

# Clima de cambios

## NUEVOS DESAFÍOS DE ADAPTACIÓN EN URUGUAY

Resultado del proyecto: TCP/URU/3302 Nuevas Políticas para la Adaptación de la Agricultura al Cambio Climático  
Elaborado por el Centro Interdisciplinario de Respuesta al Cambio y Variabilidad Climática, Universidad de la República



Volumen V

Sensibilidad y capacidad adaptativa de la agricultura de secano y el arroz frente al cambio climático





# Clima de cambios

## NUEVOS DESAFÍOS DE ADAPTACIÓN EN URUGUAY

Volumen V

Sensibilidad y capacidad adaptativa de la agricultura de secano y el arroz frente al cambio climático

Resultado del proyecto: TCP/URU/3302 Nuevas Políticas para la Adaptación de la Agricultura al Cambio Climático

Elaborado por: Centro Interdisciplinario de Respuesta al Cambio y Variabilidad Climática, Universidad de la República



Autores

Este documento se debe citar como:

MGAP-FAO, 2013. Sensibilidad y capacidad adaptativa de la agricultura de secano y el arroz frente al cambio climático. Volumen V de Clima de cambios: nuevos desafíos de adaptación en Uruguay. Autores: Mazzilli, Sebastián; Bonilla, Camila; Siri, Guillermo; Arbeletche, Pedro; Rubio, Valentina; Bacigaluz, Pilar; Taks, Javier; García, Martín; Cobas, Paula; Mondelli, Mario; Cruz, Gabriela; Astigarraga, Laura; Picasso, Valentín. Resultado del Proyecto FAO TCP URU 3302, Montevideo.

El documento estará disponible en:

<http://www.fao.org/climatechange/84982/es>



Corrección de estilo: Malvina Galván  
Diseño: Esteban Grille

# Contenido

<b>Equipo del proyecto .....</b>	<b>4</b>
<b>1. Introducción.....</b>	<b>5</b>
<b>2. Marco conceptual.....</b>	<b>7</b>
<b>3. La lechería frente a la variabilidad y el cambio climático .....</b>	<b>9</b>
3.1. Situación actual y evolución reciente .....	9
3.2. Metodología para el estudio de la sensibilidad a la variabilidad climática .....	11
3.3. Resultados.....	13
3.4. Factores principales que determinan la sensibilidad y matrices de sensibilidad.....	26
3.5. Análisis de la capacidad adaptativa .....	29
<b>4. El arroz frente a la variabilidad y el cambio climático .....</b>	<b>30</b>
4.1. Situación actual y evolución reciente .....	30
4.2. Metodología para el estudio de la sensibilidad a la variabilidad climática .....	36
4.3. Resultados.....	37
4.4. Factores principales que determinan la sensibilidad y matrices de sensibilidad .....	46
4.5. Factores principales que determinan la capacidad adaptativa y matrices de capacidad adaptativa.....	48
<b>5. Análisis macroeconómico.....</b>	<b>51</b>
5.1. La importancia del sector agropecuario en la economía nacional.....	52
5.2. Metodología de evaluación de impacto económico .....	53
5.3. Evaluación del efecto del cambio climático sobre la agricultura de Secano: Trigo, Maíz y Soja.....	55
5.4. Evaluación del efecto del cambio climático sobre el Arroz .....	57
<b>6. Bibliografía .....</b>	<b>61</b>

## Equipo del proyecto

**Tomás Lindemann**

Oficial de Recursos Naturales, Instituciones

**Vicente Plata**

Representante Asistente (Programas) FAO-Uruguay

**Walter Oyhantçabal**

Director de la Unidad Agropecuaria de  
Cambio Climático, OPYPA-MGAP

**Diego Sancho**

Consultor Nacional  
FAO Uruguay

# Introducción

# 1

Clima de cambio: sensibilidad y capacidad adaptativa de la agricultura de secano y arroz frente a los efectos del cambio y la variabilidad climática; es la quinta entrega de la serie de estudios que se realizaron en el marco del proyecto: Nuevas Políticas de adaptación de la agricultura al Cambio Climático (TCP-URU-3302), de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por su sigla en inglés) y del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de Uruguay (MGAP).

El estudio, coordinado por el Centro Interdisciplinario en Respuesta al Cambio y Variabilidad Climática de la Universidad de la República (CIRCVC-UDELAR), integra aportes de las Facultades de Agronomía, Ingeniería, Ciencias Sociales, Humanidades y Ciencias de la Educación, así como de otras organizaciones: el Instituto Plan Agropecuario (IPA) y Centro de Investigaciones Económicas (CINVE).

El cambio climático y la variabilidad se estudian en función de tres variables: exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa. El estudio sobre la exposición, que se realizó en la primera fase del proyecto, relativizó la hipótesis planteada con anterioridad: existe un aumento de la variabilidad climática, con mayores frecuencias e intensidades de eventos extremos como por ejemplo la sequía. En un contexto de cambio climático, donde no se verificó un incremento de frecuencia o intensidad de sequías, se trabajó sobre una segunda premisa: los agroecosistemas productivos se están haciendo más sensibles a la variabilidad climática, por razones tecnológicas, económicas, o sociales.



## Marco conceptual

# 2

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por su sigla en inglés) define vulnerabilidad como el grado en el que un sistema es susceptible de o incapaz de soportar efectos adversos del cambio climático, incluidos la variabilidad y los extremos climáticos (McCarthy *et al.*, 2001). La utilidad mayor de conocer la vulnerabilidad de un sistema consiste en establecer su vínculo con la estimación de riesgos.

Vulnerabilidad = f (Exposición, Sensibilidad, Capacidad Adaptativa)

La *exposición* es la naturaleza y grado en que un sistema experimenta estrés ambiental o socio-político. Las características de éstos incluyen la magnitud, frecuencia, duración y extensión superficial del riesgo (Burton *et al.*, 1993). La *sensibilidad* es el grado en el que un sistema se modifica o afecta por perturbaciones. En tanto la *capacidad adaptativa* es la habilidad de un sistema de evolucionar para responder a riesgos ambientales o cambios en políticas, y de expandir el rango de variabilidad que puede soportar.

Por otra parte, algunos autores proponen que la *resiliencia* es el opuesto a vulnerabilidad (Darnhofer *et al.* 2008). La *resiliencia*, definida originalmente por Holling (1973), es una medida de la persistencia de un sistema (ecológico) y su habilidad de absorber cambios e impactos para lograr mantener en iguales términos las relaciones entre sus componentes.

A pesar que la comunidad científica internacional no ha resuelto las equivalencias conceptuales entre los abordajes sobre vulnerabilidad, riesgo y resiliencia, para este estudio, se consideró que los conceptos de resiliencia y capacidad adaptativa se distinguen en que la

capacidad adaptativa implica necesariamente la acción humana, mientras que la resiliencia puede manifestarse en términos biofísicos solamente (sin intervención humana).

Por último, para este trabajo se utiliza una definición laxa del concepto de agroecosistema, y se usa en forma relativamente intercambiable con el de rubro o sistema de producción. Los agroecosistemas se entienden como ecosistemas con un objetivo de producción agropecuaria, y en ese sentido, pueden incluir diversidad de producciones, cultivos o animales, es decir, múltiples rubros. El equipo de investigación discutió largamente las ventajas y desventajas de integrar predios con diferentes rubros en el análisis, alimentado por la hipótesis de que la diversificación de rubros puede ser una alternativa para manejar el riesgo y la variabilidad climática. Sin embargo, se optó finalmente en aras de simplificar el trabajo, en concentrarse en agroecosistemas con un rubro de producción principal.

## La agricultura de secano frente al cambio climático

### 3.1. SITUACIÓN ACTUAL Y EVOLUCIÓN RECIENTE

El área agrícola uruguaya, entre 1960 y 1990, se redujo progresivamente. En consecuencia en 2000-2001 se alcanzó un mínimo histórico por debajo de las 400 000 ha sembradas de cultivos de invierno (trigo y cebada) y de verano (maíz, sorgo y girasol) (De los Campos y Pereira, s/p). Las causas de este descenso son entre otras cosas los bajos precios internacionales, los altos costos internos y los problemas climáticos y sanitarios que afectaron de forma sucesiva al sector agrícola. A partir del 2002 estas tendencias negativas comienzan a revertirse y se generó un proceso de expansión agrícola. En estos años se da un aumento del área de cultivos, motivado principalmente por la inclusión del cultivo de soja a comienzos del año 2000, la aparición de nuevas empresas, junto con innovaciones tecnológicas como la siembra directa y los cultivos transgénicos (Arbeletche y Gutiérrez, 2011).

Este proceso genera fuertes incrementos en los resultados económicos del país, medidos a través del valor bruto de producción (VBP) agrícola y las exportaciones, así como una fuerte concentración productiva, marginación de los productores más pequeños y cambios en la tenencia de la tierra, con aumento del precio de ésta y de sus valores de renta. En el año 2010, el 1% de los agricultores concentraba el 30% del área cultivada. En términos económicos dicha evolución se refleja en incrementos del VBP en el sector agropecuario que del 2000 al 2010 fue de 843%, lo que implica un crecimiento acumu-

lativo anual del 22,6%. La agricultura de secano tiene una participación muy importante en este aumento, principalmente la soja, que pasó de valores casi nulos en el 2000 a ser el 50% del VBP agrícola en el año 2010. Las exportaciones de granos pasaron de 50 millones de dólares en el 2000 a 909 millones de dólares en el 2009 (estas cifras incluyen: cebada y malta, soja, girasol, trigo y harina de trigo, sorgo y maíz) (Arbeleche y Gutiérrez, 2011).

Esta expansión agrícola se da tanto en la zona del litoral (región clásica de la agricultura) como en aquellas zonas en las cuales tradicionalmente no se realizaba agricultura. A pesar de esta fuerte expansión, aún no se han llegado a los máximos históricos de ocupación de tierras aptas, lo que indica que de mantenerse las condiciones favorables, éste proceso podría continuar (Arbeleche y Gutiérrez, 2011).

A partir del 2000 se generó un gran cambio en la estructura de producción, donde los agricultores tradicionales disminuyeron en forma muy importante, principalmente los de tipo familiar y los medianeros que no fueron suficientemente competitivos y no pudieron reinsertarse en el medio productivo luego de la crisis del 2002, y fueron sustituidos por nuevos agricultores con lógicas de funcionamiento y formas de desarrollar la actividad relativamente diferentes. Arbeleche y Carballo, (2008), clasifican a los productores que hace años que están en el sector como “viejos agricultores”, y a aquellos que aparecen en el país luego de la crisis del 2002, como los “nuevos agricultores”.

Una de las principales características de los “nuevos agricultores” es su amplio despliegue geográfico al cultivar grandes superficies tanto en Uruguay como en los países de la región. Esto les permite beneficiarse de las economías de escala, tanto en la compra de insumos como en la venta de sus productos. Y por otro lado generan una estrategia de diversificación del riesgo tanto en el espacio como en el tiempo, con el uso de distintos cultivares y la realización de cultivos en distintas zonas del territorio nacional e incluso en otros países de la región.

Otro impacto de la expansión agrícola, es el incremento neto en el número de trabajadores, que pasó de 609 trabajadores antes de la expansión, a 3233 en el 2008. Existiendo a su vez una mejora en la calidad del trabajo (Arbeleche et al., 2008).

En los últimos años se han dado, a su vez, grandes cambios a nivel tecnológico. Se destacan la aplicación de nuevas tecnologías de labranza como la siembra directa, junto con el uso de semillas transgénicas resistentes a agroquímicos (Arbeleche y Gutiérrez, 2011). La siembra directa supone no sólo un ahorro de combustible y una reducción en los problemas de erosión del suelo, sino también una ganancia de tiempo para realizar las operaciones, acortándose los tiempos de preparación del suelo, lo que facilita la realización de un sistema de doble cultivo anual. Desde el año 2002, de los Campos y Pereira (s/p) destacan un aceleramiento en el ritmo de incorporación de innovaciones tecnológicas, principalmente aquellas relacionadas con insumos y bienes de capital, con un importante ajuste del paquete químico (fertilizantes, fungicidas, insecticidas y herbicidas, destacándose el uso de glifosato), y biológico (semillas). Este paquete tecnológico implica grandes inversiones principalmente por el costo de las sembradoras y permite ahorro de mano de obra, lo que favorece el desarrollo de las grandes empresas (Rodríguez, 2011).

Los cambios más importantes desde el punto de vista tecnológico fueron resumidos por Ernst (2011). A partir del 2002 la posibilidad de realizar doble cultivo anual es favorecida

por el paquete tecnológico, aumenta los ingresos de los sistemas de agricultura continua, frente a los sistemas agrícolas ganaderos usados anteriormente, lo que lleva un dominio de este sistema de producción. En los últimos años se dio también un cambio en el uso del suelo, dado el aumento del área bajo sistemas de cultivo continuo. Los nuevos agricultores desarrollan la mayor parte del área en sistemas de agricultura continua, desde su instalación en el país. Hasta el año 2008-2009 los productores tradicionales, en cambio, utilizaban el 50% o más del área que explotaban en rotaciones de cultivos y pasturas permanentes (Arbeleche y Gutierrez, 2011). A partir de ese año la reducción del área en la que se realizan pasturas luego de cultivos, indicaría que los productores tradicionales se han cambiado a sistemas de agricultura continua, realizándose en la actualidad prácticamente toda el área de cultivos bajo sistemas continuos (más de 95%).

A raíz de esta fuerte expansión de la agricultura continua y los problemas de erosión que esto conlleva, el MGAP a través de la Dirección General de Recursos Naturales Renovables (RENARE), comenzó a desarrollar en los últimos años un programa de regulación del uso y manejo de suelos, en el que se regula la rotación de cultivos en base a la capacidad de uso. Esto implica que las secuencias de cultivos, que se venían desarrollando en los últimos años, deban ser ajustadas para presentar niveles de erosión por debajo de la tolerancia fijada para cada suelo.

Para el caso de la agricultura de secano, es evidente que la intensificación productiva, y los cambios en las estructuras y tipos de empresas tienen impactos fuertes en la sensibilidad y capacidad adaptativa de estos agroecosistemas. Las preguntas que surgen frente a este contexto son: ¿La agricultura continua en siembra directa reduce o incrementa la sensibilidad a la variabilidad climática? ¿La extinción de las rotaciones de cultivos con pasturas puede estar implicando un proceso de desadaptación a la variabilidad climática? ¿Qué arreglos empresariales favorecen la capacidad adaptativa?

### **3.2. METODOLOGÍA PARA EL ESTUDIO DE LA SENSIBILIDAD A LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA**

El presente estudio fue elaborado a partir del uso de modelos de simulación de cultivos y no con bases de datos de productores ya que el objetivo es evaluar el efecto del clima en los sistemas productivos que actualmente están en funcionamiento y el impacto del cambio climático sobre éstos. Por tanto, tal como fue expuesto anteriormente, los sistemas de producción actuales son muy diferentes a los que estaban funcionando hace diez años. En el transcurso de la última década se ha modificado la estructura de producción, la tecnología aplicada y, por tanto, la susceptibilidad de los sistemas al cambio climático.

Mediante la utilización de modelos de simulación de cultivos calibrados y validados localmente es posible evaluar el efecto de las condiciones climáticas utilizando la tecnología de manejo actual (fechas de siembra, sistema de laboreo, híbridos, etc.) sin limitantes sanitarias y nutricionales y, por tanto, estudiar las mejores estrategias agronómicas para estabilizar los rendimientos en un marco de clima cambiante.

### Bases de datos utilizadas

Se utilizaron bases de datos climáticos disponibles para las estaciones meteorológicas del Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA) y la Estación Experimental Dr. Mario A. Cassinoni (EEMAC) de la Universidad de la República, las cuales fueron utilizadas para correr el modelo de simulación. Para este informe se utilizaron datos de la EEMAC (2002-2011), Estación Experimental La Estanzuela-EELE (1990-2011) y Estación Experimental Tacuarembó-EETB (1990-2011). Los datos necesarios para correr el modelo son los siguientes:

- Temperatura diaria (máxima y mínima) (°C)
- Radiación (Suma diaria) (MJ m<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup>)
- Humedad relativa (máxima y mínima) (%HR)
- Viento (m/s).

Por otra parte fueron utilizadas bases climáticas provenientes de la Dirección Nacional de Meteorología (DNM). Estas bases sólo tenían información de precipitaciones y temperaturas diarias para el período 1950-2008 para Paysandú, Mercedes y Tacuarembó y fueron utilizadas para evaluar las variaciones en precipitaciones y temperaturas a lo largo del tiempo.

Se seleccionaron suelos característicos de sitios agrícolas de cada una de las zonas de producción de la carta de suelos (1:1.000.000).

Los cultivos analizados fueron: maíz, soja y trigo. Se utilizaron los coeficientes genéticos calibrados y validados para las condiciones locales por Mazzilli y Ernst s/p, en el marco del proyecto del Fondo de Promoción de Tecnología Agropecuaria (FPTA 283), que en breve estarán disponibles en la publicación final de la serie INIA- FPTA. Se trabajó asumiendo que no existían limitaciones nutricionales para los cultivos, por lo tanto los rendimientos reportados corresponden a los potenciales para las condiciones climáticas y de suelo a menos que se indique lo contrario. En la siguiente Tabla 3.1 se presentan las diferentes situaciones de cultivos simulados.

Cultivo	Fechas de siembra		
	1	2	3
Maíz	10-sep	30-oct	15-dic
Soja GM IV	20-oct	15-nov	15-dic
Soja GM VI			
Trigo	05-may	10-jun	10-jul

GM: Grupo de madurez

La selección de estas fechas de siembra implica cambios en la ubicación de los períodos críticos de definición del rendimiento en distintos momentos del año, lo que determina diferentes riesgos climáticos. En el caso del trigo al modificar la fecha de siembra se cambia también el cultivar; de manera de seleccionar aquellos cultivares que más se adapten a las respectivas fechas. Para siembras del 5 de mayo, se utilizó como cultivar tipo el Baguette 19; para el 10 de junio, el cultivar INIA Don Alberto; y para el 10 de julio, el cultivar Klein Tauro.

### Modelos de Simulación utilizados y supuestos

Se utilizó el modelo de simulación Cropping System Simulation Model (Cropsyst) (Stöckle *et al.*, 2003). Este modelo de simulación de cultivos es de paso diario y permite el uso con rotaciones de cultivos. Tiene una interfase con el usuario amigable y es de libre distribución.

Este modelo fue diseñado para servir como herramienta analítica para estudiar el efecto del ambiente, del sistema de rotación y el manejo sobre la productividad de los cultivos que integran la rotación.

Se han desarrollado varias tesis de grado, a nivel local, en las que se realizaron calibraciones y validaciones de este modelo (Baroffio and Ramos, 2009; D'Ottonne, 2011) y existen otras en marcha. Adicionalmente se llevó a cabo un proyecto FPTA en el cuál se trabajó calibrando y validando el modelo para dos materiales genéticos con resultados promisorios en cultivos de: maíz, girasol, soja, trigo y cebada (Mazzilli y Ernst s/p).

### **Análisis de las variables climáticas relevantes**

Además del análisis con modelos y datos climáticos de paso diario, se estudiaron las variables climáticas más importantes en la determinación del rendimiento durante el período crítico de definición de éste para cada cultivo evaluado. El análisis de los resultados se realizó separando los años en función del régimen hídrico. Para separar distintos tipos de años se utilizó la clasificación del fenómeno de El Niño - Oscilación Sur (ENOS). Este método fue redescubierto a finales de 1970 e inicio de 1980 por la comunidad científica. Si bien no tiene en cuenta todas las grandes sequías y/o lluvias provee un indicador de anomalías probables para estos factores. De acuerdo a este fenómeno se separaron los años en tres situaciones según el régimen de precipitaciones esperado, lo que no significa que efectivamente se hayan concretado:

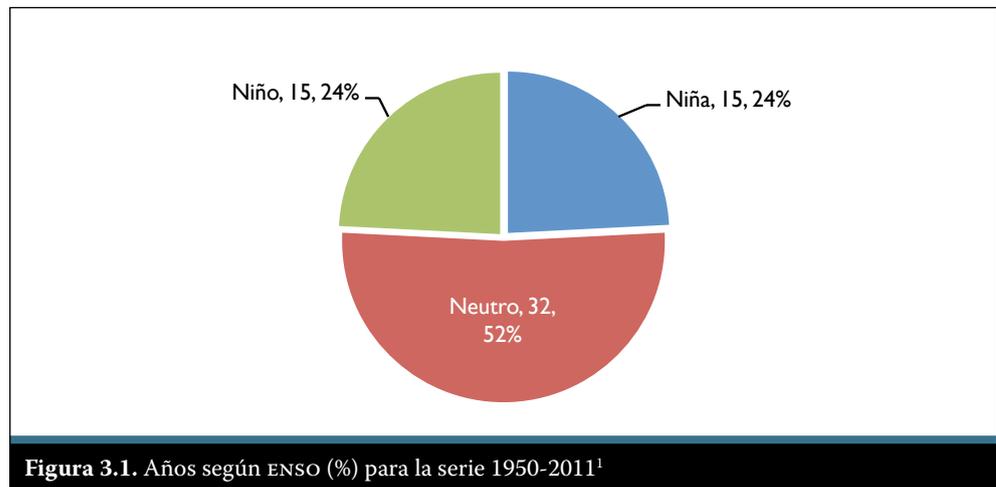
- Año Niño: Precipitaciones por encima de lo normal.
- Año Niña: Precipitaciones por debajo de lo normal.
- Año Neutro: Sin tendencia clara de precipitaciones.

