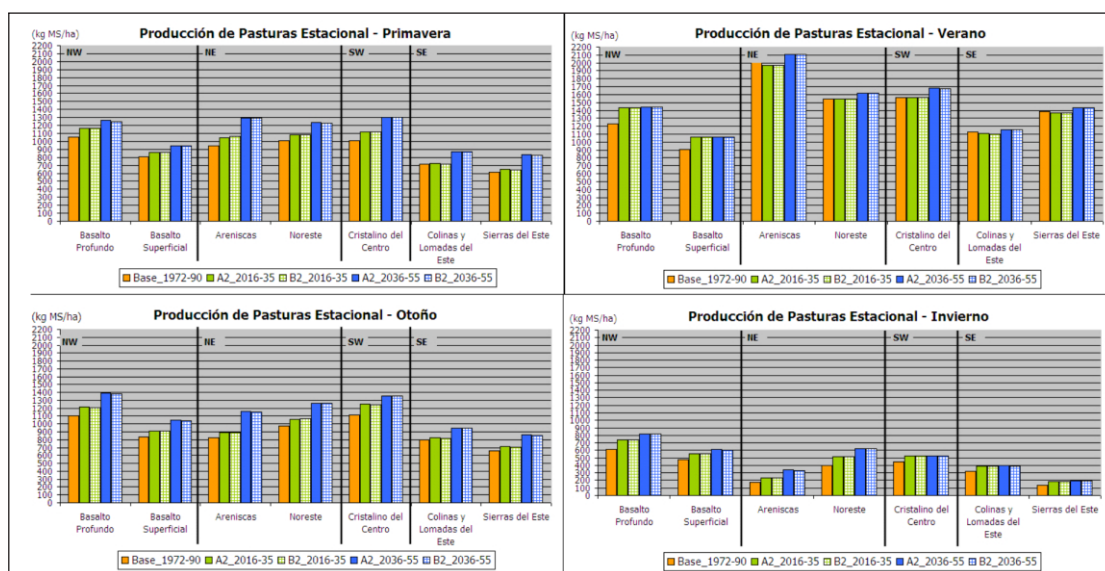


Figura 33. Producción estacional de pasturas (materia seca kg/ha) en cada zona agroecológica estimada por modelación, para el período base y para los distintos escenarios climáticos. (Observaciones: se considera Verano a los meses de Diciembre, Enero y Febrero; Otoño a Marzo, Abril y Mayo; Invierno a Junio, Julio y Agosto; Primavera a Septiembre, Octubre y Noviembre).

Para las zonas agroecológicas Areniscas y Noreste ubicadas en la región Noreste (NE) del país, se observa también un comportamiento similar entre ellas, con un incremento en la producción anual de pasturas de 6% durante el primer período 2016-35 y de 22% durante el segundo período 2036-55 (figuras 31 y 32). Como se mencionó previamente, los cambios en los valores de las variables climáticas afectan la producción de pasturas. Para esta región NE del país, el cambio estimado más relevante de las variables climáticas en los escenarios futuros sería el de las temperaturas, con un incremento aproximado de 1°C de la máxima media y de 2°C de la temperatura mínima media durante todo el año. Los incrementos estimados en las precipitaciones fueron muy

leves (4%) (Figura 21). Estos incrementos en las temperaturas estarían explicando los incrementos en la producción de pasturas que se estimaron principalmente en otoño, invierno y primavera, (Figura 33). Durante el verano prácticamente no se estiman variaciones en la producción, probablemente como consecuencia de que durante esta estación del año la limitante principal es el agua y para esta zona no se estimaron incrementos significativos de las precipitaciones en los escenarios futuros.

Para las zonas agroecológicas Colinas y Lomadas del Este y Sierras del Este ubicadas en la región Sureste (SE) del país, se estimó un incremento en la producción anual de las pasturas de 4% durante el primer período

2016-35 y de 17% durante el segundo período 2036-55 (figuras 31 y 32). Para esta región del país, el cambio más relevante estimado en las variables climáticas fue el incremento de 1.5°C de la temperatura mínima del aire durante todo el año (Figura 23). Este incremento de la temperatura mínima explicaría los incrementos en la producción de pasturas que se estimaron para las zonas agroecológicas de esta región, principalmente durante la primavera y el otoño (Figura 33), ya que, como se mencionó previamente, durante el verano la limitante es el agua. En cuanto al invierno, en que un incremento de las temperaturas podría favorecer la producción de forraje, no se estimaron mayores incrementos de la misma, seguramente producto de la baja producción invernal característica de estas zonas agroecológicas, consecuencia de la baja proporción de especies invernales presentes en las mismas.

Para la zona agroecológica Cristalino del Centro ubicada en la región Suroeste (SW) del país, se estimó un incremento en la producción anual de las pasturas de 8% durante el primer período 2016-35 y de 18% durante el segundo período 2036-55 (figuras 31 y 32). De manera similar a la región NE, el principal cambio previsto de las variables climáticas en esta región sería el incremento de 1.5°C de la temperatura mínima durante todo el año (Figura 22). Este incremento de la temperatura explicaría, al igual que en la región anterior, los incrementos en la producción de forraje estimados principalmente en las estaciones de primavera y otoño (Figura 33). La ausencia de incrementos significativos durante el verano e invierno, obedecería a las mismas causas expuestas en el párrafo anterior, (relativo a las zonas agroecológicas Colinas y Lomadas del Este y Sierras del Este de la región SE del país).

En base a lo expuesto, si se considerara un posible futuro incremento de la producción de materia seca de las pasturas naturales y el consecuente incremento de la producción de carne a nivel nacional, no se observarían limitantes de la capacidad industrial actualmente instalada en el país

(industria frigorífica) para procesar un crecimiento de hasta un 20 o 30% de los volúmenes de carne producidos (Lanfranco, B. 2008, com. pers.).

Mejoras en la capacidad de transporte (caminería, servicios de transporte, etc.) podrían sí ser elementos a considerar en las distintas zonas de producción ganadera como respuesta adaptativa a un hipotético futuro incremento en la producción de la cadena cárnica.

Finalmente cabe aclarar que este estudio se basó en la calibración y análisis por modelación de la producción de volúmenes de materia seca en base a la composición florística actual de las zonas agroecológicas estudiadas (Berretta, 1994, Formoso et al, 2001). El cambio del ambiente (las variables climáticas entre otros factores) con el transcurso de los años, seguramente cause una selección natural de las especies expuestas al mismo, aumentando la frecuencia de las más adaptadas a las nuevas condiciones y disminuyendo la frecuencia de las menos adaptadas, cambiando así la composición florística y posiblemente los índices de producción y calidad de la materia seca producida por dichas comunidades vegetales (Rodríguez et al, 2003, Rosengurt, 1979, 1994). Este tipo de estudio (que escapa al presente) de estimación de la evolución y cambios futuros en las comunidades vegetales, debería ser promovido a fines de complementar la evaluación de los posibles impactos de escenarios futuros de cambio climático sobre la producción de las pasturas naturales en Uruguay.

Es claro que los cambios observados o estimados en las variables climáticas estudiadas, han impactado y seguirán impactando en los diversos rubros y sistemas de producción agropecuaria. Es así que como se vio, se podría especular con que mayores precipitaciones en primavera-verano o que este efecto asociado a un incremento de la temperatura mínima media, favorecerían el desarrollo de algunos cultivos o de las pasturas naturales. Sin embargo, también hemos visto como las mismas

condiciones climáticas podrían promover el desarrollo y un aumento de la incidencia de enfermedades como el fusarium y porque no de otras enfermedades, plagas y parásitos que afecten tanto a la producción vegetal (incluyendo la forestal) como a la producción animal. Todo esto reafirma la importancia y la necesidad de continuar con estudios sobre el clima y su evolución y la realización de análisis específicos de su posible incidencia e impacto sobre rubros y sistemas de producción agropecuarios a nivel nacional.

