

**2da COMUNICACIÓN NACIONAL SOBRE EL CAMBIO CLIMATICO**

**Componente B3**

**VULNERABILIDAD DE LA  
PRODUCCION AGRICOLA EN LA  
REGION PAMPEANA  
ARGENTINA**

**Informe Final**

Graciela O. Magrin

María I. Travasso

Gustavo M. López

Gabriel R, Rodríguez

Augusto R. LLoveras

## INDICE

<b>Resumen ejecutivo</b>	<b>4</b>
<b>Executive Summary</b>	<b>8</b>
<b>Presentación</b>	<b>12</b>
<b>Capítulo 1: Área de estudio</b>	<b>14</b>
<i>1.1 Caracterización</i>	<i>14</i>
<i>1.2 Zonificación</i>	<i>18</i>
<i>1.3 Características edafoclimáticas</i>	<i>20</i>
<i>1.3.1 Clima</i>	<i>20</i>
<i>1.3.2 Suelos</i>	<i>21</i>
<i>Referencias</i>	<i>22</i>
<b>Capítulo 2: Situación Actual</b>	<b>24</b>
<i>2.1 Uso de la tierra</i>	<i>24</i>
<i>2.2 Caracterización de los sistemas productivos</i>	<i>28</i>
<i>2.2.1 Consumo de Fertilizantes</i>	<i>28</i>
<i>2.2.2 Siembra directa</i>	<i>30</i>
<i>2.2.3 Consumo de combustible</i>	<i>31</i>
<i>2.3 Análisis económico de los sistemas productivos</i>	<i>31</i>
<i>2.3.1 Variables económicas</i>	<i>32</i>
<i>2.3.2 Elasticidad de sustitución de cultivos</i>	<i>34</i>
<i>2.3.2.1 Precios de los productos</i>	<i>34</i>
<i>2.3.2.2 Costo de Implantación y Producción</i>	<i>36</i>
<i>2.3.2.3 Margen bruto</i>	<i>37</i>
<i>2.4 Conclusiones</i>	<i>39</i>
<i>Referencias</i>	<i>40</i>
<b>Capítulo 3: Emisión de Gases de efecto invernadero</b>	<b>41</b>

3.1	<i>Emisiones de óxido nitroso procedente de los suelos agrícolas</i>	41
3.2	<i>Emisiones de CO2 proveniente del uso de combustible</i>	43
3.3	<i>Total de emisiones</i>	44
3.4	<i>Conclusiones</i>	44
	<i>Referencias</i>	45
<b>Capítulo 4:</b>	<b>Impactos potenciales del cambio climático</b>	<b>46</b>
4.1	<i>Información básica</i>	46
4.1.1	<i>Suelos</i>	46
4.1.2	<i>Clima</i>	48
4.1.3	<i>Manejo de los cultivos y cultivares</i>	48
4.2	<i>Estimación de rendimientos</i>	48
4.2.1	<i>Rendimientos base</i>	48
4.2.2	<i>Impactos potenciales del CC sobre los rendimientos</i>	50
4.2.3	<i>Incertidumbres</i>	57
4.3	<i>Conclusiones</i>	58
	<i>Referencias</i>	59
<b>Capítulo 5:</b>	<b>Adaptación</b>	<b>62</b>
5.1	<i>Medidas de adaptación</i>	62
5.1.1	<i>Sistema de alquiler condicionado</i>	62
5.1.2	<i>Transformación en origen de los productos</i>	64
5.1.3	<i>Cambios en fechas de siembra</i>	65
5.1.4	<i>Riego suplementario</i>	68
5.2	<i>Conclusiones</i>	70
	<i>Referencias</i>	70
<b>Lista de Acrónimos</b>		<b>72</b>
<b>Anexo 1</b>		<b>74</b>
<b>Anexo 2</b>		<b>77</b>

## Resumen Ejecutivo

La región de estudio cubre una superficie cercana a las 60 Mha, de las cuales alrededor del 30% está dedicada a los cultivos de soja, trigo, maíz y girasol. La misma se ubica entre los límites de 600 a 1200 mm de precipitación anual, 18 a 26°C de temperatura máxima media anual y 6 a 14 °C de temperatura mínima media anual. Para este estudio se consideraron 12 zonas de acuerdo a las características edafo-climáticas, y el uso actual y potencial del suelo. En base al Índice de Productividad de los Suelos (IP) se definió la aptitud de cada zona (agrícola, agrícola-ganadera, ganadera-agrícola) identificando las series de suelos predominantes para cada categoría y zona a escala 1:2.500.000. Se conformó una base de datos con las características físico-químicas de 48 series de suelos.

Durante los últimos 10 años se observó un importante cambio en el uso de la tierra y la producción de cultivos. La soja pasó a ocupar entre el 56 y 57% de la superficie cultivada, siendo en la zona mixta del noroeste de Buenos Aires y sur de Córdoba, la zona lechera del centro de Santa Fé y centro este de Córdoba y la zona agrícola- ganadera del centro de Córdoba donde se observó mayor crecimiento.

Otro cambio importante en los sistemas de producción está relacionado con los sistemas de labranza. La siembra directa se está expandiendo a un ritmo sostenido en todas las zonas de producción, especialmente en el cultivo de soja. Actualmente algo más del 41% del trigo, 50% del maíz, 73% de la soja y 15% del girasol se realiza en siembra directa.

Se ha evidenciado asimismo un importante incremento del uso de fertilizantes, el tonelaje total de fertilizantes consumidos en el área de estudio por los cuatro cultivos en la campaña 2003/04 (1.22 Mt) representó un 54% del total de fertilizantes utilizados en el país.

De acuerdo a las estimaciones de consumo de fertilizantes y combustibles, área sembrada y producción de los cultivos, se estimaron las emisiones de óxido nitroso y dióxido de carbono para el ciclo agrícola 2003/2004. Según estas estimaciones las emisiones directas e indirectas de óxido nitroso (considerando solamente los cultivos de trigo, maíz, girasol y soja en las 12 zonas de estudio) ascendieron a 42,61 Gg N<sub>2</sub>O-N. La principal fuente emisora resultó ser la fijación simbiótica de la soja (45,2%), seguida por los residuos de cosecha (37,6%), y el uso

de fertilizantes (17,2%). Desagregando los resultados por zonas, la zona agrícola núcleo (8) que ocupa el 11% de la superficie de estudio aportó casi el 38% de este tipo de emisiones. Los consumos anuales de gasoil para todas las actividades comprendidas en los cuatro principales cultivos, y que involucran 19.4 Mha, alcanzan cerca de 735 millones de litros (MI), con una participación prácticamente similar entre los cultivos de siembra directa (371 MI) y los convencionales (363 MI). Considerando este consumo de gasoil, las emisiones de CO<sub>2</sub> provenientes de las labores agrícolas totalizaron 1.948,9 Gg CO<sub>2</sub>.

La caracterización económica actual del sector se efectuó mediante el análisis de los márgenes brutos por cultivo y zona para el lapso 1994/95 – 2004/05. Los márgenes brutos se calcularon en base a los costos de implantación y producción; los gastos de cosecha, comercialización e impuestos; los precios de los productos y los rendimientos esperados, bajo dos sistemas de tenencia de la tierra (campo propio y arrendamiento). Cabe destacar el alto retorno del cultivo soja en casi todas las zonas consideradas. Un tema de relevancia en los márgenes brutos es la relación campo propio versus campo arrendado. Esta última modalidad, que representa aproximadamente el 50% de la superficie sembrada con cultivos anuales esta fuertemente relacionada con la expansión de la soja durante los últimos años, ya que este cultivo pasó a ser el más rentable para ese sistema de tenencia de la tierra.

Sin embargo, esta expansión de la soja alentada por los aspectos económicos está poniendo en riesgo la sustentabilidad de nuestros sistemas de producción. La soja es un cultivo con alta capacidad de extracción de nutrientes y la fertilización nitrogenada no es una práctica habitual, por otro lado la cantidad y calidad de residuos que aporta es muy baja. Como consecuencia, se producen balances negativos de carbono y nitrógeno que conducen a la disminución del contenido de materia orgánica de los suelos. El aparente “éxito” en el corto plazo se podría transformar en el futuro en importantes pérdidas ambientales y económicas si no se toman las medidas adecuadas.

Al analizar la influencia de variables económicas sobre el uso de la tierra y la elasticidad de sustitución entre cultivos en la región Pampeana, se encontró que la decisión de sembrar los cultivos de trigo y maíz está estrechamente relacionada con el precio esperado del producto, en cambio para el cultivo de soja es el costo de implantación y producción el que más influye. A medida que se reduce el costo de implantación se incrementa proporcionalmente el área sembrada, el costo de implantación explica en promedio para toda la región el 82% de la

variabilidad del área sembrada, llegando a valores máximos de 96%. Teniendo en cuenta las tendencias alcistas y bajistas de los costos de implantación y producción de maíz y soja respectivamente, es posible afirmar que parte de la expansión del cultivo de soja se debe a la reducción de sus costos de implantación.

Mediante el uso de modelos de simulación de la producción de cultivos se analizó el impacto de los escenarios climáticos futuros generados por el modelo regional del CIMA que fueron desarrollados para el 2080 bajo las condiciones de dos escenarios socioeconómicos futuros: el SRES A2 y el SRES B2.

Si no se considera el efecto biológico del incremento de CO<sub>2</sub>, el impacto del escenario A2 sería negativo en la mayor parte de la región, alcanzando una reducción promedio del rendimiento de 4% en trigo, 9% en maíz y 14 % en soja. Bajo las condiciones del escenario B2 la reducción media sería similar en trigo (3%) y algo menor en maíz (6%), mientras que en soja se esperan incrementos del 3%. Sin embargo se observó una gran variabilidad espacial.

El incremento de CO<sub>2</sub> conduciría a aumentos de rendimiento en todas las zonas para los tres cultivos, promediando 14% en trigo, 19% en maíz y 67% en soja bajo el escenario A2. Con el escenario B2, en promedio los rendimientos incrementarían un 6% en trigo, 11 % en maíz y 68% en soja.

El hecho de que la soja se constituyera en el principal cultivo del área Pampeana con prácticamente el 50% del área sembrada total y otro tanto en cuanto a la producción, refleja una realidad en materia de rentabilidad muy difícil de superar por otros cultivos. Si a esto se suma el hecho de que sería el cultivo menos afectado por los escenarios futuros, existe una gran probabilidad de que la tendencia a la expansión del cultivo continúe. Si esto sucediera se estaría poniendo en riesgo la sustentabilidad de los sistemas debido principalmente a la disminución del contenido de materia orgánica de los suelos que provoca este cultivo. Comparando treinta años de monocultivo de soja y de maíz en distintos sitios de la región, se encontró que las pérdidas de MO provocadas por la soja serían un 50% mayor. Esto indica que la rotación con gramíneas pasaría a ser una necesidad. De acuerdo a nuestros resultados, la rotación soja-maíz reduciría las pérdidas de materia orgánica en un 25% en relación al monocultivo de soja. Es por ello que se deben proponer medidas de adaptación tendientes a preservar la estabilidad del sistema.

Una medida de adaptación autónoma que se está observando a partir de los últimos dos años, es el “*sistema de alquiler condicionado*” que consiste en reducir los precios de alquiler de los campos si los contratos se prolongan por más de dos o tres campañas y se considera en ellos aspectos de sustentabilidad específicos como rotaciones que incluyan alternancia de gramíneas y leguminosas.

Otra medida de adaptación tendiente a mantener la sustentabilidad del sistema sería utilizar una relación 2,5:1 entre oleaginosas y cereales promoviendo la “*transformación en origen*”. Esto implica que parte de la producción (por ejemplo de maíz) permanezca en el lugar de origen y sea usada por la industria local o para la alimentación animal, agregándole valor al producto primario, en vez de venderla como *commodity*. Esta alternativa favorecería en muchos casos importantes ahorros, en transporte a puertos y retenciones fiscales entre otros. De este modo, suponiendo que la mitad de la producción de maíz fuera transformada en origen los beneficios económicos podrían duplicarse.

Entre las medidas de adaptación más comúnmente difundidas están las que proponen cambios en las fechas de siembra o el agregado de riego suplementario. Nuestros resultados indican que en el futuro convendría adelantar las siembras de trigo y maíz o atrasar la del cultivo de soja tratando de sacar ventaja de las nuevas condiciones ambientales donde los períodos libres de heladas serían más extensos. Considerando las zonas donde el impacto sería positivo, con el cambio en las fechas de siembra se lograrían beneficios que alcanzarían los 780 millones de U\$S en soja, 100 millones de U\$S en trigo y 31 millones de U\$S en maíz.

En relación al riego suplementario, si no se considera el efecto biológico del CO<sub>2</sub>, las necesidades hídricas de los cultivos podrían incrementar levemente especialmente en el centro y norte de la región.

## Executive Summary

The study region covers some 60 Mha, from which 30% is devoted to soybean, wheat, maize and sunflower crops. It lies between 600 to 1200 mm annual precipitations, 18 to 26°C mean annual maximum temperature and 6 to 14 °C mean annual minimum temperature. In this study were considered 12 zones according to their soil and climate, and the actual and potential land use. The Soil Productivity Index was used to define the aptitude (agriculture, agriculture-livestock, and livestock-agriculture) in each zone. Then, the predominant soil series (1:2.500.000) for each category and zone were identified and a soils data-base containing the physicochemical characteristics from 48 series was constructed.

During the last 10 years important changes in land use and crops production were observed in the region. Actually soybean is sown in 56-57% of the cropped area and the zones showing greater expansion are the mixed zone in NW Buenos Aires and S Cordoba, the dairy zone in central Santa Fe and centre-east Cordoba, and the agriculture-livestock zone in central Cordoba

Tillage systems have also changed all over the region. Zero tillage drastically increased in all zones, especially for soybean crops. Actually some 41% of wheat, 50% of maize, 73% of soybean and 15% of sunflower crops are cultivated under no tillage.

Also fertilizers consumption evidenced a huge increase. During the cropping season 2003/2004 the use of fertilizers in the study zone for the 4 crops involved accounted for 54% of the total amount used in the country.

Taking into account the use of fertilizers and fossil fuels, the planted areas, and crops production, we estimated the nitrous oxide and CO<sub>2</sub> emissions for the cropping season 2003/2004. The sum of direct and indirect nitrous oxide emissions (considering wheat, maize, soybean and sunflower crops in the 12 zones) attained 42,61 Gg N<sub>2</sub>O-N. The main source of emissions was the symbiotic fixation in soybean (45.2%), then the crop residues at harvest (37.6%) and the use of fertilizers (17.2%). The main crop production zone, which covers 11% of the study area contributed with 38% of these emissions. Annual gas-oil consumption (including all activities for the 4 crops) attained 735 million liters (MI), from which roughly one half corresponded to zero tillage (371 MI) and the other to conventional tillage systems

(363 Ml). From these values, total Co2 emissions corresponding to agricultural practices attained 1.948,9 Gg CO<sub>2</sub>.

Gross margins for each crop and zone for the period 1994/95 – 2004/05 were used to assess the economic characteristics of the sector. Gross margins were based on planting and production costs; harvest, commercialization and taxes expenses; product price, and expected yields considering two types of land tenure. It is important to remark the high economic return of soybean crops and the double crop wheat-soybean in almost all the zones involved. Another important issue is the relation between gross margins and land tenure. Hired lands represent some 50% of lands devoted to annual crops and this is closely related to soybean expansion as this crop is the most rentable for this land tenure system.

However, these issues contribute to seriously threaten our agricultural systems. Soybean is a very high nutrient extractive crop and nitrogen fertilization is not an usual practice, moreover this crop has low level and quality of crop residues and, as a result, lead to negative carbon and nitrogen balances with the consequent decrease in soil organic matter. This apparent success in the short term could represent serious environmental and economic losses in the future if adequate measures are not considered.

The influence of economic variables on land use and crop's substitution capacity was assessed in the Pampas Region. Results indicate that planting decisions in wheat and maize are strongly related to the product price, while for soybean the planting and production costs are more important. When the planting cost is reduced, planted areas increase proportionally. Planting cost explains 82% of the variability in planted area attaining a maximum value of 96%. Taking into account the upward and downward trends in planting and production costs of maize and soybean respectively, is licit to confirm that soybean expansion was due to the reduction in planting costs.

By means of crop simulation models the impact of future climatic scenarios generated by the regional model from CIMA developed for 2080 under the socioeconomic scenarios A2 and B2 was assessed.

If CO<sub>2</sub> increase is not taken into account, the impact of the scenario A2 could be negative in most of the region, attaining mean reductions of 4% in wheat, 9% in maize, and 14% in

soybean. Under B2 conditions the reductions would be similar to A2 in wheat (3%) and a little lower in maize (6%), while soybean yields could increase by 3%. However, a great spatial variability was observed.

The increase in CO<sub>2</sub> would lead to yield increases in the entire region for the three crops, averaging 14% in wheat, 19% in maize and 67% in soybean under A2 conditions. Under B2 these figures are 6%, 11% and 68% respectively.

At present soybean is the principal crop in the Pampas region, accounting for almost 50% of both, the total planted area and crops production, this reflect a reality in terms of profitability that is difficult to overcome by other crops. In addition, as soybean seems to be the less affected crop in the future is very likely that the trend to expand would continue. If it happens, the sustainability of agricultural systems could be seriously threatened because of the negative effect of soybeans on soil organic matter content. After the comparison of thirty years of soybean and maize monoculture in several sites of the region was found that loses of SOM provoked by soybeans could be 50% higher. This suggests that crops rotations with grasses would be a must. After our results, the soybean-maize rotation could contribute to reduce SOM loses by 25%. For this reason adaptation measures leading to preserve the stability of the system are required.

An autonomous adaptation measure that is occurring after the last two years is the “*conditioned rent system*” consisting in the reduction of the lands rental price when the contracts are prolonged by two or more years and aspects related to the sustainability of the systems, like the alternation of grasses and legumes in the rotation, are considered.

Another adaptation measure regarding sustainability could be the use of a 2.5:1 ratio between oil-seeds and cereals promoting the “*transformation in origin*”. This implies that part of the production (for example of maize) remains in the place of origin and is used for local industry or animal feeding, adding value to the primary product instead of its sell as commodity. This could lead to important savings in transportation to ports or fiscal retentions, among others. Assuming that half of the maize production could be transformed in origin, economic returns could be duplicated.

Changes in planting dates and supplementary irrigation are the most frequent proposed measures. Our results indicate that in the future should be convenient to advance planting

dates for wheat and maize, or to delay it for soybean in such a way that crops could take advantage of the new environmental conditions where frost free periods would be prolonged . Considering the zones with positive response to these changes in planting dates, benefits could attain up to 780 million U\$\$ in soybean, 100 million U\$\$ in wheat and 31 million U\$\$ in maize.

In relation to supplementary irrigation, if the physiological effect of CO<sub>2</sub> is not considered, crop water requirements could weakly increase, mainly in the northern and central part of the region.

## **Presentación**

En este informe se evalúa el impacto potencial del cambio climático sobre la producción agrícola de la región Pampeana y el aporte del sector como generador de cambio climático a través de las emisiones de gases de efecto invernadero.

En primer término se caracteriza la región de estudio y se realiza una minuciosa descripción de la situación inicial, considerando el uso actual de la tierra y su evolución durante la última década, el uso de insumos y la adopción de nuevos sistemas de labranza. Se considera además, la evolución de variables económicas y se identifican las probables causas del cambio en el uso de la tierra.

Luego, en base a la información obtenida, se cuantifica el aporte actual de la actividad a la emisión de gases de efecto invernadero. Se consideran las emisiones de óxidos de nitrógeno provenientes del uso del suelo agrícola y las emisiones de CO<sub>2</sub> provenientes de las labores de labranza, siembra, etc.

Más adelante se estiman, mediante el uso de modelos de simulación de cultivos (DSSAT V4.0), los rendimientos para las condiciones climáticas actuales (1981-1990) y para los escenarios climáticos futuros proyectados por el modelo MM5-CIMA para los escenarios A2 y B2 en el año 2080. Luego se calculan los impactos expresados como cambios relativos de rendimiento entre los dos períodos.

Finalmente se proponen medidas de adaptación dirigidas a reducir las pérdidas de producción y consecuentemente económicas y a mantener la sustentabilidad de los recursos naturales para evitar consecuencias mayores ante los cambios climáticos proyectados.

Los resultados se presentan en 5 capítulos, dos anexos y un Sistema de información georreferenciado (SIG). En el primer capítulo se caracteriza y zonifica el área de estudio y se sintetizan sus características edafoclimáticas. En el capítulo dos se presenta un diagnóstico biofísico y económico de los sistemas actuales de producción. En el capítulo tres se cuantifica el aporte de la actividad a la emisión de gases de efecto invernadero discriminando según zona, cultivo y sistema de producción. El capítulo cuatro incluye la evaluación del impacto del cambio climático sobre la producción de los cultivos de trigo, maíz y soja. En el capítulo

cinco se aborda el tema de la posible adaptación. Los anexos 1 y 2 contienen información suplementaria relacionada con el consumo de fertilizantes, la difusión de labranza cero, el consumo de gas-oil, y cartografías de las variables climáticas en las condiciones futuras. Por último el SIG incluye información georreferenciada que compendia las bases de datos y los principales resultados obtenidos.

# Capítulo 1

## Área de estudio

*Graciela O. Magrin, María I. Travasso, Gabriel R. Rodríguez*

### *1.1 Caracterización*

El área de estudio comprende la Región Pampeana que abarca a las provincias de La Pampa, Buenos Aires, Entre Ríos, Santa Fe y Córdoba cubriendo una superficie aproximada de 60 millones de hectáreas (Mha). En esta región, que concentran 21 millones de habitantes, la economía se basa en la producción y la industrialización agrícola-ganadera y es desde fines del siglo XIX el área de secano más productiva del país, concentrando actualmente más del 90% de la producción de soja y entre el 80 y 90% de la producción de trigo, maíz, sorgo, cebada y girasol. El Producto Bruto Geográfico (PBG) de las cinco provincias es superior al 60 por ciento del PBI. En términos de exportaciones, alcanzan el 70 por ciento del total país. En cuatro de las provincias, excepto Buenos Aires, las manufacturas de origen agropecuario, en términos de exportaciones, constituyen más del 85 por ciento del total de cada una de esas provincias.

La producción de granos, oleaginosas y la actividad ganadera, tradicionalmente se realizaban en forma conjunta, compitiendo entre ellas por el uso de la tierra. La diversificación de las actividades agropecuarias en el espacio y en el tiempo ha sido una estrategia comúnmente utilizada para aumentar la estabilidad de los sistemas de producción (Viglizzo et al., 1989). Los sistemas mixtos incluían rotaciones de cultivos y pasturas de diferente duración según la zona involucrada.

Sin embargo en los últimos años se registraron profundos cambios en los agrosistemas Pampeanos. Por un lado se registró un manifiesto crecimiento del sector agrícola y una notable intensificación del sistema productivo, debido principalmente a condiciones

económicas y ambientales más favorables y a la incorporación masiva de nuevas tecnologías. Por otro lado, se registró un cambio importante en las estructuras productivas. Entre 1988 y 2002 se verificó una disminución de las explotaciones agropecuarias y una mayor concentración, que supera a la registrada en el resto del país.

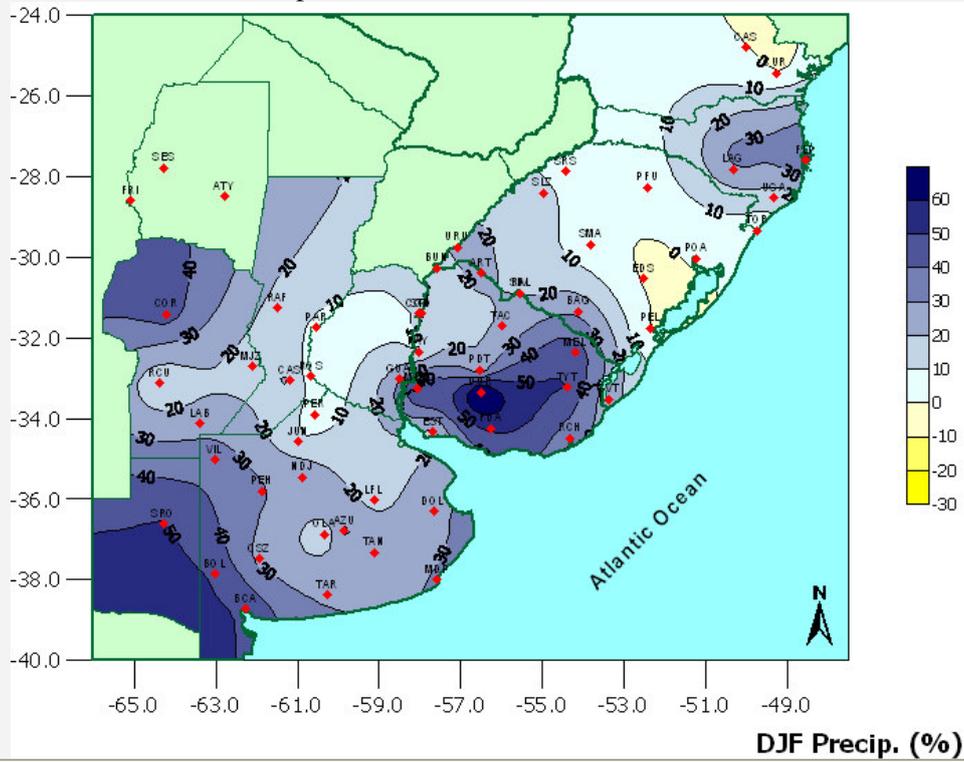
Las reformas económicas ocurridas a principios de los 90 crearon un ambiente macroeconómico más favorable para la inversión, producción y exportación agrícola lo que condujo al incremento de las tierras cultivadas en detrimento de las pasturas (Basualdo, 1995) con la consecuente expansión agrícola y la creciente amenaza de degradación de los suelos. La superficie de cultivos anuales aumentó en sólo un año (entre 1995/96 y 1996/97) un 16 por ciento.