Para la clasificación de los años se utilizó la separación generada por la Agencia Meteorológica Japonesa (JMO). El índice es calculado a partir de medias de anomalías de temperatura en el pacífico sur ( $4^{\circ}\text{S}$ - $4^{\circ}\text{N}$ ,  $150^{\circ}\text{W}$ - $90^{\circ}\text{W}$ ). Si el valor del índice es  $0,5^{\circ}\text{C}$  o mayor, por seis meses consecutivos (incluye el trimestre octubre, noviembre y diciembre), el año es considerado desde octubre hasta el próximo setiembre como Niño, si el valor del índice es igual o menor que  $-0,5^{\circ}\text{C}$  es Niña (el valor), y en todas las otras alternativas es Neutro.

## **3.3. RESULTADOS**

### **Distribución de años según ENSO**

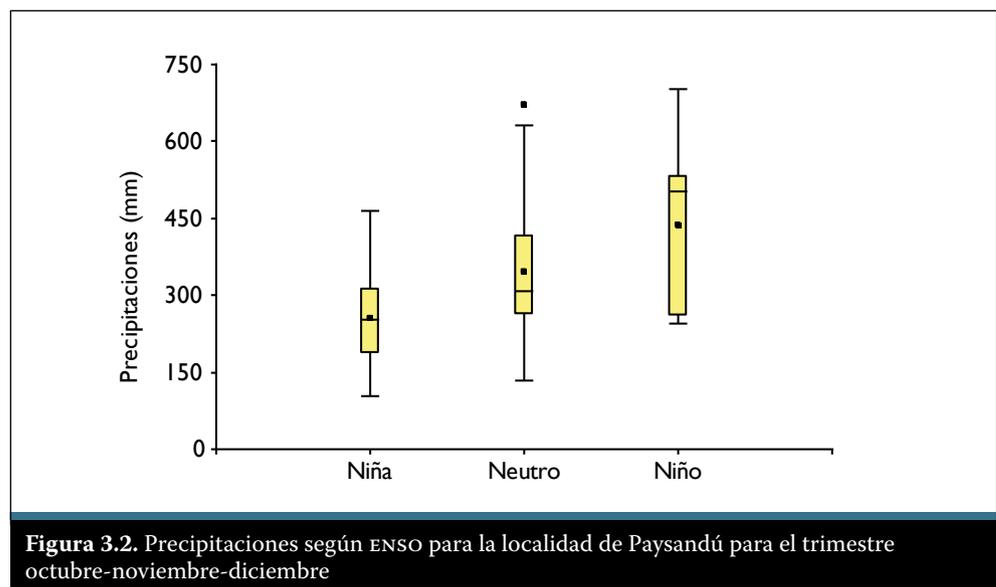
En la Figura 3.1 se presenta la proporción de años cuyas características esperadas correspondieron a las de un año Niña, Neutro y Niño para la serie histórica 1950 a 2011. En esta serie un 24 % de los años son considerados con señal Niño, el 24% como Niña y el restante 52% con señal Neutro. Esto implica que en un 48% de las zafras se dispone de una previsión sobre anomalías en las precipitaciones esperadas para el período octubre-setiembre siguiente y que, por tanto, podría ajustarse el manejo de los cultivos en base a ellas.



### Distribución de precipitaciones según ENSO

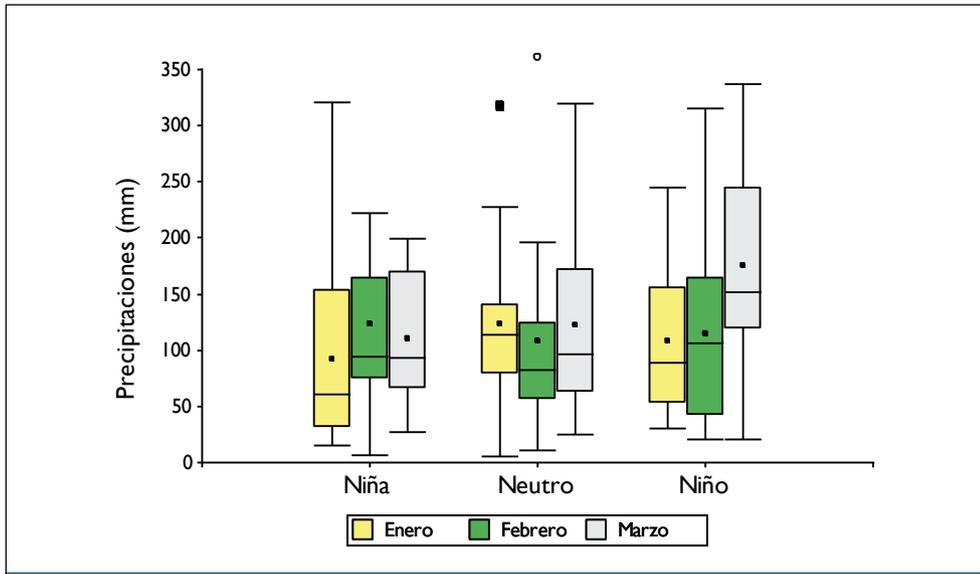
Si bien es conocido el efecto de la señal ENSO es importante estudiar la magnitud de la variación para los distintos meses evaluados. Se presentan resultados de algunas zonas, ya que se observó la misma tendencia para las distintas localidades evaluadas. Se observa claramente, para los tres meses de la primavera evaluados, que hay una tendencia a que en los años Niño las precipitaciones estén por encima de la media (Figura 3.2), esta tendencia es más fuerte y con mayores diferencias durante noviembre.

Para el resto de los meses dónde ocurren períodos críticos de cultivos (enero, febrero y marzo) la tendencia es a mayores precipitaciones en años Niño y menores en años Niña, donde es muy clara la tendencia en el mes de marzo y no así para enero y febrero. De todas

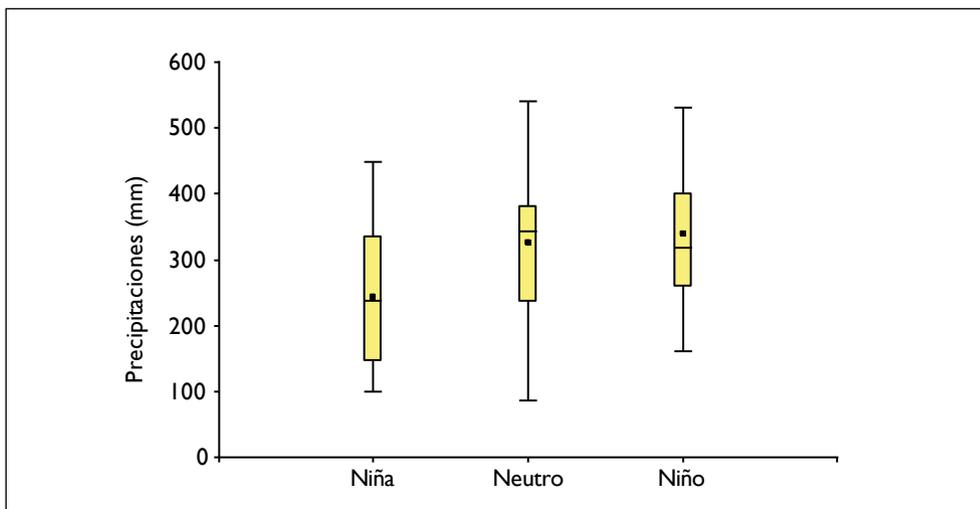


<sup>1</sup> Fuente: Center for Ocean- Atmospheric Prediction Studies <<http://coaps.fsu.edu/jma.shtml>> mayo 2013.

maneras es posible que desde el punto de vista de los cultivos enero esté influenciado por lo ocurrido en el mes anterior en los niveles de agua en el suelo y exista un efecto más allá de las precipitaciones (Figura 3.3). Al igual que para el trimestre anterior, el análisis conjunto indica claras diferencias entre zafras Niño y Niña en el volumen de precipitaciones y sin diferencias mayores entre años Niño y Neutro. Las precipitaciones en estos períodos estarán afectando principalmente a los cultivos de maíz de segunda y soja (Figura 3.4).



**Figura 3.3.** Precipitaciones según ENSO para la localidad de Mercedes para enero, febrero y marzo



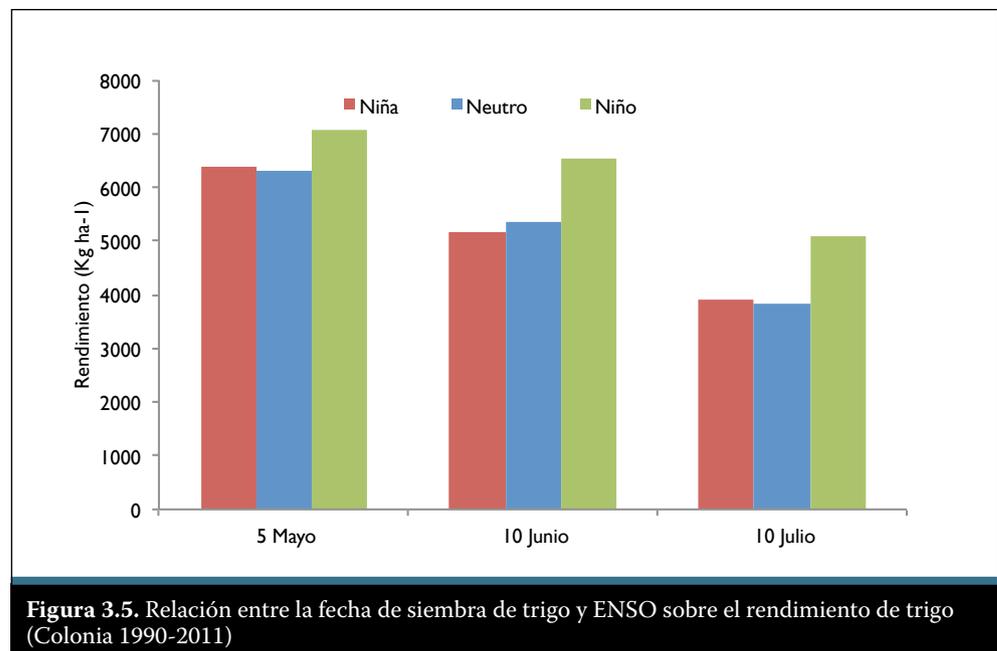
**Figura 3.4.** Precipitaciones según ENSO para la localidad de Mercedes para el trimestre enero, febrero y marzo

## Resultados físicos y económicos del análisis por cultivo

### Trigo

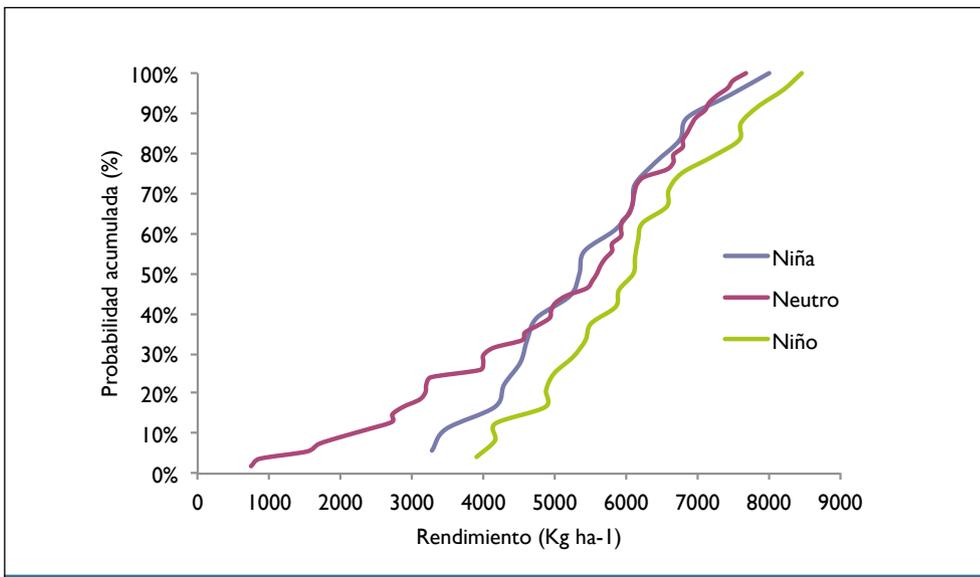
El rendimiento medio de trigo simulado (para todas las fechas y localidades) es de 5700 kg ha<sup>-1</sup>, con un coeficiente de variación del 27%, en el mejor de los años el rendimiento aumenta un 53% respecto a la media y en el peor disminuye un 87% respecto a ésta. Como se mostrará más adelante el rendimiento del cultivo de trigo es más estable ante la variabilidad climática que el de los cultivos de verano analizados. De todas maneras en esta primera etapa no se consideran los problemas de enfermedades asociados a las precipitaciones como la fusariosis de espiga que el modelo de simulación no toma en cuenta.

La fecha de siembra condiciona los rendimientos (Figura 3.5), sin embargo para este cultivo se mantiene igual patrón de comportamiento para las distintas fechas de siembra, independientemente de la clasificación del año (según ENSO). En este cultivo los mayores rendimientos se observan en la fecha de siembra más temprana (5 de mayo) y los menores en la más tardía (10 julio) donde el período crítico del cultivo es más tardío y por tanto el coeficiente fototermal (Q) durante el período crítico es menor, factor que está directamente asociado a mayores rendimientos.



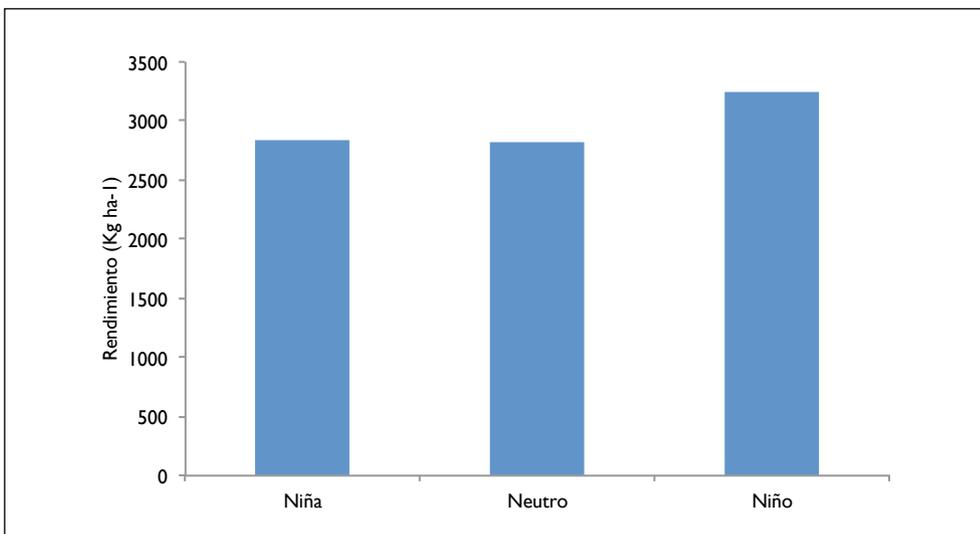
**Figura 3.5.** Relación entre la fecha de siembra de trigo y ENSO sobre el rendimiento de trigo (Colonia 1990-2011)

La distribución de probabilidades de rendimientos según ENSO indica claramente que en ausencia de limitantes bióticas y abióticas los mayores rendimientos están asociados a años clasificados como Niño y los menores a años Niña (Figura 3.6). Esto a priori es contra intuitivo ya que lo contrario es esperable a nivel de productores, pero coincidente con los datos nacionales de producción (Figura 3.6).



**Figura 3.6.** Distribución de rendimiento alcanzable de trigo según ENSO para el litoral oeste de Uruguay comprendido entre Colonia y Paysandú (1990-2011)

La media nacional de rendimientos del período 2000-2010 (excepto la zafra 2001 año Neutro y 2002 año Niño que tuvieron problemas de fuisariosis de espiga) se observan que los mayores rendimientos se dan en años Niño que en años Niña y Neutro, lo que indica posibles limitaciones a los rendimientos por déficit hídrico en cultivos de invierno.



**Figura 3.7.** Media nacional de rendimiento de trigo según ENSO 2000-2011 (sin zafra 2001 y 2002)

Desde el punto de vista económico, para los rendimientos medios simulados, considerándose los costos de producción<sup>2</sup> sin renta de la tierra y precios de grano actuales, el margen neto por hectárea puede variar de U\$S ha<sup>-1</sup> 832 en un año Niño con siembras tempranas, a U\$S ha<sup>-1</sup> 129 en años Niña o Neutros en siembras tardías. El no sembrar en la fecha óptima en un año Niño implica pérdidas de U\$S ha<sup>-1</sup> 460 lo que representa un 55% de la ganancia alcanzable promedio. En un año Niña estas pérdidas estimadas son de U\$S ha<sup>-1</sup> 522, lo que representa el 80% del margen de la siembra temprana.

Uno de los factores que pueden estar sesgando los datos y que el modelo CropSyst no tiene en cuenta es la fusariosis de espiga. Por tanto, para evaluar la cantidad de períodos con condiciones predisponentes para la enfermedad se utilizó el modelo propuesto por Moschini *et al.* (2001) validado para las condiciones locales por Mazzilli *et al.* (2011) los cuales consideran que por encima de tres períodos con condiciones predisponentes aumenta el riesgo de la enfermedad. Es conocido que la ocurrencia o no de esta enfermedad es altamente dependiente de las condiciones climáticas a las que esté sometido el cultivo al momento de floración/espigazón: altas humedades relativas (superiores al 80%) acompañadas de altas temperaturas (> 26 °C) condiciones que predisponentes a la misma. Así esta enfermedad se vuelve relevante en primaveras cálidas y húmedas como por ejemplo la ocurrida en el litoral oeste del país en 2001-2002” por “las ocurridas en el litoral oeste del país en los años 2001 y 2002

**Tabla 3.2.** Porcentaje de años con más de tres eventos de condiciones predisponentes para fusarium durante las fechas de siembra (Colonia 1990-2011)

ENSO	05-may	10-jun	10-jul
Niña	50%	50%	25%
Neutro	62%	54%	38%
Niño	0%	20%	0%

En relación a esto se evaluó el porcentaje de años con más de tres días en los que se dieron condiciones predisponentes para fusarium durante la floración simulada en relación al pronóstico ENSO y la fecha de floración simulada. Como se observa en la Tabla 3.2, independientemente de la fecha de siembra, el riesgo de fusarium no estuvo asociado a un año Niño, lo que puede estar explicado por un rápido descenso de la humedad relativa luego de una lluvia en este tipo de años. Es importante notar que la mayoría de las floraciones ocurrieron desde fines de setiembre hasta fines de octubre.

**Tabla 3.3.** Porcentaje de años con más de tres períodos predisponentes para fusariosis de la espiga en trigo según fecha de floración y ENSO (Colonia 1990-2011)

ENSO	% Años C/Condiciones	
	Octubre	Noviembre
Niña	50%	25%
Neutro	38%	23%
Niño	40%	60%

Lo contrario ocurre para el mes de noviembre donde la mayor ocurrencia riesgo de fusariosis de espiga se da en años Niño. A pesar de esto para todas las fechas de siembra evaluadas en Noviembre el cultivo se encuentra en un estado fisiológico más avanzado y, por tanto, el riesgo por esta enfermedad es menor. Esto es coincidente con el régimen de precipitaciones, dónde los años “Niños” el mes que más cambio tenía en las precipitaciones era noviembre (Tabla 3.3).

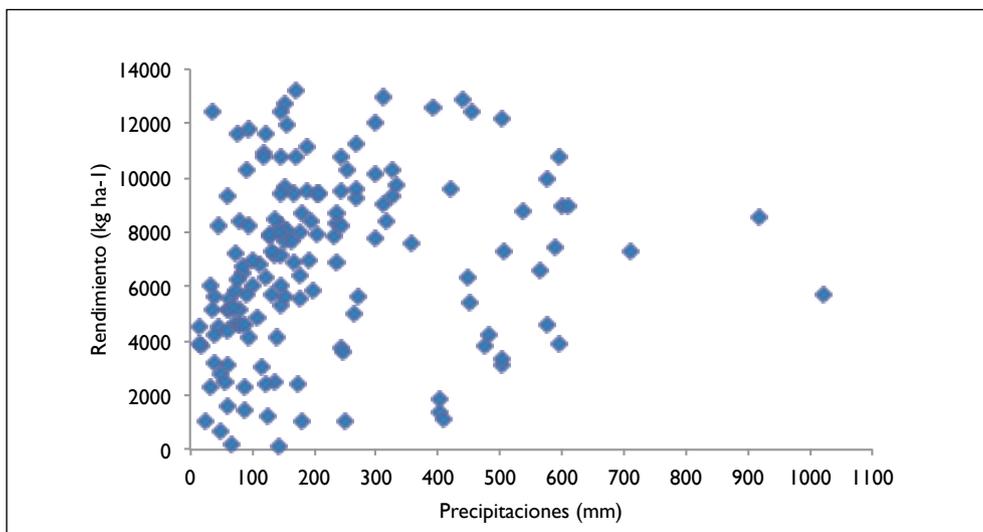
En resumen para el cultivo de trigo, los mayores rendimientos estuvieron asociados a zafas Niño, y esto no implicó un mayor riesgo de fusariosis de espiga siempre que la época de siembra evite siembras con floraciones durante el mes de noviembre, lo cual sería la peor estrategia en

todos los años, ya que el efecto de fecha de siembra indicaría que la mejor alternativa son las fechas de siembra tempranas de mayo.