Por último cabe aclarar que los efectos mencionados anteriormente están basados en datos y promedios considerados y analizados en el mediano y largo plazo (20 a 70 años). Dada la gran variabilidad climática existente entre años, dichos cambios climáticos promedio observados o estimados no se manifiestan necesariamente todos los años. Por ejemplo, se ha constatado que en Uruguay, en los últimos 30 años las lluvias anuales promedio se han incrementado en relación al período de 30 años anterior. Eso no significa que dentro de esos 30 años con mayores precipitaciones promedio, no existieron años con lluvias menores a la media o incluso severas sequías.

Es así que este tipo de determinaciones presentadas referentes a tendencias y posibles impactos de cambios en el clima deben ser consideradas en términos de mediano y largo plazo y por lo tanto utilizadas para la planificación y la toma de decisiones para el desarrollo de proyectos, actividades, y emprendimientos enmarcados en tales magnitudes de tiempo.

V) LA VARIABILIDAD Y LOS EVENTOS CLIMÁTICOS EXTREMOS

1) Introducción

Como se señala en varios informes del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, 2007a, IPCC, 2007b), la comunidad científica internacional expresa que el aumento en la concentración de gases de efecto invernadero tiene como resultado cambios en la variabilidad climática diaria, estacional, interanual y a lo largo de decenios. Los informes del IPCC también señalan que los estudios científicos sugieren que es de esperar "cambios en la frecuencia, intensidad y duración de fenómenos climáticos extremos".

En el estudio regional realizado en el marco del Programa AIACC, se compararon los desvíos estandar de las medias y los coeficientes de variación de las precipitaciones registradas en los períodos 1931 - 1960 y 1971 - 2000 para primavera (setiembre, octubre y noviembre), verano (diciembre, enero y febrero), otoño (marzo, abril y mayo) e invierno (junio, julio y agosto). Al respecto se constató como en sitios del área de estudio del Proyecto en Uruguay, las magnitudes de los coeficientes de variación incrementaron en primavera y verano en los 30 años más recientes en relación a los 30 años anteriores (Tabla 7). Esto estaría indicando un incremento de la variabilidad de las precipitaciones en dichas épocas del año.

	SON		DEF		SON		JJA	
	1931 - 1960	1971 - 2000	1931 - 1960	1971 - 2000	1931 - 1960	1971 - 2000	1931 - 1960	1971 - 2000
	CV %	CV %	CV %	CV %	CV %	CV %	CV %	CV %
La Estanzuela	37	44	40	48	46	36	50	40
Mercedes	40	47	52	57	49	45	55	56
Paysandu	37	41	39	42	48	46	50	51

Tabla 7. Coeficientes de Variación (%) de las precipitaciones registradas en 2 períodos de análisis (1931 - 1960 y 1971 - 2000), para las 4 estaciones del año en 3 localidades de Uruguay.

Así mismo, como se observa en la figura 34, otros análisis de las precipitaciones ocurridas en cuatro puntos del país, han determinado

desvíos de las medias incrementales en el transcurso de años más recientes (Rafael Terra, 2009, com. pers.)

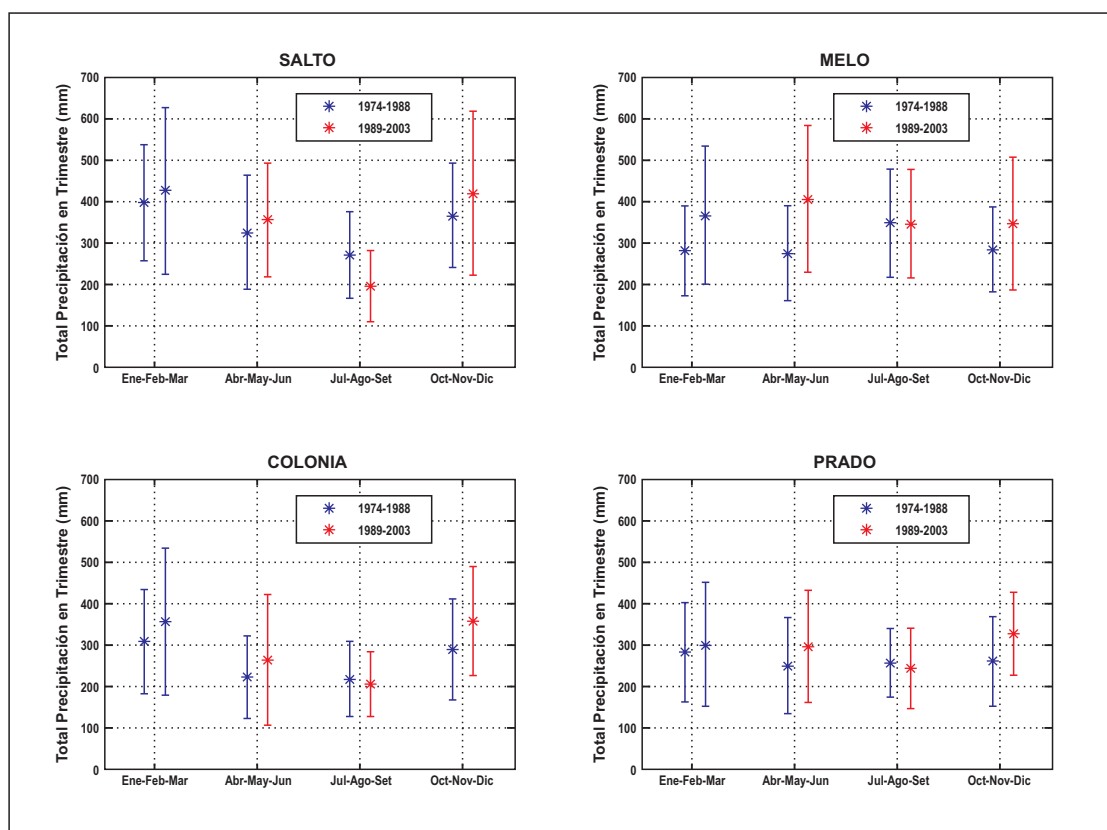


Figura 34. Evolución de la media y la desviación estándar de las precipitaciones trimestrales, en 4 puntos del país, en el período 1974 - 2003 (comparación de dos períodos de 15 años), Rafael Terra, 2009, com. pers.

Se observan las tendencias de aumento de las precipitaciones en primavera y verano (mencionadas previamente) y un muy generalizado aumento de la variabilidad (desviación estándar) en el pasado más reciente.

La variabilidad climática y la ocurrencia de eventos extremos (heladas, granizos, sequías) resulta en perjuicios muy importantes para el sector agropecuario y frecuentemente el sector requiere de varios años para recuperarse económica y financieramente de los daños ocasionados. Ejemplos recientes en Uruguay de eventos climáticos extremos son las sequías de 1999 - 2000 y la de 2008 - 2009 donde según estimaciones de organismos gubernamentales, las pérdidas ocasionadas fueron de entre 200 y 250 millones de dólares (alrededor del 1% del PBI promedio de los últimos años) y de entre 400 y 800 millones de dólares (alrededor del 2% al 3% del PBI

promedio de los últimos años) respectivamente (Barrenechea, 2009). Heladas tardías ocurridas en octubre de 2008, afectaron a 1000 de un total de 2200 viñedos instalados en Uruguay, con una pérdida de producción estimada promedialmente en un 30% (40.000 toneladas de uva), (Catadores, 2008). Excesos hídricos, ocurridos en los años 2000 y 2001 impactaron fuertemente en el desarrollo y rendimiento de cultivos de invierno (trigo y cebada) haciendo colapsar sistemas de seguros agropecuario vigentes para esas condiciones y causaron pérdidas importantes de montes de durazneros por asfixia radicular.