En relación al clima, estudios previos han demostrado que el Sudeste de América del Sur, área comprendida por Argentina, Uruguay y el sudeste de Brasil, es una de las regiones del mundo donde se registraron los mayores cambios en el clima durante los últimos 30 años del siglo 20. Específicamente, en la región pampeana Argentina las lluvias de primavera-verano aumentaron entre un 10% y un 50% a partir de los años 60-70. Las temperaturas mínimas subieron hasta 1.9°C y las máximas se redujeron hasta 2.0°C (Castañeda & Barros, 1994; Barros et al., 2000, Bidegain et al., 2005).

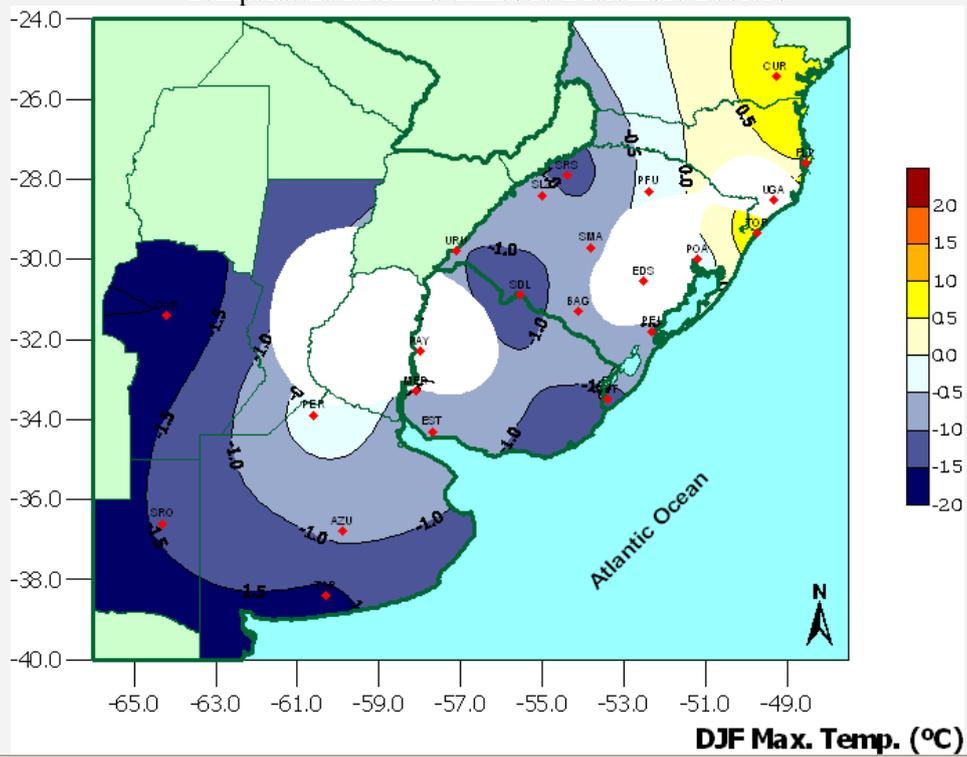
Un trabajo reciente realizado en la región (AIACC-LA27) reporta que los aumentos de precipitación y la reducción de las temperaturas máximas fueron significativos durante el semestre cálido (Figura 1.1), especialmente Diciembre-Febrero. Mientras que los incrementos de las temperaturas mínimas fueron constantes y significativos a lo largo del año, alterando el régimen de heladas.

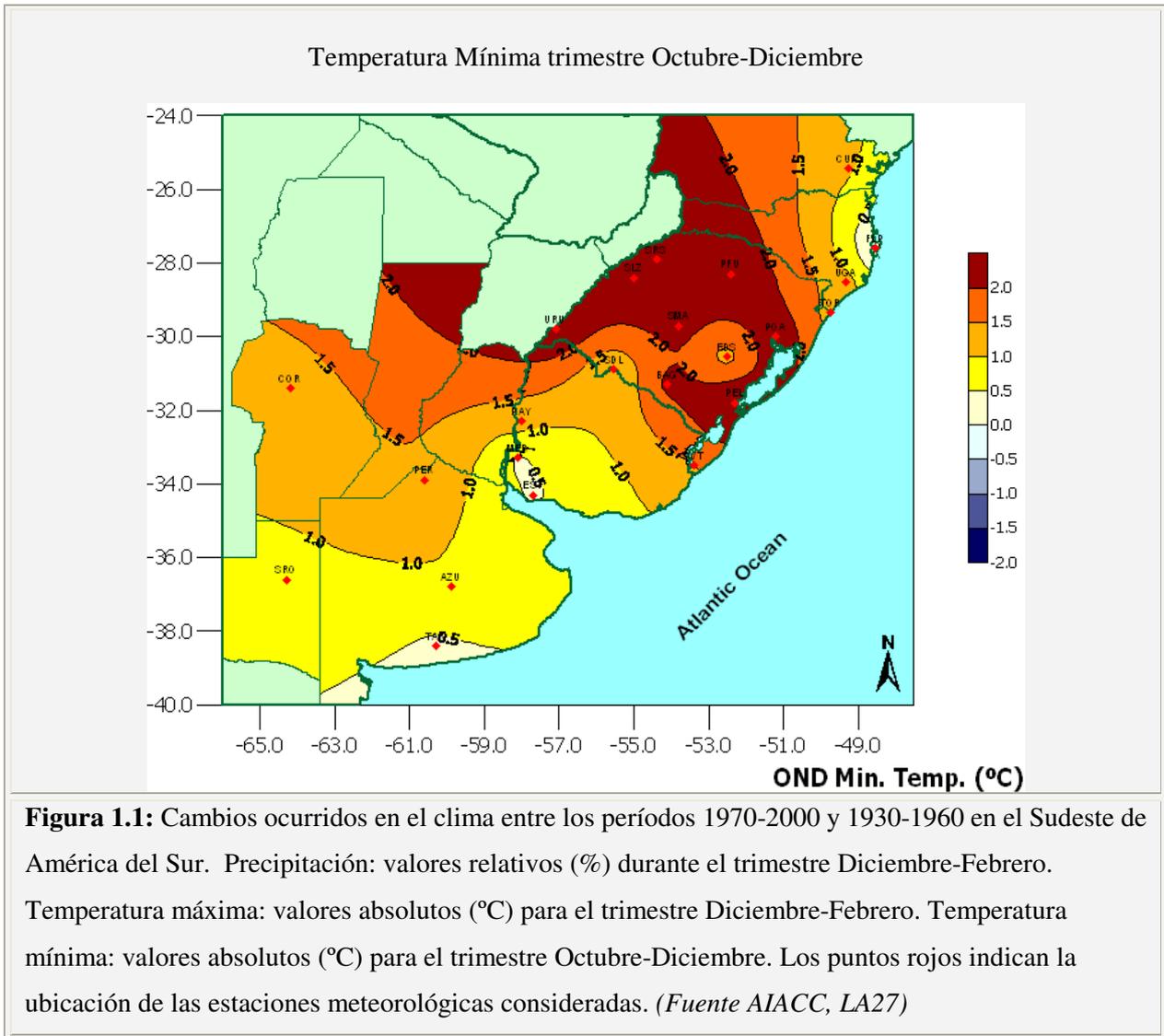
El aumento de precipitaciones registrado en la región Pampeana condujo a incrementos de los rendimientos de secano del orden de 38% en soja, 18% en maíz, 13% en trigo y 12% en girasol (Magrin et al., 2005) y contribuyó en forma contundente a la expansión de las fronteras agrícolas y del área sembrada con cultivos anuales.

Precipitación trimestre Diciembre-Febrero



Temperatura Máxima trimestre Diciembre-Febrero





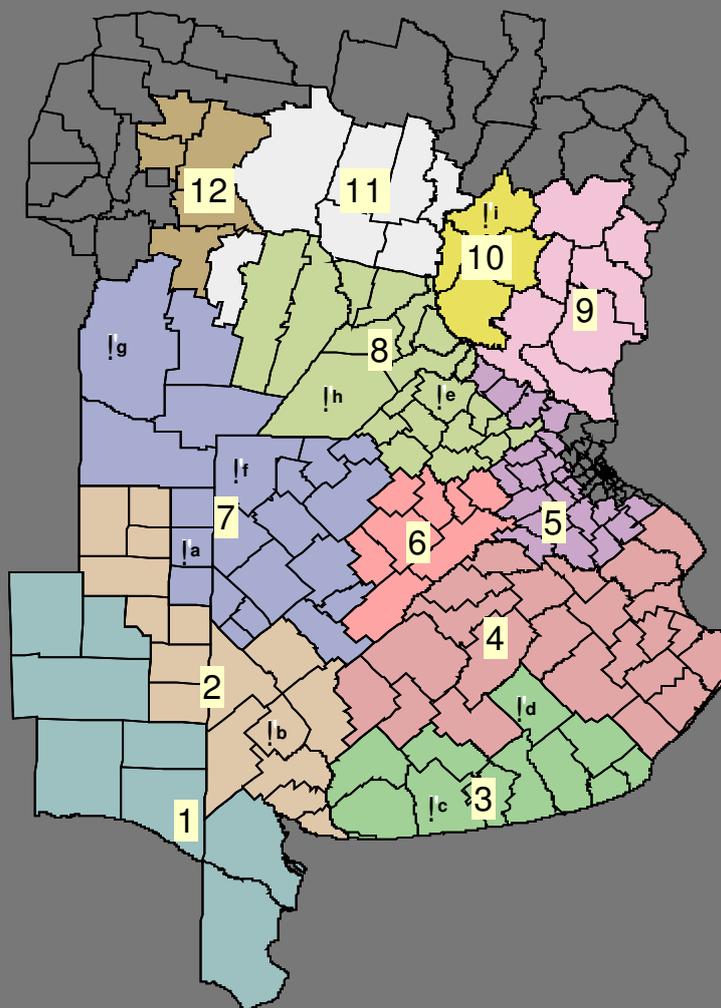
Por otro lado, durante los últimos años se produjo una notable intensificación del sistema y una adopción masiva de nuevas tecnologías. El incremento de la superficie dedicada a agricultura fue acompañado por un mayor uso de insumos (fertilizantes, plaguicidas, riego), introducción de nuevas variedades y cambios en los sistemas de labranza. El uso de fertilizantes se quintuplicó entre 1991 y 1996 mientras que el de otros agroquímicos se triplicó. La utilización de variedades transgénicas se ha expandido significativamente, en particular para el cultivo de soja en el que actualmente el 90 % del área se siembra con los nuevos genotipos. Paralelamente el área dedicada a soja incrementó un 67% entre las campañas 1994/95 y 2000/01. El cambio en los sistemas de labranza también ha sido notorio en los últimos años, actualmente alrededor del 50% de la agricultura se realiza bajo siembra directa.

## 1.2 Zonificación

En este estudio se considera la zonificación de la región Pampeana realizada por la Oficina de Riesgo Agropecuario de la Secretaría de Agricultura (ORA-SAGPyA), basada en las características edafo-climáticas, y el uso actual y potencial del suelo (Figura 1.2). Los departamentos de la provincia de La Pampa se distribuyeron en las zonas 1, 2 y 7 de acuerdo a lo propuesto por el proyecto Radar (INTA, 2000).

**Figura 1.2:**

Localización de las doce zonas de estudio (1 a 12) de la Región Pampeana y de los sitios considerados para el análisis económico ((a) a (i)).



**Zona 1: Zona de riego y ganadera árida:** Partidos de Villarino, Patagones, Leventué, Toay, Utracán, Hucal y Caleu Caleu. Es una zona árida donde la agricultura consiste en cultivos de cosecha fina, principalmente trigo sembrado año por medio.

**Zona 2: Zona mixta del Sur Oeste de Buenos Aires:** Partidos de Rancul, Realicó, Trenel, Conhello, Capital, Catrilo, Guaminí, Adolfo Alsina, Cnel. Suárez, Guatraché, Saavedra, Puán, Tornquist, Bahía Blanca, Atrucó y Cnel. Rosales. El 58 % de los suelos posee aptitud ganadero-agrícola, es decir que admiten una rotación con una fase agrícola relativamente corta, luego de un período prolongado con pasturas perennes. El 28 % de los suelos tiene aptitud agrícola-ganadera y el 14 % restante tiene aptitud ganadera. De las zonas mixtas pampeanas es la que soporta condiciones climáticas más desfavorables, principalmente por el régimen hídrico. Por lo tanto la ganadería ocupa la mayor proporción de la misma.

**Zona 3: Zona mixta del centro Sur de Buenos Aires:** Partidos de Tandil, Balcarce, Gonzales Chaves, Cnel. Pringles, Lobería, Necochea, Gral. Pueyrredón, Tres Arroyos, San Cayetano, Gral. Alvarado y Cnel. Dorrego. En esta zona predominan los suelos agrícolas o agrícola-ganaderos (91 % de la superficie). El 9 % restante son suelos no arables, o que solo permiten labranzas circunstanciales. En cuanto al uso del suelo, un 50 % se dedica a la agricultura y otro tanto a la ganadería.

**Zona 4: Zona ganadera de la Cuenca del Salado:** Partidos de Chascomús, Saladillo, Gral. Belgrano, Las Flores, Gral. Alvear, Castelli, Pila, Tapalque, Rauch, Dolores, Azul, Olavarría, Tordillo, Gral. Guido, Gral. Lavall, Ayacucho, Maipú, Mar Chiquita, Gral. Lamadrid, Laprida, Juárez y Gral. Madariaga. En el 90 % de la superficie solo pueden realizarse actividades agrícolas circunstanciales, en la zona el componente ganadero es necesariamente la actividad dominante de todos los sistemas.

**Zona 5: Zona Noreste de Buenos Aires:** Partidos de Ramallo, San Pedro, Baradero, Zárate, Exal. Cruz, Luján, Suipacha, Mercedes, Gral. Rodríguez, Gral. Las Heras, Marcos Paz, Cañuelas, Navarro, Lobos, Roque Pérez, Monte y S.A. de Giles. Esta zona se encuentra dividida en dos grandes subzonas: una donde predominan los sistemas ganaderos y otra donde predominan los sistemas frutihortícola y florícola. En la subzona de sistemas ganaderos el 67,4 % de los suelos tienen aptitud predominantemente ganadera, el 23,5 % aptitud agrícola ganadera y sólo el 2,5 % restante de la superficie posee aptitud agrícola.

**Zona 6: Zona mixta del centro de Buenos Aires:** Partidos de Bragado, Chivilcoy, Alberti, Nueve de Julio, Gral. Viamonte, Carlos Casares, Bolívar y 25 de Mayo. Posee una gran proporción (80 %) de suelos de aptitud mixta, siendo el resto de aptitud exclusivamente ganadera (12 %) o agrícola (8 %). A pesar del grado variable de relaciones entre agricultura y ganadería, en esta zona conviven ambas actividades, por lo cual se la define como área mixta siendo una subzona de transición entre la zona predominantemente agrícola y la zona predominantemente ganadera.

**Zona 7: Zona mixta del Noroeste de Buenos Aires y Sur de Córdoba:** Partidos de Río Cuarto, Juárez Celman, P. R. S. Peña, L. N. Alem, Gral. Pinto, Gral. Villegas, F. Ameghino, Lincoln, Carlos Tejedor, Rivadavia, Pehuajó, Trenque Lauquen, Dai-reaux, H. Yrigoyen, Pellegrini, Salliqueló, Tres

Lo-mas, Maracó, Quemú Quemú y Gral. Roca. Esta amplia subzona presenta una alta proporción de suelos con capacidad de uso agrícola-ganadero, que admiten labranzas periódicas. No tiene tierras con aptitud para agricultura continua y aproximadamente un tercio de sus suelos tienen aptitud agrícola-ganadera.

**Zona 8: Zona núcleo agrícola del Norte de Buenos Aires, Sur de Santa Fe y Sureste de Córdoba:**

Partidos de Unión, Marcos Juárez, Belgrano, Iriondo, San Lorenzo, Rosario, Caseros, Constitución, Gral. López, Colón, San Nicolás, Pergamino, Rojas, Bme. Mitre, Cap. Sarmiento, Salto, Gral. Arenales, S. A. de Areco, Carmen de Areco, Junín y Chacabuco. El 42 % de los suelos tienen aptitud agrícola. En la zona se observa una importante división de la tierra con predominio de establecimientos pequeños y medianos (entre 50 y 300 has.) y un importante desarrollo de infraestructura. La agricultura es la actividad predominante debido en parte a la presencia de “contratistas”.

**Zona 9: Zona ganadera agrícola del Sudeste de Entre Ríos:** Partidos de Villaguay, Colón, Uruguay, R. del Tala, Gualaguay y Gualaguaychú. La mayor parte de los suelos tienen aptitud ganadera/agrícola, con sólo un 1% de suelos con aptitud agrícola.

**Zona 10: Zona agrícola-ganadera del Sudoeste de Entre Ríos:** Partidos de Diamante, Paraná, Nogoyá y Victoria. Posee una alta proporción de suelos que permiten un uso agrícola de labranza periódica, y se caracteriza por una estructura productiva conformada por establecimientos de pequeña a mediana superficie.

**Zona 11: Zona lechera del centro Este de Córdoba y centro de Santa Fe:** Partidos de San Justo, Las Colonias, La Capital, Castellanos, San Martín, San Jerónimo y Gral. San Martín. En esta zona alrededor del 27 % de los suelos tiene aptitud agrícola, y cerca del 17 % aptitud agrícola-ganadera. La zona tiene la mayor concentración de tambos de la región pampeana.

**Zona 12: Zona agrícola ganadera del centro de Córdoba:** Partidos de Totoral, Río Primero, Colón, Río Segundo y Tercero Arriba. Esta zona del Centro de la provincia de Córdoba se destaca por poseer una gran proporción de tierras con aptitud agrícola. Los sistemas productivos agrícola y agrícola-ganadero son netamente predominantes (80 % de los establecimientos).

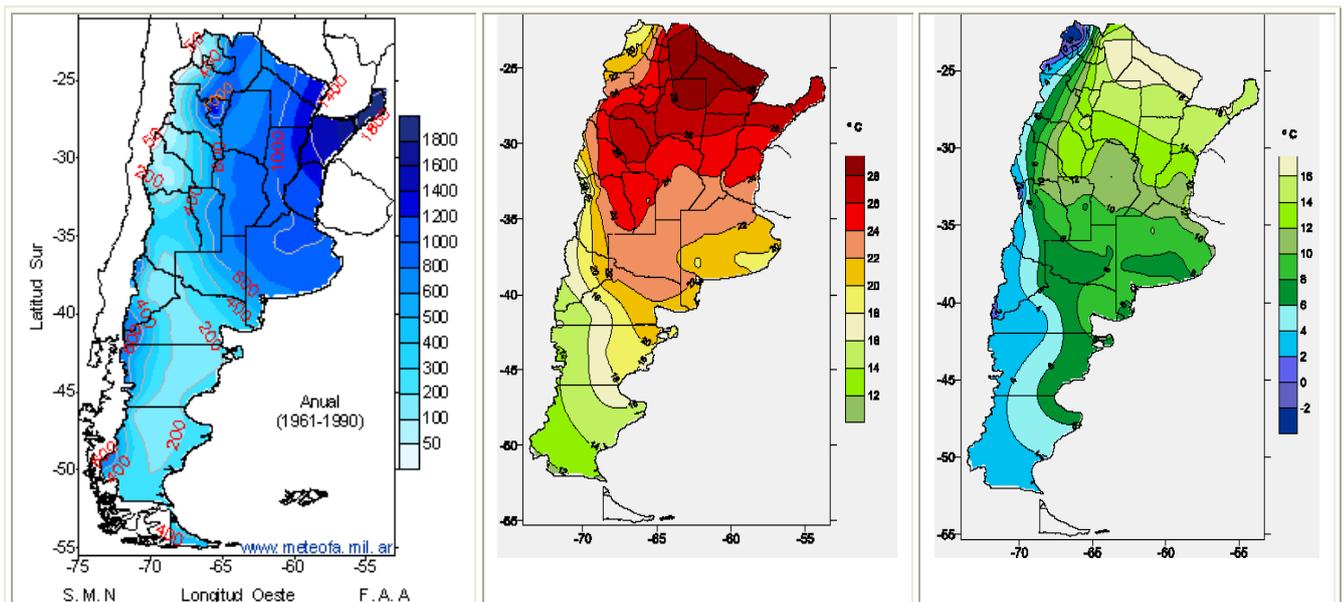
### ***1.3 Características edafoclimáticas***

#### ***1.3.1 Clima***

El clima de la región ha sido definido como templado-húmedo sin estación seca y con veranos muy calurosos (Köppen, 1931). Los límites climáticos se ubican entre las isoyetas de 600 mm

en el sudoeste y 1200 mm en el noreste. La temperatura máxima media anual va de 18°C en el sur a 26°C en el norte y la temperatura mínima media anual oscila entre 6 y 14 °C (Figura 1.3).

Las temperaturas medias anuales y estacionales decrecen en sentido norte-sur, mientras que la continentalidad del clima aumenta de este a oeste, provocando variaciones en los regímenes de temperatura. La amplitud media anual de la temperatura decrece de 15°C en el oeste a 12°C en el este, mientras que la frecuencia e intensidad de heladas también aumenta hacia el oeste. El gradiente de las precipitaciones anuales tiene distinto sentido según las zonas, en el norte las precipitaciones decrecen en sentido este-oeste, mientras que en el sur lo hacen en sentido norte-sur. La distribución más común de las lluvias consiste en un máximo para el verano que decrece en primavera, otoño e invierno, registrándose en toda el área precipitaciones continuadas a lo largo del año.



**Figura 1.3:** Precipitación anual serie 1961-1990, temperaturas máximas y mínimas medias anuales (Fuente: SMN e INTA)

### 1.3.2 Suelos

La formación natural de los suelos, con texturas progresivamente más finas en el sentido sudoeste-noreste, combinado con el gradiente de precipitación que incrementa en la misma dirección produjo una secuencia geográfica en la distribución de los suelos. En el límite oeste se encuentran los Haplustoles Enticos, apareciendo progresivamente a medida que nos

desplazamos hacia el este los Hapludoles Enticos, Hapludoles Típicos, Argiudoles Típicos, y Argiudoles Vérticos. Los dos primeros grandes grupos que ocupan la mayor parte del oeste de la región, son suelos con texturas arenosas y francas. Los otros dos grupos, que predominan en la zona centro-norte, son suelos profundos con un horizonte arcilloso que ciertas veces presenta problemas para la permeabilidad del agua y la penetración de raíces. En la provincia de Entre Ríos hay una extensa zona con Vertisoles de limitada capacidad para el desarrollo de cultivos anuales. En la porción sur de la región los suelos se formaron sobre una capa petrocálcica (tosca), estos Argiudoles tienen textura más gruesa que los del centro-norte, mayor capa orgánica superficial y menor desarrollo del horizonte argílico. El contenido de materia orgánica, indicador de la fertilidad potencial de los suelos, pasa del 4% en el noreste al 1.5% en el noroeste. En el este de la región, existe también un gradiente sur (7%) norte (4%) asociado con el incremento de temperatura en el mismo sentido.

## Referencias

AIACC-LA27. 2005. Building capacity to assess the impact of climate change/variability and develop adaptive responses for the mixed crop/livestock production systems in the Argentinean, Uruguayan and Brazilian Pampas. Proyecto AIACC LA27.  
[www.aiaccproject.org](http://www.aiaccproject.org)

Barros, V. M.E. Castañeda and M, Doyle 2000: Recent precipitation trends in Southern South America to the East of the Andes: an indication of a mode of climatic variability. Chapter of the book "Southern Hemisphere Paleo and Neoclimates. Concepts, Methods, Problems".  
Springer

Basualdo, E. M. 1995. El nuevo poder terrateniente: una respuesta. *Realidad Económica*, 132:126-149.

Bidegain M, R.M. Caffera, F. Blixen, V. Pshennikov, J.J. Lagomarsino, E.A. Forbes, G.J. Nagy, 2005. Tendencias Climáticas, Hidrológicas y Oceanográficas en el Río de la Plata y Costa Uruguaya. In: *El Cambio Climático en el Río de la Plata*. Eds. Barros V., A. Menéndez, G.J. Nagy, Capítulo 14: 137-143, CIMA-CONICET-UBA, Buenos Aires, Mayo, 2005

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

INTA. 2000. Proyecto RADAR. [www.inta.gov.ar](http://www.inta.gov.ar).

Köppen,W. 1931. Grundriss der Klimakunde, vol. 12. Walter de Gruyter, Berlin, 338pp.

Magrin, G.O., M.I. Travasso and G.R. Rodríguez. 2005. Changes in climate and crop production during the 20<sup>th</sup> century in Argentina. Climatic Change **72**:229-249

ORA-SAGPyA. 2005. Zonificación agroeconómica, Oficina de Riesgo Agropecuario. SAGPyA. [www.ora.gov.ar](http://www.ora.gov.ar)

Viglizzo, E.F. 1989. La interacción sistema-ambiente en condiciones extensivas de producción. Revista de Producción Animal 9:(279-294).

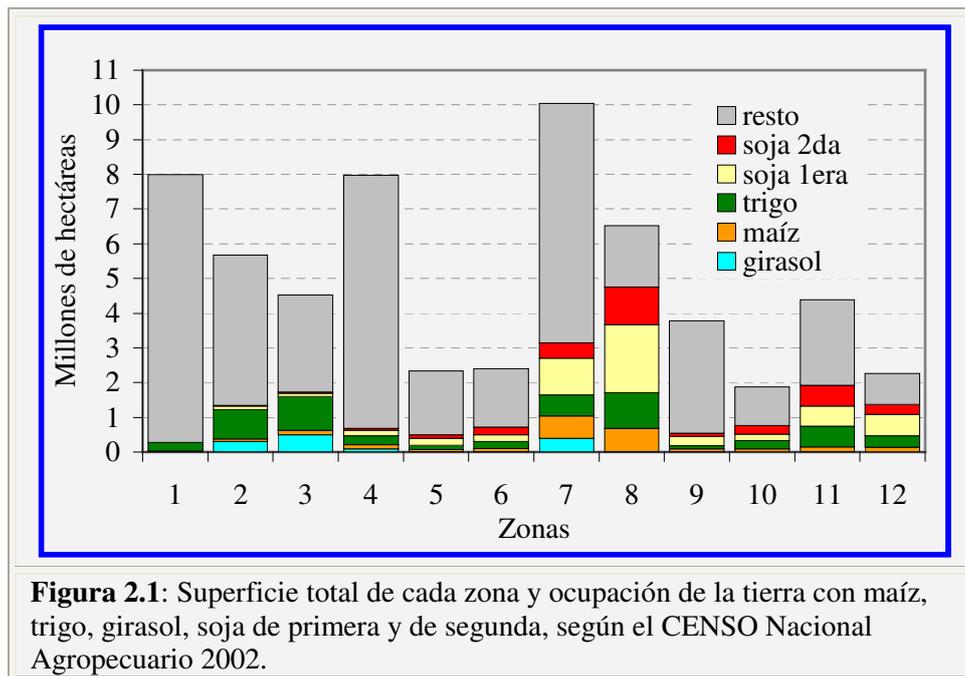
## Capítulo 2

### Situación Actual

María I. Travasso, Graciela Magrin, Gustavo López.