<sup>2</sup> Incluye: labores, semilla, fertilizantes, insecticidas, herbicidas y renta

## Maíz

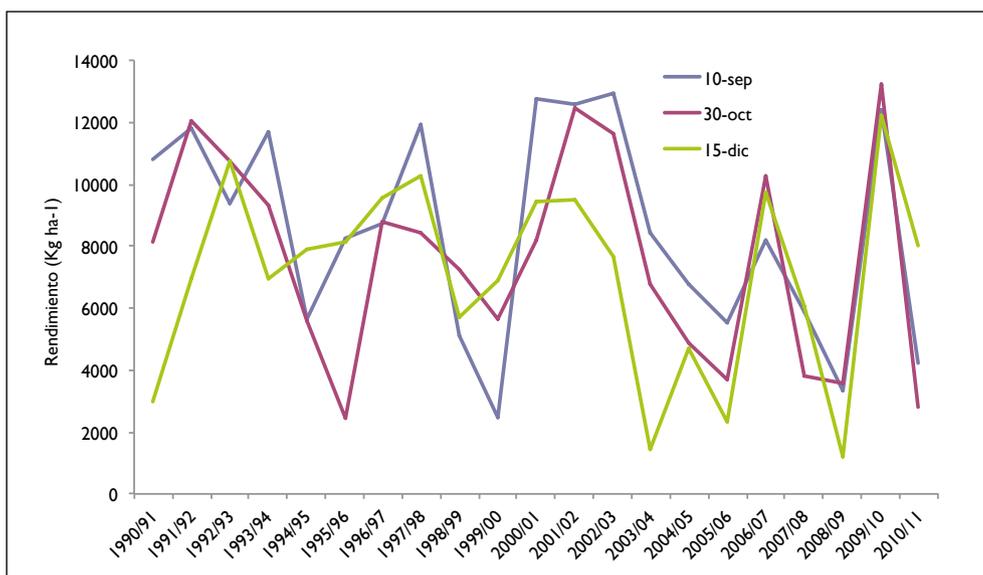
El rendimiento medio de maíz obtenido (para todas las fechas y localidades) es de 6890 Kg ha<sup>-1</sup>, con un coeficiente de variación en los rendimientos del 46%, en el mejor de los años el rendimiento aumenta un 92% respecto a la media, y en el peor disminuye un 98% respecto a ésta. De los factores climáticos evaluados se encontró que tanto para maíz como para soja (se presenta más adelante), la que presentó mejor relación con el rendimiento de los cultivos fue la precipitación durante el período crítico, considerándose este período 20 días antes y 20 días después de floración para el caso de maíz (Figura 3.8). De todas maneras la relación es sólo orientativa e indica que hay otros factores como radiación, temperatura y suelo que determinan la curva.



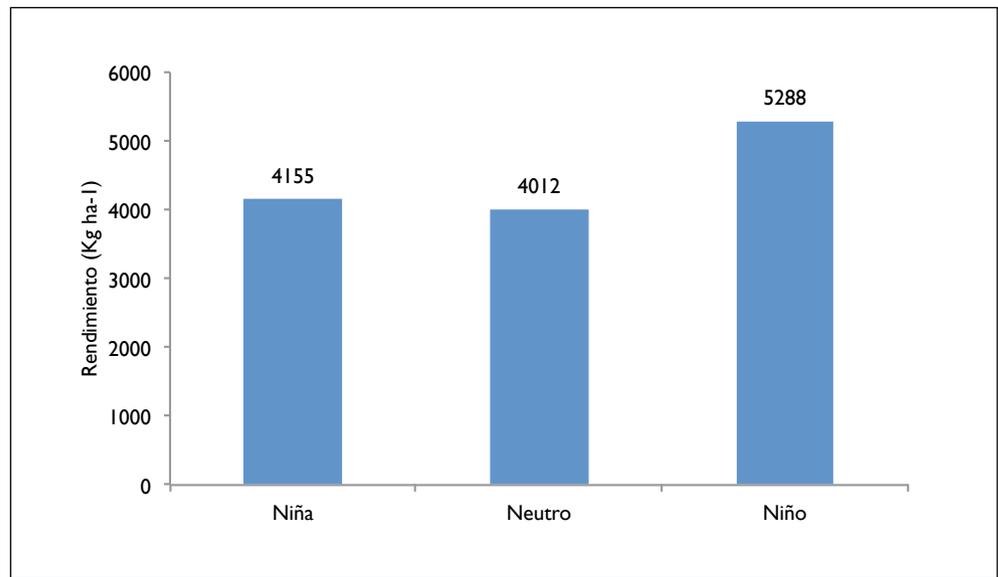
**Figura 3.8.** Rendimiento de maíz según precipitaciones en el período crítico para todas las localidades y fechas de siembra

Los rendimientos simulados para las distintas zafras presentaron patrones diferentes para las distintas fechas de siembra. Esto significa que si bien existieron zafras que en su conjunto fueron mejores que otras, no siempre la misma fecha de siembra tuvo el mejor o peor comportamiento. En la Figura 3.9 se presenta como ejemplo los rendimientos simulados para la localidad de Tacuarembó. Si se observan con detenimiento zafras como la 2011-2012 se constata que los rendimientos de la siembra de diciembre fueron superiores a las otras dos fechas de siembra, mientras que en la zafra 1990-1991 el comportamiento fue el opuesto.

A diferencia de lo reportado para trigo, el efecto Niño sobre el rendimiento en grano es conocido por los productores para el cultivo de maíz y puede observarse claramente a partir de la información de DIEA 2001 (Figura 3.10). A nivel país este tipo de años se encuentra en el entorno de 1000 Kg ha<sup>-1</sup> por encima de años Neutro y Niña.



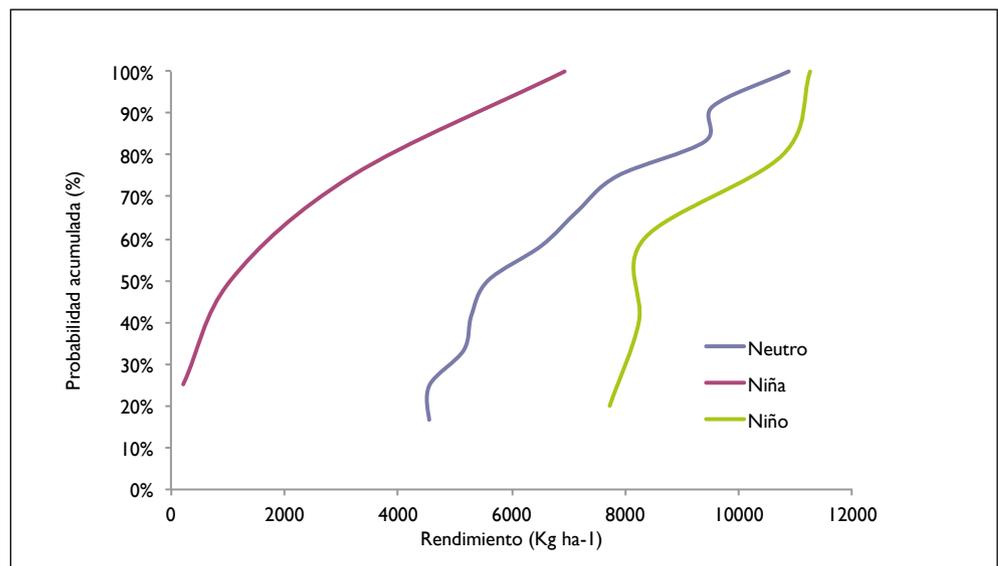
**Figura 3.9.** Rendimiento en grano simulado según zafra para la localidad de Tacuarembó



**Figura 3.10.** Rendimiento según ENSO para el período 2000-2010 (DIEA)

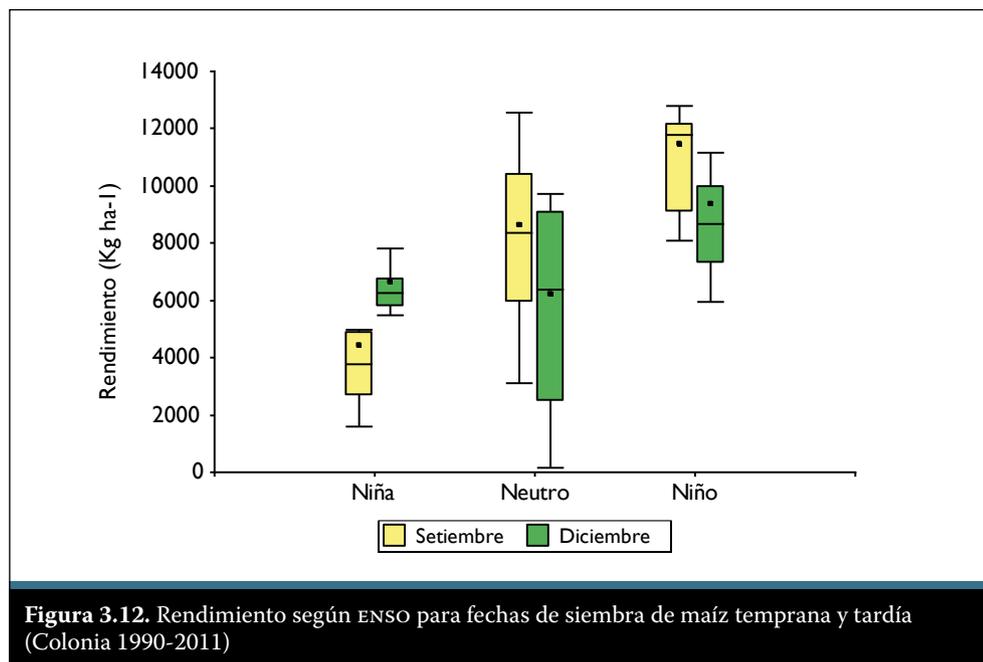
Igual conclusión se obtiene de las curvas de distribución de rendimientos según ENSO simuladas para el período 1990-2011 (Figura 3.11), donde claramente se observa que cada tipo de años es un universo diferente de probabilidades que nunca conviven.

Cuando evaluamos los rendimientos en relación al fenómeno ENSO se observan comportamientos diferentes para las distintas fechas de siembra. En general en los años clasificados como Niño, los rendimientos del cultivo son mayores a los clasificados como Niña, pero las fechas de siembra óptimas se modifican. Mientras que para los años Niño los mayores



**Figura 3.11.** Probabilidad acumulada de obtener rendimientos de maíz según ENSO (Colonia 1990-2011)

rendimientos están asociados a siembras tempranas (15/9), para los años Niña los mayores rendimientos están asociados a fechas tardías (15/12). Otro aspecto relevante es que parece ser que la mejor alternativa en años Neutro sigue siendo la siembra temprana aunque se asume un potencial de rendimiento menor que un año Niño (Figura 3.12).



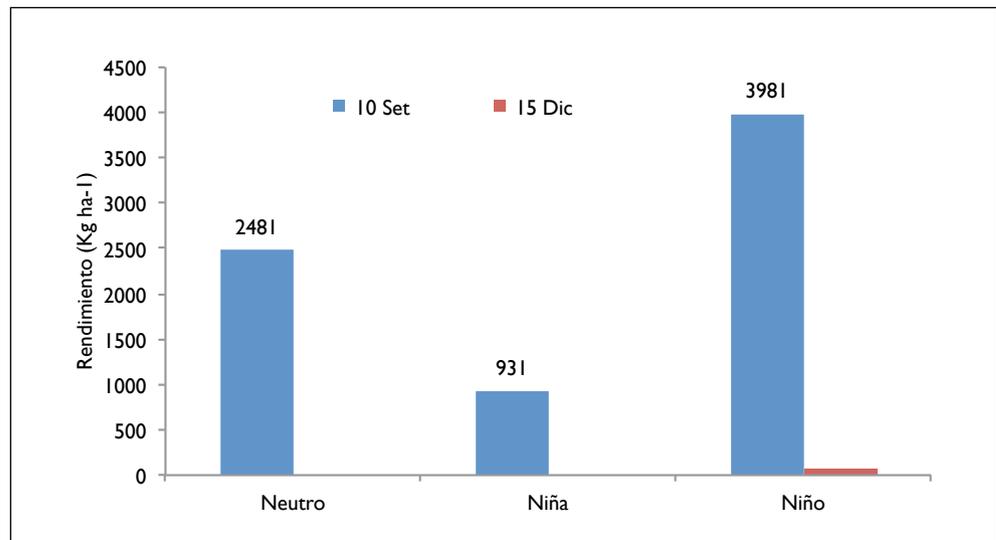
**Figura 3.12.** Rendimiento según ENSO para fechas de siembra de maíz temprana y tardía (Colonia 1990-2011)

Desde el punto de vista económico, considerándose los costos de producción<sup>3</sup> sin considerar renta de la tierra y precios de grano actuales en años Niña las siembras tempranas tienen un margen neto de USD/ha -171 en cambio para esos mismos años en siembras tardías el margen neto medio de los datos simulados es de USD ha<sup>-1</sup> 367. En años Neutros y Niño donde las siembras tempranas se comportan mejor, las disminuciones promedio en el margen neto por sembrar tarde son de U\$S ha<sup>-1</sup> 335 y U\$S ha<sup>-1</sup> 807 (52 y 56% respectivamente).

Un aspecto que fue manejado como no limitante es la fertilización nitrogenada y para el caso particular del maíz puede ser relevante y variable de acuerdo al tipo de año. Por tanto, se comparó el rendimiento simulado sin limitaciones de nitrógeno en relación a uno con un agregado de 70 kg N ha<sup>-1</sup> lo cual se considera que es la media utilizada por los productores de secano. Con esto no se pretende evaluar la dosis a agregar, sino simplemente si puede ser una limitante en algunas zafras (Figura 3.13).

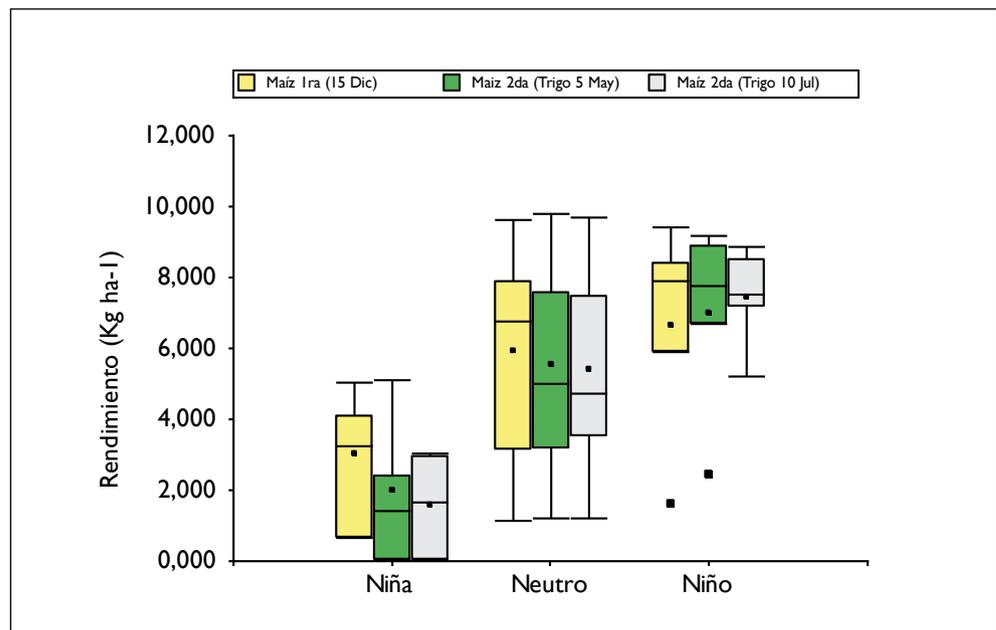
Claramente se observó que en años Niño y Neutro se podrían explorar mejores rendimientos aumentándose los niveles de fertilización, o dicho de otra manera, es posible que en zafras con mayores precipitaciones la limitante al rendimiento sea el nitrógeno y por tanto se deberían aplicar dosis diferentes de acuerdo al régimen hídrico esperado para el año en el caso de siembras tempranas.

<sup>3</sup> Incluye: labores, semilla, fertilizantes, insecticidas, herbicidas y renta.



**Figura 3.13.** Diferencia de rendimiento con nitrógeno limitado o sin limitantes para dos fechas de siembra (Colonia 1990-2011)

Para el caso de maíz de segunda, a la diferencia entre éste y el de primera sembrado tarde, se le agrega la variación en la disponibilidad de agua en el suelo al momento de la siembra. Para esto se evaluaron dos alternativas de siembra sobre distintas fechas de siembra de trigo (5 mayo y 10 julio) lo que da a fecha de siembra fija de maíz (15 de diciembre) deja distintos días entre madurez fisiológica del trigo y siembra y por tanto distintas probabilidades de recarga del perfil (Figura 3.13).



**Figura 3.14.** Rendimiento del maíz para fecha de siembra tardía en tres condiciones hídricas (Colonia 1990-20011)

Para las siembras tardías se observa claramente un efecto año muy marcado sin diferencias mayores entre los tipos de siembra, aunque contrario a lo esperado: las siembras con menor cantidad de agua inicial, pero suficiente para la emergencia (en ausencia de limitantes nutricionales) tienden a presentar mayores rendimientos medios (aunque mayor variabilidad) lo que se explica como consecuencia de un menor crecimiento inicial (limitado por agua) lo que determina menor demanda hídrica en períodos posteriores y de mayor relevancia para la determinación de los rendimientos. En contraparte, en años Niña la estrategia de maíz de segunda tiene un importante riesgo asociado, ya que hay un importante porcentaje de años dónde los rendimientos son menores a los 2000 Kg ha<sup>-1</sup>.

En resumen la mejor estrategia de fecha de siembra es dependiente del tipo de año: para zafras Niño y Neutra es la siembra temprana y lo opuesto para zafras Niña. Por otra parte es necesario explorar mayores niveles de fertilización en zafras Niño que en el resto de las zafras. Para el caso de maíz de segunda el nivel de riesgo es muy importante para años Niña y, por tanto, se podría manejar la estrategia de no sembrar y/o cambiar de cultivo.

### Soja

El rendimiento medio de soja obtenido para el grupo de madurez (GM) IV (para todas las fechas y localidades) es de 2540 Kg ha<sup>-1</sup> con un coeficiente de variación del 45%. En el mejor de los años el rendimiento aumenta un 104% respecto a la media (rendimiento máximo de 5200 Kg ha<sup>-1</sup>) y en el peor año disminuye un 96% (el rendimiento mínimo simulado fue de 90 Kg ha<sup>-1</sup>). En el caso de la soja grupo VI, el rendimiento medio es de 2730 Kg ha<sup>-1</sup> con un coeficiente de variación del 43%. En el mejor de los años el rendimiento aumenta un 100% respecto a la media (rendimiento máximo de 5470 Kg ha<sup>-1</sup>) y en el peor año disminuye un 87% (rendimiento mínimo de 340 Kg ha<sup>-1</sup>). Comparando a grandes rasgos ambos grupos, se puede decir que el grupo VI presenta mayores rendimientos medios y más estables. Para el caso del cultivo de soja al igual que lo observado para maíz la fecha de siembra determina cambios en los rendimientos máximos según la fecha de siembra a

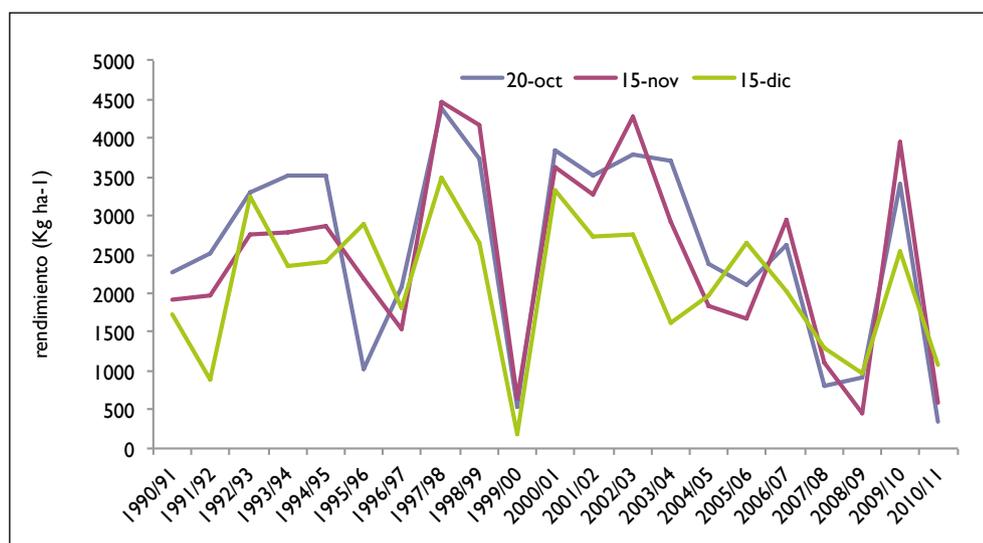
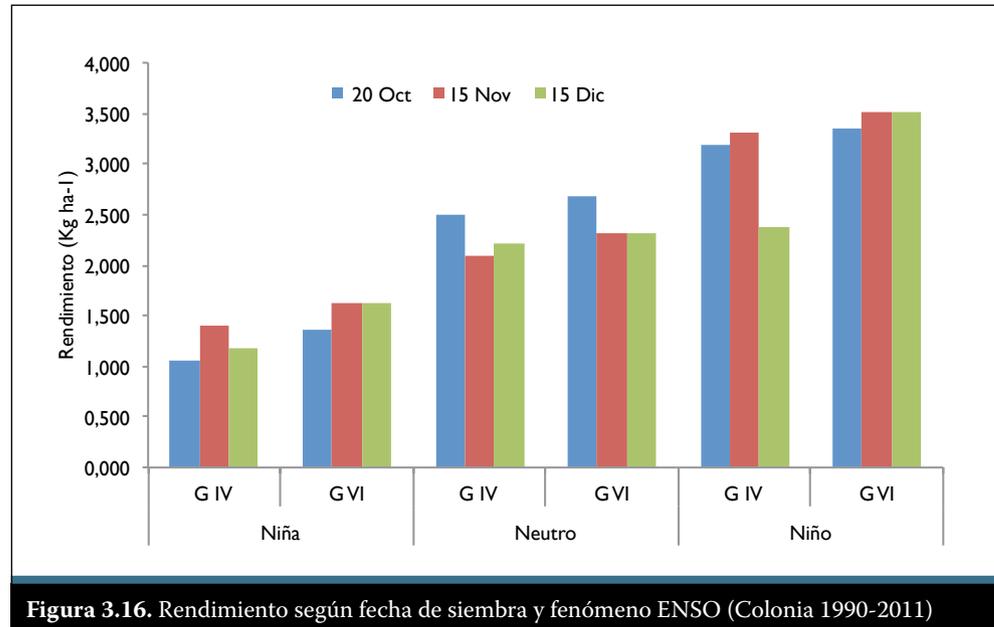


Figura 3.15. Rendimiento en grano simulado según zafra para la localidad de Colonia (Soja G VI)

excepción de zafras extremas como el 1999-2000 donde los rendimientos fueron bajos en todas las fechas de siembra.