En la actualidad, la mayor parte de los gobiernos y productores agropecuarios enfrentan los eventos climáticos adversos implementando medidas de "manejo de la crisis" una vez ocurridos dichos eventos. En muchos casos la implementación de este

tipo de medidas para responder a las crisis implica un costo muy elevado para el Estado y la sociedad en su conjunto. Un enfoque más moderno para enfrentar circunstancias climáticas adversas consiste en la formulación e implementación de medidas anticipatorias comúnmente denominadas estrategias de "gestión de riesgos" (Baethgen, Meinke y Giménez, 2004). Es decir, acciones que contribuyan a disminuir la vulnerabilidad de la de producción agropecuaria frente a eventos climáticos adversos, permitiendo una mayor previsión y planificación a tales fines.

Es así que la variabilidad y los eventos climáticos adversos en Uruguay son un factor muy relevante y toda actividad y acción dirigida a la identificación, desarrollo e implementación de opciones de respuesta que contribuyan de alguna manera a gestionar los riesgos que ocasionan y adaptarse a sus impactos, resulta de fundamental importancia para el logro de buenos resultados en las actividades agrícolas.

2) Algunas opciones de respuesta y adaptación a la Variabilidad Climática

La Unidad GRAS del INIA en conjunto con el Banco Mundial (BM) y la Universidad de Cornell (UC) de Los Estados Unidos de Norteamérica, finalizaron en el año 2009 el proyecto "Vulnerabilidad al cambio climático en los sistemas de producción agrícola en América Latina y el Caribe: "desarrollo de respuestas y estrategias"

El objetivo de la propuesta fue formular un Plan de Acción con recomendaciones para el desarrollo de respuestas y estrategias con el fin de contribuir a una mejor adaptación a los impactos de la variabilidad climática y la ocurrencia de eventos climáticos extremos en los sistemas de producción agrícola de Uruguay.

La estrategia básica para el logro del objetivo fue la realización de talleres con la participación activa de un Grupo de Trabajo integrado mayormente por representantes de asociaciones de productores, empresas e

instituciones directamente vinculadas e involucradas en las actividades de producción agrícola en Uruguay (CAF, FUCREA, ARU, FEDERACIÓN RURAL, COPAGRAN, EMPRESAS PRIVADAS, etc.) y especialistas en la temática del clima y el cambio climático y relativas (DINAMA, MGAP, UdelaR, etc.). De tal manera, todo el proceso de elaboración y la propuesta final del Plan de Acción resultante del proyecto, fue fruto de la labor y del intercambio de información, experiencias, opiniones y aportes realizados por dicho Grupo de Trabajo.

El equipo técnico base que coordinó y actuó en la implementación y operativa de los talleres y en la dirección y ejecución de las actividades técnicas desarrolladas durante la ejecución del Proyecto estuvo integrado por: Svetlana Edmeades y Beatriz Nussbaumer del Banco Mundial, David Lee (Economía Agrícola) de la Universidad de Cornell, y Agustín Giménez (Clima, Cambio Climático y Sistemas de Información), Bruno Lanfranco (Economía Agrícola), y Jorge Sawchik (Producción Sustentabilidad y Ambiental) del INIA.

Complementariamente se contrató la participación de los Ing. Agrs. (Economistas) Luis Altezor y Alberto Majó a fines de colaborar en la elaboración de los documentos relativos a las opciones de respuesta y el plan de acción final. Así mismo, se contó con la colaboración del Instituto Internacional de Investigación en Clima y Sociedad (IRI), en particular de Walter E. Baethgen, Director del Programa para América Latina y el Caribe.

Finalmente, participaron activamente los técnicos del INIA, Raúl Gómez (Comunicación y Transferencia), José Pedro Castaño (Clima y Sistemas de Información), Adriana García (Ecología de Suelos y Manejo de Cultivos), Alberto Fassio (Mejoramiento Genético de Cultivos), Fabián Capdevielle (Biotecnología) y Marcelo Salvagno (Gerencia Programática Operativa).

Como resultado del trabajo en los talleres, el Grupo de Trabajo identificó y posteriormente se desarrollaron ocho (8) opciones de respuesta que fueron

priorizadas de acuerdo a la puntuación que se presenta en la siguiente tabla.

Opción de Respuesta	Puntuación (100 = máximo)
○ Sistema de información para la toma de decisiones (SISTD)	78,9
○ Gestión de agua	77,2
○ Seguros	75,3
○ Apoyo a la transferencia de información y tecnologías	72,9
○ Estímulo de buenas prácticas agrícolas	69,9
○ Mejora en la predictibilidad del clima	69,2
○ Diseño de sistemas de producción para reducir el riesgo climático	67,2
○ Mejoramiento genético tradicional y uso de biotecnología	63,8

Tabla 8.- Resultado de la priorización de las opciones de respuestas a los posibles impactos de la variabilidad y eventos climáticos extremos.

En base al ejercicio de asignación de prioridades se elaboró un Plan de Acción basado en las tres opciones mejor clasificadas, pero dentro de las cuales se incorporaron la mayoría de las otras opciones. Es de destacar que las 8 opciones de respuesta surgidas fueron consideradas de importancia por el Grupo de Trabajo. El ranking solamente estableció un ordenamiento de prioridad.

Si bien el Proyecto estuvo enfocado a la producción agrícola, los resultados y propuestas identificadas son muy abarcativas y de amplio alcance, y por lo tanto bien aplicables a la gran mayoría de los rubros y sistemas de producción de Uruguay.

A continuación se presenta un resumen de las tres opciones priorizadas.

2.1 Sistema de información y soporte para la toma de decisiones (SISTD)

2.1.1 Introducción

Aún considerando los escenarios más optimistas de acciones coordinadas a nivel global para reducir drásticamente las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), la ciencia atmosférica confirma que en las próximas décadas el calentamiento global es inevitable. Tal como se indica en el cuarto informe del Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC),

suponiendo que la concentración de GEI en la atmósfera permaneciera constante en los niveles del año 2000, la inercia causada por las emisiones pasadas causaría un calentamiento global inevitable con los consecuentes cambios en el clima. En consecuencia, e incluso bajo este escenario, es necesario desarrollar estrategias de adaptación para responder al calentamiento que ya es inevitable. Por otro lado, los escenarios más realistas de emisiones de GEIs y las concentraciones de los mismos esperadas en la atmósfera hacen aún más necesario que los diferentes sectores socioeconómicos incluyendo el agropecuario establezcan estrategias para la adaptación a los ya existentes cambios climáticos.

El sistema climático de la Tierra incluye factores y procesos que causan variaciones en el clima en diferentes escalas de tiempo y de espacio. Algunos procesos son "locales" y actúan en el plazo corto o inmediato (unos pocos días) y causan la variabilidad en el estado del "tiempo" (lluvias de hoy, helada de la próxima madrugada, etc.). Otros procesos se ven afectados por la interacción entre la atmósfera, los océanos y la superficie de la tierra y resultan en variaciones del clima a escalas de meses (el caso más conocido de este tipo es el fenómeno de "El Niño" que por ejemplo afecta las lluvias de Uruguay en primavera). Existen también fenómenos que dependen de factores naturales y antropogénicos (causados por la acción del

hombre) que afectan la composición química de la atmósfera y causan variaciones del clima a escalas de varias décadas o siglos. Este último tipo de fenómenos incluye la variabilidad climática de largo plazo que comúnmente se conoce como "Cambio Climático".