#### 2.1 Uso de la tierra

El análisis del uso actual de la tierra y su evolución en los últimos años se realizó en base a la información proveniente del *CENSO Nacional Agropecuario 2002* (CNA 2002) y de las estadísticas de la Secretaría de Agricultura Ganadería Pesca y Alimentación de la Nación (SAGPyA).

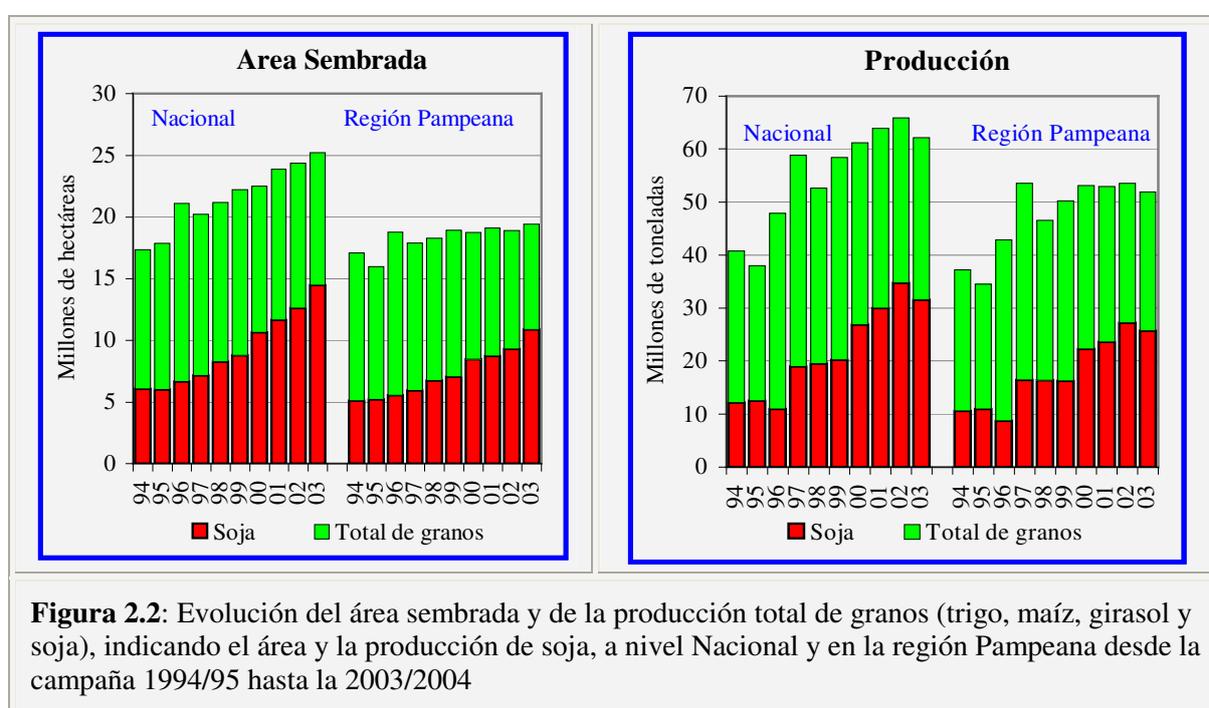


**Figura 2.1:** Superficie total de cada zona y ocupación de la tierra con maíz, trigo, girasol, soja de primera y de segunda, según el CENSO Nacional Agropecuario 2002.

El análisis de los datos indica que el 30 por ciento de la superficie de la región Pampeana está dedicado a los cultivos de soja, trigo, maíz y girasol. De acuerdo a los datos del CNA 2002, en ese año el girasol ocupaba 1.4 Mha, el maíz 2.2 Mha, el trigo 5.6 Mha, la soja de primera 5.4 Mha y la soja de segunda (sembrada como segundo cultivo luego de la cosecha del trigo) 3.2 Mha (Figura 2.1), alcanzando una producción total de 53.5 millones de toneladas. La

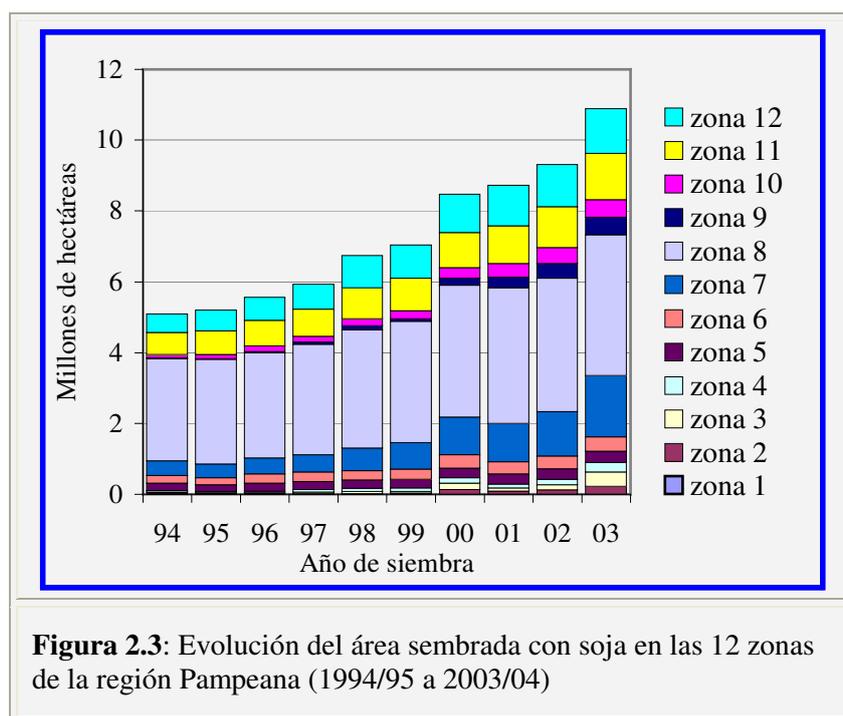
principal zona agrícola es la ocho, donde el 73% de la superficie se destina a la producción de granos.

Durante los últimos 10 años (entre las campañas 1994/95 y 2003/04) se observó un importante cambio en el uso de la tierra y la producción de cultivos (Figura 2.2). En 1994 el área sembrada en la región Pampeana (17.1 Mha) representaba el 98% del área sembrada a nivel nacional (17.4 Mha) contribuyendo con el 92% de la producción. En ese entonces el área de soja y su producción representaban alrededor del 30% del total de los cuatro cultivos a nivel Nacional y Regional.



Durante la campaña 2003/04 el área sembrada aumentó un 45% a nivel nacional (25.2 Mha) y un 13% en la región Pampeana (19.4 Mha), la que actualmente incluye el 80% del área sembrada con el 86% de la producción nacional. Además, la soja se expandió notablemente pasando a ocupar entre el 56 y 57% de la superficie cultivada. Estas cifras indican que la expansión de la soja en la región Pampeana se produjo principalmente por el reemplazo de otros cultivos (especialmente maíz), mientras que en las zonas extra-pampeanas se incorporaron nuevas tierras al sistema agrícola. De este modo la producción de soja pasó a representar cerca del 50% de la producción de granos.

El análisis por zona de la evolución del área sembrada con soja en la región Pampeana (Figura 2.3) indica que las zonas con mayor crecimiento relativo fueron la zona mixta del noroeste de Buenos Aires y sur de Córdoba (7), la zona lechera del centro de Santa Fe y centro este de Córdoba (11) y la zona agrícola- ganadera del centro de Córdoba (12). En estas zonas la superficie prácticamente se triplicó en 10 años, pasando de cerca de 0.5 a 1.5 millones de hectáreas. En la zona agrícola núcleo (8) el crecimiento absoluto fue el mismo (1 millón de hectáreas), representando un incremento del 38% de la superficie sembrada con este cultivo.



**Figura 2.3:** Evolución del área sembrada con soja en las 12 zonas de la región Pampeana (1994/95 a 2003/04)

A partir de 1996, la disponibilidad de materiales transgénicos tolerantes a glifosato junto a la difusión de la siembra directa facilitó la enorme expansión del área cultivada con soja y en consecuencia de la producción, posicionando a la Argentina como el tercer productor de granos y primer exportador mundial de aceites de soja.

Esta tecnología ha representado, en el periodo 1996-2001, beneficios adicionales de más de 5000 millones de dólares para el país (Trigo et al., 2002) y se ha transformado en la fuente más importante de ingresos fiscales.

No obstante, existe una creciente preocupación dado que se ha evidenciado que la combinación siembra directa más el monocultivo de soja tolerante a glifosato no constituye,

en la región pampeana, una alternativa sustentable frente a los planteos que incluyen rotaciones (INTA, 2003).

Estas prácticas conducirían a importantes deterioros del medio ambiente relacionados principalmente con la pérdida de materia orgánica, la degradación de las propiedades físicas y biológicas de los suelos, la exportación de nutrientes y la contaminación.

La materia orgánica del suelo (MO), reserva de numerosos nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas, contiene aproximadamente un 58% de carbono (C) y presenta una relación C-N-P-S (carbono-nitrógeno-fósforo-azufre) estimada en 140-10-1.3-1.3. De acuerdo a estas cifras, un 1% de MO en 20 cm de suelo (densidad 1.1 t/m<sup>3</sup>) equivalen a 22.000 kg de materia orgánica, 12.000 a 13.000 kg de Carbono, 1.000 a 1.200 kg de nitrógeno, y 90 a 120 kg de fósforo y azufre por hectárea (García, 2004).

Varios trabajos han demostrado que en el monocultivo de soja, o en las rotaciones con mayor frecuencia de soja el balance de carbono es negativo. En el sudeste de Córdoba (zona 7), para una rotación de 3 años (trigo/soja – maíz – soja) donde la soja se repite 2 veces el balance promedio de C es -273 kgC/ha; mientras que para una rotación de 2 años (trigo/soja – maíz) con sólo un cultivo de soja el balance es +67 kgC/ha (citado en García, 2004). En el centro de Córdoba (zona 12) la pérdida de MO bajo monocultivo de soja más que duplica (aprox. 13.400 kg MO/ha) la pérdida de la rotación soja-sorgo (aprox. 5.800 kg MO/ha) (Martellotto et al., 2001). También se demostró que en la porción semiárida de la región Pampeana (zonas 1 y 2) la pérdida de MO torna a los suelos más susceptibles a la compactación con efectos adversos sobre la conductividad hidráulica y la extensión radicular (Quiroga et al., 1999).

En relación a la exportación de nutrientes, una recopilación realizada por Darwich (2004) demuestra que la falta de complementación con un adecuado programa de fertilización está produciendo un marcado descenso en los niveles de disponibilidad de Nitrógeno y Fósforo dentro de las principales áreas cultivadas del país. El balance de nutrientes (extracción menos reposición por agregado de fertilizante) para un cultivo de soja que rinde 3.500 kg/ha arroja un déficit de 105 Kg de nitrógeno y alrededor de 12 kg de fósforo por hectárea por año, siendo los valores sensiblemente inferiores para el resto de los cultivos (Tabla 2.1).

**Tabla 2.1:** Extracción de nitrógeno (Ext.N) y fósforo (Ext.P), reposición por fertilización (Fert.) y balance de estos nutrientes para diferentes cultivos y rendimientos. (Fuente: Darwich, 2004)

Cultivo	Rinde (kg/ha)	Ext.N (kg/ha)	Fert N (kg/ha)	Ext.P (kg/ha)	Fert.P (kg/ha)	Balance N (kg/ha)	Balance P (kg/ha)
Soja	3.500	210	0	24	12	<b>-105</b>	<b>-11,6</b>
Maíz	8.000	120	70	24	18	<b>-50</b>	<b>-6,0</b>
Trigo	4.000	80	55	15	14	<b>-25</b>	<b>-1,0</b>
Girasol	2.500	68	30	10	8	<b>-38</b>	<b>-2,0</b>

Por último, el uso del herbicida glifosato, asociado con la expansión del cultivo de sojas transgénicas, pasó de 28 millones de litros en 1997 a 100 Millones de litros en 2002 (Joensen L y Mae-Wan Ho, 2004).

## 2.2 Caracterización de los sistemas productivos

Como se anticipó anteriormente, los sistemas de producción en la región pampeana así como en otras regiones de Argentina se modificaron notablemente en los últimos años. Estos cambios tecnológicos alterarían las relaciones costo/beneficio de cada cultivo, y podrían afectar el medioambiente ya que varios de ellos son factores generadores de gases de efecto invernadero.

En este apartado se analiza el consumo de fertilizantes y la siembra directa, dos de las tecnologías más difundidas en la última década, con el propósito de definir detalladamente la situación actual en cada zona, poder estimar los ingresos de cada cultivo y evaluar las emisiones de GEI del sector.

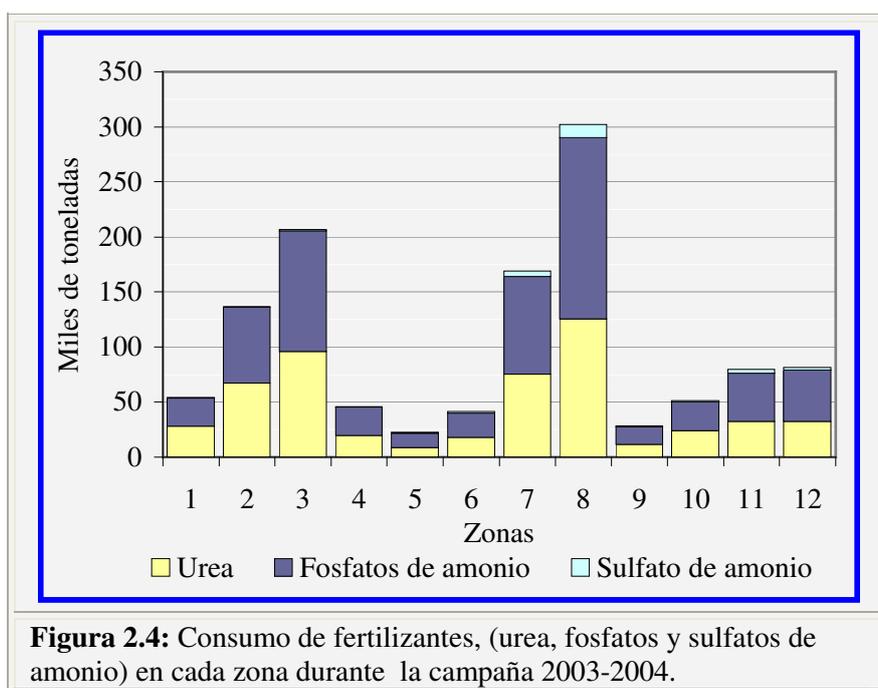
### 2.2.1 Consumo de Fertilizantes

El consumo de fertilizante se estimó para cada cultivo a nivel de partido y/o departamento en base al análisis del porcentaje de área fertilizada y las dosis utilizadas. Debido a que no se dispone información oficial al respecto, se utilizó información inédita generada por la Fundación Producir Conservando (Gustavo Oliverio, Fernando Segovia y Gustavo López, con la colaboración de Fernando García, Luis Berasategui y Enrique Chamorro) quienes

estimaron zonalmente, el “nivel de reposición de nutrientes y aplicación de fertilizantes en el ciclo 2003/04”, en base a la información de los consumos de fertilizantes por productos y por zonas suministrada por las empresas integrantes de FERTILIZAR (Asociación de Cooperativas Argentinas Ltda.- ACA, Agroservicios Pampeanos SA, Bunge Argentina SA, Cargill Argentina SA, Hydro Argentina SA, Nidera Argentina SA, P.A.S.A, Profertil, y Repsol-YPF).

Esas dosis de reposición estimadas para nitrógeno y fósforo, se transformaron en unidades de fertilizantes por hectárea de urea, fosfatos de amonio y sulfato de amonio. En función de ellas y de las áreas sembradas en ese ciclo se estimó el tonelaje total de fertilizantes consumidos en el área de estudio por los cuatro cultivos. El mismo alcanzó valores cercanos a 540 mil toneladas de urea, 650 mil toneladas de fosfatos de amonio y 29 mil toneladas de sulfato de amonio, con un gran total de 1.22 millones de toneladas de fertilizantes.

Cabe consignar que ese volumen de consumo representa cerca del 54% del total de fertilizantes utilizados en Argentina durante ese ciclo. Si se desagrega la información según zona, producto y nutriente, podríamos concluir que del total de fertilizantes consumidos a nivel país, la región y los cultivos citados absorbieron el 54% de los nitrogenados, el 80% de los fosforados y el 40% del resto de las composiciones (preferentemente sulfato de amonio).

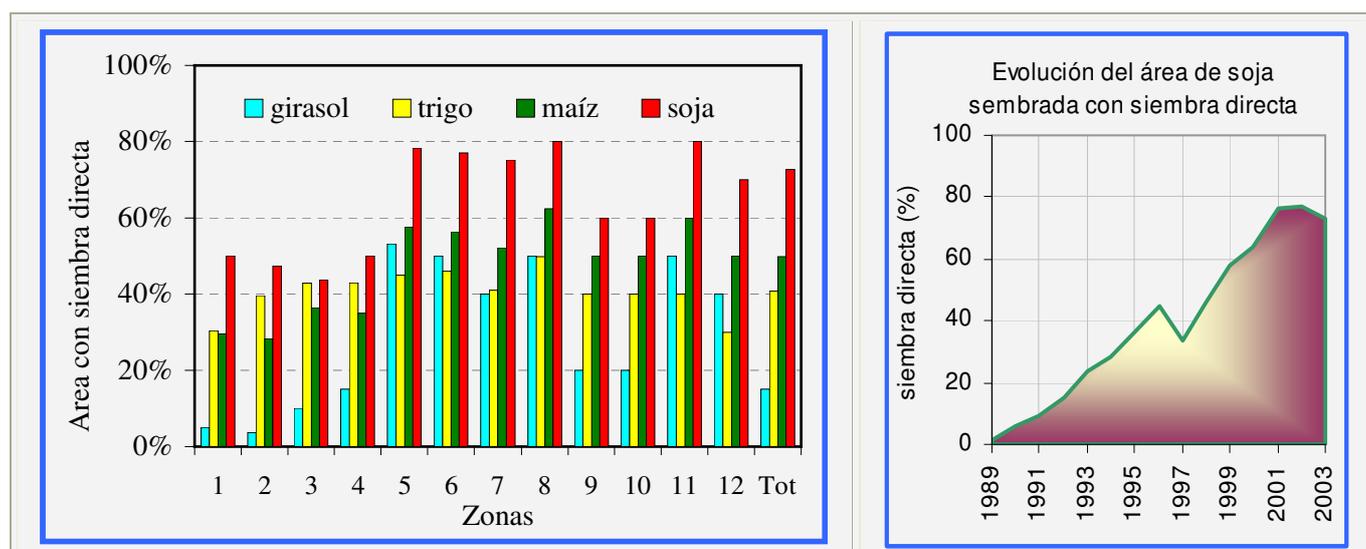


Los mayores consumos correspondieron a la zona 8 con el 25% del total de la región Pampeana, siguiendo en orden descendiente la zona 3 (17%), la zona 7 (14%), la zona 2 (11%), las zonas 11 y 12 (7%), y el resto de las zonas con valores iguales o inferiores al 4% (Figura 2.4, Anexo 1 Tabla 1).

### 2.2.2 Siembra directa

La siembra directa puede considerarse como una técnica de conservación de los recursos naturales, la que además requiere una menor utilización de UTA's por hectárea (Unidad de Trabajo Agrícola). Como se carece totalmente de información oficial al respecto, fue necesario apelar a la información de AAPRESID (Asociación Argentina de Productores de Siembra Directa), la Fundación Producir Conservando y encuestas personalizadas realizadas en cada una de las zonas, donde se pudiera inferir para cada cultivo a nivel de partido o departamento el nivel de representatividad de esta nueva técnica de labranza (ver Anexo 1 Tabla 2).

La mayor incidencia de esta modalidad se observa en las zonas 5, 6, 7, 8, 11, y 12 con niveles de adopción igual o mayores al 60% (Figura 2.5). Ese guarismo que está en función a los cuatro cultivos consignados se potencia en la soja donde en algunas zonas (5, 6, 7, 8 y 11) supera el 70%, llegando en varios casos al 80% del total bajo siembra.



**Figura 2.5:** Proporción de área cultivada bajo labranza cero durante la campaña 2001/2002 (izquierda), y evolución de siembra directa en el cultivo de soja (derecha).

Si el análisis se realiza desde la óptica individual por cultivo tenemos que algo más del 41% del trigo, 50% del maíz, 73% de la soja y 15% del girasol se realiza mediante estas prácticas. Cabe consignar que estos porcentajes son muy similares a los aportados por AAPRESID, con la diferencia que estos últimos relevaron la información a nivel de cultivo por provincia y este estudio contempla un análisis regional desde la óptica de partido ó departamento. En la mayor parte de los cultivos, pero especialmente en soja la modalidad de siembra directa comenzó a fines de la década del 80' y se expandió a un ritmo sostenido (Figura 2.5).

### *2.2.3 Consumo de combustible*

Dado que el consumo de gas-oil está directamente asociado al tipo de labranza realizado, para cada zona y cultivo se estableció la proporción de superficie sembrada bajo siembra directa y convencional y la utilización de UTA's como expresión de consumo de combustible por hectárea (ver Anexo 1 Tabla 2). Cabe consignar que las UTA's no son totalmente uniformes para cada cultivo y zona considerada, por lo cual se intentó unificar las mismas de acuerdo a la utilización actual de las labranzas mínimas requeridas en cada zona (fuente: revista "Márgenes Agropecuarios") considerando como media de UTA por hectárea la cantidad de 12.34 litros de gasoil.

Del análisis de cada cultivo se llegó a los siguientes resultados:

- Trigo: Media por hectárea de 3.27 UTA y 40.37 lts gasoil
- Maíz: Media por hectárea de 2.67 UTA y 33.0 lts gasoil
- Soja: Media por hectárea de 3.05 UTA y 37.61 lts gasoil
- Girasol: Media por hectárea de 3.03 UTA y 37.31 lts gasoil
- Media para el país de 3.06 UTA/ha y 37.79 lts gasoil

De acuerdo a estas estimaciones los consumos anuales de gasoil para todas las actividades comprendidas en los cuatro principales cultivos, y que involucran 19.4 Mha, alcanzan cerca de 735 millones de litros (MI), con una participación prácticamente similar entre los cultivos de siembra directa (371 MI) y los convencionales (363 MI) (ver Anexo 1 Tabla 2).

## ***2.3 Análisis económico de los sistemas productivos***

### 2.3.1 Variables económicas

La caracterización económica del sector se efectuó mediante el análisis de los márgenes brutos por cultivo y zona para el lapso 1994/95 – 2004/05. Estos márgenes se calcularon en base a los costos de implantación y producción; los gastos de cosecha, comercialización e impuestos; los precios de los productos y los rendimientos esperados, considerando dos sistemas de tenencia de la tierra (campo propio y arrendamiento).

Costos de implantación y producción: Se basaron en las publicaciones de la Revista Márgenes Agropecuarios, considerando 9 localidades (ver Figura 1.1) que luego se extrapolaron a las 12 zonas de la región de acuerdo al siguiente esquema:

Zona 1: General Pico,

Zona 2: Pigue,

Zona 3: Tres Arroyos,

Zona 4: Tandil,

Zona 5: Pergamino,

Zona 6: General Villegas,

Zonas 7 y 12: Río Cuarto,

Zonas 8 y 11: Venado Tuerto,

Zonas 9 y 10: Paraná.

En estos costos se incluyeron los cambios tecnológicos ocurridos durante ese lapso, tales como incremento del área sembrada en siembra directa, aumento en el consumo de fertilizantes, adopción masiva de sojas transgénicas, uso de agroquímicos específicos, etc (Anexo1 Tabla 3).

Gastos de cosecha, comercialización e impuestos: Se consideraron, los gastos de cosecha, de comercialización e impuestos inherentes a las operaciones de venta de mercadería, los que están íntimamente relacionados a los volúmenes producidos y a los precios recibidos por el productor.

Estos gastos, sumados a los costos de implantación y producción permitieron obtener los **costos totales en pesos y en dólares** según el tipo de cambio vigente de cada ciclo

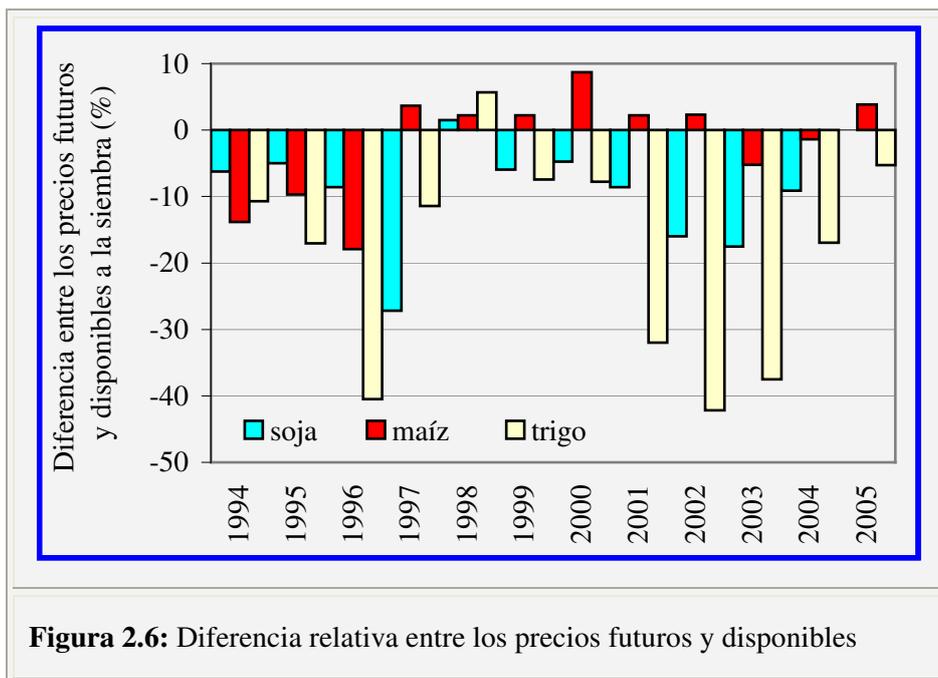
(recordemos que hasta el ciclo 2002/03 se mantuvo vigente la ley de convertibilidad de equivalencia peso/dólar).