Respecto a la relación entre la fecha de siembra y el rendimiento dependiente de cómo fue clasificado el año (Figura 3.16), se observa en general que años clasificados como Niño tienen los mayores rendimientos en fechas de siembra tempranas para GIV, o medias y tardía para GVI. En cambio en los años Niña los mayores rendimientos están ubicados en fechas de noviembre y diciembre para ambos grupos de madurez. Para años Neutros independientemente del grupo la mejor alternativa fue la siembra temprana de octubre.

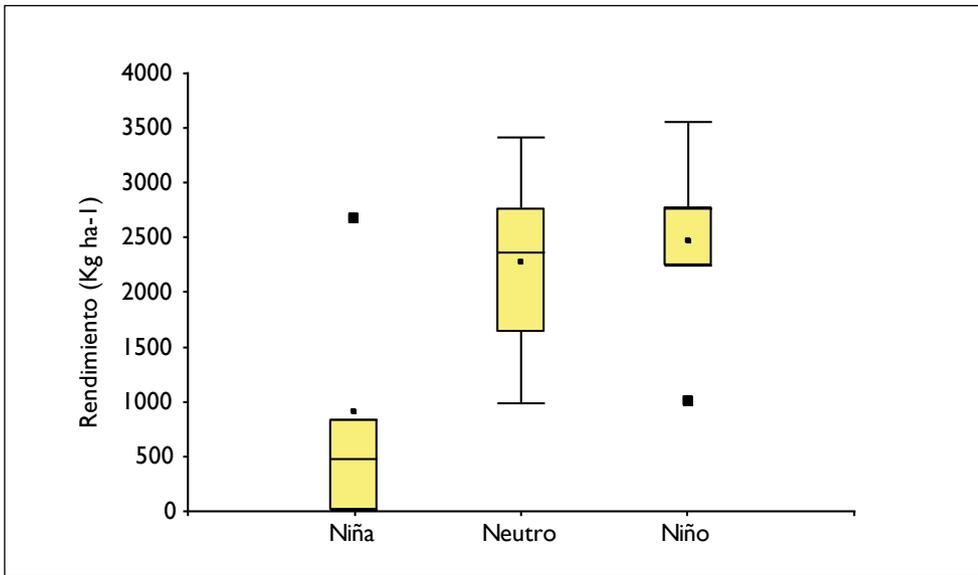


**Figura 3.16.** Rendimiento según fecha de siembra y fenómeno ENSO (Colonia 1990-2011)

Desde el punto de vista económico y considerándose solo el grupo de madurez VI por ser el que mejor se comportó en todas las situaciones, en años Niño el sembrar temprano representa una pérdida de 84 USD ha<sup>-1</sup> en el margen neto sin renta en relación a las fechas medias y tardías las cuales presentan un margen de 682 USD ha<sup>-1</sup>. En los años Niña para la relación de costos<sup>4</sup> y precio de grano actual, donde el rendimiento de equilibrio por hectárea 1877 kilogramos, todas las alternativas representan un margen neto negativo, siendo este -117 USD ha<sup>-1</sup> para siembras medias y tardías y -225 USD ha<sup>-1</sup>. Por lo tanto y con esta relación de precios la mejor alternativa para los años niña es no sembrar. En los años Neutros donde la mejor opción son las siembras tempranas las pérdidas por sembrar el 15 de noviembre o el 15 de diciembre son de 147 USD ha<sup>-1</sup> y es el margen neto simulado para fechas tempranas de 325 USD ha<sup>-1</sup>.

Cuando se analizan los rendimientos de soja de segunda, independientemente del tipo de trigo sobre el cual venga (temprano o tarde) y el GM utilizado, las diferencias entre tipo de año son muy notorias (Figura 3.17). Desde el punto de vista económico, considerando que los costos por hectárea de la soja de segunda son menores el rendimiento de equilibrio 1283 kg/ha. Por lo tanto, en los años Niña nuevamente la mejor opción es no sembrar.

<sup>4</sup> Incluye: labores, semilla, fertilizantes, insecticidas, herbicidas y renta.



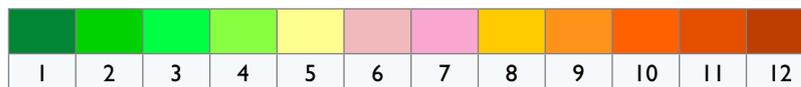
**Figura 3.17.** Rendimiento de soja de segunda según tipo de año (Tacuarembó 1990-2011)

En resumen para soja de primera en años Niño y Neutro, la mejor alternativa son las siembras de GVI el 20 de octubre, mientras que en años Niña la opción más favorable es la siembra de grupo VI el 15 de noviembre, sin embargo con la coyuntura actual le mejor alternativa sería no sembrar. Esto estaría indicando que los G IV no son los más adaptados a las condiciones simuladas y posiblemente el análisis más completo deba incorporar grupos de siembra intermedios.

### 3.4. FACTORES PRINCIPALES QUE DETERMINAN LA SENSIBILIDAD Y MATRICES DE SENSIBILIDAD

A partir de los resultados obtenidos en este estudio se realizó una matriz de sensibilidad para cada uno de los cultivos donde la siguiente escala de colores representa la sensibilidad. Los menos sensibles se representan con 1 y los más sensibles con 12.

Escala de colores de las matrices de sensibilidad:



#### TRIGO

		INTERNOS								
		Fecha de siembra			Cultivar		ENSO			
		1	2	3	UNICO	VARIABLE	NIÑA	NEUTRO	NIÑO	
Fecha se siembra	1	Se dan mayores rendimientos			En fechas tempranas no ajustar el cultivar tiene alto riesgo	Ajustar el cultivar a la fecha de siembra permite disminuir el riesgo	Las fechas de siembra tempranas son mejores independientemente de cómo fue clasificado el año			
	2		Se dan rendimientos medios		En fechas medias el riesgo de no ajustar el cultivar es medio		Independientemente del año tienen un comportamiento intermedio			
	3			Se dan los menores rendimientos	En fechas tardías no ajustar el cultivar tiene alto riesgo		Las fechas de siembra tardías son peores independientemente de cómo fue clasificado el año			
Cultivar	ÚNICO				Implica menor diversificación de los períodos críticos					
	VARIABLE					Variar el cultivar permite diversificar los períodos críticos				
ENSO	NIÑA						Menores rendimientos se dan el años NIÑA			
	NEUTRO							Menores rendimientos se dan el años NIÑA		
	NIÑO								En los años NIÑO se dan los rendimientos más altos	

# MAÍZ

		INTERNOS						EXTERNOS			
		Fecha de siembra			Cultivar		Fertilización		ENSO		
		1	2	3	UNICO	VARIABLE	FIJA (de 70 kg N ha-1)	VARIABLE	NIÑA	NEUTRO	NIÑO
Fecha de siembra	1	El efecto de la fecha de siembra es indeterminado y varía según las características del año			Implica menor diversificación de los períodos críticos	Variar el cultivar permite diversificar los períodos críticos	La importancia de un correcto ajuste de la fertilización es mayor cuanto mayor es el potencial de rendimiento independientemente de la fecha de siembra		Menores rendimientos en fechas tempranas	Mayores rendimientos en fechas tempranas	Mayores rendimientos en fechas tempranas
	2								Comportamiento intermedio	Comportamiento intermedio	Comportamiento intermedio
	3								Mayores rendimientos en fechas tardías	Menores rendimientos en fechas tardías	Menores rendimientos en fechas tardías
Fertilización	FIJA (70 kg N ha-1)						No siempre se ajusta a las necesidades del cultivo		Podría implicar un gasto de fertilizante mayor al necesario	La fertilización fija en años de altos potenciales puede implicar pérdidas de rendimientos	
	VARIABLE							Ajustado a las necesidades del cultivo	No compensa el mal año. Si podría ahorrar fertilizante	Permite explorar rendimientos potenciales	
ENSO	NIÑA								Menores rendimientos se dan en años NIÑA		
	NEUTRO									Menores rendimientos se dan en años NIÑA	
	NIÑO										En los años NIÑO se dan los rendimientos más altos

# SOJA

INTERNOS												
		Fecha de siembra			Cultivar		ENSO					
		1	2	3	Grupo IV	Grupo VI	NIÑA		NEUTRO		NIÑO	
							GIV	GVI	GIV	GVI	GIV	GVI
Fecha de siembra	1	El efecto de la fecha de siembra es indeterminado y varía según las características del año			A una fecha de siembra dada variar el cultivar no permite evitar el efecto de los años malos		Menores rendimientos	Menores rendimientos	Mayores rendimientos para este grupo, tipo de año y fecha de siembra	Mayores rendimientos para este grupo, tipo de año y fecha de siembra	Rendimiento medio para este grupo, tipo de año y fecha de siembra	Menores rendimientos para este grupo, tipo de año y fecha de siembra
	2						Mayores rendimientos	Mayores rendimientos	Se dan los menores rendimientos	Menores rendimientos para este grupo, tipo de año y fecha de siembra	Mayores rendimientos para este grupo, tipo de año y fecha de siembra	Mayores rendimientos para este grupo, año y fecha de siembra
	3						Menores rendimientos	Menores rendimientos	Menores rendimientos	Menores rendimientos para este grupo, tipo de año y fecha de siembra		
Cultivar	Grupo IV				Menores rendimientos y más variables		En años NIÑA GVI se comportan mejor		En años NEUTROS GVI se comportan mejor		En años NIÑO GVI se comportan mejor	
	Grupo VI					Mayores rendimientos más estables	En años NIÑA GIV se comportan peor		En años NEUTROS GIV se comportan peor		En años NIÑO GIV se comportan peor	
ENSO	NIÑA	No se puede contrarrestar el efecto ENSO modificando la fecha de siembra					Independientemente de la fecha de siembra los menores rendimientos se dan en los años NIÑA					
	NEUTRO						Independientemente de la fecha de siembra los rendimientos en años clasificados como NEUTROS son intermedios y son los que presentan mayor variabilidad					
	NIÑO						En los años NIÑO se dan los rendimientos más altos, independiente de la fecha de siembra					

### 3.5. ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD ADAPTATIVA

Para llevar a cabo este análisis se realizó la siguiente matriz:

FACTORES	INTERNO										EXTERNO					
	Capacidad financiera		Acceso a servicios		Uso de seguros		Diversificación de cultivos		Acceso a riego		Escala		Buen precio del producto	NO		
	SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO		
Acceso información	SI	Permite tomar medidas para ↓ impacto de la variabilidad climática	NO	Sin acceso a los servicios no es posible llevar a cabo las tecnologías ni poner en práctica la información	SI	Ante un evento climático negativo, el seguro me permite compensar los costos de producción	NO	Sin seguro, aumentan los riesgos de pérdida totales frente a un evento climático negativo	SI	Diversificar los periodos de mayor dependencia del clima	NO	Con información es posible diversificar riesgos con un solo cultivo	SI	Riego usado eficientemente	NO	↓ El efecto de un mal precio (siembro-no siembra)
	NO															
Capacidad financiera	SI															
	NO															
Acceso a servicios	SI															
	NO															
Uso de seguros	SI															
	NO															
Diversificación de cultivos	SI															
	NO															
Acceso a riego	SI															
	NO															
ESCALA	SI															
	NO															

INTERNOS

## **Opciones priorizadas para reducir la sensibilidad, aumentar la capacidad adaptativa y construir resiliencia a nivel de sistemas de producción**

Del presente estudio se detectaron cinco posibles estrategias de manejo de cultivos para enfrentar el problema de la variabilidad climática:

1. No sembrar
2. Cambiar el cultivo
3. Cambiar la fecha de siembra del cultivar seleccionado
4. Cambiar el cultivar (largo del ciclo)
5. Modificar la fertilización nitrogenada

Para el caso de la *fecha de siembra* se encontró que es posible con el uso del pronóstico ENSO ajustar la fecha de siembra de manera de reducir el riesgo de bajas precipitaciones durante el período crítico en cultivos de verano. Para el caso del cultivo de maíz, se observó que hay una clara diferencia en los rendimientos obtenidos según se trate de un año Niño o año Niña, donde independientemente de la fecha de siembra (temprana- mediatardía), los rendimientos fueron mayores para el caso de años Niño. Por lo tanto, si bien estos rendimientos son mayores con fechas de siembra temprana, en caso de ocurrencia de déficit hídrico, año Niña, las mejores respuestas se obtuvieron con fechas de siembra tardías, dado que el período crítico del cultivo escapa a dichas condiciones acompañadas con las máximas temperaturas del verano (enero).

Para el caso del cultivo de soja, según sea la clasificación ENSO y según el grupo madurez del cultivo, el comportamiento es significativamente diferente frente a igual fecha de siembra. Cuando se trata de años Niño, los mayores rendimientos se obtienen con siembras tempranas de GM IV, mientras que para los GVI, los mayores rendimientos se obtienen con siembras medias o tardías. Pero este comportamiento es muy diferente en un año Niña donde independientemente del grupo de madurez, los mayores rendimientos se obtienen con siembras de noviembre y diciembre a consecuencia de la ubicación del período crítico en fechas de menor demanda atmosférica.

En el cultivo de trigo, la mejor estrategia de manejo, no varía según la predicción ENSO, los mayores rendimientos se obtienen con fechas de siembra tempranas dado que el período crítico del cultivo, coincide con el mayor coeficiente fototermal. De todas maneras el riesgo de fusariosis de espiga es modificado de acuerdo al pronóstico ENSO y la fecha de floración (siembra). Si bien las siembras tardías tienen menores rendimientos, en años Niño coinciden con el período de floración en fines de octubre noviembre, momento en el que para este tipo de años se incrementa el riesgo de fusariosis de espiga.

El uso de *cultivares* de distinto largo de ciclo puede ser una estrategia para disminuir los riesgos de ocurrencia de condiciones desfavorables durante el período crítico. En el caso de tener una rotación rígida y muy trabada (muchos dobles cultivos en la secuencia) en la que no es posible tener variaciones en la fecha de siembra, el uso del cultivar más adecuado a la situación puede permitir una mejor ubicación del período crítico. A su vez es posible diversificar el riesgo utilizando cultivares de distinto largo de ciclo a una misma fecha de siembra. Pero en el caso del cultivo de maíz, la variación entre cultivares es baja,

por lo tanto la diversificación es casi nula y por el contrario existen mayores posibilidades de diversificación en el caso de soja.

Si bien el *nitrógeno* fue manejado como no limitante en la mayoría de las situaciones, la estrategia de variar la fertilización fue evaluada para el caso del maíz, cultivo en el que se considera que puede ser relevante y variable de acuerdo al tipo de año, encontrándose que el agregado de dosis fijas de 70 kg/ha de N (promedio del agregado de productores) puede ser limitante en años lluviosos donde la probabilidad de obtener mejores rendimientos es mayor. Por lo tanto, en años "Niño", la fertilización nitrogenada debe ser mayor respecto a la cantidad agregada en años promedio y por tanto es importante la utilización de los modelos de fertilización existentes incorporándose la expectativa de rendimiento.

Además de estas estrategias de manejo evaluadas es posible reducir el riesgo ante la variabilidad climática mediante otras estrategias de manejo que permiten reducir el riesgo:

- Diversificación de cultivos
- Diversificación geográfica
- Uso de seguros climáticos
- Uso de ventas a futuro y/o seguros de precios
- Riego
- Acceso a la información

La diversificación de cultivos puede ser una estrategia a tomar para mejorar la gestión del riesgo, al distribuir en distintos momentos los periodos críticos de los cultivos. Por otro lado cada cultivo posee distintas formas de tolerancia a las distintas adversidades climáticas. Se entiende que esta estrategia podría ser implementada por productores de amplia escala.

Otra estrategia es la *diversificación geográfica*, está disminuye las pérdidas por riesgo climático ya que la probabilidad de que se den condiciones adversas en varias localidades es menos a la probabilidad de que se den en una única chacra este es un manejo que se da principalmente en aquellos productores con mayor capacidad financiera.

En una situación donde el acceso a *sistemas de riego* es posible, la limitante del recurso agua no existiría (a no ser en casos extremos), lo que permitiría además de asegurar los rendimientos, que éstos a su vez sean mayores. Por otro lado, no en todos los casos es posible acceder al riego en el total del predio o área a sembrar.

Los *seguros agropecuarios* son una forma de manejo del riesgo que, frente a eventos climáticos adversos, permiten compensar los costos de producción; disminuyen así la posibilidad de sufrir pérdidas del total invertido en dicha producción. Si bien los seguros generan un costo, no son inaccesibles para aquellos productores con menor capacidad financiera, lo que estaría jugando un rol muy importante, sería el acceso a la información que presenten los mismos.

En cuanto al *uso de mercados de futuro y/o seguros de precios* permiten asegurar un precio con anticipación y por tanto se conoce con que rendimiento mínimo se logra el punto de equilibrio pudiendo decidir entonces si sembrar o no sembrar; porque se conoce el precio previo a la siembra. Con buenos precios, se podría arriesgar más y por lo tanto sembrar

mayor cantidad de hectáreas del cultivo en cuestión, mientras que si el precio es muy ajustado, no aumenta dicho riesgo.

El *acceso a la información* es un factor fundamental para poder aplicar cualquier estrategia tanto de disminución de la sensibilidad como de aumento de la capacidad adaptativa del sistema. Así por ejemplo un pronóstico climático certero respecto a las condiciones que se van a dar en los meses en los que se encuentra creciendo el cultivo es fundamental para poder seleccionar la correcta fecha de siembra de manera de ubicar el período crítico de crecimiento en las mejores condiciones, pero para lograr esto es también necesario conocer con precisión la ecofisiología del cultivo y los largos de ciclo de los diferentes cultivares.

# 4

## El arroz frente a la variabilidad y el cambio climático

### **4.1 SITUACIÓN ACTUAL Y EVOLUCIÓN RECIENTE**

Actualmente el arroz es el segundo cultivo, después de la soja, en área y ocupa el quinto lugar como fuente de divisas (DIEA). Se generan alrededor de 10 mil puestos de trabajos directos e indirectos e ingresos de 350 millones de dólares anuales. Uruguay es el sexto país exportador de arroz a nivel mundial y el principal de América Latina. Más del 90% de la producción de arroz del país es destinada a la exportación y es Brasil el principal destino.

En el país se identifican tres regiones productoras de arroz: este, norte y centro. Las tres regiones se diferencian en: topografía, tipo de suelo, tipos de fuentes de agua, temperaturas máximas y mínimas y horas de sol durante la estación de crecimiento. Esta diferenciación regional se expresa a su vez en aspectos tecnológicos, biológicos y en dinámicas de crecimiento diferentes.

El ciclo del cultivo de arroz se extiende desde octubre a abril, con temperaturas mínimas y máximas que oscilan entre 13,9 y 26,2 °C, respectivamente. El mismo es parte de un sistema de rotación arroz-pastura, el cual es necesario para recuperar la estructura de los suelos y reducir la población de malezas. A pesar de que existen diferencias entre los sistemas de rotación, un sistema típico de rotación incluye dos años de arroz y tres a cuatro años de pasturas.

Durante los últimos 40 años, la adopción de variedades de alto rendimiento y la mejora de las prácticas de manejo del suelo (labranza anticipada, nivelación de tierras y reducción de la labranza) contribuyeron a asegurar un porcentaje alto de la siembra en fecha óptima, un control de malezas y riego temprano, un ajuste en la fertilización y el control de enfermedades. Todos estos cambios se han visto reflejados en un aumento importante de los rendimientos de 90 kg/ha/año, desde 1970 hasta esta parte (Blanco, *et al.* 2010).

En este rubro las amenazas climáticas identificadas fueron: las precipitaciones mayores al promedio, en octubre y noviembre; y niveles de radiación y temperaturas mínimas menores al promedio en la etapa sensible del cultivo que se ubica, en los meses de enero y febrero, durante la etapa de floración y llenado de grano.