Dadas todas estas consideraciones, una forma de fomentar la inclusión efectiva del tema "cambio climático" en la elaboración de políticas y en la toma de decisiones consiste en considerar a los cambios del clima de largo plazo dentro de todo el rango de variaciones climáticas: desde meses y estaciones hasta décadas o siglos, en contraposición a considerar los "cambios climáticos" en forma exclusiva y aislada. Utilizando este enfoque es posible generar información con diferentes escalas de tiempo que serán relevantes y utilizables para decisiones con diferentes horizontes.

Este enfoque introduce el tema de "cambio climático" como un problema del presente (en contraposición a un problema del "futuro") y apunta a informar y asistir a los procesos de toma de decisiones, planificación y elaboración de políticas para reducir la vulnerabilidad socioeconómica a la variabilidad y el cambio climáticos. El IRI (International Research Institute for Climate and Society, de la Universidad de Columbia), ha venido colaborando con el INIA de Uruguay utilizando este enfoque y lo han denominado "Gestión del Riesgo Climático". Dicho enfoque se basa en cuatro pilares fundamentales:

a) Identificar las principales vulnerabilidades y oportunidades relacionadas a la variabilidad y el cambio climático para un determinado sistema de producción agropecuario. Este proceso comienza con la participación de agentes públicos y privados que identifican sus principales desafíos relacionados con el clima, y prosigue con la modelación del sistema en estudio para identificar vulnerabilidades y oportunidades que pueden no haber sido identificadas.

b) Reducir las incertidumbres a través de la mejora en la capacidad de generar información relevante (de clima, vegetación, producción) y en mejorar el acceso, el entendimiento y la utilización de esa información por parte de los actores fundamentales (agencias de planificación/políticas/ desarrollo, asociaciones de agricultores, instituciones de seguros/ crédito rural, etc.)¹. La información relevante incluye: (a) entender cuáles son los factores climáticos que más han afectado la producción agropecuaria, y cuantificar los impactos observados en el pasado, (b) establecer sistemas de monitoreo de la situación climática y agropecuaria presente incluyendo información obtenida de satélites, y (c) proporcionar información climática relevante sobre el futuro: desde escala estacional (próximos 3 a 6 meses) hasta escalas de "cambio climático cercano" (próximos 10-30 años). Para que este proceso se desarrolle con éxito debe contar con el aporte coordinado de expertos en clima y en el sistema a gestionar.

c) Identificar tecnologías y prácticas apropiadas que permitan aprovechar las oportunidades en los años normales favorables así como tecnologías y prácticas que contribuyen a disminuir la vulnerabilidad de los sistemas agropecuarios a la variabilidad y el cambio climáticos (por ejemplo, diversificación, maximización del almacenaje de agua en el suelo, irrigación, materiales genéticos resistentes a las sequías, etc.).

d) Identificar intervenciones en políticas y arreglos institucionales que contribuyan a reducir la exposición a vulnerabilidades climáticas, y que permitan aprovechar las oportunidades en condiciones climáticas normales o favorables. La reducción de la exposición a riesgos se puede obtener por ejemplo: (a) con sistemas de alerta temprana y sistemas adecuados de respuesta ante crisis, y (b) transfiriendo parte de los riesgos (por ejemplo mediante seguros, créditos

¹ Por ejemplo los Sistemas de Información y Soporte para la Toma de Decisiones (SISTD) como el que existe en la unidad GRAS del INIA. Ejemplos de caracterización agroclimática se encuentran disponibles en <http://www.inia.org.uy/online/site/31382811.php>

dirigidos, etc.). Estas intervenciones son necesarias porque, aún cuando se lograra mejorar la generación, el acceso y la utilización de información relevante, y aún si se utilizan las mejores tecnologías disponibles, seguirán existiendo años climáticamente desfavorables (con sequías, inundaciones, heladas) por lo que se precisan herramientas y arreglos institucionales para reducir y/o transferir riesgos.

2.1.2 Objetivo general de la propuesta

Instalación de un servicio que permita brindar información sobre variables agroclimáticas y agroecológicas relevantes para los sistemas productivos predominantes.

El desarrollo del sistema propuesto deberá brindar información e indicadores que permitan la implementación de políticas agropecuarias tendientes a reducir riesgos y ofrecer al sector empresarial herramientas para mejorar la toma de decisiones y la planificación general de sus actividades.

2.1.3 Productos esperados

a) Definición de zonas agroecológicas homogéneas para las diferentes actividades productivas. Esto se lleva a cabo desarrollando una cartografía que considere la capacidad de uso del suelo y la climatología, utilizando promedios de largo plazo de temperaturas, precipitaciones, eventos extremos, entre otros.

b) Cuantificación de la variabilidad histórica encontrada en los resultados físicos y económicos de los diferentes subsectores productivos. Esto permite calcular la probabilidad de ocurrencia de diferentes desvíos de rendimientos, incluyendo los causados por eventos climáticos extremos, de modo de cuantificar el riesgo agroclimático.

c) Modelación de rendimientos de cultivos en los diferentes sectores en función de variables meteorológicas y opciones de

manejo. Esto permitirá calcular el riesgo climático asociado a una decisión particular dado un pronóstico que necesariamente consistirá en un sesgo en la distribución esperada de dichas variables meteorológicas.

d) Monitoreo permanente de variables climáticas (temperaturas, precipitaciones heladas, granizo) y agronómicas (balance hídrico del suelo, estado de la vegetación) que permita establecer sistemas de alerta temprana (por ejemplo de sequía, de enfermedades, etc.) para colaborar en la toma de decisiones previendo tanto condiciones adversas como favorables en el corto y mediano plazo.

e) Elaboración de indicadores climáticos y económicos que operen como soporte para el establecimiento e implementación de sistemas de seguros (cuantificación de riesgos, índices climáticos, etc.) y otros instrumentos de gestión de riesgos.

f) Elaboración de Sistemas de Alerta Temprana y de monitoreo de eventos extremos para apoyar a las autoridades gubernamentales para la previsión y respuesta ante situaciones de emergencia.

2.2 Gestión de agua

2.2.1 Introducción

El consumo de agua del sector agropecuario representa el 91% del total de los recursos hídricos consumidos en el país, siendo el cultivo de arroz su principal demandante con un consumo estimado de 2.800 millones de metros cúbicos por año (76.5%). En este subsector, un 55% de los recursos hídricos utilizados proviene de reservorios (represas), mientras que el 45% son provistos de tomas de agua directa de los ríos. El consumo humano, tanto a nivel urbano como rural, y el uso industrial, representan algo más del 2% respectivamente del consumo total².

²Basado en Informe TCP/URU/0167 (F) de FAO, mayo de 2004. El informe fue elaborado por Cardellino, Guillermo; Floto, Edgardo y Payssé, Diego.

El desarrollo del riego en el Uruguay - excluyendo el arroz- fue relativamente modesto hasta principios de los años 90, básicamente debido a que la producción dominante era la ganadería extensiva y a que el régimen de lluvias del país, en general, permite la producción de cultivos y praderas en condiciones de secano. Sin embargo, se han realizado transformaciones significativas en estos últimos años, donde se han ampliado y diversificado las actividades agropecuarias, industriales y de servicios conexos con el agro. Para ello han incidido varios factores entre los que se encuentran la mayor apertura de la economía, el aumento de la productividad de la mayoría de los rubros, las inversiones nacionales y extranjeras, el impulso a las exportaciones no tradicionales y la coyuntura internacional de los precios de los productos de este origen. Esta intensificación de la producción genera una mayor demanda de agua y por tanto un mayor riesgo hídrico que a su vez se refleja en mayores riesgos económicos dada el alza de precios de la producción, los insumos y la tierra.