Precio de los productos: Se consideraron dos opciones de precios: a) los *precios disponibles* en el momento de la siembra llamados también precios spot, y b) los *precios futuros* o esperados al momento de cosecha. A estos precios se les dedujeron los costos de transporte teniendo en cuenta el acarreo o flete corto, más su adicional o flete largo hasta los puertos de referencia (Rosario, Bahía Blanca y Necochea) establecidos para cada zona, de acuerdo a las tarifas vigentes para cada ciclo.

Considerando los cambios registrados en el uso de la tierra en los últimos años, particularmente la fuerte participación de los arrendatarios, que ocupan cerca del 50% de la superficie sembrada con cultivos anuales en el esquema productivo pampeano, se optó por establecer dos variantes de márgenes brutos: a) el resultante de la operación con campo propio, es decir incluyendo en la ecuación los gastos de estructura inherentes de la operación, y b) el correspondiente a un arrendatario es decir considerando los costos de alquiler, que también presentaron diferencias absolutas o relativas (en función al precio de los granos) significativas entre campañas (Tabla 2.2).

**Tabla 2.2:** Alquiler pagado en cada zona por la tierra en arrendamiento durante tres períodos entre 1994 y 2005.

Zonas	Alquiler pagado por tierra en arrendamiento		
	1994 a 2001	2002-2003	2004-2005
Zona 5	13 q/soja/ha	15 q/soja/ha	14,5 q/soja/ha
Zona 8 - Zona 11	11 q/soja/ha	12 q/soja/ha	12,5 q/soja/ha
Zona 6	10 q/soja/ha	11 q/soja/ha	11,5 q/soja/ha
Zona 1	95 US\$/ha	120 US\$/ha	125 US\$/ha
Zona 2	90 US\$/ha	100 US\$/ha	110 US\$/ha
Zona 3	120 US\$/ha	140 US\$/ha	145 US\$/ha
Zona 4	140 US\$/ha	180 US\$/ha	185 US\$/ha
Zona 7 - Zona 12	80 US\$/ha	100 US\$/ha	105 US\$/ha



**Figura 2.6:** Diferencia relativa entre los precios futuros y disponibles

Es importante destacar la diferencia que existe entre los precios disponibles en el momento de la toma de decisión de siembra y los futuros ó realmente esperables al momento de cosecha (Figura 2.6). Si bien existen diferencias entre cultivos, en la mayor parte de los casos el precio futuro es menor al precio disponible, especialmente en trigo (-19% en promedio para el lapso 1994-2005) y soja (-9%).

### 2.3.2 Elasticidad de sustitución de cultivos

En este apartado se analiza la posible influencia de las variables económicas descriptas previamente (precio de los productos, costos de implantación y producción y márgenes brutos) sobre el uso de la tierra y la elasticidad de sustitución entre cultivos.

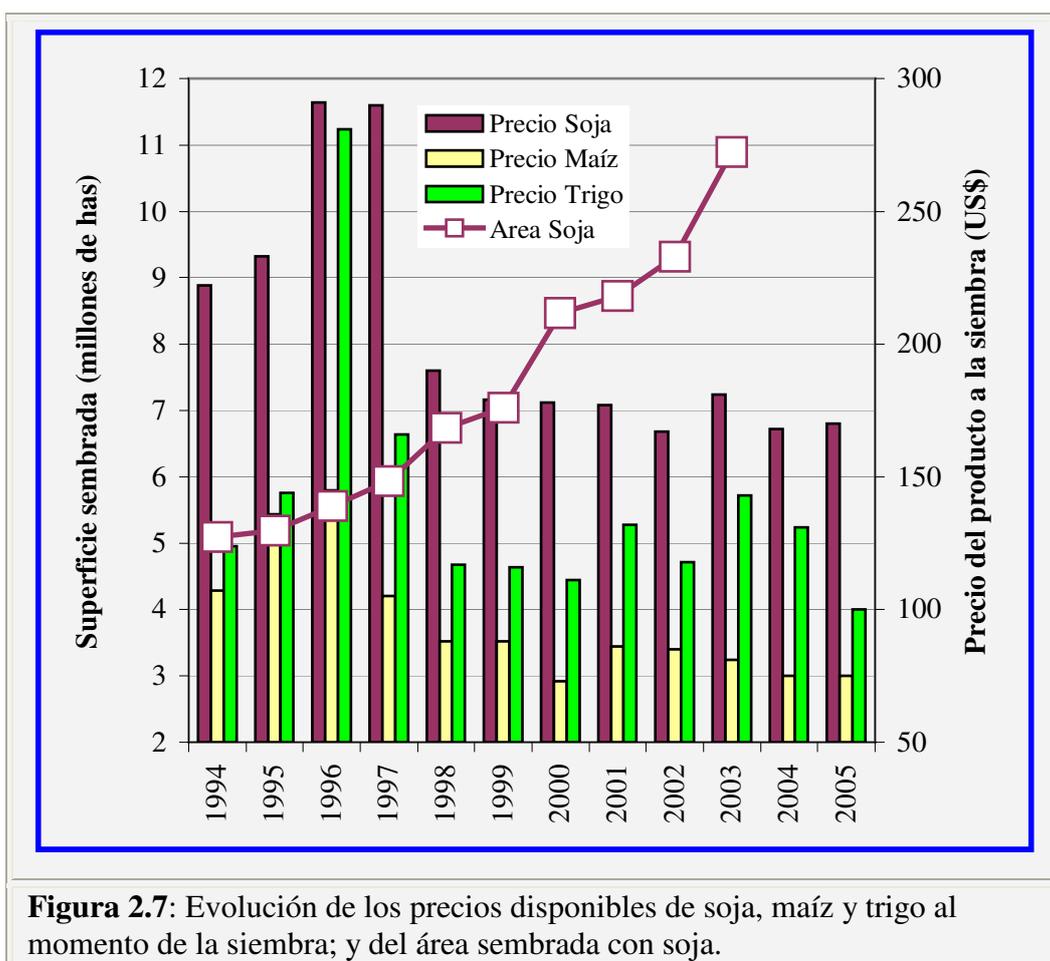
#### 2.3.2.1 Precios de los productos

Al momento de tomar la decisión de siembra, varios factores de índole económica serán considerados para definir la elección del cultivo; entre ellos el precio del producto podría ser el primero. En la figura 2.7 se presentan los precios disponibles para trigo, maíz y soja durante 1994-2005. En este lapso la tendencia general fue que los precios aumentaron desde el año 94,

alcanzando un máximo en las campañas 96/97 y 97/98 debido a fuertes ajustes estructurales en la oferta mundial, y a partir de allí se redujeron sensiblemente permaneciendo con leves variaciones hasta el presente.

En ese mismo período el área sembrada con soja aumentó cerca del 60%, la de maíz se redujo levemente y la de trigo se mantuvo estable aunque con notables oscilaciones interanuales.

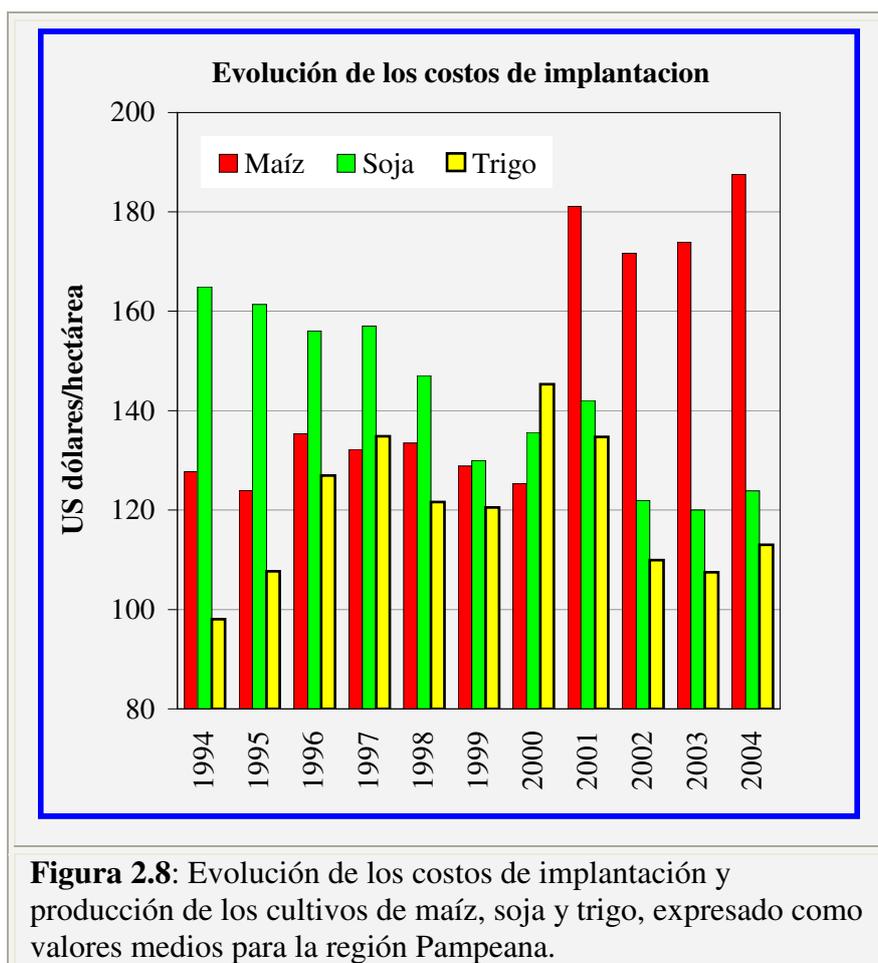
Los coeficientes de correlación entre el área sembrada y el precio disponible de la mercancía fueron positivos y significativos en maíz (0.62) y trigo (0.66), indicando que para estos cultivos el precio es una variable que influye en la decisión de siembra. Contrariamente, la evolución del precio de la soja no resultó ser un factor determinante de su área sembrada.



### 2.3.2.2 Costo de Implantación y Producción:

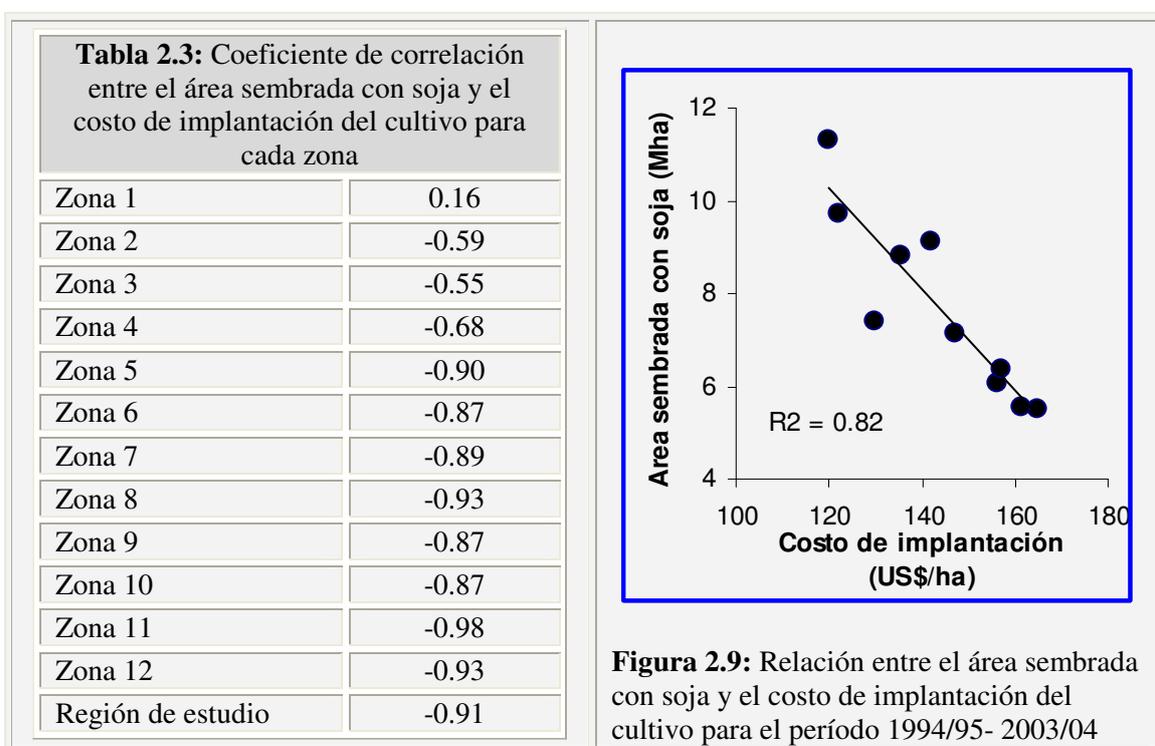
El costo de implantación es otra variable a considerar al momento de la siembra. Un resultado interesante es la evolución opuesta de los costos de implantación de los cultivos de soja y maíz (Figura 2.8). Al inicio del lapso estudiado el costo de implantación de soja superaba al de maíz, mientras que actualmente la situación es inversa.

Los costos en soja fueron decreciendo paulatinamente desde alrededor de 165 hasta 120 US\$/ha, debido principalmente a la disminución de gastos en agroquímicos, semilla y labores. Por el contrario en maíz los costos se incrementaron dado el aumento del precio de la semilla y del monto de fertilizante aplicado. El costo de trigo fue variable, incrementándose desde la mitad de la década del 90 por la aplicación de fertilizante y reduciéndose luego por la expansión de la labranza cero.



El coeficiente de correlación entre los costos de implantación y el área sembrada es inverso y muy significativo en soja (-0.91) y maíz (-0.65), indicando que a medida que se reduce el costo de implantación de estos cultivos se incrementa proporcionalmente el área sembrada. En la Tabla 2.3 y la Figura 2.9 se presentan los valores para soja, en este cultivo el costo de implantación explica en promedio para toda la región el 82% de la variabilidad del área sembrada, llegando a valores máximos de 96% en la zona 11.

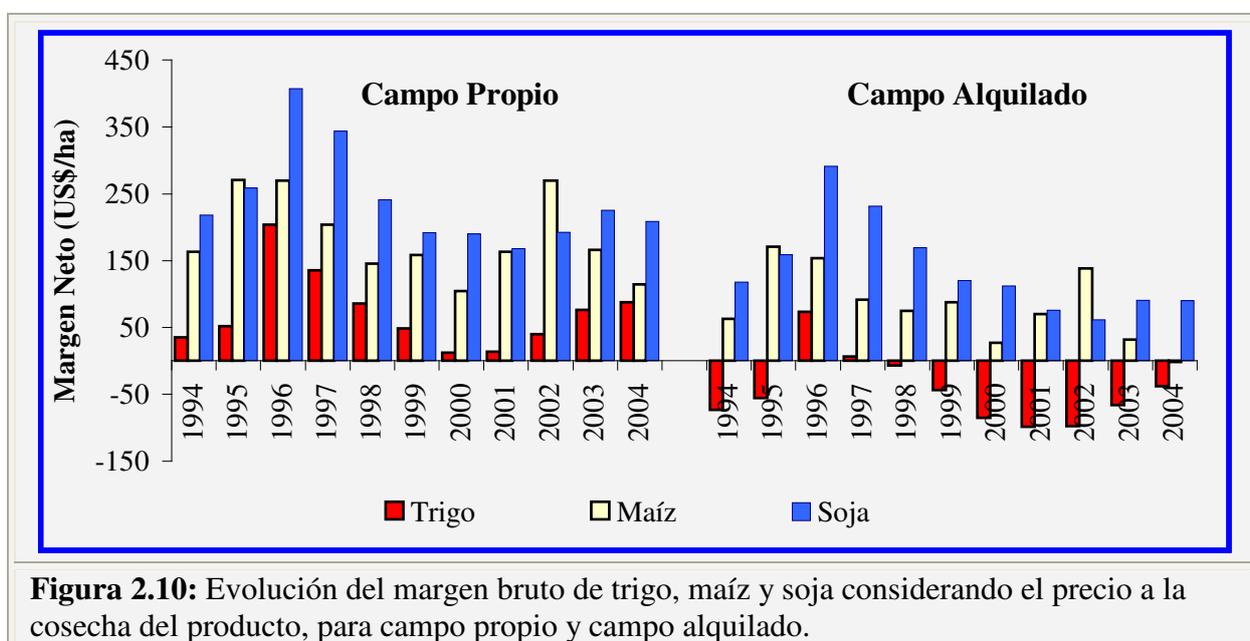
Teniendo en cuenta estas últimas relaciones y las tendencias alcistas y bajistas de los costos de implantación y producción de maíz y soja respectivamente, es posible afirmar que parte de la expansión del cultivo de soja se debe a la reducción de sus costos de implantación.



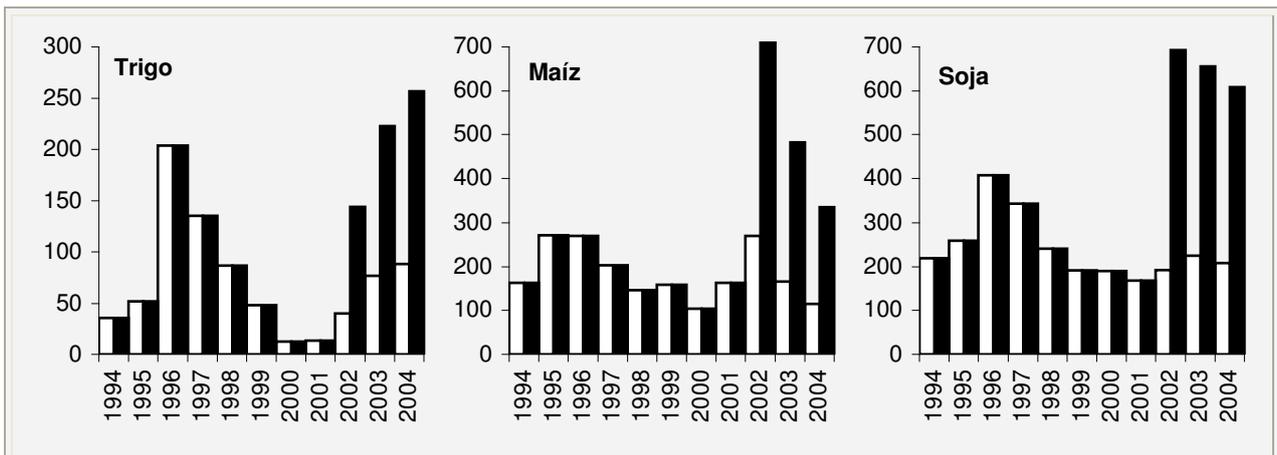
### 2.3.2.3 Margen bruto:

Por último, el margen bruto es otra variable que podría influir sobre la decisión de siembra. En la Figura 2.10 se presenta la evolución de los márgenes considerando el precio futuro para la situación de campo propio y campo alquilado. En ambos casos la soja es el cultivo más rentable, superando en todos los casos al trigo, y en 9 de los 11 casos al maíz.

Un aspecto a destacar en el análisis económico de los últimos años, son los elevados márgenes post-convertibilidad. En la Figura 2.11 se presenta la evolución de los márgenes expresados en dólares estadounidenses y en moneda local. Sin duda la devaluación de la moneda en un negocio donde los productos se comercializan en dólares y los costos continuaron en pesos reacomodándose lentamente, permitieron amortiguar el efecto de menores precios internacionales y hasta absorbieron en parte el efecto negativo del impacto de la restauración de los derechos a la exportación. En efecto, si bien no se observan rentabilidades tan altas como las registradas en los ciclos 1996 y 1997, los aspectos citados post-convertibilidad permitieron un nivel de rentabilidad adecuado, y sostenido en el caso de la soja, el cual sumado al crecimiento de la productividad unitaria, llevo a un saneamiento económico-financiero del sector primario, en relación al grado de endeudamiento que soportaba.



El análisis económico realizado justifica la tendencia que viene manifestándose en cuanto a la expansión de la soja. El constituirse en primer cultivo con más del 50% del área sembrada total y otro tanto en cuanto a la producción, refleja una realidad en materia de rentabilidad a partir de los bajos costos de implantación, los precios internacionales estables, la demanda mundial y la competencia local (exportación-industria) muy difícil de superar por otros cultivos.



**Figura 2.11:** Evolución de márgenes brutos en dólares estadounidenses (barras blancas) y en pesos argentinos (barras negras), para los cultivos de trigo, maíz y soja.

## 2.4 Conclusiones

Durante la última década tanto la expansión de la agricultura como sus modalidades de producción han sido favorecidas por la interacción de factores económicos y ambientales. La superficie dedicada a los cultivos de trigo, soja, maíz y girasol incrementó un 25% a nivel nacional y un 13% en la región Pampeana.

El hecho más destacable es sin duda la expansión del cultivo de soja que ha provocado importantes cambios en el uso de la tierra, principalmente por la sustitución de cultivos como el maíz. Actualmente la soja ocupa el 56% del área sembrada en la región y contribuye con el 50% de la producción de granos.

Paralelamente ocurrieron cambios en los sistemas de producción: la siembra directa, el uso de materiales transgénicos y el de agroquímicos crecieron en forma exponencial.

Nuestros resultados indican que en la región de estudio se consume el 54% (1.22 Mt) de los fertilizantes utilizados en el país, mientras que la superficie cultivada bajo siembra directa alcanza el 41% en trigo, 50% en maíz, 73% en soja y 15% en girasol.

Los cambios de los sistemas productivos están poniendo en riesgo la sustentabilidad de los agroecosistemas. La incorporación de gramíneas en las rotaciones de cultivos se transformó

en una práctica poco frecuente, sumado a esto la difusión de la soja y en especial su monocultivo están provocando significativas pérdidas de fertilidad.

Del análisis económico surge que la soja es el cultivo de mayor rentabilidad principalmente porque se encuentra favorecido por costos de implantación más bajos que los otros cultivos. El costo de implantación explica en promedio para toda la región el 82% de la variabilidad del área sembrada de soja, mientras que para los cultivos de trigo y maíz el precio del producto es la variable que más influye en la decisión de siembra.

## Referencias

Darwich, N.A.. 2004. Sustentabilidad de los sistemas productivos. Seminario “Los cambios climáticos y sus consecuencias sobre la expansión agropecuaria y la sustentabilidad de los suelos” Bolsa de Cereales, Buenos Aires.

García, F. 2004. Agricultura Sustentable y Materia Orgánica del Suelo: Siembra Directa, Rotaciones y Fertilidad. [www.inpofos.org](http://www.inpofos.org)

INTA. 2003. La sustentabilidad de la producción agropecuaria argentina. Disponible en: [www.inta.gov.ar](http://www.inta.gov.ar) (dic 2003).

Joensen, L. & M.W. Ho. 2004. La paradoja de los transgénicos en Argentina. Revista del Sur, N° 147/148. [www.redtercermundo.org.uy](http://www.redtercermundo.org.uy).

Martelotto E., H. Salas, E. Lovera. 2001. El Monocultivo de Soja y la Sustentabilidad de la Agricultura Cordobesa. EEA INTA Manfredi. [www.fertilizar.org.ar/articulos](http://www.fertilizar.org.ar/articulos)

Quiroga, A.R.; Buschiazzo, D.E.; Peinemann, N. 1999. Soil compaction is related to management practices in the semi-arid Argentine Pampas. Soil Till. Res. 52, 21-28.

Trigo, E., D. Chudnovsky, E. Cap, A. López. 2002. Los transgénicos en la agricultura argentina. Ed. Libros del Zorzal, 192 pp.

## Capítulo 3

### Emisión de Gases de efecto invernadero

*Graciela O. Magrin, María I. Travasso y Gustavo M. López*

Las emisiones de óxido nitroso y dióxido de carbono para el ciclo agrícola 2003/2004 se calcularon de acuerdo a las estimaciones de consumo de fertilizantes y combustibles, área sembrada y producción de los cultivos consideradas en este estudio (ver puntos 2.1, 2.2.1 y 2.2.3).

#### *3.1 Emisiones de óxido nitroso procedente de los suelos agrícolas*

La estimación de las emisiones directas de óxido nitroso se calculó en base a las emisiones provenientes de la cantidad de fertilizante sintético utilizado ( $F_{SN}$ ), del aporte de nitrógeno por la fijación biológica de la soja ( $F_{BN}$ ) y del nitrógeno proveniente de los residuos de cosecha ( $F_{RC}$ ), de acuerdo a la metodología propuesta por IPCC(1996):

Donde:

$$F_{SN} = N_{FERT} * (1 - Frac_{GASF})$$

$N_{FERT}$  = total de fertilizante sintético utilizado (Kg N/año). Se estimó, para cada zona, la cantidad total de nitrógeno aplicado proveniente de urea, fosfato diamónico y sulfato de amonio para la campaña 2003/2004, considerando la formulación de cada fertilizante.

$Frac_{GASF}$  = fracción del total de nitrógeno del fertilizante sintético que se emite como  $NO_x + NH_3$  (kgN/KgN). Se consideró el valor propuesto por IPCC (0.1 Kg  $NH_3$ -N +  $NO_x$ -N/kg de nitrógeno en el fertilizante sintético aplicado).

$$F_{BN} = 2 * Cultivo_{BF} * Frac_{NCRBF}$$

**Cultivo<sub>BF</sub>** = producción de legumbres secas y soja (Kg/año). En este caso se consideró la producción de soja por zona durante la campaña 2003/2004.