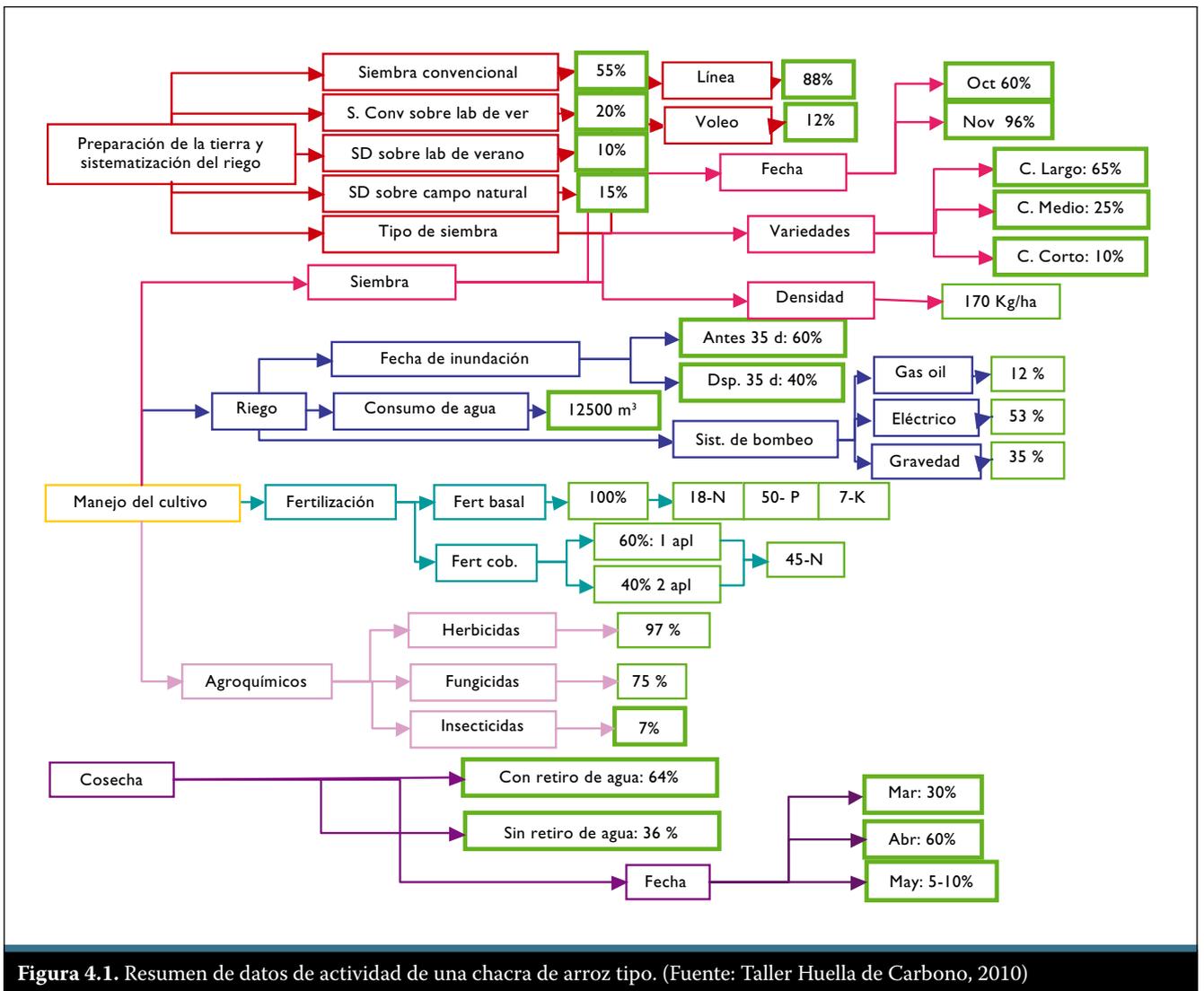
El arroz en Uruguay a pesar de ser un cultivo de bajo riego es afectado por las fases del ENSO (Niño-Niña). Las zafras de alta producción están asociadas con niveles de precipitación menores a los normales durante los meses de octubre, noviembre y diciembre; y niveles de radiación mayores a los normales en los meses de diciembre, enero y febrero. Esta conjunción de factores es más frecuente durante la fase Niña del ENSO (Roel, 2004).

Temperaturas bajas en las épocas de siembra provocan una pobre implantación y demoras en el desarrollo. Durante el período vegetativo el cultivo se presenta amarillamiento, con reducción del macollaje y pobre desarrollo. La temperatura media es la variable climática de mayor efecto sobre el rendimiento, es determinante desde los 30 días previos a floración hasta los 30 días posteriores a ésta. Temperaturas bajas durante este período inciden en aumentar el porcentaje de esterilidad del cultivo, con diferente efecto según el cultivar. En Uruguay, en enero son 10 los días con temperaturas menores a 15°C y en febrero representan 9,5.

Los cultivares de alto potencial (EP144 e INIA Tacuarí) difieren en la estabilidad del rendimiento frente a variaciones microambientales, debido a diferencias en la duración del área foliar, la dependencia del mantenimiento del área foliar, mecanismos de compensación e interacción con el ambiente. Sumado al cultivar, la época de siembra determina las condiciones ambientales a las que serán sometidas las diferentes etapas del cultivo. Es conveniente que la etapa reproductiva del cultivo coincida con el período de máxima radiación solar y mayores temperaturas, especialmente menores probabilidades de temperaturas bajas en etapas reproductivas que causen esterilidad en la panoja (Gamarra, 1996). Las primaveras lluviosas atrasan la fecha de siembra, incrementando el riesgo de esterilidad por frío a fin de verano. Este hecho causa una disminución e inestabilidad en el rendimiento. Es por esto, que el aumento en la frecuencia de años Niño, podrían afectar de manera negativa a los rendimientos por atrasos en las fechas de siembras debido al aumento en las frecuencias de las lluvias en los meses de setiembre, octubre y noviembre.

Por otro lado, se debe tener en cuenta el efecto del cambio climático en la calidad molinera del arroz. Las condiciones ambientales (horas de sol y temperaturas bajas) durante el llenado de grano afectan en mayor medida dos parámetros de calidad que son el porcentaje de granos yesosos y el porcentaje de granos enteros. Días con menos de seis horas de sol durante los meses de febrero y marzo aumentan el porcentaje de yesado del grano. A su vez temperaturas bajas durante el llenado de grano inducen una deposición deficiente del almidón y por lo tanto también aumentan el porcentaje de yesado.

Se concluye que los posibles cambios en tres factores climáticos relacionados afectarían al cultivo arrocerero: eventos de lluvias mayores al promedio durante los meses de setiembre,



octubre y noviembre, llevan a atrasos en las fechas de siembra del cultivo, en consecuencia el período de llenado de grano se lleva a cabo con temperaturas y niveles de radiación menores, lo que pone en riesgo no solo el rendimiento sino también la calidad molinera del arroz (aumento en el yesado y quebrado del grano).

Aumento de eventos con temperaturas menores a 15°C en los meses de enero y febrero disminuyen el rendimiento en grano y la calidad molinera del grano. Esta situación, sumada a disminuciones en las horas de luz producto de la nubosidad, perjudica aún más al cultivo. Por lo tanto, el aumento en la frecuencia de años Niño durante la etapa de crecimiento y desarrollo del arroz afectarían el rendimiento.

En el otro extremo, el aumento en la frecuencia de años Niña durante el otoño-invierno puede llevar a disminuciones en la superficie sembrada ya que el sistema productivo del país depende del agua de lluvia durante estas estaciones para el riego.

Por otro lado, desde el punto de vista del sistema productivo de un predio arrocero existen diferentes sistemas de rotaciones y de laboreo. Por lo expuesto anteriormente, la fecha de siembra es un factor de manejo clave para colocar al cultivo en las mejores condiciones climáticas (alta radiación y temperatura) para el llenado de grano. Un sistema productivo que permita la siembra en fecha podría ser menos susceptible a eventos climáticos extremos como el aumento en la frecuencia de precipitaciones en primavera. Como solución a este problema, se sugiere eliminar el laboreo de primavera y sustituirlo por el laboreo de verano con siembra directa como una oportunidad de sembrar en fechas de siembras óptimas, reducir costos, controlar malezas y mitigar la degradación de los suelos (Jornada de arroz-zafra 2008-2009, INIA Treinta y Tres). Un sistema de rotación sugerido sería el que se plateó durante diez años en la UPAG-INIA Treinta y Tres. Si bien la información sugiere que la siembra directa del cultivo tiene mayores exigencias que la convencional -en cuanto a nitrógeno, humedad del suelo y manejo del glifosato y cobertura vegetal-, permitiría lograr siembras en fecha debido a la posibilidad de preparar el suelo con anticipación.

## **4.2 METODOLOGÍA PARA EL ESTUDIO DE LA SENSIBILIDAD A LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA**

### **Bases de datos utilizadas**

Con el objetivo de realizar la caracterización climática de los años evaluados (2000-2011), se utilizó la caracterización de la fase ENSO (Niño, Niña o Neutro) y datos climáticos de las estaciones meteorológicas de INIA: Treinta y Tres (Paso de la Laguna), Tacuarembó y Salto Grande.

Para el estudio de casos en el arroz se utilizó una base de datos brindada por el molino SAMAN y la Asociación de Cultivadores de Arroz (ACA). La información brindada por SAMAN cuenta con: superficie, rendimiento, y factores de manejo (como fecha de siembra y de riego) de 80 productores durante 11 años (zafras desde 2000-2001 a 2010-2011). Esta base tiene la ventaja de presentar datos de productores de todo el país abarcando así las tres zonas de producción identificadas anteriormente. A su vez los productores presentan diferentes características en cuanto a la superficie explotada y los rendimientos obtenidos, lo que permite tener una base con variabilidad de rendimiento.

Se realizó análisis de *box plot* para caracterizar descriptivamente a la población en estudio. Por otra parte, mediante análisis estadístico de Tukey se buscó diferenciar los rendimientos obtenidos por los productores en función de la zona y la caracterización climática del año. A su vez se realizaron análisis multivariados para agrupar a los productores según los rendimientos obtenidos y luego identificar en función de éstos las variables de manejo que se diferenciaban. El objetivo de este último análisis fue explorar qué variables de manejo influían en el rendimiento y a partir de éstas, analizar si estaban afectadas por el clima.

Otra variable importante analizada, fue la influencia de la caracterización climática del año sobre la superficie sembrada. El objetivo de este análisis fue evaluar si la frecuencia de años niña tiene repercusiones negativas en el área sembrada de la zafra en cuestión.

## Análisis de las variables climáticas relevantes

Para el cultivo de arroz, las variables climáticas analizadas fueron las precipitaciones y humedad relativa de los meses de octubre y noviembre, ya que éstas afectan las fechas de siembra y riego, y también las temperaturas ocurridas durante el verano, ya que éstas son importantes en el período de floración y llenado de grano.

Por otra parte se analizó la relación entre el rendimiento de los productores a nivel nacional y por zona en función de la caracterización climática según la fase ENSO.

Se analizó el impacto de las variables climáticas anteriormente mencionadas sobre factores de manejo como fecha de siembra y riego y su impacto sobre el rendimiento final. A su vez se analizó el efecto de los años caracterizados como Niña según la fase ENSO en la superficie sembrada a nivel nacional y también sobre el rendimiento final del cultivo.

## 4.3 RESULTADOS

### Caracterización de la variabilidad climática relevante

Para caracterizar la variabilidad climática de las variables que se consideraron relevantes para el cultivo de arroz se utilizaron datos climáticos de las estaciones experimentales de INIA para las tres zonas del país donde se realiza el cultivo (Figura 4.2).

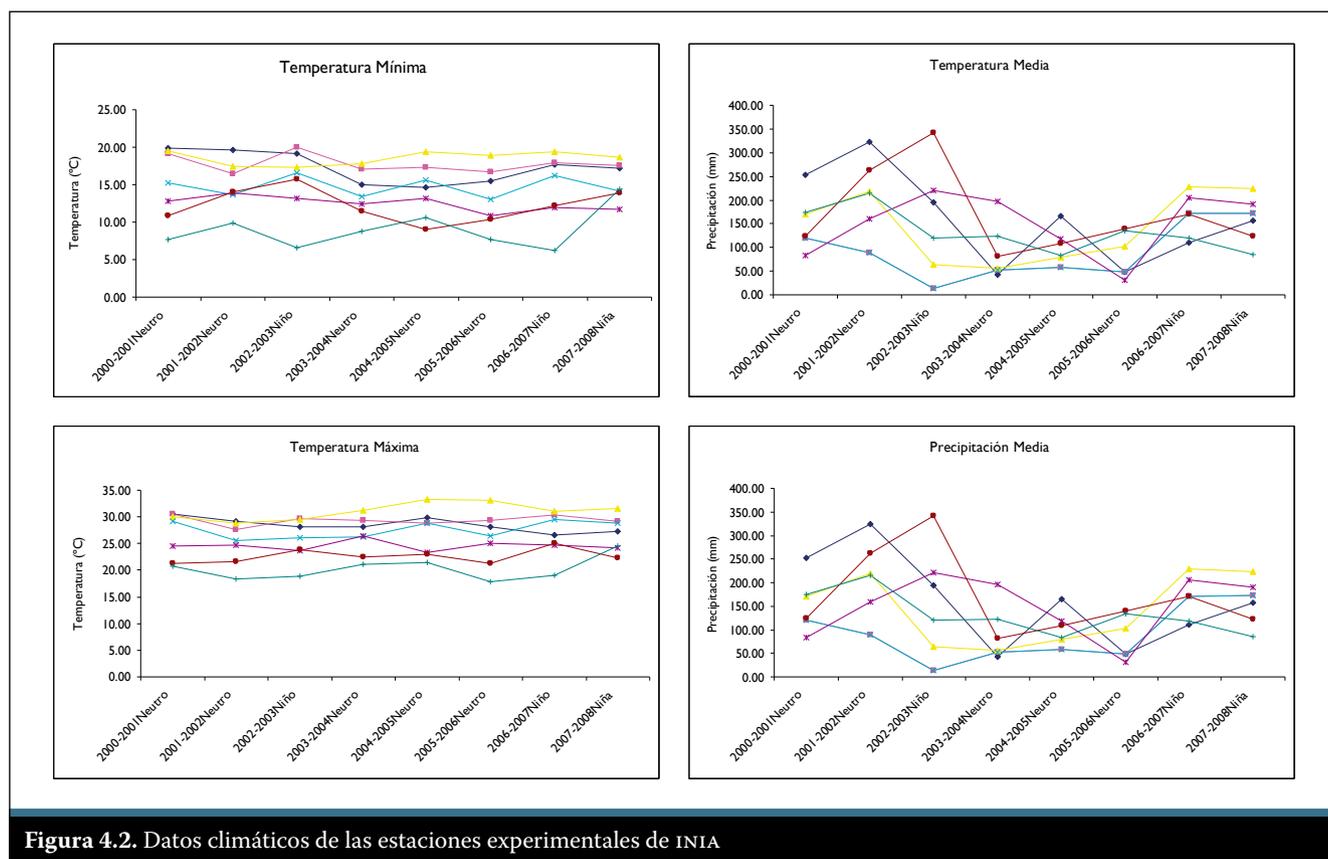


Figura 4.2. Datos climáticos de las estaciones experimentales de INIA

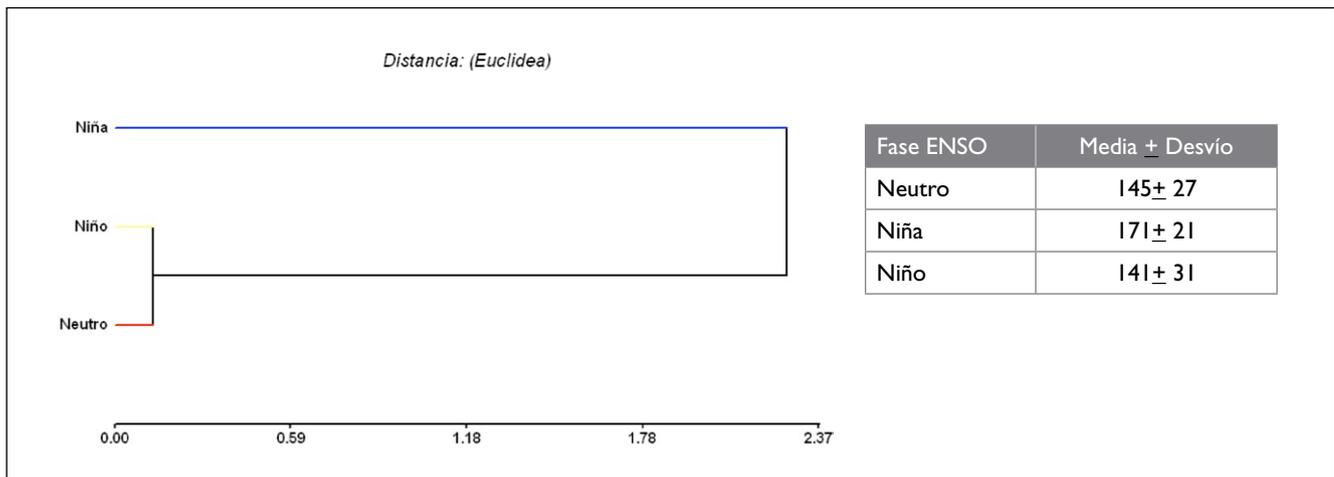
**Tabla 4.1.** Clasificación de años según ENSO

Año	Caracterización ENSO
2000-2001	Neutro
2001-2002	Neutro
2002-2003	Niño
2003-2004	Neutro
2004-2005	Neutro
2005-2006	Neutro
2006-2007	Niño
2007-2008	Niña
2008-2009	Neutro
2009-2010	Niño
2010-2011	Niña
2011-2012	Neutro

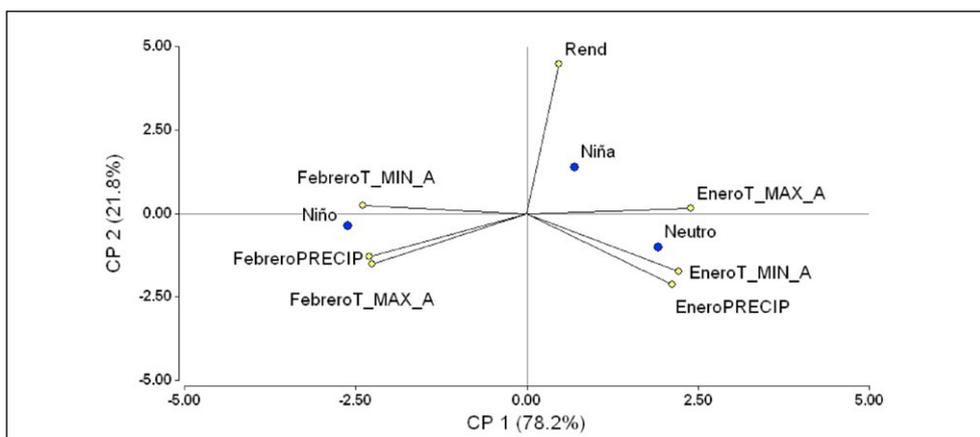
A su vez se utilizaron las caracterizaciones de los años según la Fase ENSO. Los años caracterización fueron desde la zafra 2000-2001 a la zafra 2011-2012 (Tabla 4.1). Estos datos fueron utilizados para evaluar el impacto de los años en el rendimiento.

Para evaluar el impacto del clima sobre el rendimiento, se realizó un análisis de conglomerados que se observa en la Figura 4.3. En éste se identificaron tres grupos diferentes de rendimiento que se relacionaban con la caracterización ENSO, este resultado coincide con el antecedente de Roel (2004) donde se establecían diferencias en el rendimiento en función de la característica climática del año.

La caracterización de los conglomerados estableció diferencias significativas entre éstos: dando los máximos rendimientos promedio para los años Niña y los mínimos para los años Niño. Además se describieron con componentes principales las características climáticas de los meses del verano de los años según ENSO (Figura 4.4).

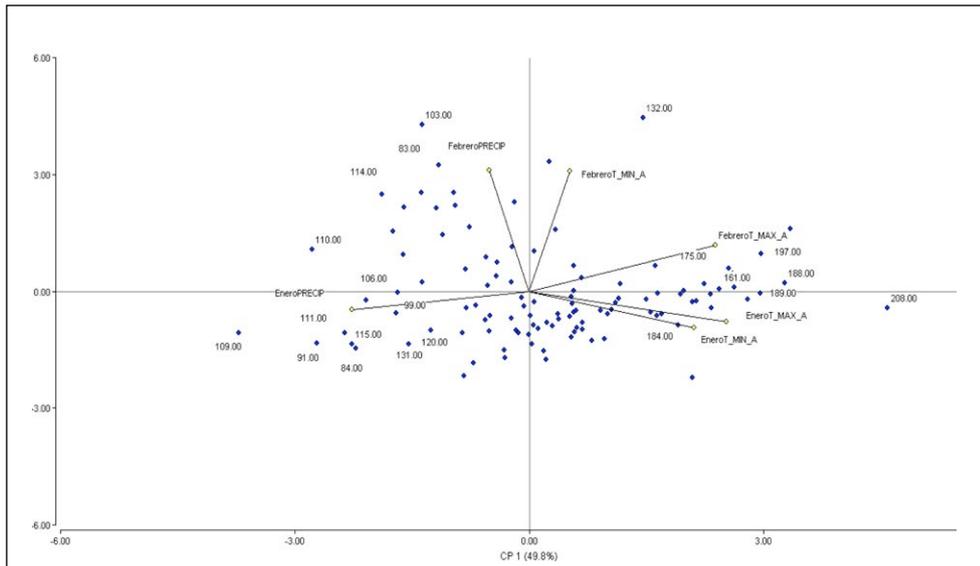


**Figura 4.3.** Análisis de conglomerados



**Figura 4.4.** Principales características climáticas de los meses del verano de los años según ENSO

Se observa que hacia los años Niña crecen los rendimientos y las temperaturas máximas de enero y las mínimas de enero. Por su parte hacia los años Niño crecen las precipitaciones de febrero. Se observó también que las máximas temperaturas de enero y febrero crecían hacia los rendimientos máximos, mientras que las precipitaciones de enero y febrero crecían hacia los mínimos rendimientos (Figura 4.5).