Por otro lado, el IPCC nos alerta en su cuarto informe que una de las señales más claras del cambio climático es el aumento de la variabilidad, lo cual se expresa en más frecuentes e intensos eventos extremos. La existencia de al menos tres episodios de sequía severa que se han dado en los últimos 15 años -actualmente se están viviendo las consecuencias de uno de ellos- nos muestra que nuestro país no escapa a esta realidad por lo que el aumento del riesgo de déficit hídrico está dado también por el lado de la oferta de agua. Esta combinación de razones que está volviendo más vulnerables al sector agropecuario frente a la variabilidad climática ha provocado un aumento del interés por el desarrollo del riego.

Por otra parte, la puesta en funcionamiento del Programa Nacional de Manejo de Recursos Naturales y Desarrollo del Riego (PRENADER)³, contribuyó a que el país pasara de 160.000 a casi 250.000 hectáreas regadas. Este incremento se da

fundamentalmente por proyectos arroceros. Sin embargo, de acuerdo a la opinión de quienes estuvieron en la ejecución de dicho programa, existen un par de razones por las cuales no se logró el impacto esperado en la adopción de esta tecnología en las áreas de producción tradicionalmente de secano: la falta de conocimiento de los productores agropecuarios del país en técnicas de riego y la falta de recursos financieros para ejecutar las obras complementarias y adquirir el equipamiento a nivel predial necesario para regar. Además, se ha considerado que existe una subutilización de la infraestructura de riego que se desarrolló en los últimos años, en unas 5000 has potenciales de riego de maíz/pasturas, con excepción del sector arrocero.

A esto debe agregarse la potencialidad que tiene nuestro país de incrementar la utilización del agua de escurrimiento superficial que al día de hoy es cosechada con fines de riego en aproximadamente un 5% solamente. Nuestro régimen de precipitaciones es irregular, llueve prácticamente todos los meses del año a un promedio anual de 1.000 milímetros (mm) en el sur del país y 1300 mm en el norte, pero con desviaciones anuales de hasta un 30% respecto de la media. Esta variabilidad hace difícil estimar la disponibilidad de agua en el suelo. Por otra parte, La evapotranspiración anual varía entre aproximadamente 1.000 mm en el noroeste a unos 850 mm en el sureste⁴ con variaciones dependiendo la estación del año. Esta variabilidad dentro del año determina que los suelos no tienen capacidad de almacenar toda el agua de lluvia y una parte significativa de los recursos hídricos no se almacenan ni se regulan. En general los meses de invierno se caracterizan por exceso de agua, decreciendo su disponibilidad a medida de que avanza el verano.

Respecto de los recursos humanos, el país cuenta con cierta capacidad técnica, pero está más concentrada en los sectores que han utilizado normalmente el riego. Además del cultivo de arroz, donde los

³ Este programa fue ejecutado entre 1993 y 2001 por parte del Gobierno, con el apoyo de un préstamo del Banco Mundial de US\$ 30 millones.

⁴ Basado en Informe FAO Op. Cit.

productores del rubro han contribuido a financiar desde mucho tiempo atrás la investigación en todos los aspectos del cultivo, incluyendo naturalmente al riego; también en el ámbito de los cultivos protegidos regados (invernaderos), sobre todo en la zona norte, orientados a la producción hortícola de primor donde se han desarrollado técnicas en interacción con programas de investigación. Sin embargo, no existe en el país oportunidades de capacitación a nivel de especialización o posgrado para profesionales y técnicos que se desempeñan en el ámbito privado y que quieren profundizar sus conocimientos en tecnologías modernas de riego, prácticas apropiadas de gestión del agua y manejo de los recursos naturales en sistemas de regadío para diferentes sistemas de producción (agrícola, ganadero, lechero, hortícola y frutícola). La inexistencia de suficientes profesionales preparados conspira contra cualquier intento de impulsar políticas de manejo de los recursos naturales y desarrollo del riego. Será necesario implementar también un sistema de capacitación y asistencia técnica a los productores y al personal en manejo de suelos y del agua de riego.

Por último, un objetivo a plantearse tiene que ver con la eficiencia del uso del agua de riego y la necesidad de realizar estudios de gestión de recursos hídricos con proyección de futuro en escenarios alternativos y tomando en consideración diferentes zonas productivas en los que el agua será sin duda un recurso escaso en cantidad o calidad lo que exige un manejo cuidadoso ceñido a parámetros científicos y atendiendo prioridades sociales y nacionales. En este sentido la legislación vigente establece que la administración del recurso debe hacerse a nivel de cuenca a través de los Comités de Cuenca que podrán recoger la experiencia de las Juntas de Riego. Es evidente la necesidad de fortalecer estos espacios con el fin de lograr una intensificación sostenible del uso y gestión del agua.

Ante cualquier uso directo del agua por actividades humanas, esta se escurre o se infiltra, lo que a su vez está relacionado con las características del suelo, el subsuelo, la topografía y el uso de la tierra. Este último,

por su dinamismo requiere de caracterización y monitoreo en cuanto a su efecto, incluyendo no solamente el aspecto cuantitativo (balance entre escurrimiento e infiltración) sino el cualitativo (calidad del agua). Los aspectos de disponibilidad, calidad y gestión del recurso agua son entonces temas de investigación de la mayor importancia, tanto fundamental como aplicada y que requieren de recursos humanos de alto nivel de formación para dar respuesta a tan compleja problemática.

Además el desarrollo del riego plantea necesidades de investigación y formación de recursos humanos que den respuesta a las restricciones o limitaciones para la correcta aplicación de la tecnología. Debe tomarse en cuenta que la mayoría de los sistemas de riego carecen de mediciones precisas del consumo de agua. La entrega volumétrica del agua en si misma no garantiza una mayor eficiencia del uso del agua de riego, pero permite establecer las bases sobre las cuales desarrollar estrategias para promover la implementación de prácticas sostenibles de manejo del suelo y del agua.

2.2.2 Objetivo general de la propuesta

Desarrollo de un conjunto de acciones en el ámbito institucional de la gestión de los recursos hídricos, la I+D, la formación de recursos humanos y la transferencia tecnológica, a los efectos de optimizar la gestión del agua a nivel de cuenca y fomentar un uso eficiente en los sistemas de producción agropecuarios.

2.2.3 Productos esperados

Fortalecimiento institucional de la gestión del agua. La legislación vigente establece que la administración del recurso debe hacerse a nivel de cuenca a través de los Comités de Cuenca que podrán recoger la experiencia de las Juntas de Riego. El apoyo a instituciones públicas con competencia en la gestión de los recursos hídricos a nivel nacional, posibilitará el desarrollo y evaluación de modelos de sistematización de tierra con fines de riego u ordenamiento hidrológico, así como su planificación ambiental y territorial.

Los resultados en el área de la I+D deberían orientarse al desarrollo de diferentes sistemas de producción que incorporen el riego suplementario mediante el empleo de herramientas tecnológicas aplicables para el uso y manejo de los recursos naturales. La información experimental en las áreas de agua - suelo - cultivo, así como la información económica, se incorporará a herramientas de programación y para la selección de sistemas de producción reales o diseñados bajo diferentes escenarios climáticos, edáficos, y de precios de los distintos productos agropecuarios.

Formación especializada de recursos humanos. Para alcanzar este producto en el marco del plan de acción, se deberán encarar las siguientes acciones:

- Formación especializada (nivel de posgrado) de recursos humanos en sistemas de información, gestión de los recursos hídricos, manejo del agua, sistematización de tierras y diferentes técnicas de riego.
- Generación de instancias de capacitación permanente para aquellos que van a ser transmisores en el primer eslabón de la cadena (profesionales independientes, técnicos de las cooperativas, organizaciones de productores y productores de punta).
- Promoción del desarrollo de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC), aplicando para ello instrumentos de capacitación a distancia.