**Frac<sub>NCRBF</sub>** = fracción de nitrógeno en cultivos fijadores de nitrógeno (Kg N/Kg de biomasa = 0.03 KgN/Kg de biomasa).

$$\mathbf{F_{RC}} = 2 * [\mathbf{Cultivo_O} * \mathbf{Frac_{NCRO}} + \mathbf{Cultivo_{BF}} * \mathbf{Frac_{NCRBF}}] * (1 - \mathbf{Frac_R}) * (1 - \mathbf{Frac_{QUEM}})$$

**Cultivo<sub>O</sub>** = producción de cultivos no fijadores de nitrógeno (Kg/año). Se consideró la producción de trigo, maíz y girasol por zona para la campaña 2003/2004.

**Frac<sub>NCRO</sub>** = fracción de nitrógeno en cultivos no fijadores de nitrógeno (Kg N/Kg de biomasa = 0.015 KgN/Kg de biomasa).

**Frac<sub>R</sub>** = fracción que se retira durante la cosecha (Kg N/Kg cosecha-N = 0.45 Kg N/Kg cosecha-N)

**Frac<sub>QUEM</sub>** = fracción de residuos que se quema. Este valor no se consideró.

Para los tres aportes ( $F_{SN}$ ,  $F_{BN}$ , y  $F_{RC}$ ) se consideró 0.0125 Kg N<sub>2</sub>O-N/Kg como factor de emisión para las emisiones directas.

En base a las fórmulas presentadas, se estimaron las emisiones directas de óxido nitroso para la campaña 2003/04. Durante ese ciclo, como se mencionó anteriormente, el consumo de fertilizantes ascendió a 1.22 Mt, compuestas por 540 Mt de urea, 650 Mt de fosfatos de amonio y 29 mil toneladas de sulfato de amonio, en base a estas cifras se calcularon las emisiones provenientes de la cantidad de fertilizante sintético utilizado ( $F_{SN}$ ).

Las emisiones de los residuos de cosecha ( $F_{RC}$ ) y de la fijación biológica de la soja ( $F_{BN}$ ) se estimaron en base a la producción de ese año (53.2 Mt) integrada por 2.3 Mt de girasol, 13.4 Mt de trigo, 11.1 Mt de maíz y 26.5 Mt de soja.

Las emisiones directas de óxido nitroso procedente de la actividad agrícola en las 12 zonas (Tabla 3.1) resultaron ser de 39,45 Gg N<sub>2</sub>O-N, compuestas por 4,18 Gg N<sub>2</sub>O-N de fertilizantes sintéticos, 19,27 Gg N<sub>2</sub>O-N de la fijación simbiótica de la soja y 16,01 Gg N<sub>2</sub>O-N de los residuos de cosecha.

Las emisiones indirectas provenientes de la volatilización y lixiviación del fertilizante (Tabla 3.1), se estimaron de acuerdo a los siguientes guarismos:

Volatilización: Fracción de fertilizante que se volatiliza (0.1) \* factor de emisión 0.01

Lixiviación: Total de fertilizante \* fracción de N lixiviado (0.3) \* factor de emisión 0.025

**Tabla 3.1:** Emisiones directas e indirectas de óxido nitroso provenientes del uso del suelo.

Zonas	Emisiones directas (Gg N <sub>2</sub> O-N)				Emisiones indirectas (Gg N <sub>2</sub> O-N)			Total de emisiones Gg N <sub>2</sub> O-N
	Fertilizantes sintéticos	Fijación simbiótica de soja	Residuos de cosecha	Sub Total	Volatilización (fertilizante)	Lixiviación (fertilizante)	Sub Total	
1	0,198	0,000	0,156	0.355	0.018	0.132	0.150	0.505
2	0,489	0,260	0,587	1.336	0.043	0.326	0.369	1.705
3	0,721	0,461	1,564	2.747	0.064	0.481	0.545	3.292
4	0,156	0,377	0,480	1.013	0.014	0.104	0.118	1.131
5	0,074	0,703	0,494	1.271	0.007	0.049	0.056	1.327
6	0,140	0,779	0,641	1.560	0.012	0.093	0.105	1.665
7	0,581	2,983	2,338	5.902	0.052	0.387	0.439	6.341
8	1,012	8,373	5,883	15.268	0.090	0.675	0.765	16.033
9	0,096	0,717	0,529	1.341	0.009	0.064	0.073	1.414
10	0,180	0,769	0,673	1.622	0.016	0.120	0.136	1.758
11	0,265	2,227	1,510	4.002	0.024	0.177	0.201	4.203
12	0,267	1,618	1,152	3.038	0.024	0.178	0.202	3.240
Total	4,179	19,267	16,007	39.455	0.372	2.786	3.159	42.614

Según estas estimaciones las emisiones directas e indirectas de óxido nitroso (considerando solamente los cultivos de trigo, maíz, girasol y soja en las 12 zonas de estudio) ascendieron a **42,61 Gg N<sub>2</sub>O-N**. La principal fuente emisora resultó ser la fijación de la soja (45,2%), seguida por los residuos de cosecha (37,6%), y el uso de fertilizantes (17,2%). Desagregando los resultados por zonas, la zona agrícola núcleo (8) que ocupa el 11% de la superficie de estudio aportó casi el 38% de este tipo de emisiones.

### 3.2 Emisiones de CO<sub>2</sub> proveniente del uso de combustible

Considerando los consumos de gasoil detallados en el punto 3.2 y los factores de conversión propuestos por el IPCC, se estimaron las emisiones de CO<sub>2</sub> provenientes de las labores agrícolas (Tabla 3.2), que totalizaron 1.948,9 Gg CO<sub>2</sub>.

**Tabla 3.2:** Estimación del consumo de gas-oil por zona para los cuatro cultivos, considerando el sistema de labranza (ver Anexo 1 Tabla 2 para mayor detalle) y de las emisiones de CO<sub>2</sub>.

Zona	Area 2003/04	Consumos de gas-oil (miles de litros)			Emisiones de CO <sub>2</sub> (Gg CO <sub>2</sub> )
		Labranza cero	Labranza convencional	Total	
1	496.400	4.277	15.644	19.922	52,9
2	1.731.600	16.404	44.441	60.845	161,4
3	2.468.574	33.516	76.880	110.396	292,9
4	691.434	10.972	18.885	29.858	79,2
5	448.800	10.944	7.034	17.978	47,7
6	615.613	13.920	10.360	24.280	64,4
7	2.810.626	56.059	38.686	94.745	251,4
8	5.203.950	125.784	65.438	191.221	507,3
9	661.000	11.815	13.964	25.779	68,4
10	762.300	12.758	16.750	29.508	78,3
11	1.759.700	40.302	23.690	63.992	169,8
12	1.783.500	34.451	31.620	66.072	175,3
<b>Total</b>	<b>19.433.497</b>	<b>371.203</b>	<b>363.391</b>	<b>734.594</b>	<b>1.948,9</b>

El consumo total de gasoil bajo siembra directa y labranza convencional resultó muy similar, mientras que la zona de mayor consumo y contribución a las emisiones de CO<sub>2</sub> es la 8.

### 3.3. Total de emisiones

Las emisiones de óxido nitroso provenientes del uso de los suelos y de dióxido de carbono provenientes del consumo de gasoil expresadas en Gg CO<sub>2</sub> totalizan 15.159,24 Gg CO<sub>2</sub> (1.948,9 Gg CO<sub>2</sub> proveniente del consumo de gasoil y 13.210,34 proveniente de los suelos agrícolas).

### 3.4 Conclusiones

Las emisiones de óxido nitroso derivada del uso de los suelos y de dióxido de carbono proveniente del consumo de gasoil para los cultivos de trigo, maíz, girasol y soja en las 12 zonas estudiadas de la región Pampeana durante el ciclo agrícola 2003-2004 se estimaron en 15.159,24 Gg CO<sub>2</sub> equivalente.

Las emisiones directas e indirectas de óxido nitroso ascendieron a 42,61 Gg N<sub>2</sub>O-N. La principal fuente emisora de óxido nitroso resultó ser la fijación simbiótica de la soja (45,2%), seguida por los residuos de cosecha (37,6%), y el uso de fertilizantes (17,2%).

La contribución por el uso de combustibles fósiles fue de 1.948,9 Gg CO<sub>2</sub>.

## **Referencias**

IPCC. 1996. Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories

## Capítulo 4

### Impactos potenciales del cambio climático

*Graciela O. Magrin, María I. Travasso, Gabriel R. Rodríguez, Augusto R. Lloveras*

El impacto del cambio climático sobre los rendimientos de los cultivos anuales se estimó a partir de los modelos de simulación incluidos en DSSAT (Hoogenboom et al., 2003). Estos modelos simulan a paso diario el desarrollo, crecimiento y rendimiento de los cultivos teniendo en cuenta las disponibilidades hídricas y nutricionales. Requieren variables de entrada relacionadas con el clima (temperatura máxima y mínima, radiación global y precipitación), el suelo (propiedades físicas y químicas), el manejo (residuos, fechas de siembra, fertilización, riego) y las características genéticas de los cultivares.

En nuestro país, han sido exhaustivamente evaluados en la Región Pampeana a nivel experimental (Magrin et al., 1991, Travasso & Magrin, 1998, 2001; Guevara & Meira, 1995; Meira & Guevara, 1995). Esto permitió su aplicación para diversos propósitos y distintas escalas espaciales, tales como la estimación anticipada de rendimientos a nivel regional (Magrin, 1997), recomendaciones de manejo (Magrin y Travasso, 1994), impactos de la variabilidad climática interanual (Travasso et al., 1999; Magrin et al, 2005), de los cambios ya ocurridos en el clima (Magrin et al., 2005) y del cambio climático (Magrin et al., 1997, 1998; Magrin & Travasso, 2002) sobre el sector agrícola.

#### ***4.1 Información básica***

Se conformaron bases de datos con las variables de entrada requeridas por los modelos DSSAT que incluyen características de suelo y climáticas, de manejo y de cultivares.

##### *4.1.1 Suelos:*

Se tomó como base el índice de productividad de los suelos (IP) publicado en el Atlas de Suelos de la República Argentina (INTA, 1995) y se establecieron cinco categorías de acuerdo a su aptitud:

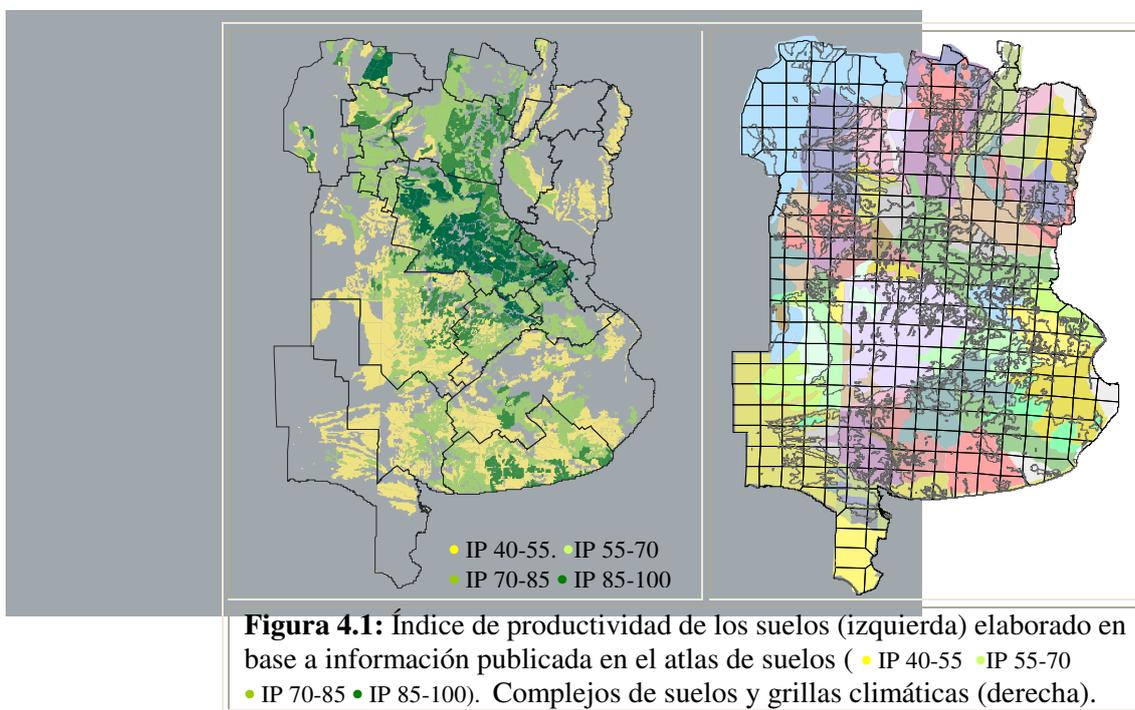
Menor de 40: suelos no aptos para agricultura.

Entre 40 y 54: suelos ganadero agrícola.

Entre 55 y 69: suelos agrícola ganadero.

Entre 70 y 84: suelos agrícolas.

Entre 85 y 100: suelos aptos para agricultura intensiva.



Este plano de información se superpuso con el de las zonas, para identificar la aptitud productiva de las mismas (Figura 4.1). En cada zona y considerando el mapa de suelos regionalizado a escala 1:2.5000.000 (INTA, 1990) se seleccionaron las series representativas a cada nivel de IP (Figura 4.1). De esta manera se obtuvieron 48 series de suelo y se conformó la base de datos de entrada de los modelos de simulación, que incluye:

a) las características generales de cada perfil: drenaje, escurrimiento, evaporación, albedo y capacidad de mineralización, y

b) las características intrínsecas de cada horizonte: espesor de la capa; contenido de humedad en los límites inferior, superior y de saturación; distribución relativa de raíces; pH, densidad aparente y contenido de carbono orgánico.

#### *4.1.2 Clima*

Se consideró como clima actual a los valores de precipitación, temperatura máxima y mínima generados por el modelo regional MM5/CIMA para el período 1981-1990, y como escenarios futuros las estimaciones del mismo modelo para los escenarios socioeconómicos SRES A2 y SRES B2 (IPCC, 2001) para el período 2081-2090.

La información climática disponible para grillas de 40 km\*40 km se superpuso con la información de suelos (ver Figura 4.1) delimitándose áreas ambientalmente homogéneas.

#### *4.1.3 Manejo de los cultivos y cultivares*

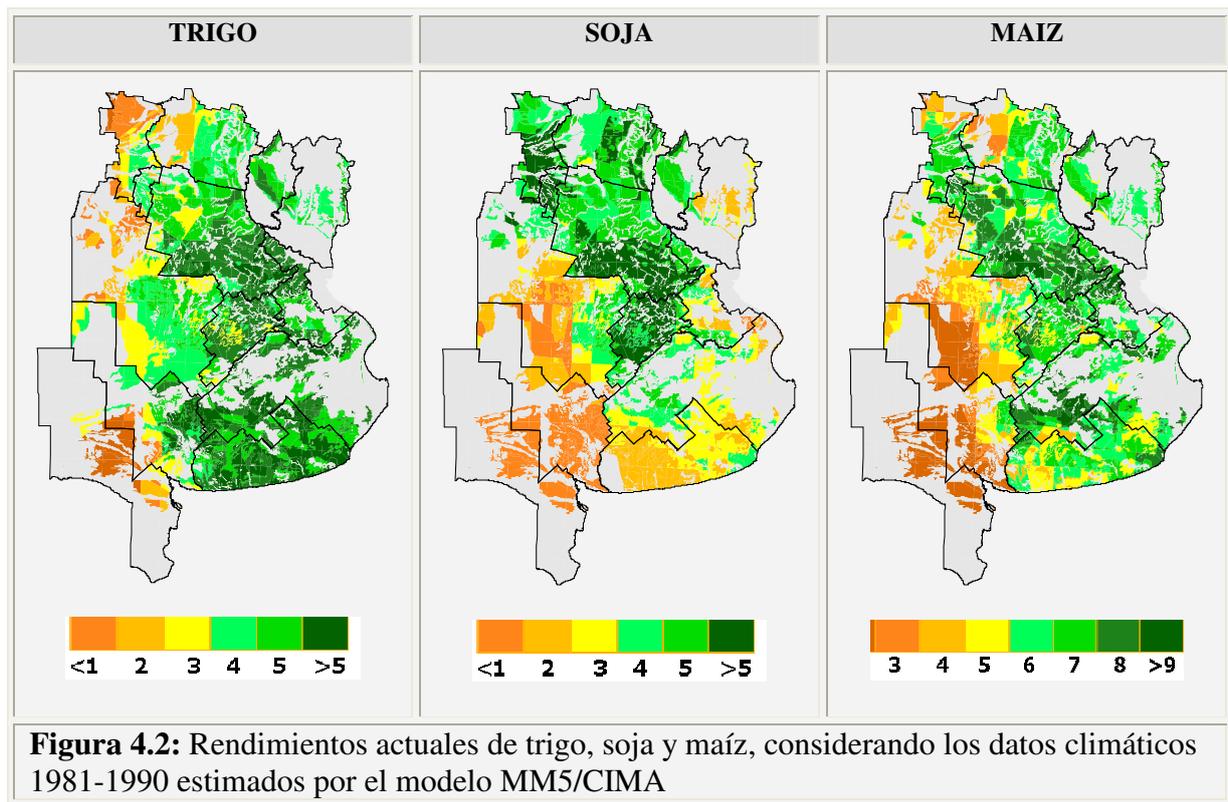
Se consideraron las opciones más frecuentes de manejo, coincidentes con las presentadas por el proyecto de Análisis de Riesgo (ORA-SAGPyA), en el resto de la zona los datos surgieron de encuestas. Las dosis de fertilizante en cada zona provinieron del cálculo presentado en el punto 3.2.

En base a estas variables de entrada se efectuaron las simulaciones de rendimientos para las condiciones climáticas actuales, de aquí en adelante “rendimientos base”, y para los climas proyectados para el 2081-2090 bajo los escenarios SRES A2 y B2 y se estimó el cambio relativo de rendimientos para cada área ambientalmente homogénea.

### **4.2 Estimación de rendimientos**

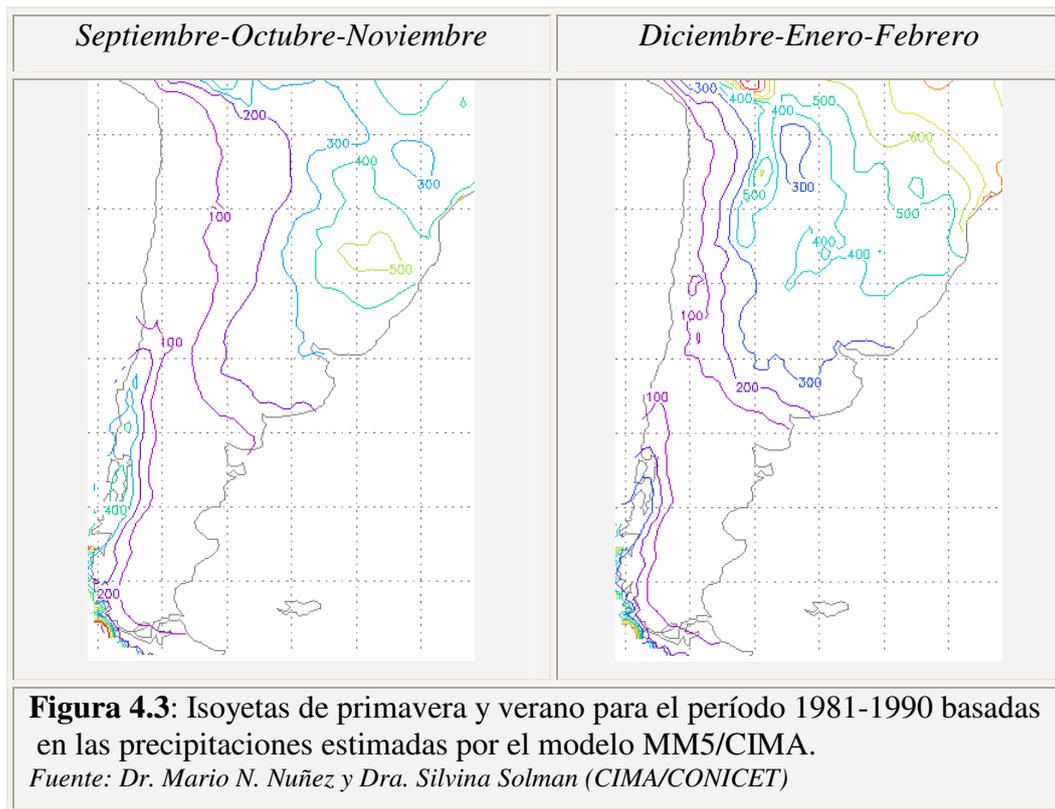
#### *4.2.1 Rendimientos base*

Los rendimientos base, estimados con el clima generado por MM5/CIMA para el lapso 1981-1990, oscilaron entre 1 y 6 t/ha en trigo y soja, y entre 3 y 10 t/ha en maíz (Figura 4.2).



Para los tres cultivos los menores niveles de rendimiento se observan en el oeste de la región, en particular las zonas 1, 2 y parte de la 7. En estas zonas que son normalmente marginales por problemas de deficiencia hídrica, los niveles de rendimiento obtenido son levemente inferiores a los registrados en esa década.

El análisis de las precipitaciones estimadas por el MM5/CIMA (Figura 4.3) para el semestre cálido (Septiembre-Febrero) indica que las mismas alcanzan valores de entre 200 y 400 mm en esa parte de la región (zonas 1, 2 y oeste de la 7). Estos valores resultan inferiores a los observados para el mismo período (1981-1990) en la zona, por ejemplo Coronel Suarez (315mm vs 528mm), Bordenave (347mm vs 427mm), Hilario Ascasubi (219mm vs 308mm), Santa Rosa (384mm vs 452mm). Para estas cuatro localidades el modelo MM5/CIMA produjo una subestimación promedio de las lluvias primavera-estivales del orden del 26% (112mm).



En un trabajo reciente (Camilloni y Bidegain, 2005), donde se evaluó el comportamiento de 4 MCG (CSIRO Mk2, GFDL R30, HadCM3 y ECHAM4) se demostró que el modelo HadCM3 es el que presenta las menores diferencias entre precipitación observada y estimada. Sin embargo en la región pampeana el HadCM3 subestima la precipitación anual en aproximadamente 360 mm, lo que representa hasta un 30% menos de lo observado. En el mismo trabajo se demostró que la subestimación de las lluvias se produce durante las cuatro estaciones del año y es más marcada en otoño e invierno.

Evidentemente, la subestimación del rendimiento en la zona oeste obedece a que el modelo regional (que esta basado en el HadCM3) mantiene las subestimaciones de precipitación del modelo global del que deriva.

#### *4.2.2 Impactos potenciales del CC sobre los rendimientos*

Los cambios en los rendimientos regionales bajo cada escenario socioeconómico (SRES A2 y B2) son el resultado de interacciones entre los efectos de temperatura y precipitación, así

como también de los efectos fisiológicos directos del incremento de CO<sub>2</sub> en la atmósfera. En las Figuras 4.4, 4.5 y 4.6 se presentan los cambios potenciales de rendimiento de trigo, maíz y soja para los escenarios A2 y B2 para el año 2080, en relación a los rendimientos base o actuales (1981-1990), considerando y sin considerar los efectos del CO<sub>2</sub>.

Los escenarios SRES A2 y B2 difieren en sus proyecciones, siendo algunas de las diferencias muy importantes del punto de vista biológico. El escenario SRES A2 considera una concentración de CO<sub>2</sub> superior a la del SRES B2 (698 ppm vs 559 ppm) para 2080. Consecuentemente los incrementos de temperatura proyectados con SRES A2 para la región de estudio (ver Anexo 2, Figuras 1 y 2) son mayores, oscilando entre 2 y 3 °C para la máxima y cerca de 3°C para la mínima. Estos valores superan en alrededor de 1°C los obtenidos con el SRES B2. En relación a las precipitaciones, los dos escenarios prevén incrementos en el semestre cálido (ver Anexo 2, Figura 3), siendo los valores mayores en SRES A2 con incrementos que llegan a los 100mm en los trimestres de Sep-Nov y Dic-Feb. Durante el invierno no se proyectan variaciones con respecto a los valores actuales.

#### *SRES A2:*

Si no se consideran los efectos del CO<sub>2</sub>, el impacto del escenario A2 sobre los rendimientos sería negativo en la mayor parte de la región alcanzando una reducción promedio de 4% en trigo, 9% en maíz y 14 % en soja (Tabla 4.1). Sin embargo existe una gran variabilidad espacial encontrándose zonas con incrementos y otras con reducciones (Figuras 4.4, 4.5 y 4.6). Las zonas más perjudicadas serían la 7 y la 11 para el trigo, con reducciones de hasta el 13%. Para el maíz las zonas 5 y 6, donde disminuiría hasta un 17%. En soja se esperan reducciones en gran parte de la región aunque serían beneficiadas las zonas del sur de Buenos Aires (1, 2, 3), donde actualmente este cultivo no está aún muy difundido.

El efecto biológico del CO<sub>2</sub> conduciría a aumentos de rendimiento en todas las zonas para los tres cultivos, promediando 14% en trigo, 19% en maíz y 67% en soja (Tabla 4.1). Los mayores incrementos de rendimiento se localizarían en las zonas 1 y 2 para los 3 cultivos (Figuras 4.4, 4.5 y 4.6).