**Figura 4.5.** Análisis de componentes principales. Rendimiento en función de características climáticas

Además de evaluar las variables climáticas a nivel nacional, se las caracterizaron en función de las zonas de producción (Figura 4.6). Se encontraron diferencias significativas en temperaturas máximas, mínimas y en heliofanía entre el norte y el este, con ventajas en el primero.

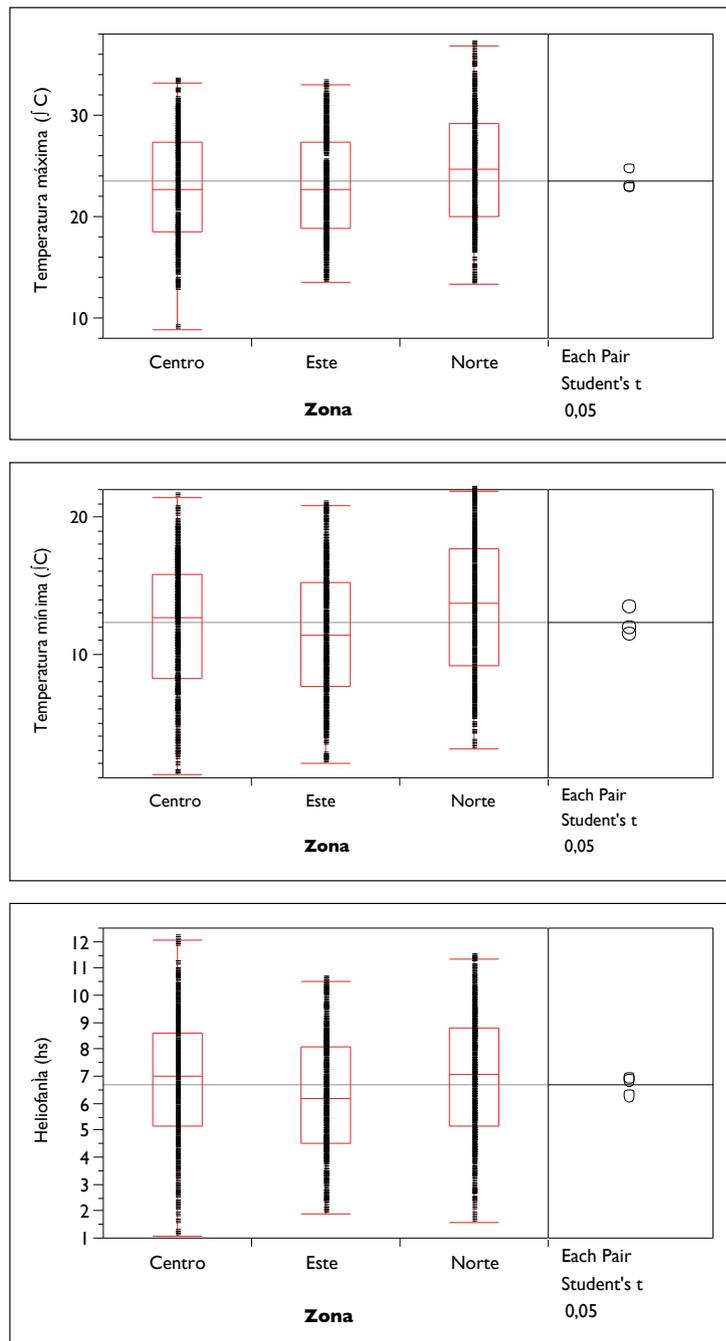


Figura 4.6. Caracterizaron en función de las zonas de producción

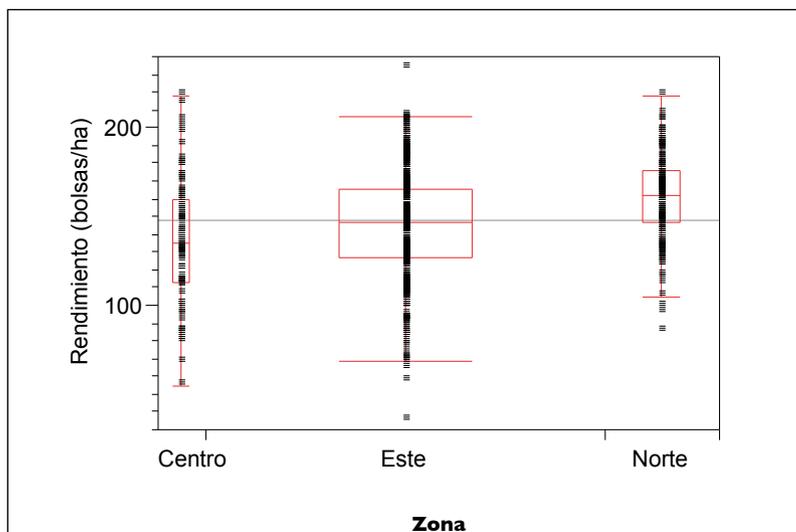
## Resultados de los análisis

Como se mencionó, de las tres zonas arroceras del país; la zona norte presenta ventajas climáticas (menor probabilidad de ocurrencia de temperaturas mínimas durante enero y febrero y mayor radiación) que se expresan en un mayor potencial de rendimiento de arroz. Con la base de datos de SAMAN se agruparon los productores en función de la zona y se analizó si existían diferencias en los rendimientos obtenidos para el período de tiempo en estudio (Figura 4.7).

Las diferencias entre las zonas norte y este, de 15 bolsas/ha para el promedio de 11 años de producción, fueron significativas ( $p < 0.001$ ). A su vez, cabe destacar que los productores de la zona norte poseen un coeficiente de variación menor formando una población más homogénea.

Como ya fue mencionado, además de la zona otro factor que afecta el rendimiento del cultivo es la caracterización climática del año (Figura 4.8). Según Roel, (2004) los años caracterizados como niño tienen una mayor frecuencia de rendimientos malos producto de una menor radiación o menor temperatura o la combinación de ambas. Los análisis realizados para la base de datos de SAMAN también manifiestan estas diferencias significativas ( $p < 0.001$ ). En los años identificados como niña para nuestro período de estudio (2007-2008 y 2010-2011) el promedio de rendimiento obtenido de todos los productores fue de  $171 \pm 21$  bolsas/ha comparado con  $141 \pm 31$  bolsas/ha para los años niño. En los años neutro el promedio fue de  $145 \pm 27$  bolsas/ha (Tabla 4.2).

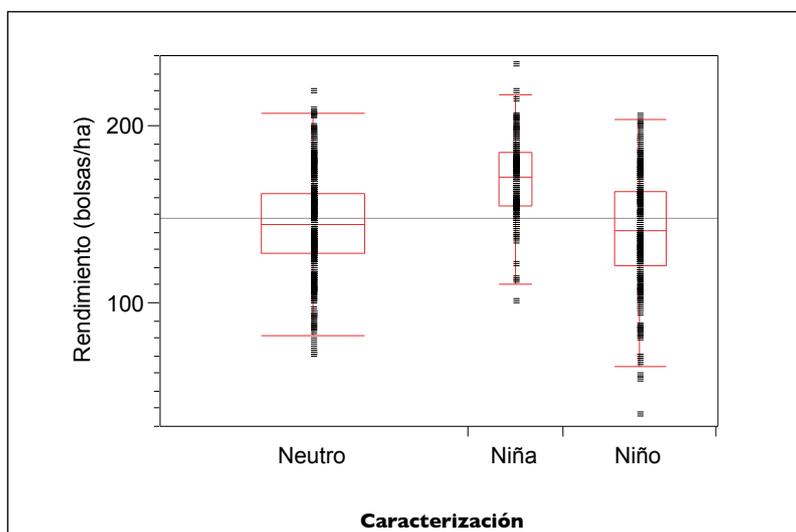
Los 80 productores fueron agrupados en función del rendimiento que obtuvieron para los 11 años (Figura 4.9). Se obtuvieron tres cluster de productores: 1) formado por los productores que obtuvieron rendimientos por debajo del promedio de las 11 zafras; 2) que agrupa los productores con rendimientos promedios; y 3) que está formado por productores con rendimientos mayores que le promedio.



Fuente: Camila Bonilla en base a datos SAMAN

Zonas de producción	Media $\pm$ Desvío	CV (%)
Centro	137 $\pm$ 35	26
Este	146 $\pm$ 28	19
Norte	161 $\pm$ 23	14

Figura 4.7. Rendimiento (bolsas/ha) en función de la zona arroceras

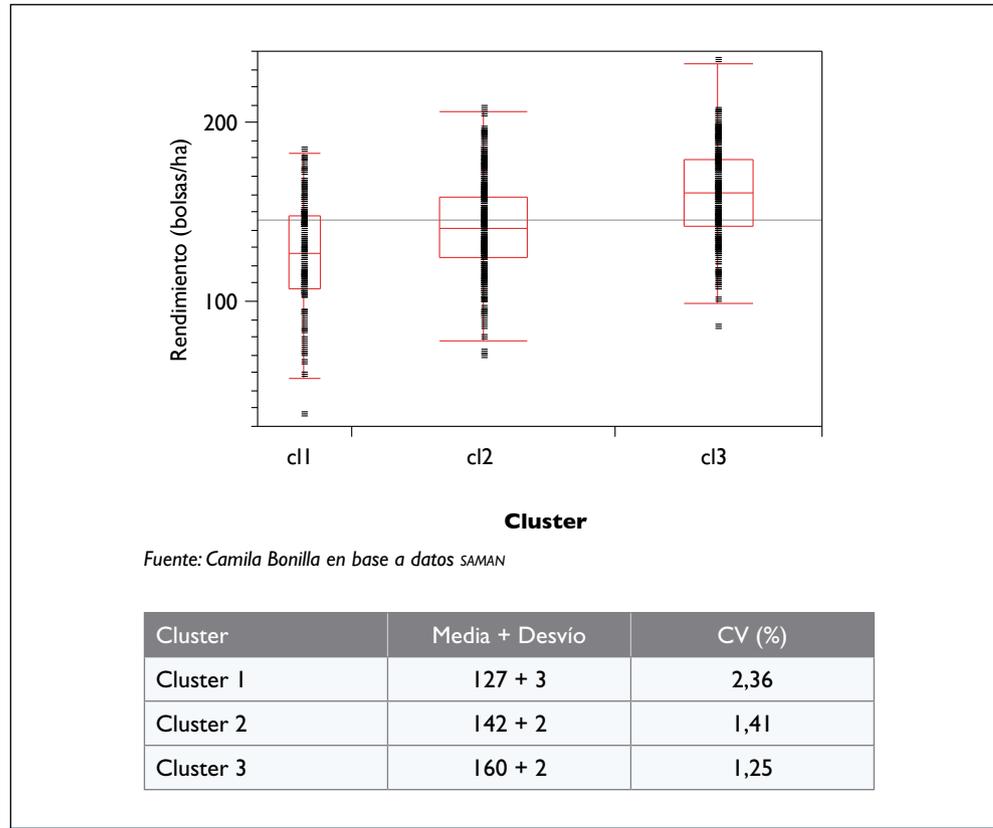


Fuente: Camila Bonilla en base a datos SAMAN

Figura 4.8. Rendimiento (bolsas/ha) en función de la caracterización climática ENSO

**Tabla 4.2.** Rendimiento (bolsas/ha) de las zonas de producción en función de la caracterización climática ENSO

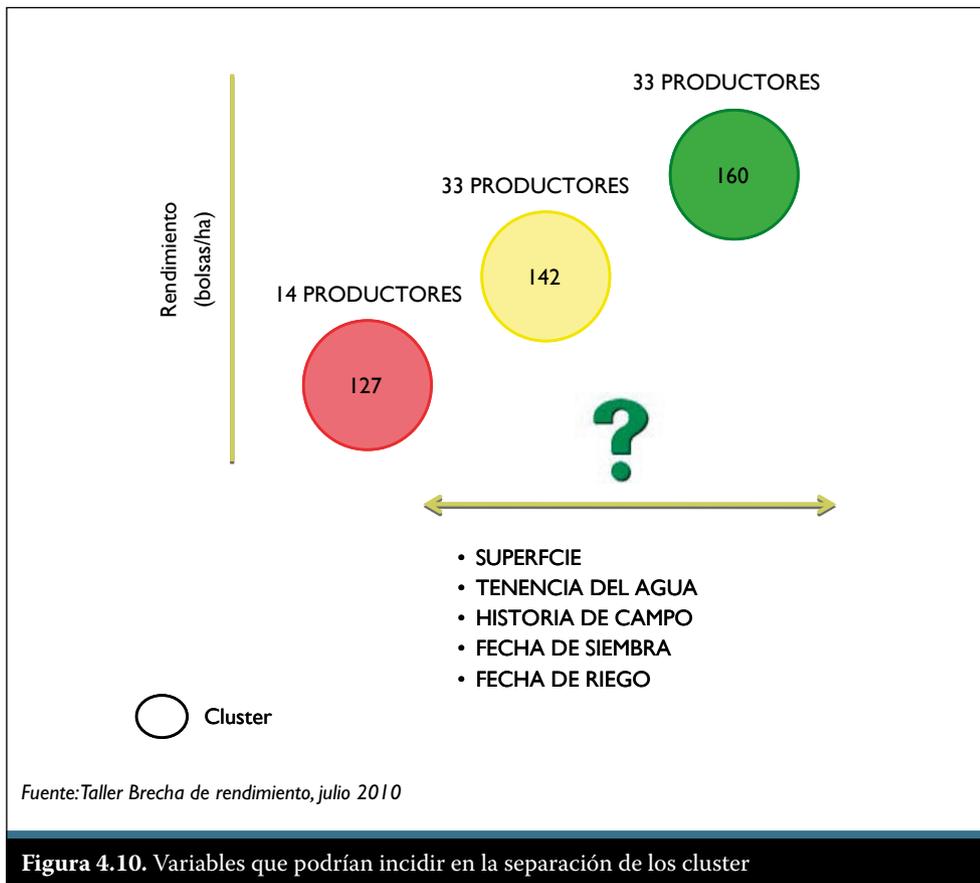
Fase ENSO	Norte (Media ± Desvío)	Este (Media ± Desvío)	Centro (Media ± Desvío)
Neutro	163 ± 2	141 ± 1	135 ± 5
Niña	176 ± 4	171 ± 3	162 ± 9
Niño	147 ± 3	141 ± 2	124 ± 7



**Figura 4.9.** Rendimiento (bolsas/ha) de los clusters

El siguiente paso a la realización de los cluster fue generar árboles de decisión para encontrar qué variables de manejo y de características del sistema productivo estaban diferenciando a los cluster.

De todas las variables analizadas (cualitativas y cuantitativas) las que estaban influyendo en la separación de los grupos fueron: tenencia de la tierra y agua, superficie, historia de campo (rastreo, retorno y campo natural), fecha de siembra (días julianos) y fecha de riego (Figura 4.10).



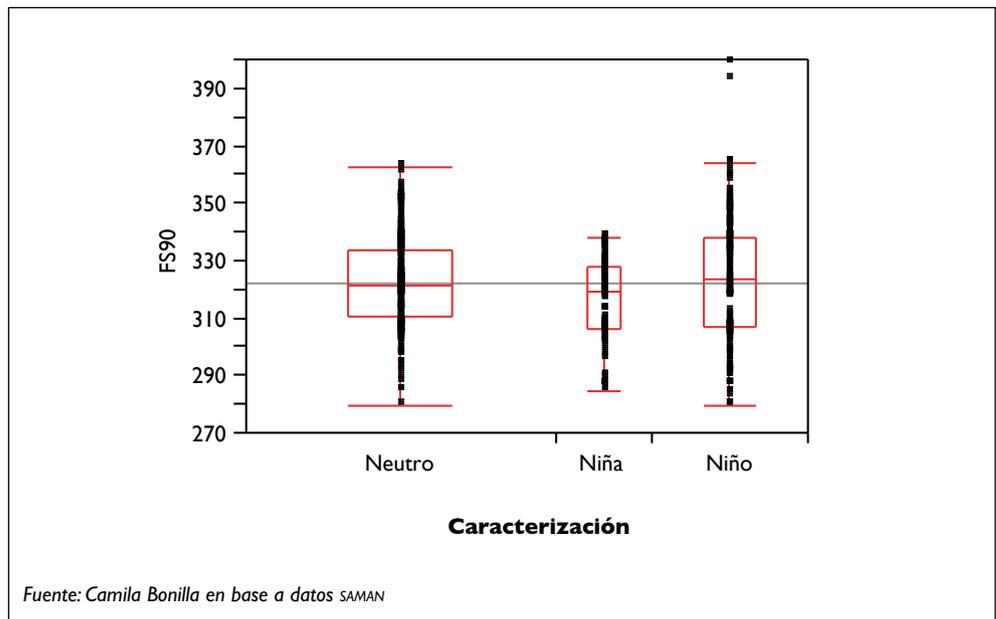
**Figura 4.10.** Variables que podrían incidir en la separación de los cluster

Debido a que las fechas de siembra y fechas de riego son las variables a las cuales puede estar afectando el clima, se analizó la fecha de siembra y riego de los productores según la caracterización climática del año.

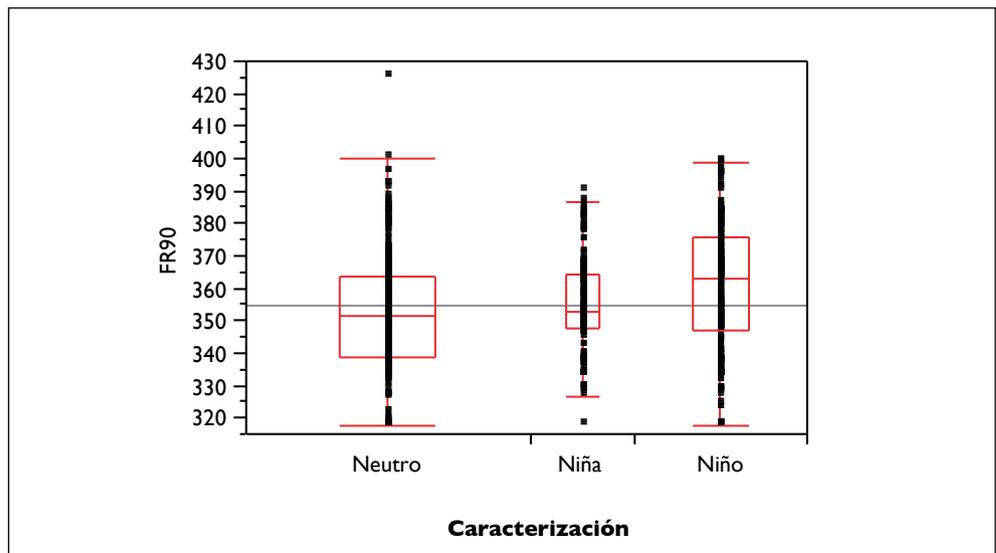
Sin embargo, cabe destacar que las variables tenencia de la tierra y el agua están afectando indirectamente a las fechas de siembra y riego debido a que los productores que son propietarios de estos recursos tienen la ventaja de manejar los tiempos y tener una mayor flexibilidad frente a condiciones ambientales desfavorables. Por ejemplo, tienen la posibilidad de realizar laboreos de verano en las chacras y llegar a plantar en fecha óptimas de siembra.

Para analizar el efecto del clima sobre la fecha de siembra (Figura 4.11) y riego (Figura 4.12), en primer lugar se calculó en qué día juliano cada productor había llegado a sembrar y regar el 90% de su superficie para cada año. Luego los datos se agruparon en función de la caracterización climática ENSO y se realizó la comparación de medias.

Para los años Niña, las fechas de siembra fueron más tempranas que para los años Niño y Neutros. A su vez estas diferencias significativas se mantuvieron para las fechas de riego. O sea que en años Niña, los productores tienen sus chacras sembradas y regadas en fechas más tempranas que en los años Niño.



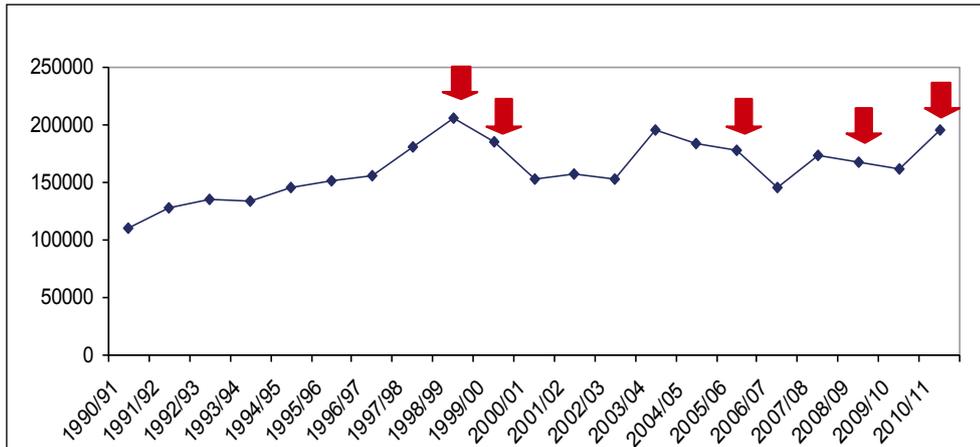
**Figura 4.11.** Fecha de siembra (90%) en días julianos en función de la caracterización climática ENSO



Fase ENSO	Fecha de Siembra (Media + Desvío)	Fecha de riego (Media + Desvío)
Neutro	323 + 15	352 + 17
Niña	316 + 15	354 + 14
Niño	324 + 21	360 + 19

**Figura 4.12.** Fecha de riego (90%) en días julianos en función de la caracterización climática ENSO

Como fue mencionado anteriormente, en el país el agua para regar el cultivo depende de las lluvias que se presenten durante el año. Por lo tanto, la superficie sembrada en cada zafra depende entre otros factores del agua disponible para el riego. En la Figura 4.13 se observa el área sembrada desde el 1990 hasta el 2011 y con una flecha roja los años caracterizados como Niña para el período que va desde 1998 hasta 2011.