En Transferencia de Tecnología los productos esperados serían:

- Fortalecimiento de las mesas tecnológicas como instrumento integrador de los diferentes actores de las cadenas agroindustriales.
- Fortalecimiento de las entidades intermedias de difusión y transferencia de tecnología (organizaciones de productores, cooperativas, instituciones públicas y privadas, entre otros)

2.3 Seguros y otros instrumentos financieros para la gestión de riesgos

2.3.1 Introducción

La actividad agropecuaria del país presenta una alta exposición a eventos climáticos que producen fluctuaciones en la producción y en la calidad de los productos. En las últimas décadas se ha evidenciado una tendencia de aumento de la frecuencia e intensidad de eventos extremos - normalmente poco frecuentes - y la mayoría de los escenarios de cambio climático (por ejemplo los incluidos en el último informe del IPCC) sugieren que esa tendencia va a continuar. Esto genera una creciente variabilidad en los resultados económicos y de no recurrirse a la utilización de instrumentos de gestión de riesgos la actividad agropecuaria se vería cada vez más amenazada, con situaciones de endeudamiento, falta de inversión y de incorporación de tecnología, llegando hasta la posible exclusión de los productores más vulnerables.

Desde el punto de vista de las políticas públicas, es altamente deseable alcanzar la mayor extensión y desarrollo posibles de mecanismos de coberturas para el sector agropecuario que contribuyan a estabilizar el ingreso de las explotaciones y a reducir la vulnerabilidad e incertidumbre del sector. Estos mecanismos promueven el aumento de la capacidad de adaptación a la variabilidad climática del presente y de la que pueda traer el cambio climático.

Los principales eventos climáticos extremos que ocurren en el país son granizo, vientos fuertes, tempestades, excesos y déficits hídrico (inundaciones, sequías) y heladas. Cuando estos eventos se relacionan con sus posibles efectos adversos sobre la producción agropecuaria, se denomina riesgo agroclimático. Su incidencia en la magnitud de los daños y consiguientes pérdidas económicas depende de la vulnerabilidad de la producción que se considere (cereales, horticultura, ganadería, lechería, entre otros), del momento en que ocurren y de la frecuencia e intensidad con la que esos eventos ocurren.

La gestión de cualquier riesgo implica la aplicación sistemática de acciones/procedimientos con el fin de caracterizarlo, cuantificarlo y mitigarlo, así como hacer un seguimiento de su evolución para poder anticipar posibles efectos futuros. Por consiguiente, para la aplicación de instrumentos de gestión en el sector agropecuario se requiere conocer la magnitud del riesgo agroclimático.

El diseño de un adecuado sistema de seguros y otros instrumentos financieros para la gestión de riesgos constituye un factor determinante para el desarrollo agropecuario, así como un elemento articulador de las políticas públicas hacia el sector. Esta lógica de cobertura y gestión del riesgo climático, apunta a la planificación de estrategias anticipatorias y no solamente a reaccionar ex-post a la ocurrencia de los mismos.

2.3.2 Estrategias propuestas

En este sentido se proponen dos grandes lineamientos de políticas para promover y mejorar la gestión integral del riesgo agroclimático: a) estimular el desarrollo de los seguros agrícolas convencionales y de los basados en índices climáticos, facilitando la generación y acceso a la información necesaria para el cálculo del riesgo agroclimático, y b) promover la generación de métodos para la creación y operación de fondos de catástrofes.

a) Estimular el desarrollo de los seguros agrícolas convencionales y de los basados en índices climáticos, facilitando la generación y acceso a la información necesaria para el cálculo del riesgo agroclimático.

El seguro agrícola es un instrumento financiero por el cual el productor transfiere el riesgo de pérdida de producción a una entidad aseguradora por causa de un evento (incendio, granizo, etc). Para poder asumir ese riesgo y tarifar la cobertura, la

aseguradora necesita conocer su magnitud que se estima por la probabilidad de ocurrencia de pérdidas. Esto es lo que se denomina prima de riesgo (o "prima pura"), siendo equivalente también al riesgo agroclimático cuando es de origen climático exclusivamente.

Las tarifas de seguros incluyen básicamente los siguientes componentes:

- La prima de riesgo,
- Los costos de administración y gestión,
- Los costos de peritación de siniestros,
- El costo del reaseguro (prima de reaseguro),
- Las reservas de seguridad (reservas técnicas),
- La ganancia de la empresa aseguradora.

Para estimar la probabilidad de ocurrencia de pérdidas en un determinado cultivo por efecto de un evento climático, se debe determinar la frecuencia del mismo, el umbral a partir del cual produce pérdidas y la magnitud de las mismas, para lo cual se necesita disponer de suficiente información.

El tipo y número de riesgos que puedan incluir las coberturas de seguros depende de la información disponible, tanto climática como de pérdidas de producción por cultivo. En el país los riesgos como granizo, viento e incendio están suficientemente cubiertos por el seguro agrícola (en su modalidad "de riesgos nominados") y en algunos cultivos éste cubre además riesgos como exceso hídrico en cultivos de invierno y bajas temperaturas en arroz. Existe muy poco desarrollo de los seguros de rendimiento⁵ por su mayor costo respecto a los de riesgos nominados y porque se necesitan datos históricos de producción por productor. El mayor costo se explica por la necesidad de inspecciones de chacras a los efectos de recoger información al contratar el seguro y ante la ocurrencia del siniestro, así como por el mayor número de riesgos incluidos (aumenta la prima de riesgo).

Una oferta amplia de coberturas a diferentes riesgos y producciones promovería la extensión del seguro en todo el territorio, otorgando la necesaria dispersión de los

⁵El seguro de rendimiento, es aquel que cubre un cierto nivel de desvío respecto a un rendimiento normal o esperado.

riesgos en tiempo y espacio que requiere la actividad aseguradora, lo que a su vez reduciría el costo de las tarifas. Las demandas sectoriales identificadas están concentradas en: i) necesidad de desarrollo de coberturas que abarquen todo el ciclo productivo; ii) asegurar el valor del cultivo en función de su rendimiento y calidad (U\$/ha); iii) simplificación del peritaje; iv) liquidación de daños según resultado de cosecha.

Para mejorar la oferta de las coberturas agrícolas convencionales es necesario mejorar la disponibilidad de información requerida para la medición de los diferentes riesgos, que va más allá de la climatológica.

Las coberturas basadas en índices climáticos parecen constituir una alternativa factible para superar algunas de las limitaciones que tienen los seguros tradicionales para cubrir los eventos climáticos de alto impacto (catastróficos) y en los casos donde la evaluación de la siniestralidad resulta muy onerosa y difícil de estimar (sequía en pasturas). Es un instrumento financiero novedoso que protege de una eventual pérdida económica relacionada con la evolución de una variable climática con alta relación con el riesgo a proteger (ej. cantidad de lluvia - sequía) y no con un volumen de producción. El seguro cubre por ejemplo, niveles de lluvia y no niveles de daño, por tanto no se indemniza en base al peritaje del siniestro, resultando en métodos sencillos y poco costosos de monitoreo que lo hacen atractivo para dar cobertura a pequeños productores que no pueden acceder a mecanismos tradicionales de seguros.

Sin embargo, este tipo de seguro exige un proceso de análisis y verificación de la información disponible y en muchos casos se requiere generación de la misma para poder estimar la correlación entre el índice seleccionado y el daño, ajustar el umbral a partir del cual se activa la indemnización, las probabilidades de ocurrencia, el estado del cultivo que presenta mayor exposición al

riesgo considerado, etc. Por tanto, exige un periodo previo de tiempo para su ajuste y posterior implementación, de modo que el "riesgo de base"¹⁶ sea mínimo.