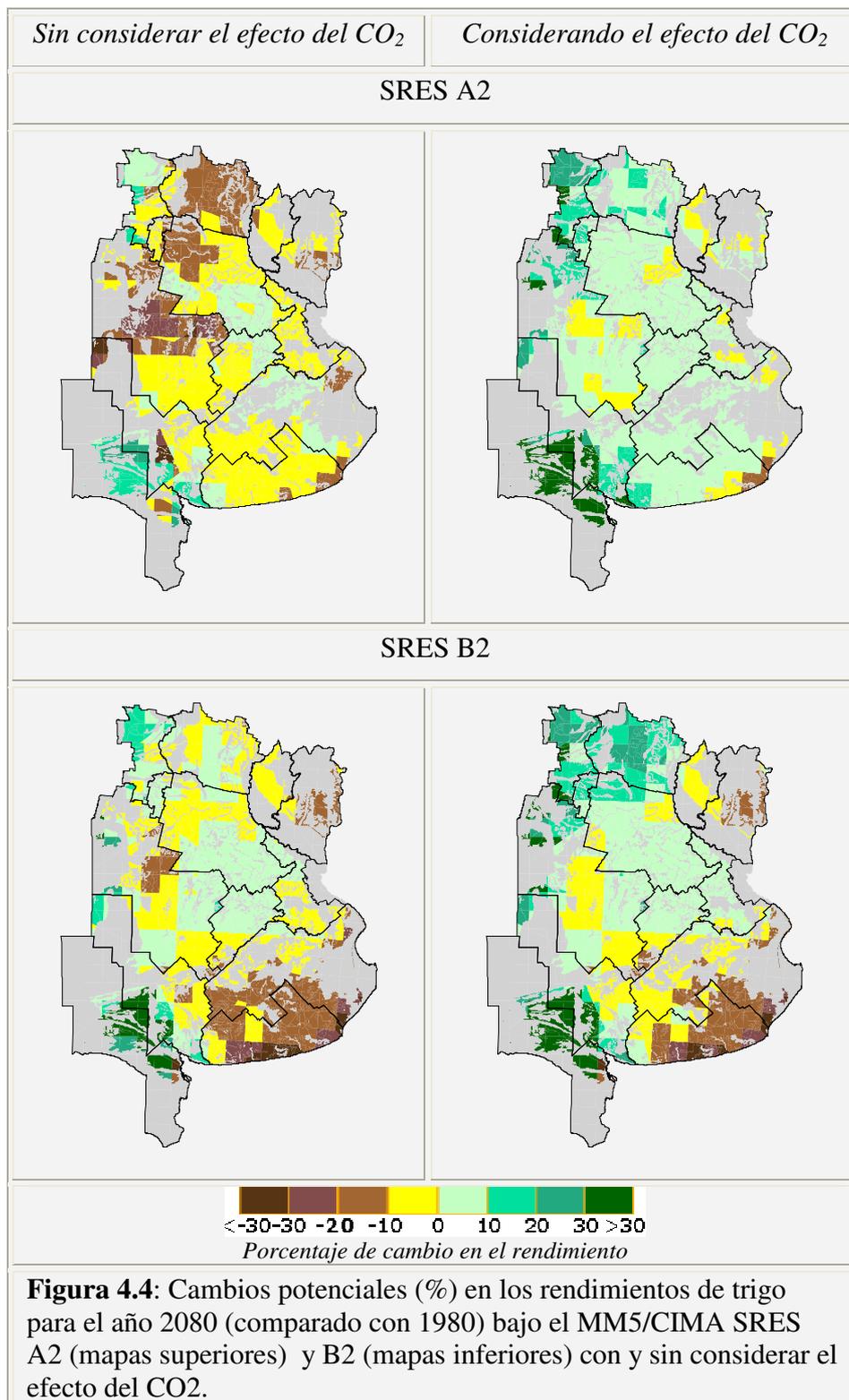
*SRES B2:*

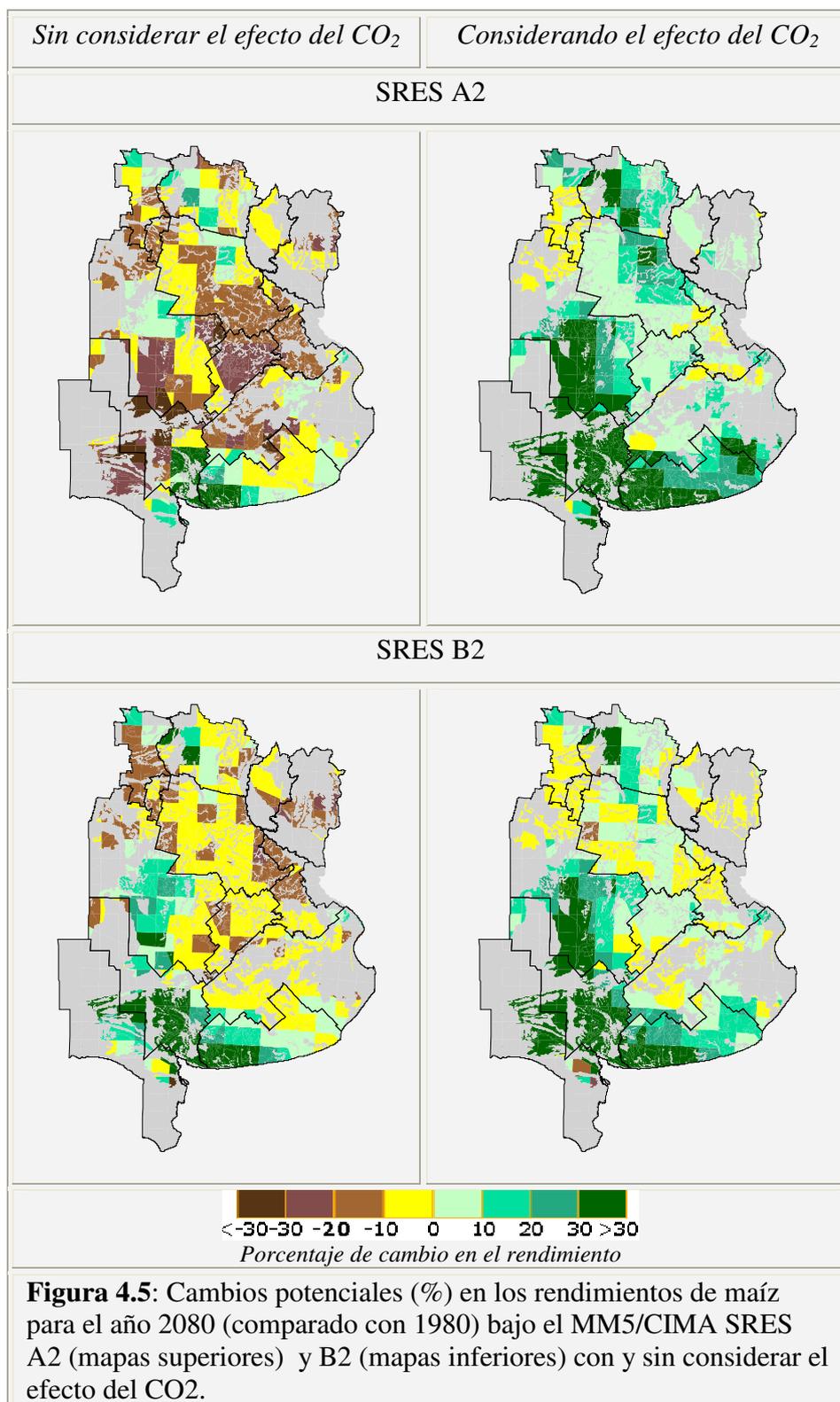
Si no se considera el efecto del CO<sub>2</sub>, la reducción media sería similar al escenario A2 en trigo (3%) y algo menor en maíz (6%), mientras que en soja se esperan incrementos del 3% (Tabla 4.1). En el caso del trigo (Figura 4.4) los cambios más importantes se encontraron en el sur de la región, en particular en la zona 3 que es la de mayor área sembrada con este cereal, donde los rendimientos disminuirían hasta un 15%. Por el contrario en la zona 1, podrían incrementar hasta un 39%. En maíz (Figura 4.5) los rendimientos se reducirían en casi toda la región (hasta 16% en la zona 9) aunque también podrían registrarse incrementos en el sur (hasta 45% en la zona 2). En soja sólo se esperan impactos negativos en el norte de la región (zonas 8 a 12), mientras que los incrementos más importantes se darían en las zonas 2 y 7 (Figura 4.6).

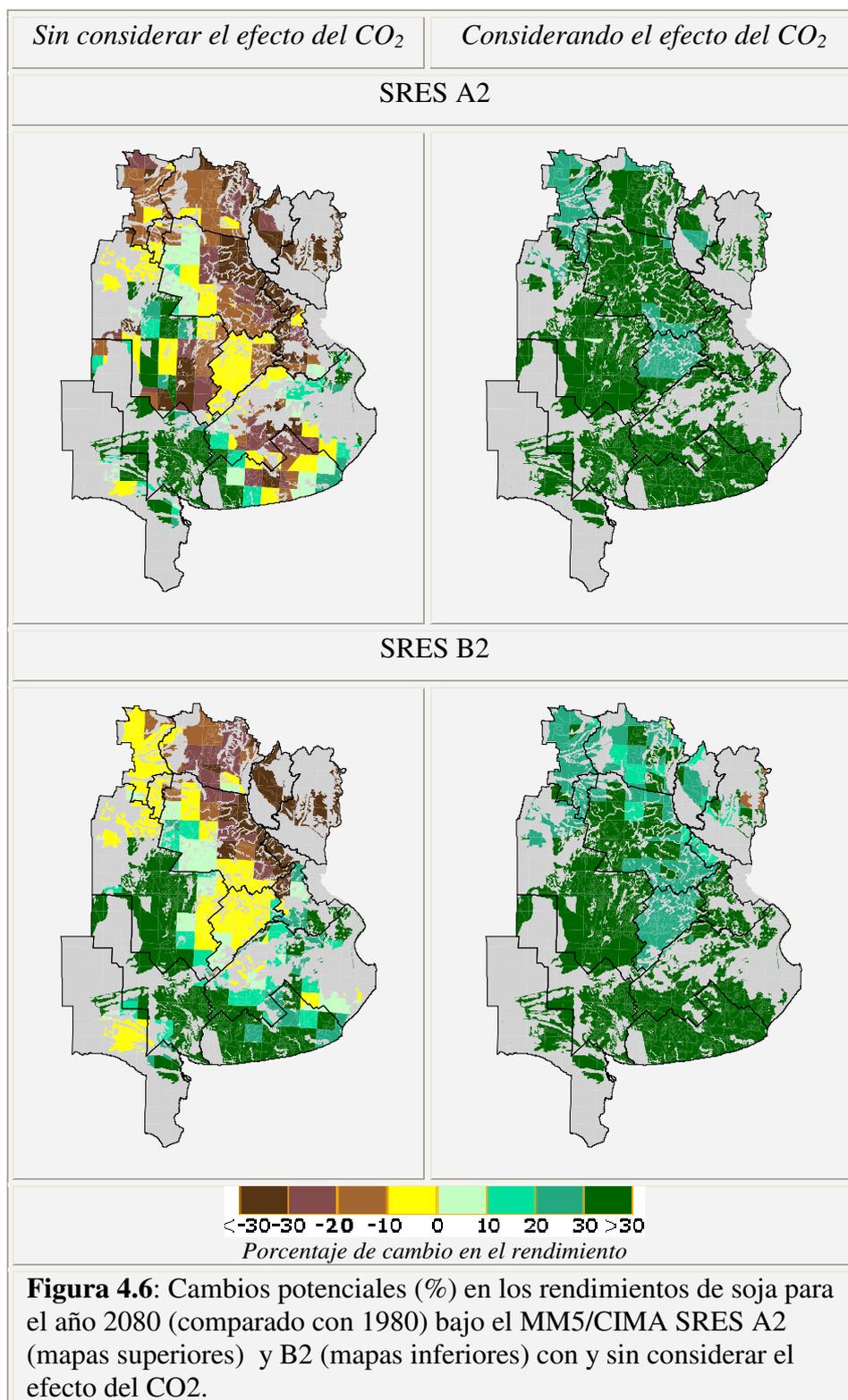
Al considerar el efecto del CO<sub>2</sub>, los rendimientos incrementarían en promedio un 6% en trigo, 11 % en maíz y 68% en soja (Tabla 4.1). Sin embargo en algunas zonas se producirían disminuciones, por ejemplo el trigo reduciría cerca del 12% su rendimiento en el sudeste de la región, mientras que en maíz las reducciones alcanzarían el 4% en las zonas 9-10.

**Tabla 4.1:** Cambios relativos en los rendimientos para el año 2080 (en relación al actual: 1981-1990), expresados como promedio para la región Pampeana, bajo los escenarios SRES A2 y B2, considerando y sin considerar el efecto biológico del CO<sub>2</sub>.

Cultivo	Cambios potenciales de rendimientos			
	Sin efecto de CO <sub>2</sub>		Con efecto de CO <sub>2</sub>	
	A2	B2	A2	B2
Trigo	- 4	- 3	14	6
Maíz	- 9	- 4	19	11
Soja	- 14	3	67	68







Cuando no se considera el efecto del CO<sub>2</sub>, el impacto sobre los rendimientos sería siempre más leve bajo las condiciones del SRES B2. Como se mencionó anteriormente, este escenario proyecta menores incrementos de temperatura que el A2 lo cual sería menos perjudicial para la producción de cultivos.

Los incrementos de temperatura provocan el acortamiento del ciclo de crecimiento y conducen a menores rendimientos. En general el impacto de los escenarios proyectados para 2080 tiende a ser negativo, aunque el escenario B2 sería menos perjudicial. Existen umbrales de temperatura, superados los cuales los cultivos reducen su producción, Magrin y Travasso (2002) demostraron que ese umbral sería de 1 °C para el maíz, 1.8 °C para el trigo y 3 °C para la soja. Consecuentemente cuando el agua no es limitante, el cultivo que mejor soportaría las condiciones futuras sería la soja. Sin embargo, a pesar del aumento promedio de las precipitaciones previsto para el ciclo de los cultivos de verano, el agua disponible sería deficiente en algunas zonas conduciendo a reducciones de los rendimientos.

Los resultados de impactos promedios obtenidos con el modelo regional (MM5/CIMA) son de magnitudes similares a los obtenidos en trabajos previos con el modelo global HadCM3, aunque la variabilidad espacial es mayor. Travasso y otros (2006) analizaron el impacto de las predicciones del modelo HadCM3 sobre la producción de maíz y soja en 5 sitios de la región representativos de distintas condiciones ambientales (desde zonas húmedas a semiáridas) y encontraron reducciones de rendimiento en todos los sitios para el año 2080, tanto bajo las condiciones del SRES A2 como del SRES B2.

En ambientes enriquecidos con CO<sub>2</sub> la situación puede revertirse. La elevada concentración de CO<sub>2</sub> prevista para las condiciones del SRES A2 favorecería la producción de los cultivos contrarrestando los efectos negativos del incremento de temperaturas. De acuerdo a las relaciones incluidas en los modelos DSSAT, con 698 ppm de CO<sub>2</sub> la eficiencia de la fotosíntesis incrementaría en 12, 29 y 42 % para maíz, trigo y soja respectivamente. Mientras que bajo las condiciones del SRES B2 (559 ppm CO<sub>2</sub>) esos valores serían de 6, 17 y 33 %. Por otro lado, el incremento de CO<sub>2</sub> también mejoraría la eficiencia del uso del agua por lo cual los mayores cambios se darían en las zonas donde este factor es más limitante (ej zonas 1 y 2).

### *4.2.3 Incertidumbres*

La estimación de los impactos potenciales del cambio climático sobre los rendimientos de los cultivos incluye varias incertidumbres. La primera de ellas es la credibilidad o certidumbre de los escenarios climáticos. Los escenarios generados por el modelo regional MM5/CIMA presentan la ventaja con respecto a los MCG de poseer una mayor resolución espacial, sin embargo las proyecciones fueron realizadas para un período de 10 años (1981-1990), lo cual impide evaluar aspectos de suma importancia para la actividad agrícola como lo es la variabilidad interanual.

Por otro lado, los resultados obtenidos sugieren que este modelo estaría subestimando las precipitaciones actuales, especialmente en el sudoeste y oeste de la región, donde la actual escasez de precipitaciones y la pobre capacidad de retención de los suelos someten a los cultivos a deficiencias de agua que limitan su productividad.

La estimación de impactos sobre los rendimientos incluye además otras fuentes de incertidumbre relacionadas con carencias de los modelos y dudas sobre el verdadero impacto del CO<sub>2</sub> sobre la producción. Una falencia importante en la estimación de rendimientos es que no se consideran los potenciales impactos de plagas, enfermedades y malezas. Por otro lado, si bien los impactos de las deficiencias hídricas son bien evaluados no ocurre lo mismo con los excesos y/o las inundaciones.

Finalmente, la contribución del CO<sub>2</sub> para incrementar los rendimientos es una cuestión compleja. El efecto positivo del CO<sub>2</sub> sobre la fotosíntesis y la eficiencia de uso del agua ha sido demostrado para numerosos cultivos (Kimball et al., 2003). Trabajos recientes (Long et al., 2005; Morgan et al., 2005) cuestionan la modelización del efecto del CO<sub>2</sub> sobre la producción de cultivos ya que se basa fundamentalmente en estudios llevados a cabo en condiciones controladas ó semicontroladas, a escalas muy reducidas. Según estos autores el efecto se estaría sobreestimando, en particular en soja, en el que se asumen aumentos de la eficiencia fotosintética superiores al 30%. También existe incertidumbre sobre cuál será la respuesta de los cultivos en un ambiente que sea paulatinamente enriquecido con este gas, debido principalmente al efecto de aclimatación (Ainsworth & Long, 2005). Estudios recientes sugieren que cuando las plantas crecen en ambientes enriquecidos con CO<sub>2</sub>, el estímulo inicial sobre la fotosíntesis puede contrarrestarse en el largo plazo por una

declinación en la actividad de las enzimas fotosintéticas a medida que las plantas se aclimatan al ambiente (“down-regulation”).

Asimismo, hay indicios de que bajo elevadas concentraciones de CO<sub>2</sub> el contenido de nitrógeno de los tejidos disminuiría, incrementándose la relación C:N. Esto haría necesario aumentar los aportes de dicho nutriente para poder mantener la calidad de los productos, por ejemplo la proteína en grano del trigo (Bloom et al., 2002).

A pesar de las incertidumbres mencionadas, los resultados obtenidos son consistentes en cuanto al impacto más fuerte del escenario A2 sobre la producción de los tres cultivos.

### ***4.3 Conclusiones***

El impacto potencial del cambio climático sobre los rendimientos de los cultivos de trigo maíz y soja sería perjudicial en la mayor parte de la región bajo el escenario SRES A2 para el año 2080 si no se considera el efecto biológico del incremento de CO<sub>2</sub>. Las reducciones medias de rendimiento alcanzarían el 4% en trigo, 9% en maíz y 14 % en soja.

Bajo las condiciones del escenario SRES B2 y sin considerar el efecto del CO<sub>2</sub>, la reducción media sería similar en trigo (3%) y algo menor en maíz (6%), mientras que en soja se esperan incrementos del 3%. Cabe destacar que con ambos escenarios habría gran variabilidad espacial.

Si se considera el efecto del CO<sub>2</sub> los rendimientos se incrementarían en todas las zonas para los tres cultivos, promediando 14% en trigo, 19% en maíz y 67% en soja bajo el escenario A2, y 6% en trigo, 11 % en maíz y 68% en soja con el escenario B2.

Existe un elevado nivel de incertidumbre en estas estimaciones derivada de las proyecciones climáticas, de la consecuencia real sobre los cultivos de un enriquecimiento de CO<sub>2</sub> en la atmósfera, y de la falta de consideración de factores importantes como las plagas y las enfermedades en la estimación de los rendimientos.

## Referencias:

Ainsworth, E. A and S.P. Long. 2005. What have we learned from 15 years of free-air CO<sub>2</sub> enrichment (FACE)? A meta-analytic review of the responses of photosynthesis, canopy properties and plant production to rising CO<sub>2</sub>. *New Phytologist* (2005) **165**: 351–372

Bloom, A.J., DR Smart, DT Nguyen, PS Searles .2002. Nitrogen assimilation and growth of wheat under elevated carbon dioxide. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol 99, no. 3, 1730-1735

Camilloni, I. and M. Bidegain 2005: Climate Scenarios for the XXI century; Chapter 4 of the book the climate change in the Plata River (In Spanish) Editors V. Barros, Angel Menéndex and Gustavo Nagy, Buenos Aires 200 pp

Guevara, E, Meira, S. 1995. Application of CERES-Maize model in Argentina. Second International Symposium on Systems Approaches for Agricultural Development (SAAD2). Los Baños- IRRI. Philippines.

Hoogenboom, G., J.W. Jones, C.H. Porter, P.W. Wilkens, K.J. Boote, W.D. Batchelor, L.A. Hunt, and G.Y. Tsuji (Editors). 2003. Decision Support System for Agrotechnology Transfer Version 4.0. University of Hawaii, Honolulu, HI.

INTA.1990. Mapa de Suelos de la Región Pampeana. Instituto de Suelos, CIRN Castelar

INTA.1995. Atlas de Suelos de la República Argentina. Instituto de Suelos, CIRN Castelar

IPCC 2001. Climate Change 2001: IPCC Third Assessment Report.

Kimball, B.A., Kobayashi, K., Bindi, M., 2003. Responses of agricultural crops to free-air CO<sub>2</sub> enrichment. *Adv. Agron.* 77, 293- 368.

Long, S.P., E.A. Ainsworth , A.D.B. Leakey, P.B. Morgan . 2005. Global food insecurity. Treatment of major food crops with elevated carbon dioxide or ozone under large-scale fully

open-air conditions suggests recent models may have overestimated future yields.  
Philosophical Transactions: Biological Sciences. Volume 360, 1463: 2011 – 2020.

Magrin G.O., Díaz R., Rebella C., Del Santo C. and Rodríguez R. 1991. Simulación del crecimiento y desarrollo de trigo en Argentina y la necesidad de información meteorológica de entrada. Anales del Sexto Congreso Argentino de Meteorología (Congremet VI). Bs. As, Argentina. Septiembre de 1991

Magrin G.O., Díaz R.A., Travasso M.I., Rodríguez G., Boullón D., Nuñez M., Solman S. 1998. Vulnerabilidad y Mitigación relacionada con el Impacto del Cambio Global sobre la Producción Agrícola. En Proyecto de Estudio sobre el Cambio Climático en Argentina, proyecto ARG/95/G/31-PNUD-SECYT, (eds. Barros V., Hoffmann J.A., Vargas W.M.), (290 pp).

Magrin, G., Travasso, M.I, Díaz, R. and Rodríguez, R..1997. Vulnerability of the Agricultural Systems of Argentina to Climate Change. *Climate Res.*, 9:31-36

Magrin, G., Travasso, M.I, Díaz, R. and Rodríguez, R..1997. Vulnerability of the Agricultural Systems of Argentina to Climate Change. *Climate Res.*, 9:31-36

Magrin, G.O., M. I. Travasso. 2002. An Integrated Climate Change Assessment from Argentina (Chapter 10) *In*: Effects of Climate Change and Variability on Agricultural Production Systems. Otto Doering III; J.C.Randolph; J.Southworth and R.A.Pfeifer (Eds). Kluwer Academic Publishers, Boston. 296pp.

Magrin, G.O., M. I. Travasso. 2002. An Integrated Climate Change Assessment from Argentina (Chapter 10) *In*: Effects of Climate Change and Variability on Agricultural Production Systems. Otto Doering III; J.C.Randolph; J.Southworth and R.A.Pfeifer (Eds). Kluwer Academic Publishers, Boston. 296pp.

Magrin, G.O., M.I. Travasso and G.R. Rodríguez. 2005. Changes in climate and crop production during the 20<sup>th</sup> century in Argentina. *Climatic Change* **72**:229-249

- Magrin,G.O., Travasso, M.I. 1994. Evaluación de riesgos en sistemas agrícolas I) Fertilización nitrogenada en trigo. RIA, Vol.25 No2, 23-31
- Meira, S, and E. Guevara. 1995. Application of SOYGRO model in Argentina. Second International Symposium on Systems Approaches for Agricultural Development (SAAD2). Los Baños- IRRI. Filipinas.
- Morgan, P.B., Bollero, G.A., Nelson, R.L., Dohleman, F.G. & Long, S.P. 2005 Smaller than predicted increase in above-ground net primary production and yield of field-grown soybean was found when [CO<sub>2</sub>] is elevated in fully open-air. *Global Change Biol.* **11**, 1856–1865
- ORA-SAGPyA. 2005. Zonificación agroeconómica, Oficina de Riesgo Agropecuario. SAGPyA. [www.ora.gov.ar](http://www.ora.gov.ar)
- Travasso M.I, Magrin G.O. 1998. Utility of CERES-Barley under Argentine conditions. *Field Crops Res.*, 57:(325-329).
- Travasso, M.I., G.O. Magrin, W. E. Baethgen, J.. P. Castaño,.G. R. Rodriguez, J. L. Pires, A. Gimenez, G. Cunha, M. Fernandez. 2006. Adaptation measures for maize and soybean in South Eastern South America. AIACC Adaptation Synthesis (Submitted)
- Travasso, M.I., G.O. Magrin. 2001. Testing Crop Models at the Field level in Argentina. pp. 89-90. *In*: Proc. 2<sup>nd</sup> International Symposium “Modelling Cropping Systems”. July 16-18 2001. Florence, Italy.
- Travasso, M.I., Magrin, G.O. and Grondona, M.O. 1999. Relations between climatic variability related to ENSO and maize production in Argentina. Proc. 10<sup>th</sup> Symposium on Global Change Studies, 10-15 Jan. 1999, Dallas, TX, by the AMS, Boston, MA. pp.67-68

## Capítulo 5

### Adaptación

*María I. Travasso , Graciela O. Magrin, Gustavo López, Gabriel R. Rodriguez*

La **adaptación** es el proceso mediante el cual se ajustan las actividades humanas de forma tal que tanto la sociedad como los recursos naturales se encuentren menos expuestos y sean menos vulnerables al cambio climático. Los objetivos principales de la adaptación apuntan a disminuir las pérdidas y aumentar la resiliencia (IPCC, 2001).

Las medidas de adaptación propuestas seguidamente están dirigidas, por un lado a tratar de reducir las pérdidas de producción y consecuentemente económicas y por otro a mantener la sustentabilidad de los recursos naturales para evitar consecuencias mayores ante los cambios climáticos proyectados.