Las flechas rojas indican años Niña. | Fuente: Camila Bonilla en base a ACA

**Figura 4.13.** Superficie sembrada (ha) en función de los años

Se observa así, que la presencia de años niña afectó la superficie sembrada de arroz al año siguiente.

#### 4.4. FACTORES PRINCIPALES QUE DETERMINAN LA SENSIBILIDAD Y MATRICES DE SENSIBILIDAD

Frente a un año caracterizado como Niño según la fase ENSO, la sensibilidad del cultivo en cuanto a su desarrollo y rendimiento final va a depender de los diferentes factores internos al sistema productivo sobre los cuales se puede actuar y externos al predio sobre los que no se puede interferir. A su vez los factores internos interactúan entre sí e influyen unos sobre otros, por ejemplo el factor rotación puede influir en la fecha de siembra.

Como ya fue expuesto, la fecha de siembra antes del 15 de octubre es uno de los factores de manejo que más afecta al rendimiento en arroz. Años caracterizados como Niño que presentan lluvias mayores al promedio durante la primavera afectan la concreción de fechas de siembra tempranas. A su vez si durante el ciclo productivo se presenta menor radiación y aumentan las temperaturas mínimas durante el período reproductivo entonces los sistemas con fechas de siembra tardías son más sensibles.

El tipo de variedad sembrada difiere en la sensibilidad a la fecha de siembra: debido a su origen la variedad El Paso 144 (Índico) es más sensible que Tacuarí (Japónica) a las bajas temperaturas que puedan ocurrir en el período reproductivo, adicionalmente su ciclo es más largo, entonces las fechas de siembras tardías para la variedad El Paso 144, debidas a

Factores	Internos									Externos		
	Fecha de siembra		Variedad		Sistema			Tenencia: tierra/agua		Zona		
Internos	Óptima	Tardía	El Paso 144	Tacuarí	LV-SD	LV-LC	Loto-inv	SI	NO	Norte	Centro	Este
Fecha de siembra	Óptima	Tardía	El Paso 144	Tacuarí	LV-SD	LV-LC	Loto-inv	SI	NO	Norte	Centro	Este
Óptima	-----	-----	Baja	Baja	Baja	Media	Media	Baja	Alta	Baja	Baja	Baja
Tardía	-----	-----	Alta	Media	Media	Media	Alta	Media	Alta	Media	Media	Alta
El Paso 144	Baja	Alta	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Tacuarí	Baja	Media	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Sistema												
LV-SD	Baja	Media	-----	-----	-----	-----	-----	Baja	Media	Baja	Baja	Baja
LV-LC	Media	Media	-----	-----	-----	-----	-----	Baja	Media	Baja	Media	Media
Loto-inv	Media	Alta	-----	-----	-----	-----	-----	Media	Alta	Media	Media	Alta
Tenencia: tierra/agua												
SI	Baja	Media	-----	-----	Baja	Baja	Media	-----	-----	Baja	Baja	Baja
NO	Alta	Alta	-----	-----	Media	Media	Alta	-----	-----	Media	Media	Alta
Externos												
Zona												
Norte	Baja	Media	-----	-----	Baja	Baja	Media	Baja	Media	-----	-----	-----
Centro	Baja	Media	-----	-----	Baja	Media	Media	Baja	Media	-----	-----	-----
Este	Baja	Alta	-----	-----	Baja	Media	Alta	Baja	Alta	-----	-----	-----

Referencias: LV-SD (laboreo de verano-Siembra directa); LV-LC (Laboreo de verano-laboreo convencional); Loto-inv (Laboreo otoño invierno)

un escenario climático de fase Niño, hacen más sensibles a los sistemas que siembran esta variedad.

El sistema de laboreo afecta a la fecha de siembra, en este sentido los que realizan laboreo de verano y siembra directa tienen más oportunidades de lograr fechas de siembra óptimas que aquellos que realizan laboreo de otoño. De la misma forma, la tenencia de la tierra y el agua afectan a la posibilidad de lograr fechas de siembra óptimas. Estos factores se ven potenciados cuando el escenario climático es con lluvias por encima de la media en primavera. Cabe mencionar que la ocurrencia de años niñas durante el otoño e invierno afecta negativamente sobre el total de la superficie sembrada por año.

Con la base de datos de productores se realizó un análisis de conglomerados en función del coeficiente de variación (CV) del rendimiento para los 11 años para cada productor para describir los factores de manejo y características del sistema. El grupo de mayor CV fue además el de menor rendimiento promedio para los años estudiados. Desde el punto de vista del sistema estos productores son de menor escala y el mayor porcentaje de la tierra y el agua son arrendados. Con respecto a las variables de manejo, el porcentaje de área con glifosato es menor con respecto al grupo tres y las fechas de siembra y riego son más tardías. Esto último tiene que ver con que los productores son arrendatarios y no depende solo de ellos el sembrar en fecha. Por eso este tipo de productor de menor escala y arrendatario es más sensible al clima debido a que su sistema de producción es menos flexible.

En el extremo opuesto, los productores con CV menor son de mayor escala y poseen en promedio mayor porcentaje de tierra y agua propia. Estas características permiten que logren fechas de siembra y riego más tempranas.

Cluster	Rend	Desvío	CV	ha	Propt	Arret	Propa	Arrea	HCN	HRA	HRe	LV	LOI	MSV	MSL	Hglif	Nb	Pb	Kb	Ncob	FS80	FR80
1	134.77	32.25	24.08	252	22	78	22	58	7	63	31	27	53	25	60	54	17	49	4	38	317	353
2	149.05	23.02	15.42	557	18	82	33	45	6	60	35	32	57	23	62	67	18	53	5	41	317	350
3	159.45	17.43	10.95	543	31	68	44	47	4	49	46	22	65	11	55	85	19	47	4	35	313	346

Variables: ha(superficie); Propt(%propiedad de la tierra);Arret(%Arrendamiento de la tierra); Propa (%Propiedad del agua);Arrea (%Arrendamiento del agua); HCN-HRA-HRe (%Historia de campo natural, rastrojo, retorno); LV-LOI (%laboreo de verano, laboreo de otoño-invierno); MSV-MSL (%Método de siembra al voleo, línea); Hglif (%Superficie con glifosato); Nb,Pb,Kb,Ncob,Ntot(Dosis de :Nitrogeno basal, Fósforo basal, Potasio Basal, Nitrogeno cobertura); FS80(80 % de la superficie sembrada en días julianos) y FR80 (80% de la superficie regada en días julianos)

Fuente: Camila Bonilla en base a base de datos SAMAN

#### 4.5. FACTORES PRINCIPALES QUE DETERMINAN LA CAPACIDAD ADAPTATIVA Y MATRICES DE CAPACIDAD ADAPTATIVA

Como factores principales para lograr una capacidad adaptativa al cambio climático, surge como prioridad lograr sistemas de producción que sean flexibles desde el punto de vista de la rotación y los sistemas de siembra y laboreos utilizados. Esto permitiría fechas de siembra y riego óptimas sobre todo en productores que no son propietarios de la tierra y/o el agua. A su vez estas características de los sistemas permiten al productor poder adaptarse frente a diferentes escenarios climáticos y de precios y se podría construir así mayor resiliencia a nivel del sistema productivo.

Frente a un escenario de mayores precipitaciones y de años caracterizados como Niño los productores tendrán que adaptarse a un sistema de producción más flexible que permita preparaciones de la tierra en forma temprana para lograr fechas de siembras óptimas.

Factores	Internos							Externos	
Internos	Sistema de siembra			Flexibilidad de la rotación		Tenencia: tierra/agua		Precio	
Sistema de siembra	LV-SD	LV-SC	Loto-inv-SC	SI	NO	SI	NO	Bajo	Alto
LV-SD	----	----	----	Alta	Media	Alta	Media	----	----
LV-SC	----	----	----	Media	Baja	Alta	Media	----	----
Loto/inv-SC	----	----	----	Media	Baja	Media	Baja	----	----
Flexibilidad de la rotación									
SI	Alta	Media	Media	----	----	Alta	Media	Alta	Baja
NO	Media	Baja	Baja	----	----	Media	Baja	Alta	Media
Tenencia: tierra/agua									
SI	Alta	Alta	Media	Alta	Media	----	----	Alta	Alta
NO	Media	Media	Baja	Media	Baja	----	----	Baja	Alta
Externos									
Precio									
Bajo	----	----	----	Alta	Baja	Alta	Baja	----	----
Alto	----	----	----	Alta	Media	Alta	Alta	----	----

LV-SD: Laboreo de verano-Siembra directa; LV-SC: Laboreo de verano-Siembra convencional; Loto-inv-SC: Laboreo otoño invierno-Siembra convencional

## **Identificación, descripción y priorización de opciones para reducir la sensibilidad, aumentar la capacidad adaptativa, y construir resiliencia a nivel de sistemas de producción**

Se identificaron posibles estrategias de manejo del sistema productivo para construir resiliencia a la variabilidad climática:

- Modificar los sistemas de siembra
- Flexibilidad en la rotación
- Diversificación de la variedad (largo del ciclo y adaptación a temperaturas mínimas)

La opción de modificar los sistemas de siembra pasando del laboreo convencional con laboreo de otoño-invierno a un sistema de siembra directa con laboreo de verano, aumenta la probabilidad de lograr fechas de siembra óptimas las cuales fueron marcadas como uno de los factores principales para lograr altos y estables rendimientos en el sistema. Esto sumado al uso del pronóstico ENSO para ajustar la fecha de siembra y lograr posicionar el período crítico del cultivo en condiciones óptimas de radiación y temperatura, permitirían una mejor adaptabilidad al cambio climático.

Asociado a los sistemas de siembra, la flexibilidad en la rotación es una opción para construir resiliencia del sistema productivo. Por un lado se plantea la posibilidad de combinar al arroz con diversos cultivos como la producción de soja o sorgo en bajos. La diversificación es una estrategia que permite una menor dependencia a un único cultivo, debido a las diferentes tolerancias que presentan los mismos a las distintas situaciones ambientales y de mercado (precio de la bolsa de arroz y costos/ha). Esta es una opción que puede ser realizada sobre todo por aquellos productores que presenten una mayor escala y sean propietarios de la tierra. Asimismo, la disminución de la siembra de arroz sobre rastrojos de arroz y la vuelta al sistema de rotación que plantea períodos de descanso con pasturas de 3 a 4 años, es una medida para lograr estabilidad en los rendimientos y reducir los costos de producción asociados a un mayor uso de fungicidas (aumento de la presión de inoculo) y de herbicidas. Como último planteo asociado a la rotación y a la adaptabilidad a eventos climáticos extremos, se encuentra que la siembra de arroz en tierras marginales para la producción aporta un factor de riesgo alto para el sistema en su conjunto y disminuyen la resiliencia del sistema productivo. Esto tiene que ver con introducir al sistema, zonas de rendimiento inestable y en ocasiones de altos costos de producción. En años caracterizados como Niño surge el planteo de no sembrar en estas zonas.

El uso de variedades de distinto largo de ciclo y diversa sensibilidad a bajas temperaturas puede ser una estrategia para disminuir los riesgos de ocurrencia de condiciones desfavorables durante el período crítico. Además de diversificar el riesgo, esta estrategia permite por un lado descomprimir las fechas de siembra óptimas necesarias para lograr altos rendimientos y buena calidad molinera del grano, y por otro lado las fechas de cosecha también se ven beneficiadas.

Además de las estrategias de manejo evaluadas para el sistema de producción, es posible reducir el riesgo y construir resiliencia ante la variabilidad climática, mediante otras estrategias:

- El uso de seguros climáticos
- Mejora de contratos de arrendamiento de la tierra
- Acceso a la información

Los seguros agropecuarios son una forma de manejo del riesgo que, frente a eventos climáticos adversos, permiten compensar los costos de producción; disminuyen así la posibilidad de sufrir pérdidas del total invertido en dicha producción.

El planteo de mejorar los contratos de arrendamiento de la tierra tiene como objetivo tener las tierras en fecha para realizar los laboreos correspondientes y lograr fechas de siembra óptimas.

El acceso a la información es un factor fundamental para poder aplicar cualquier estrategia tanto de disminución de la sensibilidad como de aumento de la capacidad adaptativa del sistema. Así por ejemplo un pronóstico climático certero respecto a las condiciones que se van a dar en los meses en los que se encuentra creciendo el cultivo es fundamental para poder tomar las decisiones de manejo más convenientes para todo el sistema de producción.

# 5

## Análisis macroeconómico

El cambio climático genera efectos a nivel de rendimiento y producción en el sector agropecuario, debido a la ocurrencia de eventos extremos: sequías, aumento en frecuencia de precipitaciones, heladas tempranas e incrementos de temperatura. Los eventos climáticos relevantes, al igual que el canal de transmisión hacia el rendimiento de la producción, varían según se trate de actividades de ganadería, lechería o cultivos. No obstante, en todos los casos, los eventos constituyen un shock externo, que afecta la evolución de la actividad, los resultados físicos y económicos, y en función de ello, las decisiones futuras que tomarán los agentes para optimizar la producción.

El impacto de dichos eventos climáticos genera un escenario alternativo para el sector y, a través de los vínculos con otros sectores productivos, para la economía en general. Por tanto, la valorización económica de dicho efecto requiere considerar el impacto que a partir del sector agropecuario se genera en la economía en su conjunto. Para ello, es necesario tomar en consideración el efecto directo sobre el propio sector agropecuario, al igual que sobre otros sectores de actividad, mediante sus encadenamientos productivos. A su vez, es preciso considerar que el impacto no recae únicamente sobre la producción, sino que se traducen en cambios en la distribución del ingreso y en el valor agregado generado en la economía.

Pese al hecho de que los sectores agropecuarios se caracterizan por tener baja participación relativa en el PBI y en el empleo, éstos presentan encadenamientos significativos con otros sectores, particularmente hacia adelante. En este sentido, más de la mitad de la producción agropecuaria tiene como destino la utilización intermedia en procesos produc-

tivos. No obstante, cabe señalar que al interior del sector se esconden disparidades importantes, en relación a su capacidad de contribuir al PIB, de generar empleo, y de afectar la distribución del ingreso de los hogares.

Para evaluar el impacto económico de los shocks originados por el cambio climático sobre la producción de los sectores agropecuarios bajo estudio, se utiliza el enfoque de multiplicadores lineales, construidos a partir de una Matriz de Contabilidad Social (MCS) (Terra *et al.*, 2009). El análisis de multiplicadores permite captar la dinámica del impacto de un cambio exógeno, sobre la economía en su conjunto. En particular, la utilización de esta metodología resulta adecuada para examinar los efectos potenciales de shocks externos o de una política específica, sobre la producción, el ingreso y su distribución entre los hogares, la estructura de gasto de las instituciones y el empleo, entre otros.

### 5.1. LA IMPORTANCIA DEL SECTOR AGROPECUARIO EN LA ECONOMÍA NACIONAL

El sector primario comprende a las actividades vinculadas a la agricultura (cultivos, servicios agrícolas), la ganadería (cría de animales, servicios ganaderos) y la silvicultura (extracción de madera y actividades conexas). Históricamente ha sido un sector de relevancia a nivel nacional, debido principalmente a su vínculo con la con otros sectores productivos y a su participación en el comercio de exportación.

Al cierre del año 2011, el producto bruto agropecuario alcanzó los 6415 millones de dólares y consolidó tasas de crecimiento positivas superiores al 20 % desde el año 2009 (DIEA, 2012). Durante la última década, la participación del sector primario en el PIB ha promediado un 8%, si bien se ha verificado una leve tendencia descendente en los últimos tres años. Cabe señalar que al cierre del 2011, la producción del sector agropecuario alcanzó a representar un 6,7% del PIB total.

La participación de los subsectores que componen al sector primario ha mostrado cierta estabilidad a lo largo de la década. En este sentido, la agricultura ha tenido una participación promedio de 27% en el valor de producción del sector primario, variando entre 23% en el año 2000 y 32% en el año 2011. La ganadería por su parte, ha variado su participación en dicho período entre un máximo de 71% alcanzado para el año 2001 y un mínimo de 64,4 % en el 2003, promediando en el período 2000-2011 una participación de 65%. Finalmente, la participación de la silvicultura se ha mantenido en el entorno del 7,5% de participación en el sector.

La importancia del sector agropecuario en la economía nacional se vincula al hecho de que se trata de un sector con fuerte encadenamiento productivo hacia adelante, ya que cerca del 60% de la producción se destina al consumo intermedio de otros sectores productivos, en particular el sector ganadero, en tanto que el 11,4% del producto tiene como destino la exportación (Terra *et al.*, 2009).

En relación a las exportaciones agropecuarias, su importancia en el total de las exportaciones ha mostrado una tendencia creciente a lo largo de la década. Las exportaciones

**Tabla 5.1.** Evolución de producción del sector agrícola y pecuario. Millones de dólares corrientes

	2009	2010	2011
Sector Agrícola	2176,3	227,4	2996,4
Soja	740,8	991,8	1150,4
Trigo	503	331,5	627,2
Arroz	299,8	398,7	425,1
Sector Pecuario	1683,7	2312,2	3066,6

Nota: sector pecuario incluye la producción de leche y lácteos elaborados en predio  
Fuente: Anuario Estadístico Agropecuario 2012 (DIEA)

agrícola-ganaderas han pasado de valores próximos al 7% de las exportaciones totales a inicios de la década del 2000, medidas en dólares corrientes, a un máximo de 24,3% del total exportado en el año 2012. Esta tendencia alcista se explica en parte por el crecimiento de los precios internacionales de los *commodities* primarios verificados en la década pasada, cuyo efecto no se reduce solamente al incremento en el valor exportado, sino que ha generado fuerte incentivo sobre la oferta del sector. El empleo generado por el sector se estima en 157 000 puestos de trabajo agropecuarios, representando aproximadamente el 9% de los puestos de trabajo generados a nivel nacional. La mayor participación del empleo se encuentra asociada a la producción de cultivos agrícolas.

## **5.2. METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE IMPACTO ECONÓMICO**

### **5.2.1 Consideraciones metodológicas generales**

La cuantificación del impacto económico del cambio climático busca identificar una línea base de trayectoria de las actividades económicas, la cual se compara luego con las trayectorias proyectadas que incluyen los impactos del cambio climático, tanto en el crecimiento sectorial como del conjunto de la economía. Las diferencias entre estas dos trayectorias representan las consecuencias económicas del cambio climático. Los impactos del cambio climático son múltiples y heterogéneos, y sobre ellos existe un alto nivel de incertidumbre en cuanto a sus canales de transmisión y su alcance. Además, debe recordarse que las estimaciones de los efectos del cambio climático sobre las actividades económicas dependen esencialmente de los supuestos acerca de los escenarios climáticos, de los sectores considerados, de la metodología de valoración económica y del horizonte temporal.

Sin embargo, existe consenso en cuanto a que a la hora de evaluar el impacto en términos económicos, es necesario tomar en consideración que el impacto no recae únicamente sobre la producción, sino que se traducen en cambios en la distribución del ingreso y en el valor agregado generado en la economía. Para cuantificar los efectos directos e indirectos generados por una actividad productiva, existen varias técnicas, cuya aplicabilidad depende de la información estadística disponible sobre la actividad y sobre las condiciones del entorno que inciden en su desarrollo. Para lograr una medición confiable resulta fundamental poder construir el escenario base y el escenario alternativo de modo de aislar el efecto del impacto deseado. Esto implicaría contar con escenarios generados mediante experimentos controlados, lo cual no resulta posible. La cantidad, frecuencia y calidad de la información estadística disponible, limitan las técnicas de evaluación de impacto posibles de ser aplicadas.

Una metodología de análisis ampliamente utilizada, se basa en el uso de: Matrices de Insumo Producto (MIP) y Matrices de Contabilidad Social (MCS). Las MIP representan el equilibrio entre la oferta y la utilización de bienes y servicios de la economía, en un momento determinado, proporcionan información detallada sobre la utilización intermedia, el valor agregado, la oferta y la demanda final, mediante un conjunto de coeficientes técnicos. Las MCS incorporan, a la información contenida en la MIP, lo relativo a la remuneración de factores productivos e ingresos de los hogares y fiscales. Los modelos de multiplicadores lineales se construyen a partir de transformaciones de las ecuaciones que componen la MCS.

Una primera aproximación a los efectos de un shock sobre una actividad productiva está dada por los encadenamientos productivos. Éstos pueden ser directos, los cuales miden

la relación existente entre las distintas actividades, mediante la demanda y oferta que cada cuenta incluida en la matriz realiza sobre otra cuenta. Esta medida sólo recoge la relación de producción y distribución entre ramas en una primera instancia, sin tener en cuenta las sucesivas compras necesarias para completar el ciclo de un producto. Sin embargo, recoge la mayor parte de los encadenamientos que se pueden visualizar con los coeficientes de la MIP. Pueden encontrarse encadenamientos hacia atrás, que miden las compras intermedias de origen nacional de un sector; o encadenamientos hacia delante, que miden las ventas por consumo intermedio.