El desafío planteado es por tanto el establecimiento de un programa de generación de información que permita el desarrollo de programas de seguros, ya sean convencionales, basados en índices climáticos o de rendimientos, es decir un sistema de información y soporte para la toma de decisiones que permita aportar dicha información.

b) Promover la generación de métodos para la operación de fondos de catástrofes.

En el caso de los fenómenos climáticos catastróficos -de baja frecuencia pero de alto impacto negativo por su extensión territorial e intensidad- que generan pérdidas cuantiosas difícilmente asumibles por el sector asegurador (ej. sequías muy extremas) existen otras opciones de gestión como los fondos de contingencia o de emergencia, que complementan la acción de los seguros y normalmente son operados por los gobiernos.

Ante la ocurrencia de ese tipo de fenómenos climáticos catastróficos el apoyo estatal a los productores afectados (ayudas directas, diferimiento de obligaciones tributarias, refinanciaciones bancarias, entre otras) no ha estado basado en previsiones que tomen en cuenta la frecuencia y magnitud de las pérdidas, sino que depende de las disponibilidades de recursos en ese momento. Cada vez existe mayor consenso tanto desde el Estado como desde los productores en que el tema debe ser tratado dentro del marco de política agrícola nacional, en el entendido que una cobertura adecuada del sector implica globalmente un mayor desarrollo, incentiva la innovación tecnológica y respalda a los programas de fomento. Si bien recientemente se ha creado un fondo de emergencia agropecuaria

¹⁶Riesgo de base: El riesgo de base más común es que el índice indique que hubo un daño cuando en realidad no lo hubo, o viceversa: que el índice indique que no hubo daño y en realidad sí lo hubo. Puede darse por una mala distribución de las estaciones meteorológicas en la región asegurada, porque el índice no está bien calculado o cuando no es un buen indicador del riesgo que se busca cubrir.

administrado por el gobierno, la estimación y previsión de las necesidades para atender estas situaciones contribuiría a su gestión y administración.

Asimismo, la contratación por parte del Estado de un seguro de índice climático o de catástrofe, facilitaría su financiamiento con aporte de fondos frescos al momento de ocurrencia de la catástrofe. El sistema de información y soporte para la toma de decisiones podría ser un instrumento válido para brindar la información necesaria a las autoridades de gobierno para la toma de decisiones en situaciones extremas como son las declaraciones de catástrofes, determinación de las regiones afectadas, cuantificación de los daños a los efectos de la indemnización, etc. Igualmente, el sistema podría contribuir a estimar las previsiones de recursos financieros que deberían contar esos fondos a los efectos de mitigar los daños que los distintos tipos de eventos catastróficos puedan producir (sequía, inundaciones, etc.).

Además del establecimiento de un sistema que genere la información necesaria para calcular riesgos, -ya sean los frecuentes y de relativo poco daño, o los catastróficos- es necesario establecer programas piloto donde se utilice esa información y se enfrenten los desafíos que surgen al intentar implementar nuevos instrumentos como los seguros de índices (cómo se monitorean los índices, cómo afectan los pronósticos climáticos probabilísticos, como se reducen los riesgos de base, entre otros).

2.3.3 Propuesta de acciones en el corto y mediano plazo para el logro de esta opción

-Realizar un Mapa de vulnerabilidad (déficit y excesos hídricos) en zonas agroecológicas "homogéneas" y "específicas" considerando probabilidad de ocurrencia de pérdidas en los rubros predominantes

-Incorporar procedimientos sistemáticos para recolectar información sobre pérdidas ocasionadas por factores climáticos en ensayos de investigación

-Establecer programas piloto donde se utilice la información generada y se enfrenten los desafíos que surgen al intentar implementar nuevos instrumentos como los seguros de

índices

-Nuevos arreglos institucionales para gestionar los seguros por parte del sector público, de aseguradoras y de los productores

-Estimar las necesidades para atender las situaciones de emergencia agropecuaria para contribuir a una mejora de la gestión y administración de los fondos de emergencia

-Prever mecanismos de financiamiento para el próximo Presupuesto Nacional a efectos de asegurar el aporte de fondos frescos al momento de ocurrencia de la catástrofe

-Evaluar la posibilidad de aplicar subsidios directos a determinadas coberturas de riesgo de importancia social.

-Difundir la importancia de la utilización de este tipo de instrumentos por parte de los productores. El gobierno podría realizar una contribución en esta dirección.

VI Referencias bibliográficas

AIACC, 2006. Final Report Project LA 27, Climate Change and Variability in the Mixed Crop/Livestock Production Systems of the Argentinean, Brazilian and Uruguayan Pampas (Gimenez, Agustin et al).

http://www.aiaccproject.org/Final%20Report%20s/Final%20Reports/FinalRept_AIACC_LA27.pdf

Arora, M.; Goel, N.K.; Singh, P. 2005. Evaluation of temperature trends over India. Hydrological Sciences Journal. 50: 81-93.

Baethgen, W. E. and D. L. Martino. 2004. Mainstreaming climate change responses in economic development of Uruguay. In: OECD Global Forum on Sustainable Development. Environment Directorate. Environment Policy Committee. OECD, Paris. ENV/EPOC/GF/SD/RD(2004)2

Baethgen, W.E., H. Meinke y A. Gimenez. 2004. Adaptation of agricultural production systems to climate variability and climate change: lessons learned and proposed research approach IN: Insights and Tools for Adaptation: Learning from Climate Variability, NOAA - OGP, Washington, D.C.

ENV/EPOC/GF/SD/RD, Organisation for Economic Co-operation and Development, Paris.

Baethgen, W. y Martino, D. 2003. Cambio Climático, Gases de Efecto Invernadero e Implicancias en los Sectores Agropecuario y Forestal del Uruguay.

http://www.inia.org.uy/disciplinas/agroclima/publicaciones/ambiente/cc_gei_agrop_forestal.pdf

Baethgen, W.E. 1997. Vulnerability of the agricultural sector of Latin America to climate change. *Climate Res.* 9:1-7

Baethgen, W.E. y G.O. Magrin. 1995. Assessing the impacts of climate change on winter crop production in Uruguay and Argentina using crop simulation models. IN: C. Rosenzweig et al. (eds.), *Climate Change and Agriculture: Analysis of Potential International Impacts*. American Society of Agronomy Special Publication 59, Madison WI, pp. 207-228.

Barros, V.; Castañeda, E.; Doyle, M. 2000. Recent precipitation trends in Southern South America to the East of the Andes: an indication of a mode of climatic variability. Capítulo del libro: *Southern Hemisphere Paleo and Neo- climates. Concepts, methods, problems*. Springer, Berlin.

Camilloni I. y Bidegain, M. 2005. Escenarios Climáticos para el siglo XXI. *El Cambio Climático en el Río de la Plata* (Eds.) Barros V, A Menéndez, GJ Nagy, III:17:167-171, CIMA, Bs As, Argentina, 200pp.

Castañeda, M. E. y Barros, V. 1994 .Las tendencias de la precipitación en el Cono sur de America al este de los Andes. 1994. *Meteorológica*. pp 23-32.

Del Ponte, E.M. 2004. Aspectos epidemiológicos e simulação do risco da giberela do trigo (*Triticum aestivum* L.) baseada no hospedeiro, níveis de inóculo e ambiente. Ph.D. thesis. Universidade Federal de Pelotas, RS, Brazil.