#### **5.1 Medidas de adaptación**

##### *5.1.1 Sistema de alquiler condicionado*

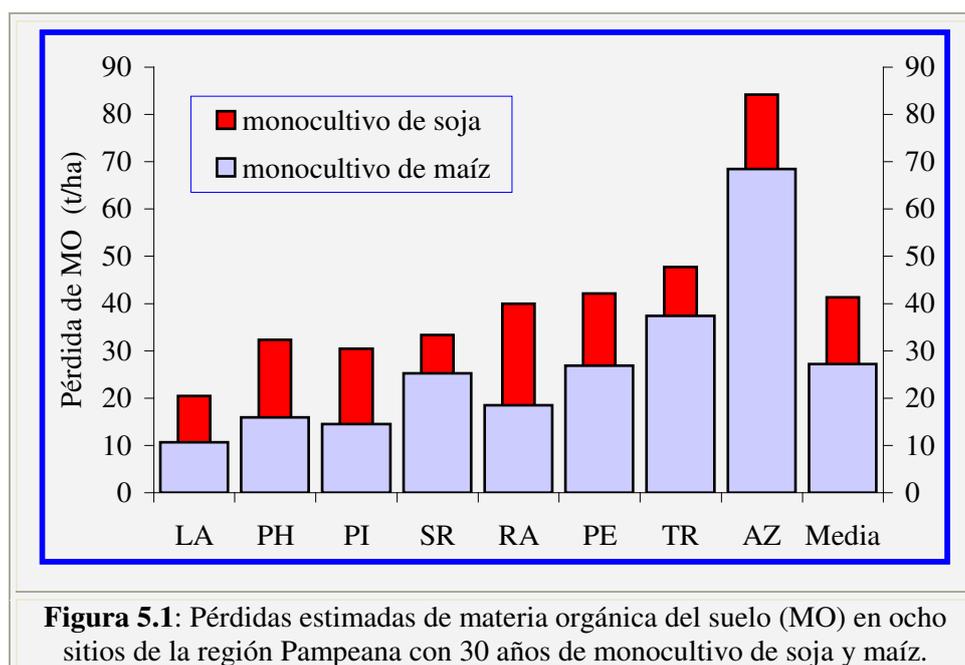
El hecho de que la soja se constituyera en el principal cultivo del área Pampeana con prácticamente el 50% del área sembrada total y otro tanto en cuanto a la producción, refleja una realidad en materia de rentabilidad a partir de los precios internacionales, los costos de implantación, la demanda mundial y la competencia local (exportación-industria) muy difícil de superar por otros cultivos.

Como se mencionó en el apartado 2, esta tendencia al monocultivo de soja ya está afectando la sustentabilidad de los sistemas por varias causas, siendo una de las principales la reducción de la materia orgánica (MO) del suelo. La pérdida de MO que depende entre otras cosas de la temperatura ambiente, podría incrementar con los aumentos proyectados en las temperaturas para el próximo siglo.

Si bien la bibliografía existente cita las pérdidas de MO bajo el cultivo de soja, los datos disponibles para el monocultivo son de corto plazo (no más de 10 años). Para inferir las pérdidas de MO en el largo plazo se efectuaron simulaciones con 30 años de datos climáticos (1971-2000) en 8 sitios ambientalmente contrastantes (Laboulaye, Pehuajó, Pilar, Santa Rosa, Rafaela, Pergamino, Tres Arroyos y Azul) donde predominan suelos con diferentes contenidos de MO. Se usó la rutina de secuencias de cultivos del modelo DSSAT, y se consideraron tres posibilidades de uso del suelo:

- 1) monocultivo de maíz,
- 2) monocultivo de soja, y
- 3) rotación soja-maíz.

De acuerdo a estos resultados, la cantidad de MO que se perdería con 30 años de monocultivo de soja sería en promedio un 70 por ciento mayor a la que se perdería con 30 años de monocultivo de maíz (Figura 5.1), aunque existen importantes variaciones de acuerdo al sitio.



Resultados de otro estudio que considera un escenario climático futuro basado en las proyecciones del HadCM3 bajo el SRES A2 para 2080 (AIACC, 2005 no publicado) sugieren que las pérdidas de MO serían aún mayores en el futuro, debido principalmente al incremento de temperatura. Por ejemplo en las localidades de Pergamino y Tres Arroyos las pérdidas de MO bajo 30 años de monocultivo de soja serían un 4% mayores con el clima futuro que con el

actual. Estas cifras advierten sobre la necesidad de detectar sistemas alternativos de producción tendientes a lograr un mejor equilibrio ambiental.

En gran parte de la región Pampeana pero especialmente en el área sojera núcleo, donde abunda el sistema de alquiler de campos o contratistas, las ofertas de alquiler están vinculadas directamente con la siembra de soja y los precios expresados en términos de quintales de soja por hectárea. Esta es una realidad que obedece específicamente a la elevada rentabilidad de este cultivo sin considerar los impactos ambientales.

Una medida de adaptación autónoma que se está observando a partir de los últimos dos años, es el sistema de alquiler condicionado que consiste en el ajuste de los alquileres de los campos (mas bajo claro esta) si los contratos de alquiler se prolongan por más de dos o tres campañas y se considera en ellos aspectos de sustentabilidad específicos como rotaciones de cuatro años que incluyan alternancia de gramíneas y leguminosas.

De acuerdo a los resultados de nuestras simulaciones, la rotación soja-maíz perdería la mitad de materia orgánica que el monocultivo de soja. Esta medida, como otras que apuntaran al mismo objetivo, sería beneficiosa en el mediano plazo y requeriría para su implementación masiva de un intenso programa de concientización acerca de las pérdidas y los beneficios involucrados.

### *5.1.2 Transformación en origen de los productos*

En la región Pampeana se concentra el 85 y el 90 por ciento del área nacional de cereales y oleaginosas, el 75 por ciento del rodeo vacuno, el 98 por ciento del ganado lechero, el 94 por ciento de la faena de vacunos y el 98 por ciento de aves. Esta centralización de actividades señala la posibilidad de implementaciones conjuntas. Por ejemplo, actualmente la avicultura consume más de la mitad del maíz que queda en el país, el 70 por ciento de las harinas y el 30 por ciento del grano de soja (Hofer, 2005).

Estas interacciones demuestran que la transformación en origen de los productos, que consiste en que parte de la producción permanezca en el lugar de origen y sea usada por la industria local o para la alimentación animal, agregándole valor al producto primario, en vez de

venderla como *commodity*, sea una alternativa de adaptación viable . Esta opción implica en muchos casos importantes ahorros en transporte a puertos y retenciones fiscales entre otros.

Oliverio & López (2005) propusieron dos escenarios para estimar la producción de Argentina en el año 2015, uno que extrapola la tendencia actual del área sembrada y la expansión de la soja, y el otro que considera una relación 2.5:1 entre oleaginosas y cereales promoviendo la transformación en origen. De acuerdo a sus resultados, en el año 2015 los beneficios económicos se duplicarían si la mitad de la producción de maíz fuera transformada en origen

### *5.1.3 Cambios en fechas de siembra*

El cambio en las fechas de siembra de los cultivos es una de las estrategias de adaptación al cambio climático más difundidas, principalmente por su simplicidad. El incremento de temperaturas conduce a períodos libres de heladas más extensos y esto permite cambiar las fechas de siembra de modo de aprovechar condiciones térmicas más favorables durante el ciclo de crecimiento.

Se evaluó la respuesta potencial de los cultivos de maíz, trigo y soja a cambios en las fechas de siembra mediante el uso de los modelos DSSAT. Se consideraron las proyecciones climáticas de los escenarios SRES A2 y B2 para el 2080 y las fechas de siembra se anticiparon ó atrasaron en 15 y 30 días respecto de las actuales.

#### *Maíz:*

Los resultados obtenidos indican que en promedio para las 12 zonas el anticipo de la fecha de siembra del maíz contribuiría a disminuir levemente el impacto negativo de los escenarios futuros, sólo en el caso de adelantar 30 días bajo el escenario B2 se lograrían leves incrementos (1%) en relación al rendimiento base (Tabla 5.1).

Considerando el comportamiento de las diferentes zonas, bajo el escenario A2 sólo en la zona 2 ó 3 se incrementaría levemente la producción adelantando 15 ó 30 días respectivamente, mientras que las condiciones del B2 conducirían a incrementos en las zonas 1,2,3,8, y 11 si se adelantara 30 días la fecha de siembra. Es importante destacar que los mayores beneficios se

obtendrían también en la principal zona de producción como es la zona 8. De esta forma el incremento de producción de las 5 zonas representaría beneficios que alcanzarían la suma de 31 millones de U\$\$ bajo el escenario B2.

**Tabla 5. 1:** Cambios potenciales de los rendimientos de maíz para el año 2080 (en relación al actual: 1981-1990), para tres fechas de siembra expresados como promedio para la región Pampeana, bajo los escenarios SRES A2 y B2 sin considerar el efecto del CO2.

Fecha siembra	Cambios potenciales de rendimientos de maíz	
	Sin efecto de CO2	
	A2	B2
Actual	- 9	- 4
Adelanto 15 días	- 6	- 2
Adelanto 30 días	- 7	+ 1

*Trigo:*

Los adelantos de 15 días en la fecha de siembra de trigo conducirían en promedio para la región a una disminución de las pérdidas, mientras que con 30 días de anticipación los rendimientos podrían incrementar un 3% bajo el escenario A2 ó mantenerse en los niveles actuales bajo el B2 (Tabla 5.2).

Al igual que con el maíz, se encontraron diferencias en la respuesta del cultivo según la zona de producción. En general en la zona sudeste, que es la que más aporta a la producción nacional el impacto seguiría siendo negativo, mientras que en el norte de la región se producirían incrementos de la producción.

Considerando las zonas donde se registrarían incrementos (zonas 1,2,7,8,11 y 12), con el adelanto de 30 días en la siembra los beneficios alcanzarían alrededor de 50 y 100 millones de U\$\$ bajo los SRES A2 y B2 respectivamente

**Tabla 5. 2:** Cambios potenciales de los rendimientos de trigo para el año 2080 (en relación al actual: 1981-1990), para tres fechas de siembra expresados como promedio para la región Pampeana, bajo los escenarios SRES A2 y B2 sin considerar el efecto del CO2.

Fecha siembra	Cambios potenciales de rendimientos de trigo	
	Sin efecto de CO2	
	A2	B2
Actual	- 4	- 3
Adelanto 15 días	- 1	- 1
Adelanto 30 días	+3	0

*Soja:*

El cultivo de soja se beneficiaría en el futuro sólo si se atrasara la fecha de siembra. Los cambios de temperatura proyectados permitirían desplazar el ciclo del cultivo hacia condiciones térmicas más favorables sin correr riesgos de heladas. Bajo el escenario A2 sería conveniente un atraso de 30 días para lograr superar, aunque muy levemente, los rendimientos base (1%) mientras que bajo las condiciones del B2, 15 días de atraso serían suficientes para incrementar un 12% la producción promedio de la región (Tabla 5.3).

**Tabla 5. 3:** Cambios potenciales de los rendimientos de soja para el año 2080 (en relación al actual: 1981-1990), para tres fechas de siembra expresados como promedio para la región Pampeana, bajo los escenarios SRES A2 y B2 sin considerar el efecto del CO2.

Fecha siembra	Cambios potenciales de rendimientos de soja	
	Sin efecto de CO2	
	A2	B2
Actual	- 14	+ 3
Atraso 15 días	- 4	+12
Atraso 30 días	+1	+8

Analizando los resultados por zona, se observa que el impacto positivo del atraso de 30 días en la fecha de siembra sólo se registraría en algunas zonas (1, 2, 3, 4, 5, 7 y 9). La producción total de esas zonas incrementaría en promedio unas 2.4 Mtn bajo el escenario A2 y 4.4 Mtn bajo el B2, lo que representa alrededor de 430 y 780 millones de U\$S respectivamente.

#### *5.1.4 Riego suplementario*

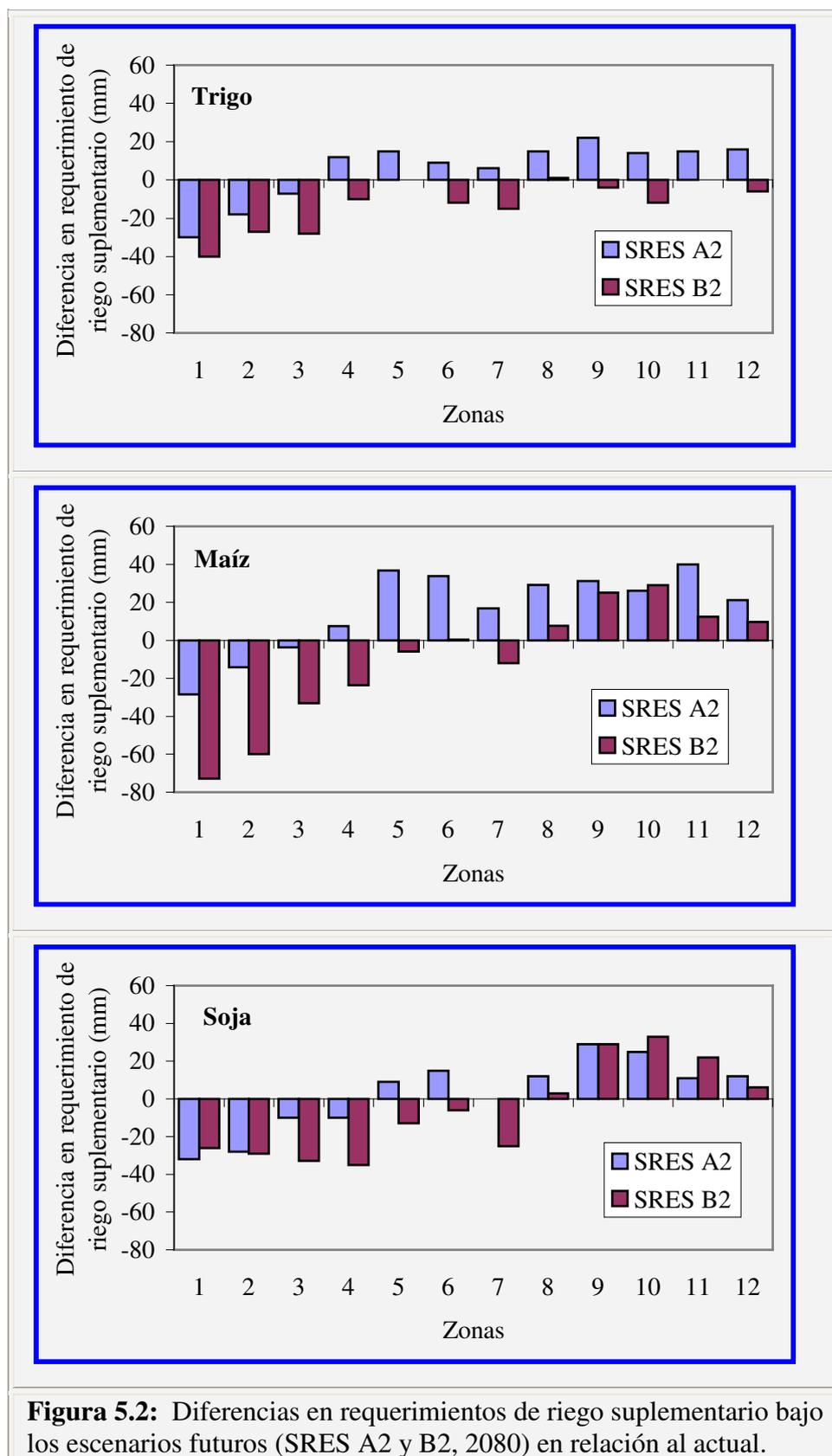
Uno de los temas que más preocupa a nivel mundial es el de la disponibilidad futura de agua. La demanda evaporativa tendería a incrementar en el futuro favorecida por las elevadas temperaturas y aunque se prevén aumentos de las precipitaciones es necesario evaluar si éstas alcanzarían a cubrir la demanda de los cultivos. Un trabajo reciente (Rosenzweig et al, 2004) sugiere que en los años 2020 y 2050 bajo los escenarios previstos por GISS, GFDL y MPI podrían exacerbarse los problemas en el suministro de agua en algunas provincias del norte de Argentina (Chaco, Córdoba, Santa Fe y Santiago del Estero y parte de Catamarca, Jujuy, Salta y Tucumán) debido al aumento de la demanda de agua para irrigación.

En este informe se estimaron las necesidades de riego suplementario bajo los escenarios base y futuros (MM5-CIMA SRES A2 y B2 para 2080) mediante el uso de los modelos DSSAT, considerando y sin considerar el efecto biológico del CO<sub>2</sub>. El riego suplementario se aplicó cuando la recarga del perfil era inferior al 60% del agua disponible.

De acuerdo a nuestros resultados, si se considera el efecto biológico del CO<sub>2</sub>, los requerimientos de riego suplementario disminuirían para los tres cultivos y en toda la región debido al aumento de la eficiencia de uso del agua que se daría bajo estas condiciones.

Si no se considera el efecto biológico del CO<sub>2</sub>, los requerimientos de riego suplementario incrementarían en la parte central y norte de la región (Figura 5.2). En el caso de trigo, sólo bajo el escenario A2 sería necesario incrementar el monto en 14 mm en promedio para las zonas 4 a 12. Para el maíz los requerimientos de riego incrementarían 27 mm en las zonas 4 a 12 bajo el SRES A2 y 17 mm en las zonas 8 a 12 bajo el SRES B2. Finalmente para el

cultivo de soja bajo el escenario A2 las zonas 5, 6 y 8 a 12 necesitarían 16mm más de riego, mientras que con el escenario B2 en las zonas 9 a 12 sería necesario incrementarlo en 23 mm.



En general los requerimientos de riego suplementario para los tres cultivos superarían a los actuales especialmente en el centro- norte de la región, y serían mayores bajo el escenario SRES A2 en los cultivos de maíz y trigo.

## **5.2 Conclusiones**

Las medidas de adaptación dirigidas a mantener la sustentabilidad de los recursos naturales tales como la implementación de sistemas de alquiler condicionado ó las rotaciones gramíneas-leguminosas y la posterior transformación en origen de los productos, serían muy promisorias bajo los escenarios futuros.

Por otro lado, las medidas tendientes a reducir las pérdidas de producción y consecuentemente económicas indican que los adelantos en las fechas de siembra de maíz y trigo y el atraso en la de soja conducirían a incrementos de producción y a importantes beneficios económicos que alcanzarían los 780 millones de U\$\$ en soja, 100 millones de U\$\$ en trigo y 31 millones de U\$\$ en maíz. En cuanto al riego suplementario, para los tres cultivos los requerimientos de agua superarían a los actuales en la porción centro-norte de la región, mientras que se reducirían en la parte sur.

## **Referencias:**

Hofer, C. 2005. Estrategias para la Región Pampeana. Seminario INTA: "Innovación Tecnológica para la Competitividad y el Desarrollo Rural Sustentable" 6 de diciembre de 2005, Buenos Aires

IPCC. 2001. Climate Change 2001: IPCC Third Assessment Report.

Oliverio, G. & G.Lopez. 2005. El desafío productivo del complejo granario argentino en la próxima década. Potencial y Limitantes. Fundación Producir Conservando. Disponible en: [www.producirconservando.org.ar](http://www.producirconservando.org.ar)

Rosenzweig, C., K.M. Strzepek, D. C. Major, A. Iglesias, D. N. Yates, A. McCluskey, D. Hillel. 2004. Water resources for agriculture in a changing climate: international case studies. *Global Environmental Change* 14:345–360

## Lista de Acrónimos

AIACC= Assessment of Impacts and Adaptation to Climate Change

AAPRESID= Asociación Argentina de Productores de Siembra Directa

C= Carbono

CIMA= Centro de Investigaciones del Mar y de la Atmósfera

CNA= Censo Nacional Agropecuario

C-N-P-S= Carbono-Nitrógeno-Fósforo-Azufre

CO<sub>2</sub> = Dióxido de carbono

Cultivo<sub>BF</sub> = producción de legumbres secas y soja (Kg/año)

Cultivo<sub>O</sub> = producción de cultivos no fijadores de nitrógeno (Kg/año)

DSSAT= Decision Support System for Agrotechnology Transfer

F<sub>BN</sub>= aporte de nitrógeno por la fijación biológica de la soja

Frac<sub>GASF</sub> = fracción del total de nitrógeno del fertilizante sintético que se emite como NO<sub>x</sub> + NH<sub>3</sub>

Frac<sub>NCRBF</sub> = fracción de nitrógeno en cultivos fijadores de nitrógeno

Frac<sub>NCRO</sub> = fracción de nitrógeno en cultivos no fijadores de nitrógeno

Frac<sub>QUEM</sub> = fracción de residuos que se quema.

Frac<sub>R</sub> = fracción que se retira durante la cosecha

F<sub>RC</sub>= aporte de nitrógeno por residuos de cosecha

F<sub>SN</sub>= aporte de nitrógeno por el fertilizante sintético utilizado

GEI= Gases de Efecto Invernadero

Gg = giga gramos

INTA= Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria

IP= Índice de Productividad de los suelos

IPCC= Panel entre gobiernos para el cambio climático

MCG= Modelos de Circulación General

Mha= Millones de hectáreas

MM5/CIMA= Modelo climático regional

MO= Materia Orgánica

Mtn= Millones de toneladas

N= Nitrógeno

N<sub>FERT</sub>= total de fertilizante sintético utilizado (Kg N/año)

N<sub>2</sub>O= Oxido nitroso

ORA= Oficina de Riesgo Agropecuario

P= Fósforo

PBG= Producto Bruto Geográfico

PBI= Producto Bruto Interno

PDA= Fosfato diamónico

PMA= Fosfato monoamónico

SAGPyA= Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación

SDA= Sulfato diamónico

SIG = Sistema de información georreferenciado

SMN= Servicio Meteorológico Nacional

SRES= Escenarios Socioeconómicos del IPCC

UTA= Unidad de Trabajo Agrícola

## ANEXO 1

**Tabla 1:** Uso de fertilizantes y área sembrada durante la campaña agrícola 2003/2004, desagregado por cultivo, tipo de fertilizante y zona. Además se presentan los consumos totales de fertilizante y de nitrógeno contenido en el fertilizante para los cuatro cultivos.

Zona	TRIGO				MAIZ				SOJA				GIRASOL			
	Area 2003/04	Uso de fertilizante (toneladas)			Area 2003/04	Uso de fertilizante (toneladas)			Area 2003/04	Uso de fertilizante (toneladas)			Area 2003/04	Uso de fertilizante (toneladas)		
		Urea	Pda/ma	Sda		Urea	Pda/ma	Sda		Urea	Pda/ma	Sda		Urea	Pda/ma	Sda
1	411.700	26.750	24.194	345	48.000	889	742	8	600	0	3	1	36.100	451	480	18
2	824.600	57.453	58.679		315.800	6.475	5.315	69	230.100	37	1.591	306	361.100	3.281	3.486	118
3	1.373.200	86.544	96.182		106.000	6.393	6.182	81	396.000	81	2.813	446	593.374	3.263	4.387	29
4	273.874	15.363	18.075		73.600	3.966	3.883	50	267.720	58	2.685	419	76.240	551	753	6
5	64.750	3.740	3.821		44.510	4.990	4.249	77	329.130		4.443	987	10.410	119	144	7
6	105.073	6.522	7.013		100.333	11.112	10.090	180	398.867		5.000	1.161	11.340	122	153	7
7	453.254	31.172	31.514		444.587	42.206	36.173	513	1.730.606	29	18.488	4.152	182.179	2.061	2.324	102
8	685.250	52.077	47.573		530.150	73.253	58.354	826	3.972.290		58.491	11.461	16.260	167	185	10
9	75.000	4.427	4.104		69.000	7.296	5.716	69	504.000		5.880	1.008	13.000	90	100	
10	145.000	10.334	9.538		111.500	13.589	10.554	112	494.200		5.930	988	11.600	94	105	
11	288.800	21.199	18.703		130.000	10.606	8.243	136	1.302.000	280	16.618	3.295	38.900	400	401	12
12	364.000	17.900	19.291		151.000	14.423	13.111	151	1.268.000		14.669	1.865	500	3	4	
<b>Total</b>	<b>5.064.501</b>	<b>333.482</b>	<b>338.686</b>	<b>345</b>	<b>2.124.480</b>	<b>195.198</b>	<b>162.612</b>	<b>2.270</b>	<b>10.893.513</b>	<b>485</b>	<b>136.610</b>	<b>26.088</b>	<b>1.351.003</b>	<b>10.602</b>	<b>12.523</b>	<b>310</b>

Zona	TOTAL (4 cultivos)				TOTAL (4 cultivos)			
	Area 2003/04	Uso de fertilizante (toneladas)			Cantidad de Nitrógeno aplicado			N-Total
		Urea	Pda/ma	Sda	N-Urea	N-Pda/ma	N-Sda	
1	496.400	28.090	25.419	371	12.921	4.575	78	17.575
2	1.731.600	67.246	69.071	493	30.933	12.433	104	43.470
3	2.468.574	96.282	109.564	556	44.290	19.722	117	64.128
4	691.434	19.939	25.395	475	9.172	4.571	100	13.843
5	448.800	8.849	12.656	1.071	4.070	2.278	225	6.573
6	615.613	17.756	22.257	1.347	8.168	4.006	283	12.457
7	2.810.626	75.469	88.498	4.766	34.716	15.930	1.001	51.646
8	5.203.950	125.497	164.602	12.297	57.729	29.628	2.582	89.939
9	661.000	11.813	15.800	1.077	5.434	2.844	226	8.504
10	762.300	24.017	26.128	1.100	11.048	4.703	231	15.982
11	1.759.700	32.484	43.965	3.443	14.943	7.914	723	23.579
12	1.783.500	32.326	47.075	2.016	14.870	8.473	423	23.767
<b>Total</b>	<b>19.433.497</b>	<b>539.767</b>	<b>650.431</b>	<b>29.012</b>	<b>248.293</b>	<b>117.078</b>	<b>6.093</b>	<b>371.463</b>

Pda (fosfato diamónico), ma (monoamónico); Sda (sulfato diamónico).

## ANEXO 1

**Tabla 2:** Consumo de gas-oil, área sembrada bajo sistema convencional y labranza cero y unidad de trabajo agrícola (UTA) según el tipo de labranza durante la campaña agrícola 2003/2004, desagregado por cultivo y zona.