Para visualizar la interdependencia sectorial de los encadenamientos en el global de la economía, deben considerarse a su vez los encadenamientos indirectos. Como aproximación a la cuantificación de efectos directos e indirectos, se utiliza el concepto de “poder de dispersión”, que recoge el estímulo potencial sobre la economía de un incremento en la demanda final de productos nacionales proveniente de un sector determinado y se consideran los efectos sucesivos en las distintas ramas de actividad. En base a este concepto, se estima el “efecto difusión” que es aquel generado por un shock sobre un sector particular; sobre el total de la economía, mediante encadenamientos hacia atrás, y el “efecto absorción”, que recoge los efectos de oferta en base a encadenamientos hacia adelante (Ramussen, 1963; tomado de: Terra, 2009).

### **5.2.2. Ventajas y Limitaciones de metodologías basadas en mcs**

La principal ventaja de la metodológica radica en su simplicidad, al estar basada en datos estadísticos disponibles (si bien no siempre actualizados) requiriere de poca inversión en la generación de información. A su vez, pese a dicha simplicidad, permite realizar un análisis comprensivo al capturar efectos tanto a nivel de producción de valor agregado como de generación de puestos de trabajo. Adicionalmente, esta metodología facilita el análisis comparativo entre distintos sectores productivos

No obstante, la utilización de MCS implica realizar supuestos sobre el comportamiento de la economía. En particular, la MCS se compone de coeficientes fijos, tomados como referencia para un año base. Por tanto, el análisis no permite incorporar la dinámica en las decisiones de los oferentes y demandantes, frente a variaciones en su entorno, es decir frente a shocks que alteran los precios relativos, y por tanto las decisiones óptimas de oferta y demanda. En base a este supuesto, la utilización de metodologías basadas en MCS resulta adecuada para periodos de relativa estabilidad de precios.

Captar el efecto sobre el comportamiento de los agentes, requiere la utilización de modelos de equilibrio general. Sin embargo, es posible cuantificar los efectos parciales derivados de un shock económico. En este sentido, se puede interpretar como el efecto primario o de corto-mediano plazo, en tanto que en el largo plazo, es preciso incorporar las modificaciones de carácter estructural que surgen de la evolución de las ecuaciones comportamentales de la economía.

Por otro lado, la MCS asume como única tecnología de producción por producto y rama de actividad. Es decir, que cada producto es producido por un único sector de actividad, utilizándose una composición de insumos intermedios y valor agregado determinado. En este sentido, la MCS realiza una simplificación de la actividad productiva. Cabe señalar, que en el caso del sector agropecuario, las tecnologías de producción pueden diferir considerablemente según las características propias del establecimiento y el tamaño un factor determinante que limita el alcance de la estimación.

### 5.2.3. Descripción de los datos y coeficientes utilizados

Se realiza una cuantificación del impacto económico de un shock climático sobre la producción lechera. Para la misma, se estimaron efectos cuantificables del cambio climático a nivel de producción. Para evaluar el impacto económico de estos efectos, se utilizan los multiplicadores lineales, construidos a partir de la MCS (Terra 2009). Esta matriz fue construida en base a la información de Oferta y Utilización de la economía, elaborada por el Banco Central del Uruguay, para el año de referencia 2005.

En base a la matriz transformada se construyeron los indicadores de difusión y de absorción total y sobre la producción agropecuaria e indicadores de generación de valor agregado. De acuerdo a las estimaciones realizadas en Terra *et al.* (2009), el sector agropecuario presenta un efecto de difusión total sobre la economía en su conjunto de 6,22; lo que implica que por cada dólar adicional de demanda que recibe exógenamente este sector, provoca un aumento de 6,2 dólares adicionales en la economía. Respecto al efecto absorción del sector agropecuario, ante incrementos de demanda en las ramas de actividad, el sector agropecuario absorbe 1,77 del crecimiento total de renta producido.

En lo que refiere a los efectos sobre la producción, se observa que el sector agropecuario presenta efectos multiplicadores de 3,11; lo cual implica que por cada dólar adicional de demandada del sector agropecuario, se genera un efecto multiplicador en la producción total de la economía de 3,1 dólares. Adicionalmente, por cada unidad adicional demandada del sector agropecuario, se da un efecto sobre la remuneración de los factores de producción de 1,64 dólares, de las cuales 0,85 unidades se centralizan en el factor capital, en tanto 0,28 unidades corresponden a trabajo agropecuario y 0,5 a trabajo no agropecuario.

## 5.3. EVALUACIÓN DEL EFECTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE LA AGRICULTURA DE SECANO: TRIGO, MAÍZ Y SOJA

### 5.3.1. Identificación del impacto del evento Niño en la producción

El evento climático relevante en este caso varía según se trate de cultivos de verano o de invierno. Para los cultivos de verano, se identifica como factor clave las frecuencias de precipitaciones, las cuales afectan el rendimiento de los cultivos. En tanto que para los cultivos de invierno, el evento climático relevante que afecta el rendimiento se asocia a las heladas tardías.

Se utilizaron modelos de simulación para evaluar el efecto del cambio climático en los sistemas productivos que actualmente están en funcionamiento. Se estudia el efecto de la señal ENSO para estimar la magnitud de la variación en las precipitaciones. Hay una tendencia a que en los años clasificados como Niño las precipitaciones estén por encima de la media y por debajo de ésta en el año clasificado como Niña. El escenario de base está dado por los años clasificados como Neutro.

Sobre la base de información recogida en la última década, se observa que el rendimiento del trigo es superior en los años clasificados como Niño, donde alcanza 3,2 ton/ha, en tanto que para los años Niña y Neutro, el rendimiento es de 2,8 ton/ha. Para el cultivo de maíz, el rendimiento promedio en años Niño es de 5,3 ton/ha, en tanto que para

los años Neutro es de 4 ton/ha y para los años Niña 4,1 ton/ha. En el caso de la soja, el rendimiento para los años Neutro se encuentra en el entorno de 2,1 ton/ha, y aumenta a cerca de 3,5 ton/ha para años Niño y disminuye aproximadamente a 1,6 ton/ha para años Niña.

### 5.3.2. Cuantificación del impacto económico específico

En base a los rendimientos medios observados para los tres escenarios, medidos en toneladas por hectáreas, es posible estimar las variaciones debidas al evento climático sobre los cultivos considerados. Tomando como referencia el área sembrada para el período 2010-2011<sup>5</sup>, para cada cultivo, es posible estimar variaciones en la producción anual de cada cultivo frente al evento Niño y Niña<sup>6</sup>.

**Tabla 5.2.** Impacto económico del efecto Niño-Niña en la producción de Soja y Trigo

Sector Agrícola	En millones de USD		En % de producción de 2011	
	El niño	La niña	El niño	La niña
Soja	524	-262	45,5 %	-22,8 %
Trigo	48	0	7,7 %	0,0

Fuente: Elaboración propia en base a datos de MGAP y BCU

**Tabla 5.3.** Impacto económico del efecto Niño-Niña en la producción de Maíz

Sector Agrícola	En millones de USD		En % de producción agrícola de 2011	
	El niño	La niña	El niño	La niña
Maíz	26	-2	0,9%	-0,1%

Fuente: Elaboración propia en base a datos de MGAP y BCU

De esta forma el evento climático clasificado con Niño da lugar a un incremento en la producción de trigo de 48 millones de dólares, en tanto que el fenómeno Niña no genera efectos de rendimiento respecto al año base. En el caso del maíz, el incremento provocado por el evento Niño alcanza 26 millones de dólares, en tanto que el evento Niña genera un impacto de 2 millones de dólares sobre la producción. Finalmente, para la soja, el efecto Niño implica un incremento de 524 millones de dólares, en tanto que el efecto Niña genera un impacto negativo sobre la producción de 262 millones de dólares.

En el caso del maíz, no se cuenta con información específica sobre el valor de la producción al año 2011, por lo cual, el efecto

identificado, se presenta en términos relativos a la producción agregada del sector agropecuario.

### 5.3.3. Cuantificación del impacto sobre la producción, el valor agregado y el empleo en la economía

En función de los efectos sobre la producción para los tres cultivos analizados, es posible evaluar el impacto sobre la producción global y el valor agregado, en los dos escenarios: evento climático Niño y evento climático Niña. A continuación se presentan los multiplicadores de la producción, el valor agregado y el empleo del sector de producción de cereales y oleaginosas (no incluye arroz).

<sup>5</sup> Anuario Estadístico Agropecuario 2012 (DIEA)

<sup>6</sup> Para la valorización de la producción se tomaron los siguientes precios de referencia: Trigo-Setiembre 2012: 294 USD /ton, Maíz-Agosto 2012: 251,7 USD/ton, Soja -Setiembre 2012: 608,33 USD/ton. Boletín de Precios – Enero –Setiembre 2012, Capítulo II – Precios Agrícolas, MGAP.

**Tabla 5.4. Efectos multiplicadores del cultivo de cereales y oleaginosas**

Indicador		Cultivo de Cereales y Oleaginosas	Sector Agropecuario
Producción	Difusión	2,85	3,11
	Absorción	1,28	1,77
Valor Agregado	Total	1,07	1,64
	Trabajo Agropecuario	0,13	0,28
	Trabajo No Agropecuario	0,37	0,50
	Capital	0,58	0,85

Fuente: Terra (2009)

En el escenario Niño, el efecto de incremento de la producción total, es decir considerando los tres cultivos en forma conjunta, implica un shock positivo sobre la producción del sector de 598 millones de dólares, que se traduce en un incremento de la producción global de 1704 millones de dólares. A nivel de remuneración de factores productivos, el incremento en la remuneración al trabajo agropecuario alcanza 78 millones de dólares, el trabajo no agropecuario crece 221 millones de dólares y el capital captura 347 millones de dólares. Finalmente, el sector genera empleo directo en 55 puestos de trabajo, en tanto que genera 67 puestos de trabajo indirecto. Cabe señalar que los impactos globales del shock alcanzan magnitudes de gran significación debido a la importancia del shock más que a los encadenamientos que presenta la rama con el resto de la economía, ya que todos los coeficientes de la rama se encuentran por debajo del promedio del sector agropecuario.

En el escenario alternativo Niña, el shock que recibe la rama de actividad es negativo, y totaliza 260 millones de dólares. Esto impacta en una disminución de la producción total de 741 millones de USD, generando una disminución del valor agregado de 281 millones de USD, compuestos por reducciones de 151 millones correspondiente al capital, 34 millones al trabajo agropecuario y 96 millones al trabajo no agropecuario.

## 5.4. EVALUACIÓN DEL EFECTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE EL ARROZ

### 5.4.1. Identificación del impacto del evento Niño en la producción

El evento climático crítico para el cultivo de arroz, al igual que en los otros cultivos analizados, presenta fuerte vinculación a factores estacionales. Para los meses de octubre y noviembre resulta relevante el aumento en la frecuencia de las precipitaciones, en tanto que para los meses de enero y febrero, se identifica a las temperaturas mínimas como factor climático crítico. En ambos casos, estos eventos tienen consecuencias sobre el rendimiento del cultivo.

El análisis se realizó en base a datos de rendimientos de arroz nacionales, y revisión bibliográfica de trabajos existentes. Se utilizó como referencia una base datos de SAMAN, que permite estimar los efectos sobre el rendimiento del cultivo en el año base y frente a los eventos Niño y Niña. Se identifica que los años caracterizados como Niño tienen una mayor frecuencia de rendimientos malos debido a menor radiación, a menor temperatura o a

la combinación de ambas, mientras que en los años clasificados como Niña el rendimiento se incrementa.

En base a los datos observados, se estima que en los años clasificados como Neutro, el promedio de rendimiento de los productores considerados en la base de datos fue de 145 bolsas/ha. En los años identificados como Niña (2007-2008 y 2010-2011) el promedio de rendimiento aumentó a 171 bolsas/ha, comparado con la reducción a 141 bolsas/ha para los años Niño.

#### 5.4.2. Cuantificación del impacto económico específico

Considerando un período de estudio que va desde la zafra de 1998-1999 hasta la zafra de 2011-2012, se estimaron las ganancias promedio por hectárea del productor en años Niño y Niña y las ganancias a nivel país para iguales escenarios. Para estas estimación se tomaron en cuenta la superficie sembrada nacional (ha), el rendimiento promedio nacional (bolsas/ha), los costos de producción promedio (dólares/ha) y el precio de la bolsa (dólares/bolsa). Los datos se muestran en la Tabla 5.5.

**Tabla 5.5.** Datos estimados de las ganancias promedio por hectárea-productor en años Niño y Niña y las ganancias a nivel país para los mismos escenarios

Zafra	Fase ENSO	Superficie (ha)	Rendimiento (bolsas/ha)	Precio Bolsa	Costos/ha
1998/99	Niña	205990	126	6.34	575
1999/00	Niña	185000	132	5.15	642
2000/01	Neutro	153676	134	5.3	648
2001/02	Neutro	157235	109	5.8	680
2002/03	Niño	153396	114	9.05	700
2003/04	Neutro	195640	135	8	799
2004/05	Neutro	184000	132	7.06	849
2005/06	Neutro	177300	146	7.76	881
2006/07	Niño	145000	158	9.02	976
2007/08	Niña	172959	159	16.41	1300
2008/09	Neutro	167488	160	12.04	1807
2009/10	Niño	162000	142	12.5	1475
2010/11	Niña	195000	168	12.2	1708
2011/12	Neutro	181400	157	12.78	1814

Fuente: ACA y SAMAN

Para cada año se calculó la ganancia a nivel país debido a la producción de arroz y las ganancias por hectárea a nivel productor. En promedio, para el período analizado, el ingreso para el país fue de 48,81 millones de dólares y para el productor fue de 281 dólares/ha.

Si se considera la caracterización climática para realizar los cálculos, entonces se obtiene que el ingreso promedio para el país en los años caracterizados como Niño fue de 54,83 millones de dólares, mientras que en los años caracterizados como Niña el ingreso fue de 86,66 millones de dólares, encontrándose una diferencia 31,83 millones de dólares a favor de los años Niña. En cuanto a los ingresos por hectárea que recibe el productor, en los años Niño la ganancia promedio fue de 360 dólares/ha mientras que en los años Niña fue de 479 dólares/ha.

Considerando el efecto identificado sobre la producción de ambos escenarios, y tomando como referencia el área sembrada con arroz en el período 2010-2011, se estima una reducción de la producción de arroz de 39 200 toneladas de arroz debido al evento Niño, cuyo valor en dólares corrientes alcanza los 9,6 millones de dólares<sup>7</sup>. En caso del evento Niña, la producción de arroz aumentaría en 254 800 toneladas, lo que genera un incremento de 62,2 millones de dólares.

### 5.4.3. Cuantificación del impacto sobre la producción, el valor agregado y el empleo en la economía

En la siguiente Tabla se presentan los coeficientes estimados para medir el impacto sobre la producción, el valor agregado y el empleo de un shock sobre la rama de actividad de producción de arroz.

**Tabla 5.6. Efectos multiplicadores del cultivo de Arroz**

Indicador		Arroz	Sector Agropecuario
Producción	Difusión	2,87	3,11
	Absorción	1,23	1,77
Valor Agregado	Total	1,37	1,64
	Trabajo Agropecuario	0,13	0,28
	Trabajo No Agropecuario	0,39	0,50
	Capital	0,84	0,85

Fuente: Terra (2009)

El evento climático Niña se asocia con un shock positivo sobre el rendimiento del cultivo de arroz, que genera un aumento de la producción del sector de 62,2 millones de dólares, y un aumento estimado de la producción total de la economía de 178,5 millones de dólares. El valor agregado se incrementaría en 84,6 millones de dólares, de los cuales 52,2 millones corresponden a remuneración al capital, 8,1 millones a trabajo agropecuario y 24,3 millones a trabajo no agropecuario.

En el escenario climático alternativo Niño, se estima un shock negativo sobre el cultivo de arroz de 9,6 millones de dólares, cuyo efecto de propagación al resto de la producción alcanza los 27,6 millones de dólares. La reducción en la remuneración de los factores productivos trabajo agropecuario, trabajo no agropecuario y capital, totalizaría 1,2 millones de dólares, 3,7 millones de dólares y 8,1 millones de dólares, respectivamente.

<sup>7</sup> Se toma como precio de referencia del arroz el precio provisorio zafra 2011-2012. Setiembre 2012: 244 USD / ton. Boletín de Precios – Enero – Setiembre 2012, Capítulo II – Precios Agrícolas, mgap.



## Bibliografía

# 6

ACA, 2012. Asociación de Cultivadores de Arroz, información disponible en el sitio web: <http://www.aca.com.uy/> (junio, 2013).

ARBELETCHÉ, P., G., GUTIÉRREZ, (2011). *Crecimiento de la agricultura en Uruguay: exclusión social o integración económica en redes*. Revista Pampa, Santa Fé, Argentina, v. 6, p. 113-138.

ARBELETCHÉ, P.; C. CARBALLO, 2008. *La expansión agrícola en Uruguay: alguna de sus principales consecuencias*. En XXXIX Congreso de la Asociación Argentina de Economía Agrícola y Segundo Congreso Regional de Economía Agraria, Montevideo, Uruguay. CD.

ARBELETCHÉ, P.; J.M. FERRARI; G. SOUTO; J. ESCUDERO, 2008. *Impactos socioeconómicos de la soja en Uruguay*. Primer Congreso de la Soja. Disponible en: [www.mesadeoleaginosos.org.uy](http://www.mesadeoleaginosos.org.uy). Mayo 2013.

BAROFFIO, J., J., RAMOS, 2009. *Calibración y validación del modelo CropSyst para un cultivar de soja para las condiciones de producción del Litoral-Oeste de Uruguay*, Facultad de Agronomía. Universidad de la República - Facultad de Agronomía, Montevideo, p. 79.

BLANCO P., A. ROEL, E. DEAMBROSI, C. BONILLA, G. CANTOU, F. MOLINA, 2010. *Closing the yield gap in rice production in Uruguay: impact of technological changes*. International Rice Research Conference, Vietnam, noviembre 2010.

BURTON, R. S. PEOPLES. 2008. *Learning from past adaptations to extreme climatic events: a case study of drought*. Part A. Summary Report. AgResearch.

CEPAL (2010). *La economía del cambio climático en el Uruguay*. Síntesis. En: La economía del cambio climático en América Latina y el Caribe, Síntesis 2010, CEPAL, Noviembre de 2010.

DIEA 2010. *Estimación del impacto de una eventual sequía en la ganadería nacional y bases para el diseño de políticas de seguros*. Anuario Estadístico Agropecuario 2010, Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca (MGAP).

DARNHOFER, I., S. BELLON, B. DEDIEU, R. MILESTAD (2008). Adaptive farming systems - A position paper. In: B. Dedieu and S. Sasser-Bedoya (eds.) Empowerment of the rural actors: A renewal of the farming systems perspective. Proceedings of the 8th European IFSA Symposium held July 2008 in Clermont Ferrand, pp. 339-351.

DIEA 2011. *Anuario estadístico agropecuario 2011*. Disponible en: [www.mgap.gub.uy](http://www.mgap.gub.uy).

DIEA 2012. *Anuario Estadístico Agropecuario 2012*, Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca (MGAP).

DIEA: Fuentes de información estadística utilizada. Estadísticas Agropecuarias. Disponible en: <http://www.mgap.gub.uy>

D'OTTONE, F., 2011. *Determinación de parámetros de crecimiento y desarrollo de cultivares de trigo requeridos para el uso del modelo de simulación CropSyst*. Facultad de Agronomía. Universidad de la República-Facultad de Agronomía, Montevideo, p. 79.

ERNST, O. 2011. *Cambios en la agricultura, situación actual y demandas de investigación*. En: CASTRO, A., HOFFMAN, E., VIEGA, E. (Eds.) Limitaciones para la productividad de trigo y cebada. Facultad de Agronomía – Montevideo, Uruguay. pp 3-9.

GAMARRA, G. 1996. *Arroz. Manual de Producción*. Editorial Hemisferio Sur, Montevideo, Uruguay. Riego y Drenaje. Páginas 183 a 225.

GUNDERSON L.H., C.S. HOLLING (eds). 2002 *Panarchy. Understanding Transformations in Human and Natural Systems*. Island Press. USA.

MCCARTHY, J.J., CANZIANI O.F., LEARY N.A., DOKKEN D.J., WHITE K.S. 2001. *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*, Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, UK. 1032pp. Disponible en: [http://www.grida.no/climate/ipcc\\_tar/](http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/)

RASMUSSEN, P. (1963). *Relaciones intersectoriales*. Editorial Aguilar, Madrid.

RODRÍGUEZ, N. 2011. Cap. 5 - Agricultura de Secano. En: VASSALLO, M. (Ed.). *Dinámica y competencia intrasectorial en el agro Uruguay 2000-2010*. Facultad de Agronomía – Montevideo, Uruguay. pp 73-88.

ROEL, A., P. BLANCO, 1993. Resultados experimentales, Jornada de arroz, INIA Treinta y Tres

ROEL, A. 2004. *Asociación entre las fases de El Niño y la producción arrocería del Uruguay*. INIA Serie Técnica N° 148.

SAMAN. Base de datos de productores de las zafras desde 2000-2001 a 2010-2011

STÖCKLE, C.O., M. DONATELLI, R. NELSON, 2003. CropSyst, a cropping systems simulation model. *European Journal of Agronomy* 18, 289-307.

TERRA, MA. INES (2009). *¿Cuál es la importancia real del sector agropecuario sobre la economía uruguaya?* Informe técnico. Carta Acuerdo Red Mercosur-FAO, Julio de 2009

UPAG. Unidad de Producción Arroz-Ganadería: actividades de Difusión N° 534. Resultados 2007-2008. Resultados experimentales, Jornada arroz, INIA Treinta y Tres