Del Ponte, E., Fernandes, M., & Pierobom, C., 2004. Factors Affecting Density of Airborne *Gibberella zeae* Inoculum. *Fitopatol. bras.* 30(1), jan - fev 2004

Derner, J. D., H. B. Johnson, B. A. Kimball, P. J. Pinter Jr, H. W. Polley, C. R. Tischler, T. W. Boutton, R. L. Lamorte, G. W. Wall, N. R. Adam, S. W. Leavitt, M. J. Ottman, A. D. Matthias and T. J. Brooks. 2003. Above- and below-ground responses of C3 C4 species mixtures to elevated CO₂ and soil water availability. *Global Change Biology*, 9 (3):452-460

Hoftadter, R. and Bidegain, M., 1997. "Performance of General Circulation Models in southeastern South America". *Climate Research. Climate Research*, Vol. 9, N°1 and 2.

Hundecha, Y. y Bárdossy, A. 2005. Trends in daily precipitation and temperature extremes across western Germany in the second half of the 20th century. *Int. Journal of Climatology*. 25:1189-1202.

IPCC, 2007a. Intergovernmental Panel on Climate Change, Working Group I Contribution of to the Fourth Assessment Report, *Climate Change 2007: The Physical Science Basis, Summary for Policymakers*. <http://www.ipcc.ch/SPM2feb07.pdf>

IPCC, 2007b. Intergovernmental Panel on Climate Change, Working Group II Contribution to the Fourth Assessment Report, *Climate Change 2007: Climate Change Impacts, Adaptation and Vulnerability, Summary for Policymakers* <http://www.ipcc.ch/SPM6avr07.pdf>

Kolshus, H.H. 2001. Carbon sequestration in sinks: An overview of potential and costs. CICERO Working Paper 2001: 11. Center for International Climate and Environmental Research, Oslo, Norway.

IPCC. 1995. *Climate change 1995: The science of climate change. Report of the Scientific Assessment Working Group of IPCC: Summary for policy makers and Technical summary of the working group I report*. IPCC/WMO.

IPCC 1996. *Climate Change 1995: The Science of Climate Change*, Intergovernmental Panel on Climate Change; J.T. Houghton, L.G. Meira Filho, B.A. Callander, N. Harris, A. Kattenberg, and K. Maskell, eds.; Cambridge University Press. Cambridge, U.K.

IPCC. 2001. *The Third Assessment Report (TAR)*.
http://en.wikipedia.org/wiki/IPCC_Third_Assessment_Report

IPCC Data Distribution Center (www.dkrz.de/ipcc/ddc/html/SRES/SRES_all.html).

Kimball, B.A., Kobayashi, K., Bindi, M., 2003. Responses of agricultural crops to free-air CO₂ enrichment. *Adv. Agron.* 77, 293-368.

Leakey, A.D.B., M. Uribeharrea, E. A. Ainsworth, S.L. Naidu, A. Rogers, D.R. Ort and S.P. Long. 2006. Photosynthesis, Productivity, and Yield of Maize Are Not Affected by Open-Air Elevation of CO₂ Concentration in the Absence of Drought. *Plant Physiology*, Vol. 140, pp. 779-790,

Mekis, E. y Vincent, L.A. 2005. Precipitation and temperature related climate indices for Canada. *Proceedings of the 16th Conference on Climate Variability and Change - AMS*.

Parton, W.J., D.S. Schimel, C.V. Cole y D.S. Ojima. 1987. Analysis of factors controlling soil organic matter levels in Great Plains grasslands. *Soil Scie. Soc. Am. J.* 51:1173-1179.

Reilly, J., W.E. Baethgen, F.E. Chege, S.C. van de Geijn, Lin Erda, A. Iglesias, G.Kenny, D.Patterson, J. Rogasik, R. Ritter, C. Rosenzweig, W. Sombroek and J. Westbrook. 1996. *Agriculture in a changing climate: impacts and adaptation*, IN: *Changing Climate: Impacts and Response Strategies*, Report of Working Group II of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.

Rosenzweig, C. y A. Iglesias (eds.) 1994. *Implications of Climate Change for*

International Agriculture: Crop Modeling Study. USEPA 230-B-94-003, Washington, D.C.

Schneider, S.; J. Sarukhan; J. Adejuwon; C. Azar; W.E. Baethgen; C. Hope; R. Moss; N. Leary; R. Richels y J.P. van Ypersele. 2001. *Overview of Impacts, Adaptation, and Vulnerability to Climate Change* pp 75-103. IN: *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability*, (McCarthy, J. J., Canziani, O., Leary, N. A., Dokken, D. J. and White, K. S. eds.) Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge University Press.

Semenov M.A., Brooks R.J., Barrow E.M. & Richardson C.W (1998): Comparison of the WGEN and LARS-WG stochastic weather generators in diverse climates. *Climate Research* 10, 95-107.

Semenov MA & Barrow EM (1997) Use of a stochastic weather generator in the development of climate change scenarios. *Climatic Change*, 35 :397-414

Travasso, M. I., G. O. Magrin, W. E. Baethgen, J. P. Castaño, G. R. Rodríguez, J.L. Pires, A. Gimenez, G. Cunha, and M. Fernandes. 2006. *Adaptation Measures for Maize and Soybean in Southeastern South America*. AIACC Working Paper No. 28

Tsuji, G.Y., G. Uehara and S. Balas (eds.). 1994. *DSSAT v3.0*. University of Hawaii. Honolulu, Hawaii.

Unidad de Cambio Climático de la DINAMA del MVOTMA, PNUD, GEF, 2005. "Análisis de la estadística climática y desarrollo y evaluación de escenarios climáticos e hidrológicos de las principales cuencas hidrográficas del Uruguay y la Zona Costera" (Caffera, M., Nagy, G., Bidegain, M. y colaboradores).

Otra bibliografía nacional consultada

Baethgen, W. E. 2007. *Gestión de Riesgos Climáticos en el Sector Agropecuario de Uruguay para la Adaptación al Cambio*

Climático. Informe de Desarrollo Humano en el Uruguay. PNUD, Montevideo, Uruguay.

Baethgen, W. E. y A. Giménez. 2003 La Variabilidad Climática, el Cambio del Clima y el Sector Agropecuario. IN: Jornada de Clima y Restricciones Hídricas de Pasturas en Zonas Ganaderas, 30 de junio de 2004, Tacuarembó, Uruguay.
http://www.inia.org.uy/disciplinas/agroclima/publicaciones/ambiente/clima_tcbo_0406.pdf

Baethgen, W.E. 2004. Caracterización de la Variabilidad de Rendimientos de Cultivos Agrícolas Extensivos y Estimación de Niveles de Rendimientos de Emergencia. MGAP.
<http://www.mgap.gub.uy/opypa/SegurosAgropecuarios/Variabilidad%20en%20Cultivos%20Extensivos.pdf>

Baethgen, W.E.y M. Carriquiry. 2006. Caracterización de la Variabilidad de los Rendimientos de Cultivos Agrícolas Extensivos en Uruguay. IICA Coyuntura.
http://www.iica.org.uy/online/coyuntura_28doc.asp

Martino, D. 2009. Uruguay: Documento de Discusión Nacional acerca de los Asuntos Claves en el Análisis de la Mitigación del Cambio Climático en la Agricultura. PNUD, Dirección de Políticas de Desarrollo, Grupo de Medio Ambiente y Agricultura. Montevideo, Uruguay

Oyhantçabal, W. 2008. La imprescindible adaptación al cambio climático en el sector agropecuario uruguayo. Coyuntura Agropecuaria. IICA Uruguay.
http://www.iica.org.uy/online/coyuntura_50_doc.asp

Ramos Mañé, C., S. Giordano y C. D. Vítora. 1998. Plan de Acción para el Cambio Climático en Uruguay. COMISIÓN NACIONAL SOBRE EL CAMBIO GLOBAL, URUGUAY.
http://www.gcario.org/CSP/pdf/uruguay_snapc.pdf

Unidad de Cambio Climático. 2004. Segunda Comunicación Nacional de Uruguay a la Conferencia de las Partes en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC), MVOTMA, Montevideo, Uruguay.