Zona	TRIGO								MAIZ							
	Area 2003/04	% Siembra		UTA		Consumos (miles de litros)			Area 2003/04	% Siembra		UTA		Consumos (miles de litros)		
		Directa	Conven.	Dir.	Conv	Dir.	Conv	Total		Directa	Conven.	Dir.	Conv	Dir.	Conv	Total
1	411.700	30%	70%	2.5	3.6	3.854	12.739	16.594	48.000	30%	70%	2.1	3.3	367	1.373	1.741
2	824.600	40%	60%	2.5	3.6	10.059	22.147	32.206	315.800	28%	72%	2.1	3.3	2.315	9.195	11.509
3	1.373.200	43%	57%	3.2	4.1	23.487	40.143	63.629	106.000	36%	64%	3.0	4.0	1.430	3.326	4.756
4	273.874	43%	57%	3.2	4.1	4.640	7.989	12.629	73.600	35%	65%	3.0	4.0	954	2.361	3.315
5	64.750	45%	55%	2.0	3.8	717	1.670	2.387	44.510	58%	42%	1.8	3.5	553	816	1.369
6	105.073	46%	54%	2.0	3.8	1.193	2.653	3.846	100.333	56%	44%	1.8	3.5	1.222	1.889	3.111
7	453.254	41%	59%	2.2	2.9	5.048	9.698	14.746	444.587	52%	48%	1.8	3.1	5.010	8.238	13.247
8	685.250	50%	50%	2.0	3.8	8.414	16.104	24.518	530.150	62%	38%	1.8	3.5	7.141	8.615	15.756
9	75.000	40%	60%	2.0	3.8	740	2.105	2.845	69.000	50%	50%	1.8	4.0	745	1.720	2.465
10	145.000	40%	60%	2.0	3.8	1.431	4.069	5.500	111.500	50%	50%	1.8	4.0	1.204	2.779	3.983
11	288.800	40%	60%	2.0	3.8	2.851	8.104	10.955	130.000	60%	40%	1.8	3.5	1.684	2.246	3.930
12	364.000	30%	70%	2.0	3.8	2.695	11.917	14.612	151.000	50%	50%	1.8	3.5	1.630	3.261	4.891
<b>Total</b>	<b>5.064.501</b>					<b>65.129</b>	<b>139.338</b>	<b>204.467</b>	<b>2.124.480</b>					<b>24.256</b>	<b>45.818</b>	<b>70.074</b>

Zona	SOJA								GIRASOL							
	Area 2003/04	% Siembra		UTA		Consumos (miles de litros)			Area 2003/04	% Siembra		UTA		Consumos (miles de litros)		
		Directa	Conven.	Dir.	Conv	Dir.	Conv	Total		Directa	Conven.	Dir.	Conv	Dir.	Conv	Total
1	600	50%	50%	2.8	3.3	10	12	23	36.100	5%	95%	2.1	3.6	46	1.519	1.565
2	230.100	47%	53%	2.8	3.0	3.695	4.488	8.182	361.100	4%	96%	2.1	2.0	335	8.612	8.947
3	396.000	44%	56%	3.0	3.4	6.403	9.358	15.761	593.374	10%	90%	3.0	3.7	2.197	24.054	26.250
4	267.720	50%	50%	3.0	3.4	4.955	5.616	10.572	76.240	15%	85%	3.0	3.7	423	2.919	3.342
5	329.130	78%	22%	3.0	4.9	9.535	4.337	13.871	10.410	53%	47%	2.1	3.5	140	211	351
6	398.867	77%	23%	3.0	4.9	11.361	5.573	16.934	11.340	50%	50%	2.1	3.5	143	245	388
7	1.730.606	75%	25%	2.8	3.0	44.158	15.894	60.053	182.179	40%	60%	2.1	3.6	1.843	4.856	6.699
8	3.972.290	80%	20%	2.8	4.1	110.018	40.358	150.376	16.260	50%	50%	2.1	3.6	211	361	572
9	504.000	60%	40%	2.8	3.9	10.262	9.677	19.939	13.000	20%	80%	2.1	3.6	67	462	529
10	494.200	60%	40%	2.8	3.9	10.062	9.489	19.552	11.600	20%	80%	2.1	3.6	60	412	472
11	1.302.000	80%	20%	2.8	3.9	35.347	12.500	47.847	38.900	50%	50%	1.8	3.5	420	840	1.260
12	1.268.000	70%	30%	2.8	3.5	30.121	16.429	46.550	500	40%	60%	2.1	3.6	5	13	19
<b>Total</b>	<b>10.893.513</b>					<b>275.927</b>	<b>133.732</b>	<b>409.659</b>	<b>1.351.003</b>					<b>5.891</b>	<b>44.503</b>	<b>50.394</b>

## ANEXO 1

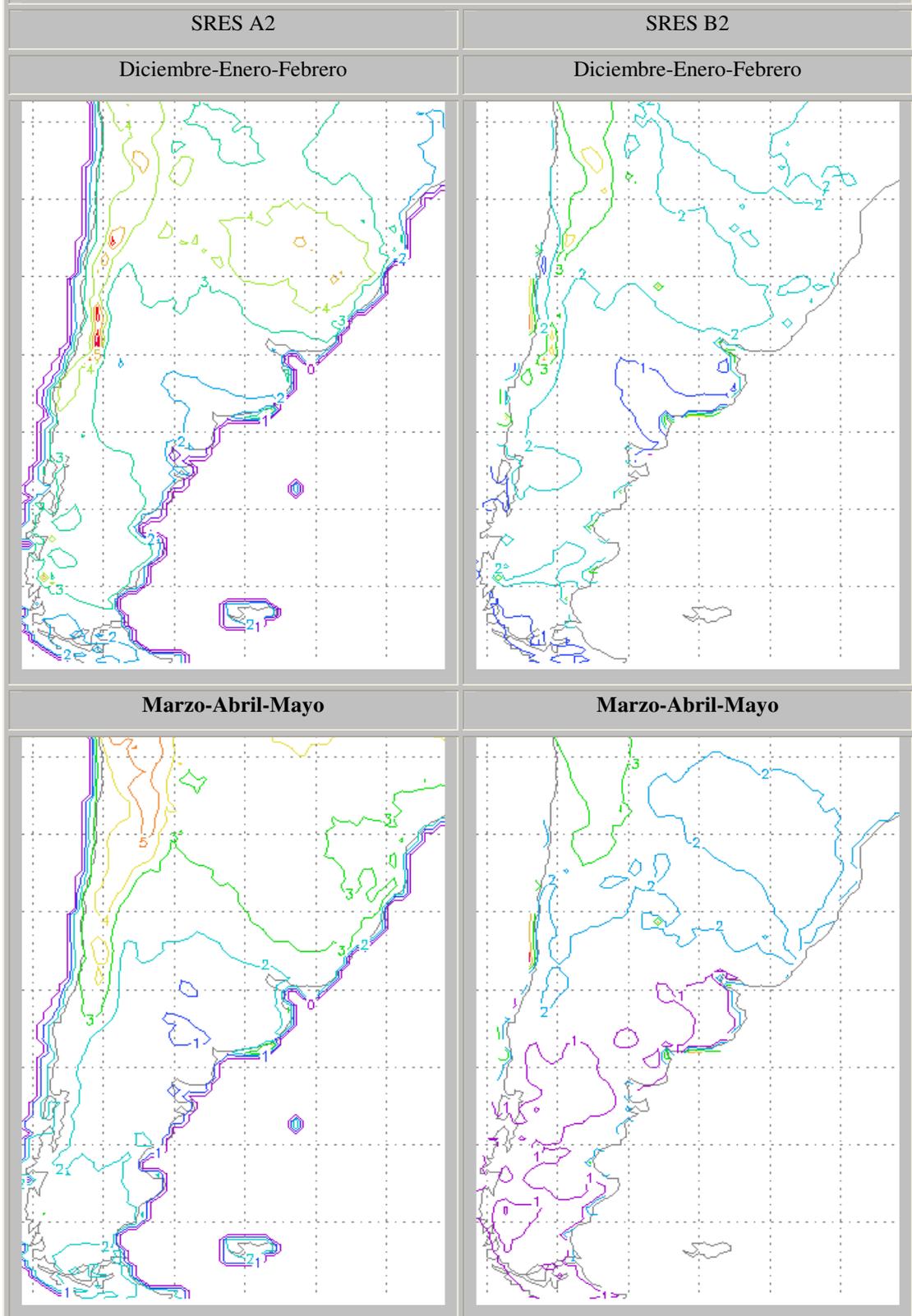
**Tabla 3:** Evolución de los costos de implantación (Costo Impl.) compuesto por semilla (Semilla), agroquímicos (Agroq.), fertilizantes (Fert.) y labores (Labores), para los cultivos de trigo, maíz y soja entre las campañas 1994/95 y 2004/05, expresado como valor medio para las 12 zonas de estudio.

Campañas	TRIGO					MAIZ					SOJA				
	Semilla	Agroq.	Fert.	Labores	Costo Impl.	Semilla	Agroq.	Fert.	Labores	Costo Impl.	Semilla	Agroq.	Fert.	Labores	Costo Impl.
<b>1994/95</b>	25.0	24.5		48.6	98.1	43.5	26.3		57.9	127.7	36.0	76.2		52.7	164.9
<b>1995/96</b>	30.7	25.7		51.4	107.7	45.6	25.7		52.6	123.9	34.4	71.6		55.3	161.3
<b>1996/97</b>	51.2	24.0		51.8	126.9	60.8	25.5		49.1	135.4	36.8	65.0		54.2	156.0
<b>1997/98</b>	31.9	10.0	38.0	55.0	134.9	55.1	25.5		51.6	132.2	38.4	63.0		55.6	157.0
<b>1998/99</b>	19.8	8.1	35.0	58.7	121.6	55.1	25.1		53.3	133.5	28.8	59.0		59.3	147.1
<b>1999/00</b>	19.8	8.5	33.5	58.7	120.5	53.2	22.4		53.3	128.9	23.3	47.6		59.1	129.9
<b>2000/01</b>	21.9	7.0	58.0	58.5	145.4	47.5	26.7		51.2	125.4	24.5	52.0		59.1	135.6
<b>2001/02</b>	20.4	6.0	52.0	56.4	134.8	47.5	29.2	54.5	49.8	181.0	28.0	54.1	1.47	58.5	142.1
<b>2002/03</b>	17.0	6.0	39.5	47.5	110.0	58.9	24.7	49.4	38.7	171.7	26.6	47.6	1.31	46.4	121.9
<b>2003/04</b>	17.0	5.0	39.0	46.5	107.5	60.8	22.1	53.3	37.7	173.9	22.4	44.0	8.90	44.7	120.0
<b>2004/05</b>	17.0	5.0	41.5	49.6	113.1	62.7	20.7	59.3	44.8	187.5	28.7	38.4	9.67	47.1	123.8

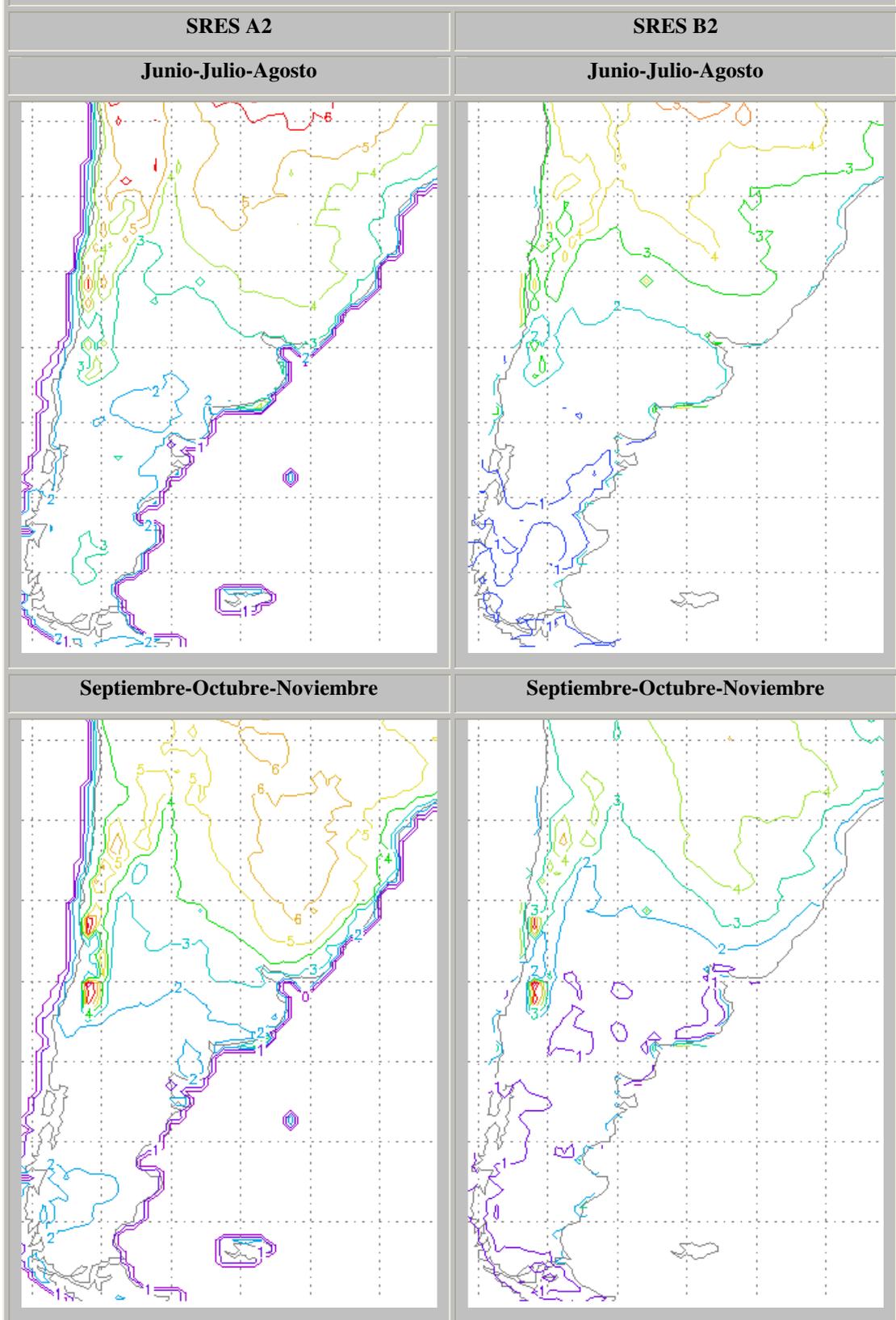
## **ANEXO 2**

Fuente: Dr. Mario N. Nuñez y Dra. Silvina Solman (CIMA/CONICET)

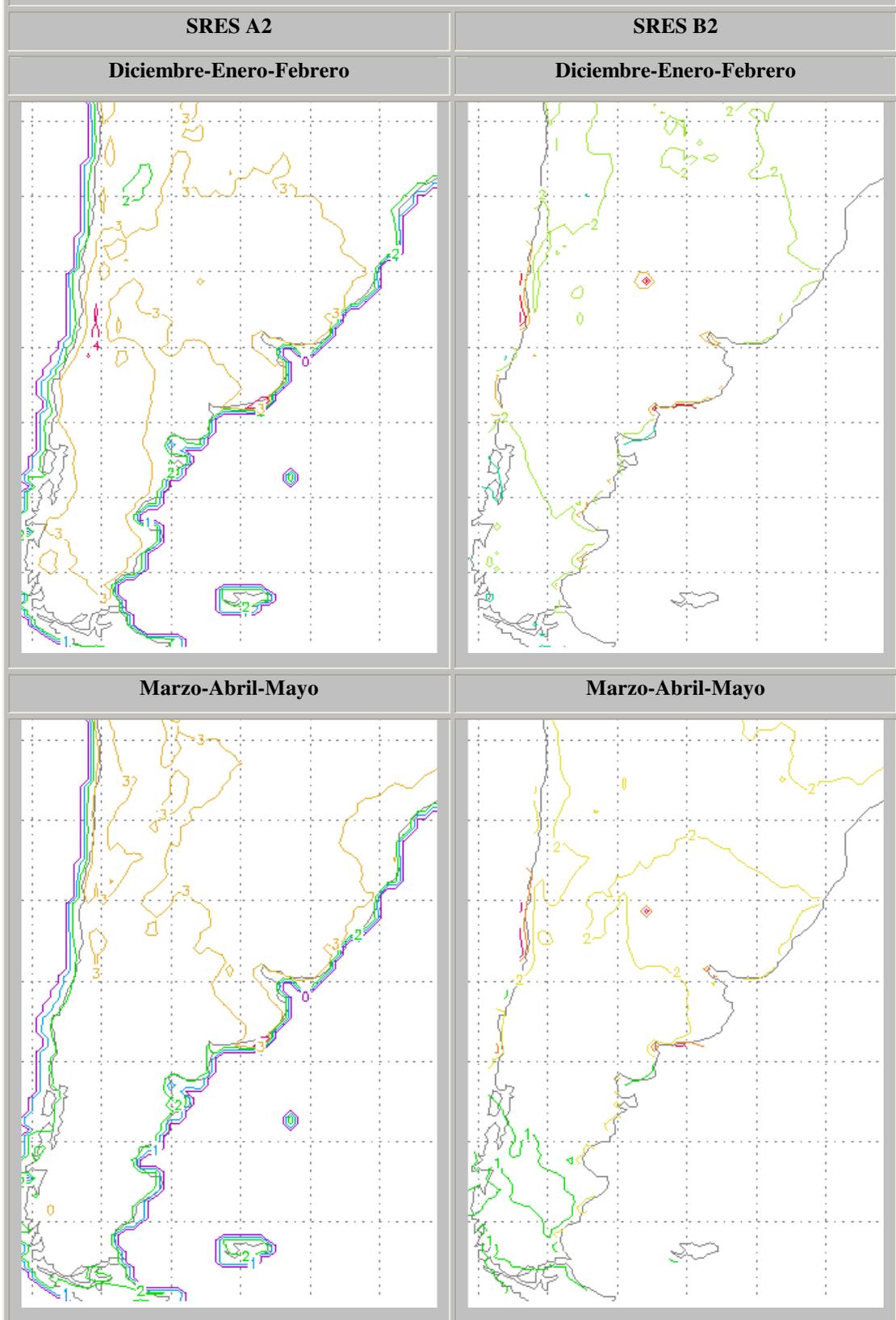
**Figura 5.7:** Cambios proyectados en la Temperatura Máxima para el año 2080



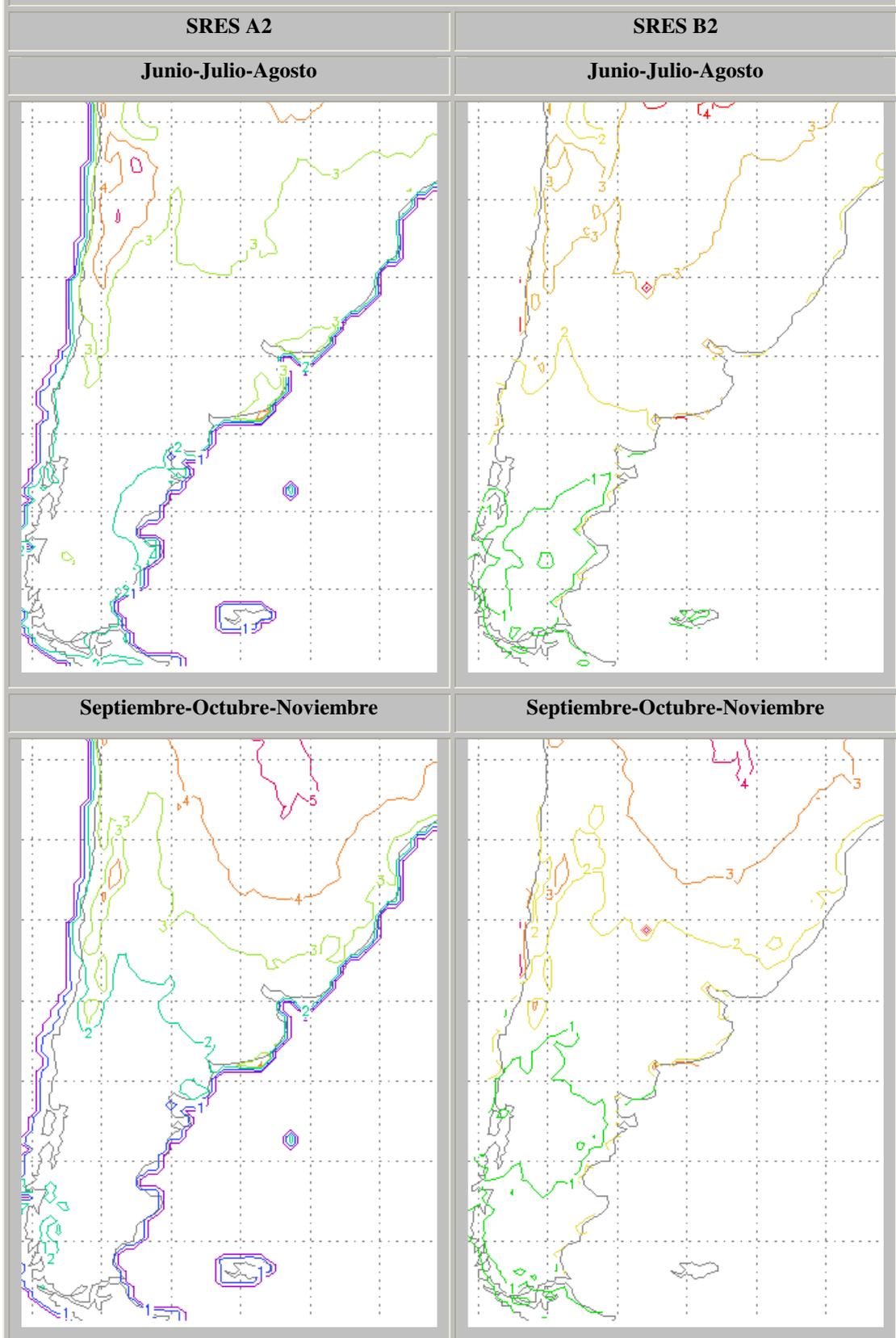
**Figura 5.7:** Continuación (temperatura máxima)



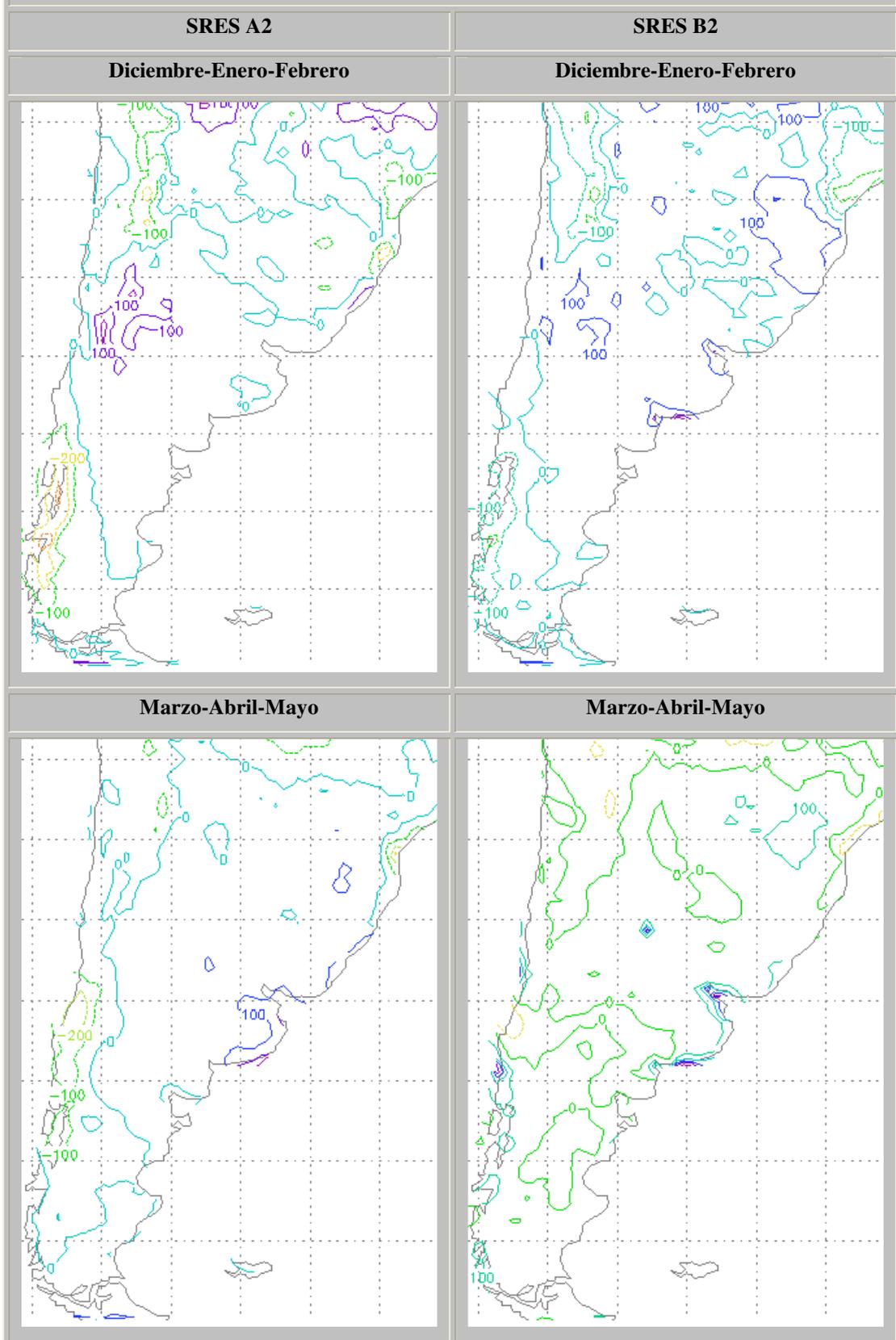
**Figura 5.8:** Cambios proyectados en la Temperatura mínima para el año 2080



**Figura 5.8:** Continuación (temperatura mínima)



**Figura 5.9:** Cambios proyectados en las Precipitaciones para el año 2080



**Figura 5.9:** Continuación (precipitación)

